

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



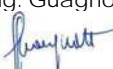
GENERAL CONTRACTOR:



## INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01

TRATTA A.V. /A.C. TERZO VALICO DEI GIOVI  
 PROGETTO DEFINITIVO

**LINEA III VALICO – GENERALI GALLERIE NATURALI  
 CUNICOLI ESPLORATIVI VAL LEMME E CASTAGNOLA E  
 FINESTRA POLCEVERA – RELAZIONE GEOTECNICA, TECNICA,  
 DI CALCOLO E MONITORAGGIO tomo 1/2**

GENERAL CONTRACTOR	ITALFERR S.p.A.
Consorzio Cociv Project Manager (Ing. Guagnozzi)  Data:06/11/2012	

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
A 3 0 1	0 0	D	C V	R O	G N 0 0 0 X	0 1 1	F

Progettazione :

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
B00	Emissione ex art.4 D.lgs 190/02	Fantauzzi	15/06/2005	Bellocchio	15/06/2005	Ognibene	15/06/2005	<b>Ing. E. Ghislandi</b>  Data: 06/11/2012
E00	Adeguamento sicurezza in galleria	Ing. M. Frandino	16/03/2012	Ing.F.Colla	20/03/2012	Ing. E. Pagani	23/03/2012	
F00	Rev. per istruttoria ITALFERR A30100D071SGN0000004A	Ing. M. Frandino	29/10/2012	Ing.F.Colla	31/10/2012	Ing. E. Pagani	05/11/2012	

n. Elab.:

File: A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00

CUP: F81H92000000008



## INDICE

INDICE.....	3
1.    PREMESSA.....	5
2.    RIFERIMENTI NORMATIVI E RACCOMANDAZIONI .....	8
3.    FASE CONOSCITIVA.....	11
3.1    Inquadramento geologico .....	11
3.2    Indagini eseguite.....	13
3.2.1    Campagna di indagine 2001-2002 .....	13
3.2.2    Rilievi geostrutturali di superficie .....	14
3.2.3    Indagini effettuate nei cunicoli esplorativi Vallemme e Castagnola (1997-1998).....	15
3.2.4    Monitoraggio effettuato in corso d'opera nei cunicoli esplorativi.....	24
3.3    Caratterizzazione geotecnica-geomeccanica .....	26
3.3.1    Sintesi sui parametri ottenuti dalle prove in situ .....	28
3.3.2    Sintesi sui parametri ottenuti dalle prove di laboratorio .....	29
3.3.3    Classificazione della matrice rocciosa secondo Deere e Miller .....	32
3.3.4    Metodologia per la definizione dei parametri geomeccanici d'ammasso.....	32
3.3.5    Determinazione dei parametri di resistenza .....	33
3.4    Considerazioni sul fenomeno di squeezing.....	38
3.4.1    Conclusioni .....	44
4.    PREVISIONI SUL COMPORTAMENTO DEGLI AMMASSI ROCCIOSI ALLO SCAVO .....	45
3.1 Importanza del fronte di scavo .....	45
4.1.1    Gallerie a fronte stabile (CASO A).....	46
4.1.2    Gallerie a fronte stabile a breve termine (CASO B) .....	46
4.1.3    Gallerie a fronte instabile (CASO C).....	46
4.2    Calcolo delle categorie di comportamento allo scavo .....	47
4.2.1    Linee caratteristiche della cavità .....	47
4.2.2    Diagnosi: determinazione delle categorie di comportamento .....	49
5.    FASE DI TERAPIA.....	50
5.1    Categorie di comportamento .....	50
5.2    Sezioni tipo applicate.....	53
5.2.1    Sezione tipo B0Lsb.....	53
5.3    Sezioni tipo B0/1 e B0/2 .....	54
5.3.1    Sezione tipo B1.....	56
5.3.2    Sezioni tipo B2/1 e B2/2 .....	57
5.3.3    Sezioni tipo B4/1 e B4/2 .....	60

5.3.4	Sezione tipo C2 .....	64
5.3.5	Sezione tipo C4 .....	68
5.4	Campi d'applicazione e variabilità delle sezioni tipo .....	71
6.	VERIFICA DELLE SEZIONI TIPOLOGICHE .....	74
6.1	Analisi alle differenze finite FLAC 3.4.....	74
6.2	Taratura del modello di calcolo.....	77
6.2.1	Geometria dei modelli di calcolo.....	78
7.	ANALISI DELLE PRESSIONI IDROSTATICHE.....	80
8.	MONITORAGGIO IN CORSO D'OPERA.....	81
9.	CONCLUSIONI .....	82
10.	ALLEGATI : .....	83

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 <span style="float: right;">Foglio 5 di 297</span>

## 1. PREMESSA

Nella presente relazione si analizzano le problematiche progettuali connesse alla realizzazione del cunicolo esplorativo “Castagnola” e della finestra di accesso “Polcevera”, nell’ambito del sistema ad Alta Capacità della linea Milano-Genova.

Lo scavo delle opere succitate avviene nella formazione delle Argilliti a Palombini; la massima copertura prevista risulta pari rispettivamente 600m (Castagnola) e 300m (Polcevera). Alla data di stesura della presente relazione i due cunicoli esplorativi (Val Lemme e Castagnola) risultano parzialmente scavati per un’estensione di circa 600m; l’esecuzione di gallerie sperimentali è stata considerata il mezzo di indagine migliore per investigare le reali caratteristiche geomeccaniche della formazione argillitica in esame e per valutarne correttamente la risposta allo scavo alle diverse coperture incontrate.

Di seguito, dopo aver esaminato il quadro geologico-geotecnico sino ad oggi noto (FASE CONOSCITIVA), sulla base dei dati e delle considerazioni già svolte nel corso degli studi precedenti (dal 1992 ad oggi), nonché dai risultati ottenuti dal parziale scavo dei cunicoli esplorativi, compreso il cunicolo Val Lemme non oggetto della presente relazione, verrà individuato il più probabile comportamento che l’ammasso manifesterà a seguito del proseguimento degli scavi (FASE DI DIAGNOSI).

Nel seguito verranno illustrati i dati ad oggi disponibili e la parametrizzazione geomeccanica utilizzata per la progettazione. In base a ciò verranno quindi stabilite le principali tipologie di intervento che si ritengono necessarie a garantire la stabilità globale della cavità nel breve e nel lungo termine (FASE DI TERAPIA).

Saranno successivamente indicate, per ogni sezione tipo, delle linee guida per l’applicazione delle stesse sezioni, con la relativa variabilità degli interventi di 1° fase e delle distanze di getto (FASE DI CONTROLLO).

La sequenza delle varie fasi progettuali può essere di seguito riassunta nelle quattro seguenti tappe fondamentali:

- *Fase conoscitiva* che consente, attraverso una analisi dettagliata ed un esame critico dei dati disponibili, una preliminare caratterizzazione geomeccanica dell’ammasso roccioso interessato dallo scavo;
- *Fase di diagnosi* nella quale, utilizzando il metodo delle “linee caratteristiche”,

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 <span style="float: right;">Foglio 6 di 297</span>

analizzando i differenti gruppi geomeccanici individuati nella fase conoscitiva ed in base ai differenti valori di copertura, si individuano delle classi di comportamento, considerando quale elemento centrale per l'analisi la stabilità del fronte di scavo (sistema ADECO-RS):

1. caso "A", fronte stabile,
  2. caso "B" fronte stabile a breve termine,
  3. caso "C" fronte instabile;
- *Fase di terapia* che consente, successivamente all'individuazione delle categorie di comportamento, la definizione degli interventi progettuali più idonei da mettere in atto per la realizzazione delle gallerie.
  - *Fase di controllo* ove sono forniti, per ciascuna sezione tipo, dei valori limite di deformazione e delle linee guida per l'applicazione delle stesse sezioni.

Come meglio specificato in seguito, analizzando quanto verificatosi in corso d'opera durante lo scavo dei due cunicoli esplorativi è stato possibile operare una suddivisione delle Argilliti a Palombini in tre differenti gruppi geomeccanici. Le percentuali dei tre gruppi geomeccanici rilevate nel corso dello scavo dei cunicoli Vallemme e Castagnola sono state le seguenti :

VALLEMME : Gr.1 (22%) – Gr.2 (49%) – Gr.3 (29%)

CASTAGNOLA : Gr.1 (34%) – Gr.2 (61%) – Gr.3 (5%)

MEDIA DEI CUNICOLI : Gr.1 (28%) – Gr.2 (55%) – Gr.3 (17%)

In base a quanto mediamente riscontrato in corso d'opera sono state definite delle sezioni tipo d'avanzamento così denominate:

B0L, B0/1 , B0/2 , B1 , B2/1 , B2/2 , B4/1 , B4/2 , C2 , C4

Il monitoraggio effettuato durante lo scavo dei cunicoli ha messo in evidenza uno stato tensionale in situ caratterizzato da una componente orizzontale maggiore di quella verticale, con valori di  $k_0$  variabili da 1.8 a 2.5. Attualmente non vi sono abbastanza dati che possano supportare la scelta di valori di  $K_0 \neq 1$ , ragion per cui i calcoli numerici sono stati eseguiti con un  $K_0$  pari ad 1. L'evidenza succitata ha comunque imposto l'inserimento di sezioni tipo dotate di bulloni radiali al contorno del cavo (B1, B4), che possono fornire un efficace contrasto alle spinte laterali legate alla presenza di stress di origine tettonica.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 <table border="1" data-bbox="1394 197 1501 250"> <tr> <td>Foglio 7 di 297</td> </tr> </table>	Foglio 7 di 297
Foglio 7 di 297		

Qualora nuove prove in sito o lo scavo dei cunicoli dovessero confermare valori di  $K_0 > 1$ , dovranno essere condotte nuove analisi numeriche che potrebbero condurre alla necessità di una revisione delle sezioni tipo (Es. Sovrasspessori o armatura del rivestimento definitivo).

In base a correlazioni di carattere empirico è stata valutata la possibilità che la formazione delle Argilliti a Palombini possa essere soggetta al fenomeno dello squeezing (vedi paragrafo 2.4). Opportune analisi di laboratorio potranno confermare o meno tale tendenza, nel qual caso il progetto dovrà tener conto di eventuali sovrasspessori di rivestimento definitivo, per ora non inseriti.

I parametri geomeccanici impiegati per il calcolo alle differenze finite sono stati tarati sia in funzione dei gruppi geomeccanici che in funzione delle coperture.

I cunicoli hanno carattere prettamente “esplorativo”. Il programma di monitoraggio previsto potrà subire delle modifiche in funzione di quanto riscontrato durante gli avanzamenti. Potranno essere opportuni dei sondaggi in avanzamento rispetto al fronte di scavo per limitare le incertezze di carattere geologico/geomeccanico. La necessità di prove d’estrusione in cella triassiale sarà valutata durante lo scavo dei cunicoli esplorativi.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 <table border="1" data-bbox="1394 197 1501 250"> <tr> <td>Foglio 8 di 297</td> </tr> </table>	Foglio 8 di 297
Foglio 8 di 297		

## 2. RIFERIMENTI NORMATIVI E RACCOMANDAZIONI

Per il calcolo e per le verifiche delle opere strutturali si è fatto riferimento alle seguenti norme:

**- Legge 5/11/1971 n. 1086**

Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica.

**- Legge n° 64 del 2 febbraio 1974**

Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.

**- Circolare Ministero Lavori Pubblici n. 11951 del 14/2/1974**

Legge 5 novembre 1971, n. 1086. Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica. Istruzioni per l'applicazione.

**- Circolare Ministero Lavori Pubblici n. 20049 del 9/1/1980**

Legge 5 novembre 1971 n. 1086 - Istruzioni relative ai controlli sul conglomerato cementizio adoperato per le strutture in cemento armato.

**- Istruzioni C.N.R. 10012-81**

Azioni sulle costruzioni.

**- Decreto Ministero Lavori Pubblici 11/3/1988**

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 24/9/1988**

Legge 2 febbraio 1974 art. 1-D.M. 11 marzo 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. Istruzioni per l'applicazione.

**- Nota Ministero Lavori Pubblici n. 183 del 13/4/1989**

D.M. 11.3.88. Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, la progettazione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

**- Decreto Ministero Lavori Pubblici 14/02/1992**

Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.

**- Circolare Ministero Lavori Pubblici 24/06/1993 n. 406/STC**



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 <span style="float: right;">Foglio 9 di 297</span>

Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche di cui al D. M. 14/02/1992.

**- Decreto Ministero Lavori Pubblici 9/01/1996**

Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche.

**- Decreto Ministero Lavori Pubblici 16/01/1996**

Norme tecniche relative ai "Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi".

**- Decreto Ministero Lavori Pubblici 16/01/1996**

Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche

**- Circolare Ministero Lavori Pubblici 15/10/1996 n. 252**

Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche di cui al D. M. 9/01/96.

**- Circolare Ministero Lavori Pubblici 4/07/1996 n. 156AA.GG/STC**

Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi" di cui al decreto ministeriale 16 gennaio 1996.

**- Circolare Ministero Lavori Pubblici 10/04/1997 n. 65/AA./GG.**

Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche" di cui al D. M. 16/01/96.

**- Decreto Ministero Lavori Pubblici 5/08/1999**

Modificazioni al decreto ministeriale 9 gennaio 1996 contenente norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.

**- D.P.R. 6 Giugno 2001, n°380**

Testo unico delle disposizioni legislative e regolamenti in materia edilizia

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00</p>	<p>Foglio 10 di 297</p>

## RACCOMANDAZIONI

### **- Eurocodice 1 UNI-EN-1991**

Criteria generali di progettazione strutturale

### **- Eurocodice 2 UNI-EN-1992**

Progettazione delle strutture in calcestruzzo

### **- Eurocodice 3 UNI-EN-1993**

Progettazione delle strutture in acciaio

### **- Eurocodice 4 UNI-EN-1994**

Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo

### **- Eurocodice 7 UNI-EN-1997**

Progettazione Geotecnica

### **- Eurocodice 8 UNI-EN-1998**

Progettazione delle strutture per la resistenza sismica

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 Foglio 11 di 297

### 3. FASE CONOSCITIVA

Il quadro riportato nel presente studio è scaturito dall'esame dei dati e delle considerazioni già svolte nel corso degli studi precedenti (dal 1992 ad oggi), unitamente al confronto e l'integrazione con i risultati delle indagini svolte all'interno dei cunicoli Vallemme e Castagnola, i cui lavori di avanzamento erano stati sospesi nel febbraio 1998. Per maggiori dettagli si rimanda alla "Relazione geologica-geotecnica generale" (doc. A30100DCVROGN000X003A), nella quale sono analizzate le principali problematiche di ordine geologico - geotecnico connesse alla realizzazione delle opere in esame.

#### 3.1 Inquadramento geologico

Il tracciato del cunicolo "Vallemme" ricade nell'ambito geologico definito "Dorsale alpi-appennini liguri", esso è costituito da una catena orogenetica con assetto strutturale molto articolato. L'area è particolarmente significativa in quanto sono presenti in contatto diretto elementi di pertinenza alpina e appenninica. L'attuale catena montuosa è costituita da masse rocciose dislocate dalla loro posizione originaria e sovrapposte con struttura a falde (unità tettoniche) talora di grande complessità. L'edificio delle alpi-appennini liguri è costituito da tre grandi unità: (gruppo di Voltri, Unità Argillitiche della zona di Sestri-Voltaggio in senso lato (s.l.), Unità Liguri).

La formazione argillitica in oggetto (Argilliti a Palombini) costituisce parte delle unità liguri s.l., affioranti nell'ambito sopra descritto come dorsale alpi-appennino ligure; di seguito se ne da una breve descrizione.

##### **Argilliti a Palombini (aP) (Creta inf.)**

Si tratta di argilloscisti nerastri o grigio scuri, spesso grafitosi, a patine di alterazione giallastre, con scistosità accentuata e facile divisibilità in scaglie sottili, vi si intercalano lenti calcaree fino a metriche, di colore grigio scuro compatte a frattura concoide, con grana medio-fine ("Palombini"), possono essere però alterate e quindi completamente incoerenti con

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 <table border="1" data-bbox="1396 197 1492 282"> <tr> <td>Foglio 12 di 297</td> </tr> </table>	Foglio 12 di 297
Foglio 12 di 297		

una colorazione bruno-rossiccia. Formano corpi con spessore variabile da pochi centimetri a più di un metro, questi calcari risultano addensati in corrispondenza della cerniera delle pieghe delle argilliti a cui sono intercalati.

L'unità in esame affiora estesamente da Ponte dell'Acqua a sud, fino a Bric Cornei, a nord, per uno sviluppo lineare di oltre 20 km. In quest'area viene a delinearsi una struttura a scaglie tettoniche a sviluppo nord-sud, con ripetizione della serie.

Qui i calcari intercalati sono molto frequenti e presentano spessori decimetrici, che a Paveto possono anche eccedere il metro.

Più a nord, tra Paveto e il Passo della Bocchetta, le intercalazioni calcaree sono più frequenti e di maggiore spessore, con blocchi anche plurimetrici.

A Fraconalto l'unità in esame è ricoperta trasgressivamente da un lembo della Formazione di Molare, e più a nord mostra contatti tettonici con le Breccie di Costa Cravara. In quest'area le intercalazioni calcaree sono piuttosto rare e di piccolo spessore.

In corrispondenza di lineamenti tettonici le Argilliti a Palombini, mostrano un'accentuazione dei caratteri prima descritti, quali scistosità e tettonizzazione, con una progressiva perdita di compattezza, fino a ridursi ad una massa argillosa del tutto incompetente, visibile ad esempio a sud di Bric Cornei.

I sondaggi eseguiti evidenziano la presenza ubiquitaria di argilloscisto nero, da debolmente grafitoso a grafitoso, con piani di scistosità molto ravvicinati, l'alterazione è assente. Sono presenti livelli di argilloscisto molto teneri, a comportamento plastico, inglobanti noduli e livelli quarzoso-calcitici di spessore centimetrico.

Non è possibile determinare lo spessore originario dell'unità in esame a causa dell'intensità della tettonizzazione, si può comunque ipotizzare uno spessore anche maggiore di 600 m.

Si consideri infine il fatto che la formazione delle Argilliti a Palombini presenta i caratteristici inclusi ofiolitici. Tali inclusi, di dimensioni molto variabili d'ordine ettometrico, sono distribuiti in modo irregolare all'interno della formazione.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00		Foglio 13 di 297

## 3.2 Indagini eseguite

### 3.2.1 Campagna di indagine 2001-2002

Sono stati eseguiti 21 sondaggi geognostici le cui profondità, posizioni relative al tracciato, prove eseguite, campioni prelevati sono riassunti nella tabella seguente.

SONDAGGIO	Profondità da p.c. (m)	Progressiva (m)	Dist. Asse (m)	Copertura Galleria (m)	Sismica in foro	Prove dilatometriche	Prelievo di campioni	Analisi mineralogica e petrografica
7A301A008	35	16480	1080	201			1	
XA301A009	30	16560	730	201			4	
AA301D016	60	170	30	0		2	2	
AA301D017	50	210	40	0		2	3	
AA301D018	59	240	90	0		1	3	
SA301G025	50	18080	1390	216				
SA301G026	50	18000	1310	215				
AA301G027	50,35	12590	10	530			5	
AA301G045	70	1680	130	95		5	7	
7A301G046	31,6	850	30	85		2	5	
XA301G047	100	4355	10	230		2	10	
AA301G048	65,5	1875	30	35		3	6	
AA301G049	127	2078	150	120		3	10	
AA301G050	150	3470	100	145		6	11	
SA301G051	81	7434	0	55		3	6	
AA301G052	120	7962	20	105		3	7	
6A301G053	50	8520	15	123	2			
6A301G054	60,8	8511	0	60		2	6	2
SA301G058	90,4	4792	1057	360		3	7	
SA301G114	100	17900	910	214			3	
AA301G116	250	4505	10	265		3	13	

Le indagini sono state eseguite sostanzialmente utilizzando la tecnica del carotaggio continuo per sondaggi superficiali e la tecnica mista distruzione di nucleo-carotaggio continuo per quelli profondi. L'esame dei dati scaturiti dai sondaggi a carotaggio ha mostrato la presenza di un considerevole spessore di materiale alterato nei primi metri della colonna stratigrafica. Mediamente è possibile stabilire in circa 10-12 m tale spessore di alterazione, caratterizzato per i primi 3-4 m da coltre detritica incoerente alterata e per i restanti metri da roccia allentata, detensionata e spesso profondamente alterata. Il passaggio alla roccia sana avviene generalmente in maniera graduale e sfumata.

Nei sondaggi a carotaggio continuo sono state eseguite una serie di attività e di prove in sito :

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 <span style="float: right;">Foglio 14 di 297</span>

- Prelievo dei campioni indisturbati, rimaneggiati o di spezzoni di carote lapidee, per le prove di laboratorio.
- Prove di permeabilità di tipo Lugeon.
- Prove con dilatometro da roccia.
- Installazione nei fori di sondaggio di piezometri di tipo Casagrande o a tubo aperto microfessurato.
- Installazione di tubazioni per misure geofisiche in foro (Down-hole, Cross-hole).

Per quanto riguarda le prove di laboratorio sono state eseguite le determinazioni del contenuto naturale d'acqua e della massa volumica apparente, la misura dell'indice Point Load Is (50) e della velocità delle onde P; sono state inoltre eseguite prove di compressione uniassiale, anche in controllo di deformazione per la misura del modulo tangente, prove di trazione indiretta (tipo Brasiliana) e prove di taglio diretto su giunto naturale.

Si fa notare che non sono state effettuate prove di tipo triassiale (forse per la difficoltà, data la natura estremamente fessile del materiale, di confezionare dei provini significativi) e pertanto le elaborazioni per la determinazione dei parametri di ammasso seguono prevalentemente le indicazioni scaturite dalle sole indagini effettuate nei cunicoli (dove risultano altresì effettuate alcune prove triassiali).

### 3.2.2 Rilievi geostrutturali di superficie

Sono stati eseguiti 12 rilievi geostrutturali le cui posizioni relative al tracciato ed il litotipo affiorante sono riassunti nella tabella seguente.

FORMAZ.	LITOTIPO	RILIEVO	Progressiva	Dist. Asse	Copertura
			(m)	(m)	(m)
aP	Alternanza di argilliti e freq. liv. di calcari metamorfici cm/dm	RS4	1720	20	91
aP	Alternanza di argilliti e freq. liv. di calcari metamorfici cm	RS5	2500	100	155
aP	Alternanza di argilliti e freq. liv. di calcari metamorfici dm	RS13	5650	150	296
aP	Alternanza di argilliti e liv. di calcari metamorfici cm	RS14	5750	0	247
aP	Alternanza di argilliti e liv. di calcari metamorfici cm	RS15	6780	480	220

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 <span style="float: right;">Foglio 15 di 297</span>

aP	Argilliti nere fratturate	RS16	8450	1100	82
ma	Argilliti nere fratturate	RS17	9280	50	212
aP	Alternanza di argilliti e freq. liv. di calcari metamorfici cm/dm	RS24	12200	160	618
aP	Alternanza di argilliti e freq. liv. di calcari metamorfici cm/dm	RS25	12840	280	516
aP	Argilliti alterate	RS26	14120	220	477
aP	Alternanza di argilliti e freq. liv. di calcari metamorfici cm/dm	RS27	15800	180	538
aP	Argilliti	RS28	18680	1100	290

Per ogni stop strutturale sono state rilevate le giaciture delle principali discontinuità (clivaggio, foliazione, giunti di frattura) e rilevate le loro caratteristiche in termini di spaziatura media, apertura, JCS e JRC, persistenza lineare, volumi unitari dell'ammasso roccioso e infine l'intensità di fatturazione espressa come numero di discontinuità medio per metro lineare di stendimento.

### 3.2.3 Indagini effettuate nei cunicoli esplorativi Vallemme e Castagnola (1997-1998)

Durante lo scavo dei due cunicoli sono state svolte tutta una serie di indagini in sito ed in laboratorio finalizzate alla conoscenza delle caratteristiche dell'ammasso roccioso; queste possono essere così sintetizzate:

- Rilievo geostrutturale sistematico del fronte di scavo.
- Prelievo di campioni di roccia da sottoporre a prove di laboratorio.
- Prove geognostiche per la misura dello stato tensionale in sito e delle caratteristiche di deformabilità dell'ammasso.
- Prove geofisiche per la stima dei parametri dinamici dell'ammasso roccioso "disturbato" dallo scavo.

#### 3.2.3.1 Descrizione e caratterizzazione dell'ammasso roccioso dai risultati dei rilievi geostrutturali

Durante l'avanzamento dello scavo le condizioni dell'ammasso incontrato erano state registrate tramite rilievi geostrutturali, eseguiti in media ogni 10 m, e rilievi geologici speditivi eseguiti con frequenza maggiore. L'insieme delle informazioni così raccolte ha permesso di delineare un quadro generale delle caratteristiche dell'ammasso roccioso e dei fenomeni fisici che in esso si sono manifestati a seguito dello scavo (distacchi di materiale dal

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 Foglio 16 di 297

fronte o dalla calotta, presenza d'acqua, ecc.).

**Cunicolo Val Lemme (Area di scavo  $\approx 86 m^2$ )**

***Dall'imbocco fino alla progr. 0+045 circa*** : l'ammasso roccioso presenta in media scadenti caratteristiche meccaniche con diversi rilasci sul fronte anche di volume consistente. Un rilascio particolarmente importante è avvenuto alla progr. 0+022. La matrice argillitica è spesso intercalata da banchi di calcare marnoso fratturato e molto alterato così come testimonia il colore giallastro del litotipo, indice di intensa ossidazione. In questo tratto non è stato possibile effettuare dei rilievi geostrutturali di dettaglio del fronte per la mancanza delle condizioni minimali di sicurezza. Per ciò che riguarda la giacitura della foliazione, che risulta l'elemento strutturale preponderante rispetto a tutte le altre discontinuità rilevate, quando è stato possibile identificarne l'andamento si è constatato che essa è normalmente subverticale, con andamento rispetto all'asse della galleria generalmente a franapoggio sul piedritto sinistro. L'ammasso roccioso risulta sempre caratterizzato da importanti motivi plicativi con pieghe riscontrabili sia alla microscala (centimetriche) che alla scala della larghezza del fronte di scavo.

***Dalla progressiva 0+045 circa alla progr. 0+060 circa***: l'ammasso si presenta mediamente migliore di quanto riscontrato nel tratto precedente. Dalla progr. 0+055 in poi non si riscontrano più banchi o lenti di calcare alterato ma lo stesso inizia ad opporre una certa resistenza alla perforazione. La giacitura della foliazione ed i motivi plicativi sono analoghi a quelli del tratto precedente. Sono inoltre presenti piccole faglie rilevate per tutta l'altezza del fronte con spessori molto modesti di materiale della consistenza di un terreno limo sabbioso privo di coesione.

***Dalla progressiva 0+060 alla progr. 0+165 circa*** : l'ammasso roccioso presenta mediamente delle discrete caratteristiche meccaniche, rese localmente buone dalla presenza significativa di palombini non alterati ed estremamente compatti. A conferma di ciò, ad esempio, è il fatto che tra la progressiva 0+065 e la progressiva 0+080 la produzione media dello scavo con martello demolitore è in pratica dimezzata a causa della compattezza della roccia. Dove una maggiore presenza dei palombini calcarei rendeva difficile lo scavo con il martello demolitore si è dovuto ricorrere all'uso di esplosivo per garantire una buona velocità di avanzamento. La giacitura della foliazione lungo la tratta (riferita all'asse di scavo) differisce leggermente da



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 Foglio 17 di 297

quella dei tratti precedenti in quanto l'asse ha una direzione diversa. L'andamento è comunque quasi sempre subverticale. Le pieghe dell'argillite mantengono lo stesso livello di intensità rilevato nel tratto precedente. Tra le progressive in esame si è constatata la presenza di lineamenti tettonici, anche se di importanza molto modesta, ai quali è normalmente associata una maggiore caoticità della struttura di ammasso in tutto o solo in una parte del fronte di scavo. In prossimità dell'asse delle pieghe o delle faglie si riscontra del materiale destrutturizzato assimilabile ad un limo-sabbioso inconsistente. In alcune zone si verificano distacchi dal fronte di piccoli blocchi di materiale e si manifestano stillicidi localizzati.

**Dalla progressiva 0+165 alla progr. 0+185 circa :** il cunicolo attraversa un tratto interessato da inclusi calcarei di dimensioni tali da occupare una parte consistente del fronte. La giacitura degli strati è la stessa riscontrata nel tratto precedente; le stratificazioni del calcare sono disposte in modo identico alla foliazione dell'argillite. In corrispondenza del contatto tra calcare ed argillite si verificano venute d'acqua, comunque di entità limitata.

**Dalla progressiva 0+185 alla progr. 0+260 circa:** l'ammasso roccioso presenta caratteristiche meccaniche discrete e risulta composto quasi esclusivamente dalle argilliti. Solo nel tratto a progressive minori sono presenti inclusioni calcaree di dimensioni non trascurabili e generalmente alterate. La giacitura della foliazione è abbastanza costante, a franapoggio sul piedritto sinistro. Il materiale roccioso è comunque interessato da numerose pieghe di varia dimensione ed attraversato da diverse famiglie di faglie che inducono una diminuzione locale della resistenza.

**Dalla progressiva 0+260 alla progr. 0+340 circa:** l'ammasso roccioso, prevalentemente argillitico, presenta caratteristiche meccaniche scadenti. A tratti sono presenti inclusioni calcaree molto compatte che creano difficoltà allo scavo con il martellone meccanico. Si rilevano inoltre accentuate deformazioni plicative e a tratti risulta impossibile distinguere l'andamento delle giaciture. Sono segnalati inoltre diffusi stillicidi (riscontrata una venuta d'acqua dell'ordine di 1 l/min) e distacchi di roccia dal fronte di lieve entità (volumi di qualche dm<sup>3</sup>).

**Dalla progressiva 0+340 alla progr. 0+360 circa:** l'ammasso si presenta per l'85-90% argillitico con caratteristiche meccaniche discrete. Sono evidenti diffuse deformazioni plicative, ma la giacitura risulta comunque individuabile. Non viene segnalata la presenza di acqua e non si verificano distacchi di materiale dal fronte.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 Foglio 18 di 297

**Dalla progressiva 0+360 alla progr. 0+435 circa:** l'ammasso, molto scadente, è costituito prevalentemente da argillite, fortemente tettonizzata, piegata e strizzata. Si rilevano accentuate deformazioni plicative e risulta generalmente impossibile distinguere l'andamento delle giaciture. Sono riconoscibili al fronte frequenti faglie a giacitura variabile, talora con fasce milonitizzate di spessore da 10 cm a 1m. Sono segnalati inoltre diffusi stillicidi e distacchi di roccia dal fronte di entità superiore anche ad 1 m<sup>3</sup>. Si evidenziano due fenomeni di distacco dal fronte alle progressive km 0+404.4 e 0+414.4 rispettivamente di 30 e 10 m<sup>3</sup>.

**Dalla progressiva 0+435 alla progr. 0+465 circa:** l'ammasso è costituito prevalentemente da argiloscisti nerastri ed inclusi calcareo marnosi. Sono presenti livelli e noduli di calcite.

L'ammasso si presenta compatto. Talora è stato fatto uso di esplosivo per procedere nell'avanzamento. Non si è riscontrata presenza d'acqua.

**Dalla progressiva 0+465 alla progr. 0+500 circa:** l'ammasso roccioso è costituito da argiloscisti tettonizzati con patine grafitose ed inclusi calcarei. Sono presenti livelli di calcite subverticali. L'ammasso si presenta scadente e sono registrati distacchi dal fronte lungo i piani di discontinuità. Si segnala una venuta d'acqua alla progr. km 0+487 di circa 5-6 l/s.

**Dalla progressiva 0+500 alla progr. 0+535 circa:** gli argiloscisti grafitosi nerastri tettonizzati, presentano elevata fissilità e micropieggettatura ad asse variabile. Sono presenti inclusi calcareo-marnosi grigi compatti. L'ammasso è suddiviso da diversi giunti e sistemi che, associati con i ripetuti fenomeni plicativi subiti, conferiscono alla formazione rocciosa un aspetto caotico. Si segnalano piccoli distacchi dal fronte.

**Dalla progressiva 0+535 alla progr. 0+580 circa:** argiloscisti filladici nerastri con patine argentate di mica, con intercalazioni di grosse lenti calcareo-marnose compatte. Si segnalano leggeri stillicidi e lievi distacchi in calotta. Sono presenti faglie subverticali. Si notano strutture da riempimento post-genetiche ortogonali alle micropieghe.

**Dalla progressiva 0+580 alla progr. 0+625 circa:** argiloscisti nerastri e lenti calcaree compatte. Ammasso caratterizzato da segni di clivaggio e da scistosità. La giacitura si presenta ad orientamento variabile e sono presenti alcune faglie.

### **Cunicolo Castagnola (Area di scavo ≈ 86 m<sup>2</sup>)**

**Dalla progr. 0+100 alla progr. 0+135 circa:** l'ammasso roccioso presenta discrete

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 Foglio 19 di 297

caratteristiche meccaniche; in corrispondenza delle progressive iniziali esso risulta interessato da numerose microfaglie, anche a causa della vicinanza del contatto con il corpo ofiolitico. La roccia è localmente bagnata; sono sempre presenti motivi plicativi, soprattutto a piccola scala. Sono presenti livelli calcarei di dimensione decimetrica. Per ciò che riguarda la giacitura della foliazione, che risulta l'elemento strutturale preponderante tra le discontinuità rilevate, quando è stato possibile identificarne l'andamento si è constatato che essa è normalmente subverticale, con andamento rispetto all'asse della galleria immergentesi sul piedritto sinistro.

***Dalla progressiva 0+135 circa alla progr. 0+160 circa:*** l'ammasso si presenta intensamente fratturato con giacitura molto caotica a causa della presenza di pieghe serrate. Il fianco delle pieghe maggiori è interessato da faglie. Si riscontrano numerose intercalazioni calcaree di spessore decimetrico, talvolta in forma di blocchi. La roccia risulta umida, con presenza a tratti di stillicidi al fronte.

***Dalla progressiva 0+160 alla progr. 0+200 circa:*** l'ammasso roccioso torna a presentare una struttura regolare. La giacitura della foliazione risulta diversa da quella rilevata nel tratto precedente la progr. 0+135, con immersione degli strati prevalentemente verso il piedritto destro. Sono presenti alcuni piani di faglia, ma complessivamente le caratteristiche meccaniche della roccia appaiono abbastanza buone.

***Dalla progressiva 0+200 alla progr. 0+220 circa:*** il cunicolo attraversa un tratto interessato da più frequenti inclusi calcarei, con blocchi anche delle dimensioni di 1 m. Localmente il materiale argillitico risulta molto compatto. Alle progressive minori del tratto la parte superiore del fronte appare piuttosto disturbata, a tratti caotica, con variazione di immersione delle discontinuità. Nel resto del tratto la giacitura dell'argillite appare abbastanza costante, con immersione di nuovo verso il piedritto sinistro. Sono presenti varie famiglie di lineamenti tettonici, anche se di importanza molto modesta, a cui è spesso associata una maggiore caoticità della struttura di ammasso in tutto o solo in un parte del fronte di scavo.

***Dalla progr. 0+220 alla progr. 0+242 circa:*** argillite grigio nerastra con intercalazioni di spessore decimetrico. Locali variazioni nella giacitura della foliazione, che tuttavia presenta una immersione riconducibile a E-NE. Nella foliazione si sviluppano localmente pieghe a piccola scala. Non sono presenti manifestazioni idriche ad eccezione di locali stillicidi.

***Dalla progressiva 0+242 circa alla progr. 0+282 circa:*** l'ammasso, costituito da argillite grigio nerastra grafitosa, è generalmente fratturato e presenta diversi piani di faglia. La foliazione è più irregolare con tendenziale inclinazione verso NE. Sono segnalati episodici

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 <table border="1" data-bbox="1396 197 1492 282"> <tr> <td>Foglio 20 di 297</td> </tr> </table>	Foglio 20 di 297
Foglio 20 di 297		

distacchi di materiale dal fronte. L'ammasso si presenta talvolta umido, anche se non si segnalano significative venute d'acqua.

***Dalla progressiva 0+280 alla progr. 0+320 circa:*** argillite grigio nerastra e calcari argillosi diffusi. La foliazione è generalmente regolare tranne che per alcune situazioni locali. Localmente si notano alcuni piani di discontinuità assimilabili a piccole faglie. L'ammasso si presenta generalmente di migliore qualità rispetto al tratto precedente. Non si rilevano fenomeni idrici.

***Dalla progressiva 0+320 alla progr. 0+370 circa:*** l'ammasso, costituito da argillite grigio nerastra grafitosa, è generalmente fratturato, localmente compatto nei livelli calcarei, e presenta alcuni piani di faglia. La foliazione è più irregolare con tendenziale inclinazione verso E-NE, anche se talora risulta disposta in modo quasi caotico. La roccia si presenta talvolta umida con locali stillicidi.

***Dalla progressiva 0+370 alla progr. 0+440 circa:*** argillite grigio nerastra e calcari marnosi diffusi. Ammasso compatto caratterizzato da foliazione regolare con immersione E-NE. Localmente si notano micropieghe serrate e ricementate con calcite. Non si rilevano fenomeni idrici.

***Dalla progressiva 0+440 alla progr. 0+475 circa:*** argillite grigio nerastra grafitosa con livelli marnosi. Dalla progr. km 0+445 si evidenzia una zona di faglia. Il materiale in questa zona è molto tenero e nell'ammasso si stenta a riconoscere alcuna struttura. Si verificano distacchi dal fronte. Con l'evoluzione del fenomeno tettonico rimangono presenti discontinuità con giacitura sfavorevole.

***Dalla progressiva 0+475 alla progr. 0+545 circa:*** argillite grigio nerastra grafitosa e calcari marnosi compatti in blocchi. La matrice argillosa è friabile. Talora si osservano discontinuità di alta persistenza con immersione contraria all'avanzamento. La foliazione non è sempre marcata, con immersione tendenziale verso S.

***Dalla progressiva 0+545 alla progr. 0+590 circa:*** argillite alternata a calcari molto compatti in livelli e lenti di circa 30 cm di spessore. Ammasso con foliazione abbastanza regolare con immersione verso NE circa.

***Dalla progressiva 0+590 alla progr. 0+635 circa:*** argiloscisti grigio nerastrati compatti localmente grafitosi con diffuse vene quarzitiche. Ammasso lievemente disturbato con giacitura della foliazione riconducibile a NE/60. Presenti discontinuità da subverticali a verticali.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 Foglio 21 di 297

**Dalla progressiva 0+635 alla progr. 0+660 circa:** argilloscisti grigio nerastri con inclusi calcarei in forma di livelli e piccoli blocchi. La foliazione ben marcata ha giacitura preferenziale riconducibile a NE/60, ma con locali variazioni.

**Dalla progressiva 0+660 alla progr. 0+694 circa:** argilloscisti grigio nerastri con intercalazioni calcaree di spessore decimetrico (max 40 cm). L'ammasso è compatto e regolare. La foliazione è regolare con giacitura NE/50-60.

Dal punto di vista litologico si sono riscontrate delle variazioni relative alla percentuale di elementi calcarei o calcareo marnosi, sempre però percentualmente subordinati alla matrice argillitica. Dal punto di vista strutturale i rilievi sembrano ben accordarsi con il quadro tettonico generale, che prevede una struttura di tipo plicativo isoclinale con piano assiale inclinato. La foliazione, elemento dominante della struttura, ha mantenuto una immersione verso E-NE con un angolo di inclinazione compreso tra i 50 e 70 gradi. Alla foliazione si aggiunge un secondo sistema di discontinuità ortogonale (nel piano verticale) a questa, ma di persistenza molto bassa e dunque di scarso significato geomeccanico.

Nonostante le caratteristiche geomeccaniche si mantengano pressochè costanti, si sono osservati locali zone intensamente tettonizzate (ad es. 0+245-0+347 – cunicolo Val Lemme) che potrebbero essere spiegati con l'approssimarsi a nuclei sinclinalici ovvero a fianchi di piega fagliati al passaggio tra l'elemento anticlinalico a quello sinclinalico.

In merito all'assetto litologico e strutturale è stata confermata sinora l'ipotesi dei documenti progettuali in particolare confermando che la complessa struttura a pieghe dell'argillite si ritrova fino alla massima profondità raggiunta dallo scavo.

Si è rilevato che lo spessore di materiale che ha subito un intenso processo di alterazione nella zona di basse coperture in prossimità degli imbocchi, può raggiungere i 30-40 m.

Per quanto riguarda l'idrogeologia è stata confermata la sostanziale impermeabilità della formazione e l'ipotesi di stillicidi solo in corrispondenza dei palombini. Fanno eccezione le zone di imbocco dove l'alterazione e la struttura più aperta dell'ammasso, grazie anche alla presenza di una certa percentuale di palombini fratturati ed alterati, permettono una, seppur modesta, circolazione idrica alimentata dalla coltre regolitica superficiale e pertanto molto suscettibile dei ricarichi dovuti agli eventi atmosferici. Tale circolazione d'acqua tra la coltre regolitica superficiale e substrato argillitico si tramuta all'atto dello scavo in stillicidi più o meno diffusi che, nel cunicolo di Val Lemme, si sono manifestati fino a coperture di 30-40 m (portate medie di 0.5 l/sec per 10 m di galleria).

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 Foglio 22 di 297

Il resto della galleria non ha messo in evidenza significative venute d'acqua se si fa eccezione per alcune piccole emergenze nei punti di maggior concentrazione dei palombini fratturati di entità molto modesta e di durata limitata nel tempo.

### **3.2.3.2 Indagini in situ - Cunicolo Vallemme**

#### ***Sezione "L1"***

Nella sezione in questione sono stati eseguiti:

- 3 sondaggi geomeccanici dei quali uno verticale e due orizzontali all'altezza della parte inferiore del piedritto;
- 3 prove dilatometriche su foro verticale;
- 3 prove di fratturazione idraulica su foro verticale;
- 1 martinetto piatto in parete;
- 1 prova "cross hole" con interpretazione tomografica.

#### ***Sezione "L2"***

Si premette che la sezione di prova "L2" è stata eseguita in una zona di ammasso al confine tra una zona fortemente influenzata da disturbi di natura tettonica ed una dove l'influenza del disturbo tettonico è risultata molto più limitata.

Nella sezione in questione sono stati eseguiti:

- 3 sondaggi geomeccanici dei quali uno verticale e due orizzontali all'altezza della parte inferiore del piedritto,
- 3 prove dilatometriche su foro verticale;
- 3 prove di fratturazione idraulica su foro verticale.

#### ***Prove all'interno della nicchia "LNI"***

Alla progr.0+130 circa, sul piedritto destro del cunicolo, è stata scavata una nicchia in direzione ortogonale all'asse della galleria principale, all'interno della quale sono state eseguite le seguenti prove:

- 2 prove di carico su piastra doppie (totale 4 prove);
- 3 martinetti piatti diversamente orientati;
- 3 prove di fratturazione idraulica.



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 Foglio 23 di 297

### **Sezione di prova “Cross Hole” alla progr. 0+500 circa**

Alla progressiva 0+500 circa sono state eseguite delle prove “cross hole” con interpretazione tomografica. In particolare sono stati eseguiti due fori paralleli distanti circa 4 m e profondi 20 m.

### **Sezione di prova a rifrazione sul fronte alla progr. 0+565 circa**

In prossimità della progressiva in questione è stata eseguita una prova a rifrazione sul fronte di scavo del cunicolo esplorativo.

Nella seguente tabella vengono riassunti i risultati di tutte le prove eseguite:

<b>CUNICOLO VAL LEMME</b>				
<i>Stazione</i>	<i>Progressiva</i>	<i>Tipo di prova</i>	<i>Risultati</i>	<i>Note</i>
LN1	240	Fratturazione idraulica	$K_0=2,5$	
		Martinetto piatto	1,5 MPa	Pressione di ripristino orizzontale
		Carico su piastra	$E=350-950$ MPa	Metodologia non idonea
L1	245	RQD	30-40%	Valore medio (da 0 a 100%)
		Fratturazione idraulica	$K_0=1,8$	
		Dilatometrica (distanza dal cavo 10m)	$E=850$ MPa	Valore medio (da 280 a 1700 MPa)
		Martinetto piatto	0,13 MPa	Pressione di ripristino verticale
		Cross-hole	$V_p=2500-2600$ m/s; $E_{din}=14$ GPa	Oltre 11 m dal cavo
$V_p=2000-2400$ m/s; $E_{din}=12$ GPa	Tra 11 e 3 m dal cavo			
$V_p<2000$ m/s; $E_{din}=8$ GPa	Entro 3 m dal cavo			
L2	427	RQD	0%	Stazione in zona tettonizzata
		Fratturazione idraulica	$K_0=2,5$	
		Dilatometrica	$E=590$ MPa	Valore medio (da 280 a 1690 MPa)
LCH2	500	Cross-hole	$V_p=2500-2600$ m/s; $E_{din}=16$ GPa	Oltre 15 m dal cavo
			$V_p=2000-2400$ m/s; $E_{din}=13$ GPa	Tra 15 e 4 m dal cavo
			$V_p<2000$ m/s; $E_{din}=8$ GPa	Entro 4 m dal cavo
	565	Rifrazione sul fronte	$V_p=2400-2800$ m/s	Oltre 1 m dal fronte
			$V_p=800-1000$ m/s	Tra il fronte e 1 m di profondità

### **3.2.3.3 Indagini in situ - Cunicolo di Castagnola**

#### **Sezione “C1”**

Nella sezione in questione sono stati eseguiti:

- 3 sondaggi geomeccanici dei quali uno verticale e due orizzontali all'altezza della parte inferiore del piedritto;

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 Foglio 24 di 297

- 3 prove dilatometriche su foro verticale;
- 3 prove di fratturazione idraulica su foro verticale;
- 1 martinetto piatto in parete.

***Prove all'interno della nicchia "CNI"***

Alla progr. 0+430 circa, sul piedritto sinistro del cunicolo, è stata scavata una nicchia in direzione ortogonale all'asse della galleria principale, all'interno della quale sono state eseguite le seguenti prove:

- 2 prove di carico su piastra doppie (totale 4 prove);
- 3 martinetti piatti diversamente orientati;
- 1 prova di rigonfiamento libero.

Nella seguente tabella vengono riassunti i risultati di tutte le prove eseguite:

<b>CUNICOLO CASTAGNOLA</b>				
<i>Stazione</i>	<i>Progressiva</i>	<i>Tipo di prova</i>	<i>Risultati</i>	<i>Note</i>
C1	427	RQD	50-60%	Valore medio (da 0 a 100%)
		Fratturazione idraulica	$K_0=2,1$	
		Dilatometrica (distanza dal cavo 10m)	$E=7900$ MPa	Valore medio (da 3100 a 20100 MPa)
		Martinetto piatto	0,34 MPa	Pressione di ripristino verticale
CNI	430	Martinetto piatto	0,33 MPa	Pressione di ripristino verticale
		Carico su piastra	$E=250-2000$ MPa	Metodologia non idonea
		Rigonfiamento libero	1,5 mm dopo 1 mese	

### 3.2.4 Monitoraggio effettuato in corso d'opera nei cunicoli esplorativi

Durante lo scavo dei cunicoli Vallemme e Castagnola sono state installate numerose stazioni sistematiche per il monitoraggio in corso d'opera del cavo, del fronte e dei rivestimenti di prima fase.

Tali stazioni consistono in:

- sezioni per il controllo delle convergenze del cavo (sezioni Gs), con frequenza di circa una ogni 20 m di avanzamento;
- sezioni per il monitoraggio dell'ammasso (sezioni Gc) accoppiate con sezioni per il



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 Foglio 25 di 297

- monitoraggio della struttura (sezioni Gms), con frequenza di una ogni 200 m;
- sezioni per il monitoraggio del fronte (sezioni Gf), con frequenza di una ogni 300 m.

In aggiunta a quanto inizialmente previsto nel progetto di monitoraggio sono state aggiunte ulteriori tipologie di sezioni quali:

- sezioni per il controllo delle convergenze sulle centine (sezioni Gs’);
- sezioni per il monitoraggio delle centine (sezioni Gms alleggerite).

Dalla data di sospensione lavori (febbraio 1998) fino ad oggi, nella gran parte delle succitate stazioni si sono proseguite, con cadenza grosso modo mensile, le letture di monitoraggio.

Il risultato di tale programma di monitoraggio è di seguito brevemente descritto.

### **Cunicolo Vallemme**

*Sezioni Gs di convergenza a 5 targets:* sono tuttora in corso di monitoraggio 17 stazioni di convergenza le cui letture fanno riferimento ad un nuovo “zero” eseguito in data 22/03/1999, quindi circa un anno dopo la sospensione dei lavori. Da tale data si osserva comunque un trend generale che indica una sostanziale stabilità delle sezioni monitorate. I valori fanno riferimento alla media delle 6 letture registrate per le corde più lunghe e, ad eccezione dei 13 mm raggiunti nella stazione Gs18 (progr. 0+379.80), tali valori si mantengono ben al di sotto del centimetro.

*Misura dell’estrusione del fronte:* risultano installati sul fronte di scavo 4 targets (A, C, C1 e E) le cui letture, iniziate in data 24/03/1999, indicano che dopo una prima fase di deformazione, dove si sono raggiunti i 2 cm circa di estrusione, indicativamente da marzo-aprile 2002 si assiste ad una generale stabilizzazione dei valori su tutti i targets presenti.

*Sezione Gc+Gms1:* la sezione strumentata è posta alla progr. 0+235 e consiste in estensimetri radiali e celle di pressione nell’ammasso ed in celle di carico al piede centina, strain gauge per centina, strain gauge per calcestruzzo, celle di pressione radiali e celle di pressione tangenziali sui rivestimenti di prima fase. Le misure effettuate indicano la completa stabilità raggiunta dalla strumentazione con valori massimi che per gli estensimetri risultano pari a 15 mm, per le celle di pressione nell’ammasso inferiori ad 1 MPa, per gli strain gauge sulla centina inferiori ai 2500 µε, per gli strain gauge per calcestruzzo attorno ai 3.1 MPa, per le celle di pressione tangenziali prossimi a zero ed infine per le celle di pressione radiali prossimi agli 0.4 MPa.

*Sezione Gc+Gms2:* la sezione strumentata è posta alla progr. 0+434 e consiste in estensimetri

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 Foglio 26 di 297

radiali e celle di pressione nell'ammasso ed in celle di carico al piede centina, strain gauge per centina, strain gauge per calcestruzzo, celle di pressione radiali e celle di pressione tangenziali sui rivestimenti di prima fase. Le misure effettuate indicano la sostanziale completa stabilità raggiunta dalla strumentazione con valori massimi che per gli estensimetri risultano pari a 25 mm circa, per le celle di pressione nell'ammasso attorno a 0.1 MPa, per gli strain gauge sulla centina attorno ai 4700  $\mu\epsilon$ , per le celle di pressione tangenziali pari a 0.9 MPa ed infine per le celle di pressione radiali i valori sono andati progressivamente diminuendo fino al completo scarico degli strumenti.

### **Cunicolo Castagnola**

*Sezioni Gs di convergenza a 5 targets:* sono tuttora in corso di monitoraggio 12 stazioni di convergenza le cui letture fanno riferimento ad un nuovo "zero" eseguito in data 22/03/1999, quindi circa un anno dopo la sospensione dei lavori. Da tale data si osserva comunque un trend generale che indica una completa stabilità delle sezioni monitorate. Le misure fanno riferimento alla media delle 6 letture registrate per le corde più lunghe e si mantengono su valori millimetrici ( $< 0.5$  cm).

*Misura dell'estrusione del fronte:* risultano installati sul fronte di scavo 4 targets (1, 2, 3 e 4) le cui letture, iniziate in data 17/03/1999, indicano che dopo una prima fase di deformazione, dove è stato raggiunto il centimetro circa di estrusione, indicativamente da febbraio 2002 si assiste ad una generale stabilizzazione dei valori su tutti i targets presenti.

*Sezione Gc+GmsI:* la sezione strumentata è posta alla progr. 0+445 e consiste in estensimetri radiali e celle di pressione nell'ammasso ed in celle di carico al piede centina, strain gauge per centina, strain gauge per calcestruzzo, celle di pressione radiali e celle di pressione tangenziali sui rivestimenti di prima fase. Le misure effettuate indicano la completa stabilità raggiunta dalla strumentazione con valori massimi che per gli estensimetri risultano pari a 19 mm, per le celle di pressione nell'ammasso inferiori ad 1 MPa, per gli strain gauge sulla centina attorno ai 2700  $\mu\epsilon$ , per gli strain gauge per calcestruzzo attorno ai 2300  $\mu\epsilon$ , mentre le celle di pressione tangenziali e le celle di pressione radiali indicano il completo scarico degli strumenti.

### **3.3 Caratterizzazione geotecnica-geomeccanica**

Sulla base dei dati raccolti, scaturiti dai rilievi strutturali, dalle colonne stratigrafiche ricavate dai sondaggi, nonché dai rilievi del fronte di scavo durante l'avanzamento dei cunicoli

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 Foglio 27 di 297

esplorativi, è stato possibile effettuare una suddivisione dell'ammasso roccioso in 3 gruppi geomeccanici (gruppi 1, 2 e 3).

L'omogeneità e l'assimilabilità nell'ambito di ciascun gruppo sono state definite in base a criteri **litologici** (composizione mineralogica e petrografia, percentuale di palombino relativamente alla matrice argillitica, grado di alterazione, eventuale presenza di acqua), **strutturali** (caratteristiche delle strutture e grado di separazione, indice RQD, intensità della foliazione, intensità della tettonizzazione come ad esempio la presenza di struttura a pieghe fino alla microscala) e **litomeccanici** (con riferimento ad una prima valutazione delle proprietà fisiche, di resistenza e di deformabilità).

Nel seguito si fornisce una prima sommaria descrizione dei gruppi geomeccanici così individuati (validi sino alle coperture ad oggi indagate):

### **Gruppo 1**

L'ammasso presenta discrete proprietà geomeccaniche. L'RQD è mediamente maggiore del 50-60%; si individua chiaramente la foliazione regolarmente spaziata anche se la struttura non è intensamente piegata fino alla microscala. Le superfici dei giunti sono prive di alterazione e la circolazione idrica è scarsa o assente. La presenza dei palombini può superare il 50% fino a condizionare completamente il comportamento generale dell'ammasso; gli strati calcarei sono però poco fratturati e poco alterati. Mediamente nel corso dello scavo dei cunicoli Vallemme e Castagnola tale gruppo è stato incontrato con una percentuale pari al 28%.

### **Gruppo 2**

L'ammasso mostra scadenti proprietà geomeccaniche. L'RQD è variabile mediamente tra il 20 e il 50%; si individua ancora chiaramente la foliazione regolarmente e fittamente spaziata ma con struttura più intensamente piegata, fino alla microscala. Le superfici dei giunti sono da poco alterate ad alterate e la circolazione idrica è scarsa. I palombini, quando presenti (non oltre il 50%), risultano da fratturati a molto fratturati e localmente alterati. Mediamente nel corso dello scavo dei cunicoli Vallemme e Castagnola tale gruppo è stato incontrato con una percentuale pari al 55%.

### **Gruppo 3**

L'ammasso che ricade in questo gruppo appartiene a zone particolarmente tettonizzate o

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 Foglio 28 di 297

alterate e mostra proprietà geomeccaniche molto scadenti. L'RQD è inferiore mediamente al 20%; la foliazione è talmente intensa ed irregolarmente e fittamente spaziata che può non essere più riconoscibile (ammasso destrutturato con perdita di coesione); la struttura, quando riconoscibile, è intensamente piegata fino alla microscala. Le superfici dei giunti sono da alterate a molto alterate e la circolazione idrica può essere significativa. I palombini, quando presenti (non oltre il 30%), risultano intensamente fratturati ed alterati. Mediamente nel corso dello scavo dei cunicoli Vallemme e Castagnola tale gruppo è stato incontrato con una percentuale pari al 17%.

Il gruppo 3 può pertanto descrivere il comportamento dell'ammasso roccioso nelle zone a bassa copertura o in prossimità di importanti strutture geologiche (faglie, nuclei di pieghe, sovrascorrimenti, ecc.); al contrario il gruppo 1 rispecchia quelle situazioni dove l'estrema compattezza dell'argillite e/o la presenza di abbondanti livelli calcarei (Palombini) guidano e condizionano il comportamento globale d'ammasso

### 3.3.1 Sintesi sui parametri ottenuti dalle prove in situ

Dall'analisi dei risultati delle prove in situ eseguite all'interno dei cunicoli e nei fori di sondaggio della campagna 2001-2002 risultano le seguenti considerazioni in merito ad alcuni parametri di ammasso tra i più importanti (vedi tabella e diagrammi di distribuzione statistica in allegato):

#### *Stato tensionale in situ*

Le prove di fratturazione idraulica eseguite all'interno dei cunicoli e nei fori di sondaggio della campagna 2001-2002 hanno evidenziato valori di  $K_0$  variabili da 1.8 a 2.5; tale parametro dovrà essere necessariamente verificato in corso d'opera ai fini di una progettazione mirata. In questa fase il valore di riferimento verrà assunto pari ad 1 (le prove di fratturazione idraulica previste dalla campagna d'indagine integrativa hanno evidenziato valori di  $K_0$  prossimi all'unità, generalmente inferiori ad essa).

#### *Caratteristiche di deformabilità*

Risultano valori molto diversificati tra i tre gruppi geomeccanici: il gruppo 1 presenta un modulo di deformazione variabile tra 11 e 14 GPa, il gruppo 2 tra 3,1 e 4 GPa ed infine il gruppo 3 mostra valori più bassi, tra 0,8 e 1,4 GPa.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 Foglio 29 di 297

### 3.3.2 Sintesi sui parametri ottenuti dalle prove di laboratorio

I campioni prelevati dai sondaggi o nel corso dello scavo dei cunicoli sono stati sottoposti ad una serie di prove di classificazione mineralogica e petrografica, di resistenza meccanica e di alterabilità (vedi tabella e diagrammi di distribuzione statistica in allegato):

#### *Analisi mineralogica*

L'analisi mineralogica è stata compiuta su campioni prelevati da entrambi i cunicoli. Vallemme: macrocampioni da nicchia LN1 e durante lo scavo alle progressive 315, 371 e 433. Castagnola: macrocampione da nicchia CN1 e campioni estratti durante il carotaggio dei fori della sezione C1. L'analisi è stata condotta adottando le tecniche di seguito descritte.

Analisi mineralogico petrografica con microscopio ottico a luce polarizzata: osservazione al microscopio di sezioni sottili del materiale lapideo da analizzare con valutazione degli aspetti composizionali, strutturali e tessiturali.

Analisi spettrofotometrica ai raggi infrarossi per Trasformata di Fourier (FTIR): questa tecnica di indagine si basa sulla determinazione dell'attenuazione d'intensità subita da un fascio monocromatico di raggi infrarossi per effetto dell'assorbimento di energia da parte della sostanza in esame opportunamente preparata. Tale indagine consente la determinazione delle specie mineralogiche presenti nella sostanza campione ed una stima semiquantitativa della loro incidenza relativa.

Analisi diffrattometrica ai raggi X (XRD): questa tecnica di indagine permette di determinare la composizione mineralogica della sostanza campione e di effettuare una stima dell'incidenza relativa dei singoli componenti; è una tecnica particolarmente indicata per il riconoscimento dei fillosilicati (minerali argillosi e miche) difficilmente riconoscibili con le altre tecniche di indagine.

#### *Contenuto naturale d'acqua*

La formazione presenta generalmente un basso contenuto naturale d'acqua; tale indice mostra infatti valori inferiori all'1.00 %: tra 0.16 e 0.32 % per il gruppo 1, tra 0.52 e 0.72 % per il gruppo 2 e tra 0.70 e 1.00 % per il terzo gruppo (fig. 2A).

#### *Peso di volume apparente*

Il campo di variazione medio riscontrato si colloca tra 26 e 27 kN/m<sup>3</sup>. Per il gruppo 1 e 2 possiamo assumere un valore di riferimento pari a 26.6 kN/m<sup>3</sup>, mentre per il gruppo 3 un

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 <table border="1" data-bbox="1396 197 1492 282" style="float: right;"> <tr> <td>Foglio</td> <td>30 di</td> </tr> <tr> <td></td> <td>297</td> </tr> </table>	Foglio	30 di		297
Foglio	30 di				
	297				

valore leggermente inferiore pari a 26.0 kN/m<sup>3</sup> (fig. 2B).

#### *Indice di resistenza Point Load*

I valori dell'indice di resistenza Point Load (Is 50) mostrano un campo di variazione tra 0,5 e 2,0 MPa seppure con valori piuttosto dispersi e legati all'orientazione delle discontinuità preesistenti nel provino. Mediamente, per il gruppo 1 possiamo attribuire un valore tra 1,0 e 2,0 MPa mentre per i gruppi 2 e 3 tra 0,5 e 0,8 MPa (fig. 3A).

#### *Velocità delle onde P*

Anche i valori delle velocità delle onde P si presentano piuttosto dispersi; per il gruppo 1 abbiamo un range tra 3700 e 4300 m/s, per il gruppo 2 tra 2800 e 3200 m/s mentre per il gruppo 3 tra 1750 e 2250 m/s (fig. 3B).

#### *Resistenza a compressione monoassiale*

Nella figura in allegato sono riportati i valori di compressione monoassiale valutati sui campioni prelevati nei cunicoli esplorativi riportati in funzione dell'inclinazione delle superfici di laminazione registrate quando per le stesse era possibile la stima con una certa attendibilità. Si nota, oltre alla notevole dispersione dei risultati, la presenza di un minimo di resistenza in corrispondenza di inclinazioni prossime a quella minima del materiale "intatto". Tale resistenza aumenta nelle zone in cui l'inclinazione della superficie di laminazione tende ad essere orizzontale.

Dall'esame di questa figura e dalla distribuzione statistica dei numerosi dati disponibili si desumono i seguenti valori: tra 16.0 e 35.0 MPa per il gruppo 1, tra 5.8 e 8.2 MPa per il gruppo 2 e tra 1.0 e 2.0 MPa per il gruppo 3. Per quanto riguarda la resistenza della componente calcarea della formazione si evince che essa può variare da 20 ad oltre 50 MPa.

La correlazione lineare tra la resistenza a compressione monoassiale e l'indice Point Load (vedi figura in allegato) mostra una notevole dispersione dei dati che conferma, ancora una volta, l'estrema dipendenza dei valori di resistenza dall'anisotropia del materiale provato (fig. 4A).

#### *Resistenza a trazione*

Anche la prova di resistenza a trazione indiretta (tipo Brasiliana) può essere influenzata in maniera marcata dall'anisotropia del materiale; i diagrammi di distribuzione statistica indicano infatti una notevole dispersione dei dati. Possiamo comunque attribuire per il gruppo 1 valori compresi tra 3.2 e 4.6 MPa, per il gruppo 2 tra 1.4 e 2.8 MPa e per il gruppo 3 tra 2.5 e 3.0 MPa. In accordo con diversi autori, i valori della prova "Brasiliana" di trazione indiretta

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 Foglio 31 di 297

sono stati interpretati come valori di trazione diretta, considerando cioè lo sforzo principale nullo (fig. 4B).

#### *Caratteristiche di deformabilità*

Le caratteristiche di deformabilità dei campioni provati si rivelano funzione della componente deviatorica a rottura. Il modulo di deformabilità tangente, determinato al 50% della resistenza a compressione, si attesta su valori che per il gruppo 1 risultano molto elevati (tra 22 e 28 GPa) in relazione anche alla forte presenza della componente calcarea; per il gruppo 2 i valori risultano notevolmente più contenuti, tra 4 e 6 GPa così come per il gruppo 3, tra 2 e 3 GPa.

Questi valori, determinati in laboratorio, denotano chiaramente, rispetto a quelli ottenuti in situ mediante le prove dilatometriche e sismiche (cross-hole), valori marcatamente più elevati (quasi del doppio). Si può pertanto ritenere che quelli ottenuti in laboratorio siano riferibili alla roccia “integra”, mentre quelli ricavati dalle prove in situ possano avvicinarsi più concretamente al comportamento dell’ammasso roccioso nel suo complesso.

Per quanto riguarda il coefficiente di Poisson, le prove hanno messo in evidenza valori di coefficiente “tangente”,  $\nu_t$ , variabili da un minimo di 0.12 ad un massimo di 0.48 con la maggioranza dei valori che si attestano intorno a 0.25-0.3. Il valore del coefficiente “secante”,  $\nu_s$ , risulta invece variabile da un minimo di 0.05 ad un massimo di 0.31 con la maggioranza dei valori che si attestano intorno a 0.18-0.25 (fig. 5A-5B).

#### *Resistenza al taglio sulle laminazioni*

Le prove di taglio su giunto, normalmente impostato sulla foliazione dell’argillite, hanno fornito i risultati mostrati nelle figure allegate. Dall’esame dei risultati si nota come la retta interpolatrice dei valori di picco indichi un angolo di attrito di circa  $26^\circ$  con una coesione pari a 0,26 MPa; la retta interpolatrice dei valori residui indica invece valori di angolo di attrito pari a  $24^\circ$  con una coesione di 0,15 MPa (fig. 6A-6B-6C-6D).



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 Foglio 32 di 297

Nella tabella seguente si presenta un riepilogo dei risultati sopra descritti:

<i>Parametro</i>	<i>U.M.</i>	<i>Gruppo 1</i>	<i>Gruppo 2</i>	<i>Gruppo 3</i>	<i>Note</i>
RQD	(%)	39 - 96	39 - 96	0 - 82	Prove in situ
K <sub>0</sub>	-	2,1	2,5	1,8 - 2,5	
Modulo di deformazione	(MPa)	11000 - 14000	3100 - 4000	800 - 1400	
Contenuto d'acqua	(%)	0,16 - 0,32	0,52 - 0,72	0,7 - 1,0	Prove di laboratorio
Peso di volume apparente	(kN/m <sup>3</sup> )	26,4 - 26,8	26,4 - 26,9	25,7 - 26,3	
Indice di resistenza Point Load	(MPa)	1,0 - 2,0	0,5 - 0,8	0,5 - 0,8	
V <sub>p</sub>	(m/s)	3700 - 4300	2800 - 3200	1750 - 2250	
Resistenza a compressione monoassiale	(MPa)	16,0 - 35,0	5,8 - 8,2	1,0 - 2,0	
Modulo di deformazione	(MPa)	22000 - 28000	4000 - 6000	2000 - 3000	
Resistenza a trazione	(MPa)	3,2 - 4,6	1,4 - 2,8	2,5 - 3,0	

### 3.3.3 Classificazione della matrice rocciosa secondo Deere e Miller

Per la classificazione della roccia intatta si è utilizzata la formulazione di Deere e Miller che hanno definito un sistema di classificazione basato sulla determinazione della resistenza a compressione monoassiale  $\sigma_c$  e del modulo di elasticità tangente  $E_t$ , determinato sulla curva sforzi-deformazioni per un valore della tensione longitudinale applicata uguale a  $\frac{1}{2}\sigma_c$ . La roccia viene quindi classificata in base al valore di  $\sigma_c$  nelle cinque classi riportate in appendice.

Definito poi il rapporto  $E_t / \sigma_c$ , chiamato rapporto dei moduli, si distinguono ulteriori tre classi che, insieme a quelle precedentemente definite, concorrono alla descrizione della roccia.

La classificazione di Deere e Miller viene solitamente espressa su diagramma a scala bilogarithmica; su tale grafico rocce simili dal punto di vista litologico tendono a disporsi lungo le diagonali del diagramma.

Come è possibile osservare dai grafici riportati in appendice (fig. 7-8-9-10-11) l'estrema dispersione dei valori sia nel grafico dei dati totali che in quelli relativi ai singoli gruppi geomeccanici porta alla individuazione non di un unico indice ma di uno spettro di variabilità piuttosto ampio, anche se coerente con la suddivisione proposta.

### 3.3.4 Metodologia per la definizione dei parametri geomeccanici d'ammasso

Per la caratterizzazione geomeccanica della formazione delle Argilliti a Palombini si è tenuto conto sia delle caratteristiche di resistenza d'ammasso che dei parametri di



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 <table border="1" data-bbox="1380 197 1495 280"> <tr> <td>Foglio 33 di 297</td> </tr> </table>	Foglio 33 di 297
Foglio 33 di 297		

deformabilità; più in particolare le caratteristiche di resistenza d'ammasso sono state ricavate attraverso una procedura che ha comportato i seguenti passaggi interpretativi:

- a) determinazione per via sperimentale delle curve di resistenza intrinseca dei materiali rocciosi, attraverso l'interpretazione delle prove geomeccaniche di laboratorio;
- b) determinazione delle caratteristiche strutturali dell'ammasso roccioso attraverso il calcolo dell'indice GSI (Geological Strength Index);
- c) declassamento delle caratteristiche di matrice attraverso l'indice GSI e determinazione dei parametri d'ammasso.

Per la definizione dei parametri di deformabilità si è operato secondo la procedura seguente:

- a) determinazione per via sperimentale delle caratteristiche di deformabilità di provini di laboratorio;
- b) determinazione per via sperimentale delle caratteristiche di deformabilità d'ammasso attraverso prove in sito e stima del volume roccioso interessato;
- c) calcolo delle costanti che esprimono quantitativamente l'effetto e valutazione dei parametri di deformabilità per un volume roccioso ritenuto adeguato al problema in esame.

### 3.3.5 Determinazione dei parametri di resistenza

#### 3.3.5.1 Caratteristiche della matrice

Per l'interpretazione delle prove geomeccaniche di laboratorio si è fatto riferimento al criterio non lineare di Hoek e Brown. La legge di resistenza di Hoek e Brown è curvilinea ed è caratterizzata da elevati valori di angolo di attrito istantaneo ai bassi livelli di confinamento, in accordo con le osservazioni sperimentali sui materiali rocciosi e sul comportamento degli scavi in roccia. La resistenza di picco del materiale roccioso viene definita dall'equazione:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + (m_i \sigma_{ci} \sigma_3 + \sigma_{ci}^2)^{0.5} \quad [1]$$

dove  $\sigma_1$  e  $\sigma_3$  sono rispettivamente le tensioni principali massima e minima.

Il parametro  $\sigma_{ci}$  rappresenta la resistenza a compressione monoassiale del materiale roccioso intatto, mentre il parametro  $m_i$  è un parametro di resistenza del materiale intatto; entrambi i

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 <span style="float: right;">Foglio 34 di 297</span>

parametri sono direttamente determinabili attraverso l'interpretazione di prove di laboratorio.

Disponendo infatti dei risultati di  $n$  prove meccaniche di laboratorio, ovvero di  $n$  coppie di valori  $\sigma_1$  e  $\sigma_3$ , si può scrivere un equivalente numero di equazioni [1] e ricavare, attraverso un'analisi di regressione, le due incognite  $m_i$  e  $\sigma_{ci}$ .

Di seguito si riportano i valori di  $m_i$  e  $\sigma_{ci}$  ricavati per la formazione delle Argilliti a Palombini e distinti per i tre gruppi geomeccanici individuati. L'elaborazione ha tenuto conto sia dei soli dati ricavati dalle indagini relative ai due cunicoli esplorativi che dell'insieme dei dati comprendenti anche le prove di laboratorio sui campioni estratti nella campagna 2001-2002 (come già ricordato, in quest'ultimo caso sono però presenti solo dati di prove uniassiali e "Brasiliane").

<i>Parametro</i>	<i>U.M.</i>	<i>Gruppo 1</i>	<i>Gruppo 2</i>	<i>Gruppo 3</i>	<i>Note</i>
$m_i$	-	19,041	15,613	2,282	Parametri di ammasso secondo Hoek e Brown da prove triassiali, monoassiali e di trazione indiretta; solo cunicoli
$\sigma_{ci}$	(MPa)	37,978	12,731	6,680	
$m_i$	-	16,764	23,469	1,695	Parametri di ammasso secondo Hoek e Brown da prove triassiali, monoassiali e di trazione indiretta; cunicoli+sondaggi
$\sigma_{ci}$	(MPa)	32,306	9,012	5,120	

### 3.3.5.2 Calcolo del GSI (Geological Strength Index)

La classificazione della roccia può essere fatta considerando l'ammasso roccioso nella sua globalità, senza distinzione di matrice e discontinuità, usando il metodo degli indici di qualità (Classificazioni Geomeccaniche). Il principio dell'indice di qualità della roccia è quello di dare un valore numerico ai diversi parametri che controllano il comportamento dell'ammasso, in modo da tenere in conto sia il tipo di roccia (matrice) che il suo stato di fratturazione (discontinuità) e di alterazione (stato della roccia madre).

Dei diversi metodi di classificazione presenti in letteratura, per il presente lavoro è stato scelto il concetto di GSI (Geological Strength Index) proposto negli ultimi anni da Hoek e che sostituisce quello di Basic RMR (Rock Mass Rating) elaborato da Bieniawski e precedentemente in uso.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 <table border="1" style="float: right; margin-left: auto;"> <tr> <td>Foglio</td> <td>35 di</td> </tr> <tr> <td></td> <td>297</td> </tr> </table>	Foglio	35 di		297
Foglio	35 di				
	297				

Il parametro GSI quantifica lo stato strutturale di un ammasso roccioso e viene stimato utilizzando direttamente i ratings della classificazione di Bieniawski o, alternativamente, i parametri del Q-system di Barton. Esistono inoltre anche dei metodi speditivi proposti da Hoek per la stima del GSI mediante degli abachi e tenendo conto della natura litologica, strutturale e tessiturale dell'ammasso roccioso in esame.

Le formule impiegate per ricavare il GSI scalando i valori di RMR o Q sono le seguenti:

$$GSI = RMR_{89} - 5 \quad [2]$$

$$GSI = 9 \text{Log}_e Q + 44 \quad [3]$$

Nel caso in esame, sulla base dei dati disponibili direttamente dai logs stratigrafici ottenuti nel corso della campagna geognostica 2001-2002 e dei dati scaturiti durante lo scavo dei due cunicoli esplorativi Vallemme e Castagnola, si è potuto assegnare i seguenti valori di GSI per i tre gruppi:

$$44 \div 54 \text{ (GRUPPO 1)}$$

$$34 \div 44 \text{ (GRUPPO 2)}$$

$$28 \div 34 \text{ (GRUPPO 3)}$$

### 3.3.5.3 Caratteristiche d'ammasso

Anche in questo caso si è fatto riferimento al criterio non lineare di Hoek e Brown. La resistenza di picco dell'ammasso roccioso viene definita dall'equazione generale:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} [m_b (\sigma_3 / \sigma_{ci}) + s]^a \quad [4]$$

dove  $\sigma_1$  e  $\sigma_3$  assumono lo stesso significato precedentemente definito,  $m_b$  è un parametro di resistenza ricavabile dalla seguente equazione:

$$m_b = m_i e^{[(GSI - 100) / (28 - 14D)]} \quad [5]$$

e  $s$  e  $a$  sono due costanti di ammasso ricavabili dalle due relazioni:

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 <span style="float: right;">Foglio 36 di 297</span>

$$s = e^{[(GSI - 100) / (9 - 3D)]} \quad [6]$$

$$a = 1/2 + 1/6(e^{-GSI/15} - e^{-20/3}) \quad [7]$$

“D” è un fattore di disturbo che in questa sede è stato considerato pari a zero. Il parametro  $\sigma_{ci}$  rappresenta ancora la resistenza a compressione monoassiale del materiale roccioso intatto e il parametro  $m_i$  descrive la curva di resistenza del materiale intatto, secondo quanto indicato precedentemente.

Di seguito si riportano i valori di  $m_b$  e  $s$  ed  $a$  ricavati per la formazione delle Argilliti a Palombini e distinti per i tre gruppi geomeccanici individuati. L’elaborazione ha tenuto conto sia dei soli dati ricavati dalle indagini relative ai due cunicoli esplorativi che dell’insieme dei dati comprendenti anche le prove di laboratorio sui campioni estratti nella campagna 2001-2002.

<i>Parametro</i>	<i>U.M.</i>	<i>Gruppo 1</i>	<i>Gruppo 2</i>	<i>Gruppo 3</i>	<i>Note</i>
mb	-	2,577 - 3,683	1,478 - 2,113	0,174 - 0,216	Parametri di ammasso secondo Hoek e Brown da prove triassiali, monoassiali e di trazione indiretta; solo cunicoli
s	-	0,002 - 0,006	0,0007 - 0,002	0,0003 - 0,0007	
a	-	0,504 - 0,509	0,509 - 0,517	0,517 - 0,526	
mb	-	2,269 - 3,243	2,222 - 3,176	0,130 - 0,161	Parametri di ammasso secondo Hoek e Brown da prove triassiali, monoassiali e di trazione indiretta; cunicoli+sondaggi
s	-	0,002 - 0,006	0,0007 - 0,002	0,0003 - 0,0007	
a	-	0,504 - 0,509	0,509 - 0,517	0,517 - 0,526	

Sempre seguendo il criterio di Hoek e Brown si riportano nel seguito le stime effettuate per la determinazione dei seguenti parametri di ammasso: Resistenza a compressione monoassiale d’ammasso; Resistenza a trazione d’ammasso; Resistenza globale d’ammasso; Modulo di deformazione d’ammasso.

**Resistenza a compressione monoassiale d’ammasso  $\sigma_c$**

Ponendo  $\sigma_3 = 0$  nella [4] si ottiene:

$$\sigma_c = \sigma_{ci} s^a \quad [8]$$

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 <table border="1" data-bbox="1380 197 1495 280"> <tr> <td>Foglio 37 di 297</td> </tr> </table>	Foglio 37 di 297
Foglio 37 di 297		

### **Resistenza a trazione d'ammasso $\sigma_t$**

La resistenza a trazione d'ammasso è ottenuta ponendo  $\sigma_1 = \sigma_3 = \sigma_t$  nella [4]:

$$\sigma_t = - (s\sigma_{ci}) / m_b \quad [9]$$

### **Resistenza globale d'ammasso $\sigma_{cm}$**

E' un parametro che descrive in senso generale la resistenza di ammasso; può essere stimato partendo dalla relazione che lo lega ai parametri di Mohr-Coulomb:

$$\sigma_{cm} = (2c \cos\phi) / (1 - \sin\phi) \quad [10]$$

dove, se  $\sigma_t < \sigma_3 < \sigma_{ci}/4$  allora possiamo scrivere:

$$\sigma_{cm} = [\sigma_{ci} (m_b + 4s - am_b + 8as)(m_b/4 + s)^{a-1}] / 2(1 + a)(2 + a) \quad [11]$$

### **Modulo di deformazione d'ammasso $E_m$**

Per la determinazione del modulo E si dovrebbe far ricorso ad un metodo che consideri l'effetto scala. Generalmente infatti il modulo di deformabilità di un ammasso roccioso è sensibilmente inferiore a quello misurabile con prove meccaniche alla scala del campione di laboratorio (vedi paragrafo relativo alle prove di laboratorio); anche le prove dilatometriche, a causa del ridotto volume di roccia interessato dalla prova, tendono spesso a fornire valori di modulo maggiori di quelli rappresentativi dell'ammasso alla scala delle opere in progetto. Si è pertanto seguito anche in questo caso l'elaborazione di Hoek che per il modulo di deformazione da la seguente relazione, valida per  $\sigma_{ci} \leq 100$  MPa:

$$E_m \text{ (GPa)} = (1 - D/2) (\sigma_{ci} / 100)^{0.5} 10^{(GSI - 10) / 40} \quad [12]$$

Di seguito si riportano i valori della resistenza a compressione monoassiale d'ammasso, della resistenza a trazione d'ammasso, della resistenza globale d'ammasso e del modulo di deformazione d'ammasso ricavati per la formazione delle Argilliti a Palombini e distinti per i tre gruppi geomeccanici individuati. L'elaborazione ha tenuto conto sia dei soli dati ricavati dalle indagini relative ai due cunicoli esplorativi che dell'insieme dei dati comprendenti anche le prove di laboratorio sui campioni estratti nella campagna 2001-2002.

<b>Parametro</b>	<b>U.M.</b>	<b>Gruppo 1</b>	<b>Gruppo 2</b>	<b>Gruppo 3</b>	<b>Note</b>
Res. compressione monoassiale d'ammasso	(MPa)	1,603 - 2,884	0,287 - 0,537	0,1 - 0,151	Parametri di ammasso secondo Hoek e Brown da prove triassiali, monoassiali e di
Res. trazione d'ammasso	(MPa)	0,029 - 0,062	0,006 - 0,012	0,013 - 0,020	
Res. globale d'ammasso	(MPa)	7,972 - 9,808	1,937 - 2,422	0,326 - 0,390	

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 <span style="float: right;">Foglio 38 di 297</span>

Modulo di deformazione d'ammasso	(MPa)	4363 - 7758	1420 - 2526	728 - 1029	Parametri di ammasso secondo Hoek e Brown da prove triassiali, monoassiali e di trazione indiretta; cunicoli+sondaggi
Res. compressione monoassiale d'ammasso	(MPa)	1,364 - 2,453	0,203 - 0,380	0,076 - 0,115	
Res. trazione d'ammasso	(MPa)	0,028 - 0,060	0,003 - 0,006	0,013 - 0,021	
Res. globale d'ammasso	(MPa)	6,366 - 7,848	1,689 - 2,100	0,216 - 0,260	
Modulo di deformazione d'ammasso	(MPa)	4024 - 7156	1195 - 2125	638 - 901	

### 3.4 Considerazioni sul fenomeno di squeezing

Oggetto del presente paragrafo è una prima valutazione del comportamento della formazione delle Argilliti a Palombini nei confronti del fenomeno di *squeezing* che si potrebbe manifestare nello scavo delle gallerie per la nuova linea AC Genova-Milano, sotto le alte coperture previste.

Il fenomeno di *squeezing* è definito come una “ intensa deformazione, dipendente dal tempo, che si manifesta all’intorno di una cavità sotterranea ed è principalmente connessa con l’instaurarsi di un fenomeno di creep per valori di tensioni che superano la resistenza a taglio del mezzo. La deformazione può terminare durante la fase di costruzione o continuare anche per molto tempo dopo”, *International Society for Rock Mechanics (ISRM), Barla (1995)*.

Da tale definizione risulta evidente che il fenomeno in questione implica una lenta deformazione di tipo plastico e/o viscoso a carico di una fascia più o meno ampia di ammasso roccioso a diretto contatto con il tunnel o la cavità sotterranee in generale.

Il fenomeno risulta pertanto ben distinto dallo *swelling*, che implica invece un rigonfiamento innescato dall’aumento dell’umidità ed assorbimento di acqua e che in questa sede non è trattato.

Per valutare e prevedere il comportamento di un ammasso roccioso nei confronti del fenomeno di *squeezing* si applicano generalmente metodiche di tipo empirico, basate sull’esperienze passate in contesti simili. Le varie metodologie messe a punto si fondano essenzialmente su due tipologie di criteri distinti: una basata sulle classificazioni geomeccaniche e l’altra sulla stima della resistenza a compressione dell’ammasso roccioso.

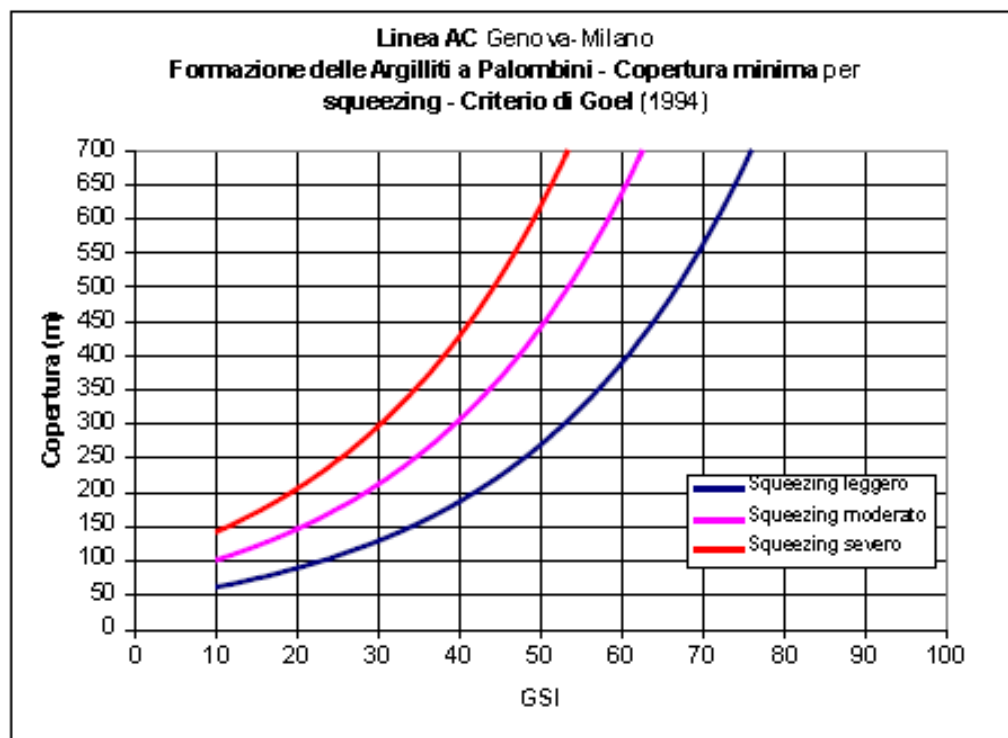
#### *Criterio di GOEL (1994)*

L’autore propone un criterio per la determinazione dello *squeezing* basato sulla stima

dell'indice Q di Barton relativo all'ammasso roccioso sulla base di una casistica di circa un centinaio di opere in sotterraneo scavate in Scandinavia, Regno Unito e India. Goel definisce tre gradi di *squeezing* che chiama leggero, moderato e severo. La determinazione empirica di questi gradi richiede solo la conoscenza della copertura H, delle dimensioni del tunnel B e dell'indice Q secondo gli intervalli espressi nella seguente tabella:

Squeezing Assente	$H < 275 * Q^{0,33} * B^{-0,1}$
Squeezing Leggero	$275 * Q^{0,33} * B^{-0,1} < H < 450 * Q^{0,33} * B^{-0,1}$
Squeezing Moderato	$450 * Q^{0,33} * B^{-0,1} < H < 630 * Q^{0,33} * B^{-0,1}$
Squeezing Severo	$630 * Q^{0,33} * B^{-0,1} < H$

Nel nostro caso si è trasformato l'indice Q, attraverso l'indice RMR, secondo la nota relazione di Bieniawski, nel GSI e si sono quindi rappresentate le curve di *squeezing* in funzione della copertura della galleria, assumendo un diametro di scavo di circa 11 m, ottenendo il grafico seguente:



Tenendo presente che il GSI medio per la formazione delle Argilliti a Palombini

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00	Foglio 40 di 297

risulta variabile da 31 per il gruppo 3 a 39 per il gruppo 2 fino a 49 per il gruppo 1 si ottengono i seguenti intervalli di copertura relativi ai tre gradi di *squeezing* precedentemente definiti:

<b>Grado di squeezing</b>	<b>Gruppo 1</b>	<b>Gruppo 2</b>	<b>Gruppo 3</b>
Squeezing Assente	Fino 260 m	Fino a 180 m	Fino a 134 m
Squeezing Leggero	Da 260 a 425 m	Da 180 a 295 m	Da 134 a 220 m
Squeezing Moderato	Da 425 a 595 m	Da 295 a 413 m	Da 220 a 308 m
Squeezing Severo	Oltre 595 m	Oltre 413 m	Oltre 308 m

Dall'esame del grafico e della tabella risultante possiamo già tentare di formulare alcune considerazioni generali: appare infatti evidente che solo in presenza di un ammasso roccioso riferibile al gruppo geomeccanico 1 si ha l'insorgenza di fenomeni di *squeezing* che rimangono moderati fin quasi alle massime coperture previste (630 m). In tutti gli altri casi l'ammasso, a coperture medio-alte, mostrerà invece fenomeni di *squeezing* severo. Tali dati



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 <span style="float: right;">Foglio 41 di 297</span>

verranno confermati o meno dalle prove previste dalla campagna d'indagine integrativa; la conferma del fenomeno potrà portare all'utilizzo di sovrassessori nei rivestimenti definitivi.

Occorre però sottolineare fin da subito che i dati fin adesso acquisiti non permettono di estrapolare con sicurezza oltre i 200 m di copertura (limite massimo raggiunto dalle indagini geognostiche) i valori di GSI ottenuti. Dovremo pertanto considerare gli intervalli di copertura sopra riportati come indicativi.

I dati disponibili non permettono inoltre di determinare l'ampiezza della fascia plasticizzata al contorno della galleria né di poter tentare una stima, seppur grossolana, dei tempi in cui tale fenomeno si potrà evolvere.

#### *Criterio di BARLA (1995)*

L'autore propone una stima del fenomeno sulla base del calcolo del rapporto:

$$\sigma_{c\text{ amm}} / \gamma * z$$

dove  $\sigma_{c\text{ amm}}$  è la resistenza a compressione dell'ammasso roccioso,  $\gamma$  il peso specifico della roccia soprastante e  $z$  è la copertura sopra la galleria.

Anche in questo caso vengono definiti tre gradi di *squeezing* in funzione del valore assunto dal precedente rapporto secondo quanto espresso nella tabella seguente:

Grado di squeezing	Rapporto $\sigma_{c\text{ amm}} / \gamma * z$
Assente	>1,0
Leggero	0,4 – 1,0
Moderato	0,2 – 0,4
Alto	< 0,2

Per calcolare la resistenza a compressione dell'ammasso roccioso si possono impiegare le varie formulazioni empiriche di letteratura; nel presente studio si è fatto riferimento alla formulazione di Hoek (2000) secondo quanto espresso nel seguito.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 Foglio 42 di 297

*Criterio di HOEK & MARINOS (2000)*

E' uno dei criteri più recenti elaborati per la determinazione del fenomeno di *squeezing*. Gli autori stimano il grado di *squeezing* sulla base del rapporto già proposto da Barla (1995):

$$\sigma_{c\text{ amm}} / p_0$$

dove  $\sigma_{c\text{ amm}}$  è ancora la resistenza a compressione dell'ammasso roccioso e  $p_0$  è, in senso più generale, il valore della tensione in situ.

Gli autori propongono di stimare i due parametri in accordo alle seguenti espressioni:

$$\sigma_{c\text{ amm}} = (0,0034m_i^{0,8})\sigma_c[1,029+0,025e^{(-0,1m_i)}]^{GSI}$$

$$p_0 = \gamma z$$

dove  $\sigma_c$  è la resistenza a compressione semplice della matrice rocciosa;  $m_i$  è la costante del Criterio di rottura di Hoek & Brown; GSI è il Geological Strength Index dell'ammasso roccioso;  $\gamma$  è il peso specifico della roccia e  $z$  è la copertura della galleria.

Il criterio si differenzia da quello di Barla perché propone una stima della convergenza attesa  $\epsilon$ (%) all'interno della galleria come percentuale del diametro massimo secondo la seguente espressione:

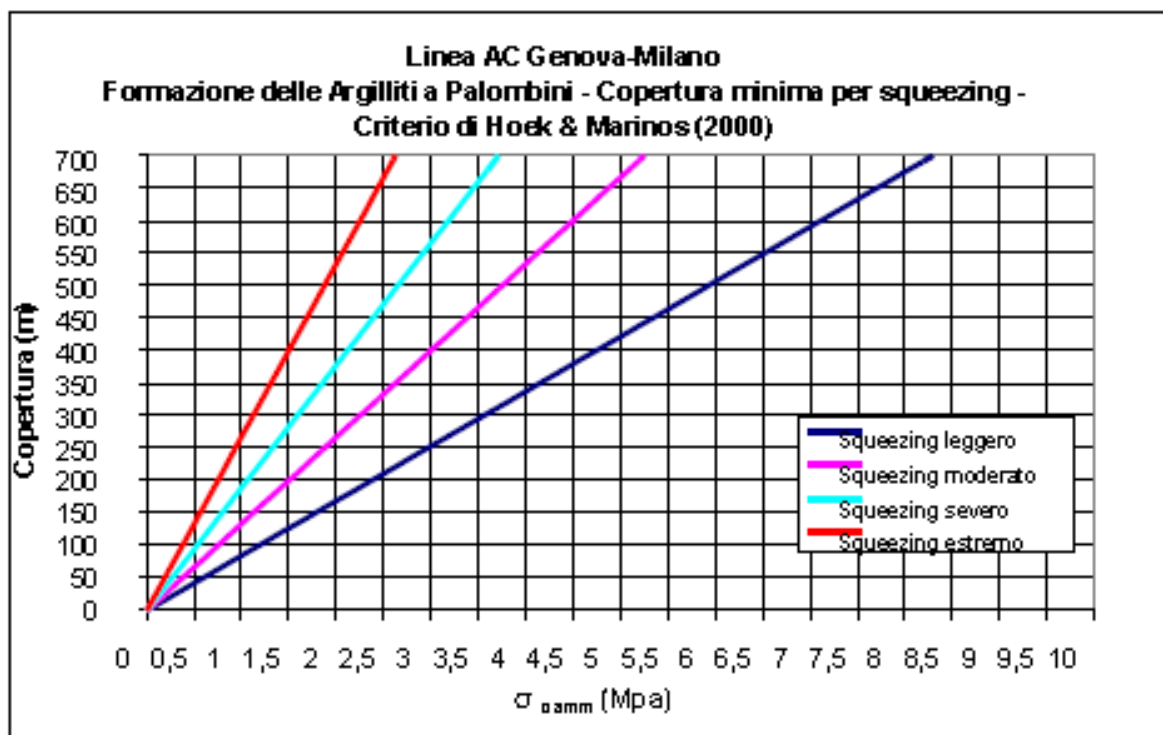
$$\epsilon = 0,2(\sigma_{c\text{ amm}} / p_0)^{-2}$$

Tale percentuale costituisce la base per valutare il grado di *squeezing* così come espresso nella seguente tabella:

Classe	Convergenza $\epsilon$ (%)	Grado di <i>squeezing</i>
A	< 1,0%	Assente
B	1,0% - 2,5%	Leggero
C	2,5% - 5,0%	Moderato
D	5,0% - 10,0%	Severo
E	> 10,0%	Estremo

Nel nostro caso in esame, tenendo presente un valore costante del peso di volume per la formazione delle Argilliti a Palombini pari a 26,5 kN/m<sup>3</sup>, i valori di GSI per i tre gruppi come precedentemente già riportato e quelli del parametro  $m_i$  ottenuti dalle elaborazioni dei dati disponibili, si sono ottenute delle curve che rappresentano gli intervalli di copertura che

individuano i gradi di *squeezing* sopra definiti in funzione della  $\sigma_{c\text{ amm}}$ .



Tenendo presente che la  $\sigma_{c\ amm}$  media così ottenuta per la Formazione delle Argilliti a Palombini varia da 6,6 MPa per il gruppo 1, a 1,4 MPa per il gruppo 2 fino a valori < 0,5 MPa per il gruppo 3, si ottengono i seguenti intervalli di copertura relativi ai quattro gradi di

*squeezing* precedentemente definiti:

Grado di squeezing	Gruppo 1	Gruppo 2	Gruppo 3
Squeezing Assente	Fino 557 m	Fino a 122 m	Fino a circa 50 m
Squeezing Leggero	Da 557 m fino alle massime coperture	Da 122 a 193 m	-
Squeezing Moderato	-	Da 193 a 273 m	-
Squeezing Severo	-	Da 273 a 367 m	-
Squeezing Estremo	-	Oltre 367 m	Oltre 100 m

Dall'esame del grafico e della tabella risultante possiamo già tentare di formulare alcune considerazioni generali: appare infatti evidente che solo in presenza di un ammasso roccioso riferibile al gruppo geomeccanico 1 si ha l'insorgenza di fenomeni di *squeezing* che rimangono leggeri fino alle massime coperture previste (630 m). In tutti gli altri casi

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 Foglio 44 di 297

l'ammasso, anche a coperture medio-basse, mostrerà invece fenomeni di squeezing estremo.

Anche in questo caso occorre però sottolineare fin da subito che i dati fin adesso acquisiti non permettono di estrapolare con sicurezza oltre i 200 m di copertura (limite massimo raggiunto dalle indagini geognostiche) sia i valori di GSI che le costanti del Criterio di rottura di Hoek & Brown; pertanto non è noto l'andamento in profondità del valore

della  $\sigma_{camm}$  media. Ancora una volta dovremo pertanto considerare gli intervalli di copertura sopra riportati come indicativi.

Inoltre se si confrontano i due metodi analizzati per la stima del fenomeno di *squeezing* si osserva un certo scostamento negli intervalli di copertura ottenuti: il primo metodo fornisce coperture più elevate per l'insorgenza del fenomeno per i gruppi 2 e 3 rispetto a quello di Hoek & Marinos mentre quest'ultimo risulta più favorevole per il gruppo

1 e molto più sfavorevole per il gruppo 2 e ancor di più per il terzo.

### 3.4.1 Conclusioni

In conclusione, seppur con queste limitazioni, appare già chiaro che, in determinate situazioni, la formazione delle Argilliti a Palombini può essere suscettibile al fenomeno dello *squeezing*, che, localmente, potrà risultare anche molto importante e quindi non trascurabile.

Le prove stabilite nella campagna d'indagine integrativa aiuteranno a comprendere meglio il fenomeno. Le risultanze delle precedenti formulazioni devono essere considerate come puramente indicative in quanto, seppur durante lo scavo dei cunicoli Vallemme e Castagnola sono state incontrate zone con gruppo geomeccanico pari a 3, il monitoraggio tenso-deformativo dei rivestimenti nel tempo non ha indicato alcuna anomalia.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 Foglio 45 di 297

#### 4. PREVISIONI SUL COMPORTAMENTO DEGLI AMMASSI ROCCIOSI ALLO SCAVO

L'apertura di una cavità in un materiale caratterizzato da un campo di tensioni naturali preesistente indisturbato, dovuto essenzialmente a carichi litostatici e a sforzi tettonici, porta ad una generale redistribuzione degli sforzi, sia in direzione trasversale che longitudinale, con conseguente incremento delle tensioni al contorno della galleria e già oltre il fronte di scavo.

Si genera così un nuovo campo tensionale che tende a far evolvere l'ammasso intorno al cavo verso una nuova situazione di equilibrio diversa da quella naturale, dando luogo a fenomeni deformativi.

Sulla base delle conoscenze dei terreni interessati dalle gallerie, è possibile, elaborando anche le esperienze maturate in lavori analoghi, svolgere delle previsioni sul comportamento dei terreni allo scavo, necessarie alla definizione degli interventi di stabilizzazione e degli schemi di avanzamento. Queste previsioni sono strettamente connesse con lo studio dello stato tenso-deformativo instauratosi nell'ammasso al contorno della galleria e indotto dalle operazioni di scavo.

##### 3.1 Importanza del fronte di scavo

La valutazione di come si evolve lo stato tensionale a seguito dell'apertura di una galleria è possibile solo attraverso l'attenta analisi dei fenomeni deformativi in quanto essi ci possono dare indicazioni sul comportamento della cavità nei riguardi della stabilità a breve e a lungo termine.

In particolare, l'elemento centrale per l'analisi dell'evoluzione dei fenomeni deformativi al contorno del cavo, attraverso la quale è possibile valutare la stabilità della galleria, è il comportamento del fronte di scavo.

Tale comportamento è condizionato da:

- le caratteristiche di resistenza e deformabilità dell'ammasso connesse con le varie strutture geologiche che interessano le gallerie;
- i carichi litostatici corrispondenti alle coperture in gioco;
- la forma e le dimensioni della sezione di scavo;
- lo schema di avanzamento.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 <table border="1" data-bbox="1396 197 1492 282"> <tr> <td>Foglio 46 di 297</td> </tr> </table>	Foglio 46 di 297
Foglio 46 di 297		

Il comportamento del fronte di scavo, al quale è legato quello della cavità, può essere sostanzialmente di tre tipi: stabile, stabile a breve termine e instabile.

#### 4.1.1 Gallerie a fronte stabile (CASO A)

Se il fronte di scavo è stabile, ciò significa che lo stato tensionale al contorno della cavità si mantiene in campo elastico e i fenomeni deformativi osservabili sono di piccola entità e tendono ad esaurirsi rapidamente.

In questo caso anche il comportamento del cavo sarà stabile (rimanendo in campo elastico) e quindi non si rendono necessari interventi preventivi di consolidamento, se non localizzati e in misura molto ridotta; il rivestimento definitivo costituirà allora il margine di sicurezza per la stabilità a lungo termine.

#### 4.1.2 Gallerie a fronte stabile a breve termine (CASO B)

Questa condizione si verifica quando lo stato tensionale indotto dall'apertura della cavità supera le caratteristiche di resistenza meccanica del materiale al fronte, che in tal modo non può più avere un comportamento di tipo elastico, ed assume un comportamento di tipo elasto-plastico.

I fenomeni deformativi connessi con tale redistribuzione delle tensioni sono più accentuati che nel caso precedente e producono nell'ammasso roccioso al fronte una decompressione che porta ad una riduzione della resistenza interna causata dal fatto che localmente viene superata la resistenza di picco.

Questa decompressione può essere opportunamente controllata e regimata con adeguati interventi di preconsolidamento al fronte e/o di consolidamento al contorno del cavo. In tal caso verrà fornito l'opportuno contenimento all'ammasso che potrà così essere condotto verso la stabilità, ed il rivestimento definitivo costituirà il margine di sicurezza a lungo termine.

In caso contrario lo stato tenso-deformativo potrà evolvere verso situazioni d'instabilità del cavo.

#### 4.1.3 Gallerie a fronte instabile (CASO C)

L'instabilità progressiva del fronte di scavo è attribuibile ad una accentuazione dei fenomeni deformativi nel campo plastico, che risultano immediati e più rilevanti manifestandosi già prima ancora che avvenga lo scavo, oltre il fronte stesso. Di conseguenza tali deformazioni

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 <table border="1" data-bbox="1396 197 1492 282"> <tr> <td>Foglio 47 di 297</td> </tr> </table>	Foglio 47 di 297
Foglio 47 di 297		

producono una decompressione più spinta nell'ammasso roccioso al fronte e portano ad un decadimento rapido e progressivo delle caratteristiche meccaniche d'ammasso, provocando in tal modo la mobilitazione della resistenza di fasce di terreno concentriche alla galleria e sempre più esterne, a scapito di ulteriori deformazioni inducendo quindi forme di instabilità irreversibili fino a causare il crollo della galleria.

Questo tipo di decompressione più accentuata deve essere contenuta prima dell'arrivo del fronte di scavo e richiede pertanto interventi di preconsolidamento sistematici in avanzamento che consentiranno di creare artificialmente quell'effetto arco capace di evolvere la situazione verso configurazioni di equilibrio stabile.

#### 4.2 **Calcolo delle categorie di comportamento allo scavo**

Si vuole adesso determinare il comportamento dell'ammasso allo scavo per ognuno dei gruppi a caratteristiche geomeccaniche omogenee precedentemente individuati, ed in funzione anche dei carichi litostatici dovuti alle differenti coperture riscontrate lungo il tracciato.

Si è quindi considerato opportuno in questa fase di diagnosi prescindere dalla geologia locale per impostare un discorso di tipo parametrico che consenta una più agile previsione di comportamento dell'ammasso allo scavo. Per ogni singolo gruppo sarà quindi possibile ottenere diverse classi di comportamento allo scavo in funzione delle diverse coperture in gioco. Nella successiva fase di terapia, in cui si definiranno gli interventi necessari per l'avanzamento nelle diverse classi di comportamento, non si potrà evitare di considerare le condizioni geologiche puntuali: quindi ad una stessa classe di comportamento corrispondono diverse sezioni tipo, adeguate alle caratteristiche geologiche e fisiche di ogni formazione.

Per la determinazione del comportamento dell'ammasso allo scavo si può utilizzare il "metodo delle linee caratteristiche".

##### 4.2.1 **Linee caratteristiche della cavità**

Per linee caratteristiche di una cavità si intendono delle curve che legano le pressioni di contenimento, esercitate in senso radiale sul bordo della galleria dalle opere di stabilizzazione e di rivestimento, agli spostamenti radiali al suo contorno (convergenze).

Esse possono quindi essere utilizzate, oltre che per valutare il comportamento dell'ammasso allo scavo, anche per determinare lo stato di sollecitazione sui diversi interventi costituenti la

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 <table border="1" data-bbox="1396 197 1492 282"> <tr> <td>Foglio 48 di 297</td> </tr> </table>	Foglio 48 di 297
Foglio 48 di 297		

galleria, mediante la sovrapposizione degli effetti delle linee caratteristiche della cavità e dei singoli interventi che la costituiscono.

Per ogni galleria è possibile costruire due linee caratteristiche principali:

- quella valida presso il fronte di scavo, detta linea caratteristica del fronte, che tiene conto dell'effetto tridimensionale delle tensioni vicino ad esso e che permette di risalire, mediante considerazioni sulla resistenza del nucleo, all'entità della convergenza già subita dalla galleria nella sezione in corrispondenza al fronte di scavo,
- quella valida per qualsiasi sezione sufficientemente lontana dal fronte, detta linea caratteristica della cavità, per la quale lo stato di tensione può considerarsi piano.

In generale, ove la linea caratteristica non intersechi in un valore finito l'asse delle deformazioni radiali, la galleria risulta instabile senza adeguati interventi di stabilizzazione.

In virtù dei sistemi di avanzamento proposti, volti a conservare le caratteristiche meccaniche del terreno indisturbato, limitando al minimo il rimaneggiamento e l'alterazione dello stesso conseguente alle operazioni di scavo, diviene estremamente importante sapere quanto il terreno è effettivamente in grado di incassare nelle sue condizioni naturali e indisturbate, prima di giungere alla rottura. La conoscenza delle caratteristiche di resistenza al taglio del terreno nelle sue condizioni naturali è indispensabile per determinare con discreta accuratezza il contributo al contenimento del cavo che i vari interventi adottati saranno in grado di fornire.

Il discorso così impostato sulla sensibilità del terreno dovrà essere poi allargato per mettere in conto anche l'eterogeneità strutturale dell'ammasso, che in rapporto alle coperture in gioco, è determinante nella parametrizzazione geotecnica dell'ammasso. Non essendo realmente praticabile l'ipotesi di una perfetta conoscenza delle condizioni del terreno ad ogni avanzamento sarà necessario individuare, anche facendo ipotesi di lavoro sulla base di esperienze maturate in casi analoghi, condizioni geotecniche standard in base alle quali svolgere i calcoli.

Si precisa inoltre che i calcoli svolti fanno riferimento a condizioni puramente statiche, considerando il consolidamento del fronte come un irrigidimento del nucleo e non come uno strumento di stabilizzazione del paramento, che pertanto rimane pur sempre una fonte di pericolo da tenere costantemente sotto controllo, evitando che le maestranze permangano entro il suo raggio di azione in particolare durante le operazioni di scavo.

Infatti quando il fronte è assoggettato all'opera di demolizione mediante utensili quali la sega



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 Foglio 49 di 297

dentata del pretaglio, il ripper, ecc. si vanno a modificare le condizioni iniziali, che quindi in tale contesto perdono la loro validità anche a prescindere dalla stabilità dimostrata dal fronte prima della sua demolizione.

#### 4.2.2 Diagnosi: determinazione delle categorie di comportamento

Per determinare il comportamento dell'ammasso allo scavo, si sono valutate le linee caratteristiche per le possibili condizioni geomeccaniche riscontrabili durante gli scavi sotto le massime coperture presenti. Le linee caratteristiche sono riportate in allegato 8 insieme agli output numerici; si sottolinea che le linee sono state calcolate direttamente per le massime coperture previste (che in questo caso risultano essere quelle del cunicolo Castagnola).

Le percentuali d'applicazione delle sezioni tipo sono riportate all'interno dei relativi profili geomeccanici.

Nella tabella dell'allegato 7 si riportano, in base ai differenti contesti geomeccanici individuati, i parametri di resistenza e di deformabilità assunti per il calcolo delle linee caratteristiche, nonché i valori di copertura per i quali è stata effettuata la determinazione della categoria di comportamento allo scavo; nella stessa tabella vengono riportati anche gli spostamenti massimi subiti dal pririvestimento e le tensioni massime misurate nel pririvestimento e nel rivestimento definitivo.

Il pririvestimento in spritz-beton è stato schematizzato come un materiale a comportamento elastico-lineare avente le seguenti caratteristiche:

$$f_{cm} = 25 \text{ MPa (sezioni tipo B0L, B0/1, B0/2, B1, B2/1, B2/2, B4/1, B4/2)}$$

$$\sigma_{sb,amm} = 19.2 \text{ MPa}$$

$$f_{cm} = 30 \text{ MPa (sezioni tipo C2 e C4)}$$

$$\sigma_{sb,amm} = 23.1 \text{ MPa}$$

Le centine sono costituite da acciaio tipo FE430 con  $\sigma_{steel,amm} = 210 \text{ MPa}$

Il rivestimento definitivo in calcestruzzo è stato schematizzato con legge costitutiva elastica-lineare, avente le seguenti caratteristiche:

$$R_{ck} \geq 25 \text{ MPa (sezioni tipo B0L, B0/1, B0/2, B1)}$$

$$\sigma_{cls,amm} = 6.25 \text{ MPa}$$

$$R_{ck} \geq 30 \text{ MPa (sezioni tipo B2/1, B2/2, B4/1, B4/2, C2, C4)}$$

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 Foglio 50 di 297

$$\sigma_{cls,amm} = 7.5 \text{ MPa}$$

## 5. FASE DI TERAPIA

### 5.1 Categorie di comportamento

Nel presente capitolo verranno definiti gli interventi di preconsolidamento, consolidamento e rivestimento, nonché le relative fasi operative, da adottare durante la realizzazione delle gallerie e necessari a garantire la stabilità del cavo nel breve e nel lungo termine.

Gli interventi di stabilizzazione e di rivestimento di 1<sup>a</sup> fase qui previsti verranno adeguati e tarati in corso d'opera sulla base dei rilievi geologico-geostrutturali del fronte di scavo e del comportamento deformativo del fronte (estrusioni) e del cavo (convergenze).

Sono stati definiti tre tipi di comportamento dell'ammasso allo scavo, che prevedono l'impiego di opportuni interventi scelti in base alle caratteristiche geologiche e fisiche dei terreni interessati dagli scavi, determinando così la scelta delle sezioni tipo più adatte :

#### ***CASO A) fronte stabile:***

I fenomeni deformativi avvengono in campo elastico; il materiale ha comportamento di tipo lapideo per cui si possono ipotizzare locali fenomeni di instabilità al contorno riconducibili per lo più al distacco gravitativo di blocchi o volumi rocciosi, individuati dall'intreccio di superfici di discontinuità preesistenti nell'ammasso oppure create dai fenomeni di distensione prodotti dalle modalità di scavo. Il probabile comportamento allo scavo tipo A, "a fronte stabile", consente di prevedere, quali interventi di prima fase, interventi di solo contenimento del cavo, quale la realizzazione di uno strato di spritz-beton a seguito della messa in opera di bulloni radiali o centine, in funzione del grado di discontinuità dell'ammasso. I carichi gravanti sulla struttura in questi contesti geomeccanici sono prevalentemente di tipo gravitativo, funzione della frequenza dei giunti e delle fratture ed in particolare modo della resistenza al taglio delle superfici di discontinuità. Il rilascio di tali solidi di carico, in categorie di comportamento tipo A, non avviene generalmente all'apertura del cavo, bensì in un secondo tempo quale conseguenza del richiamo di umidità al contorno dello scavo, della circolazione d'acqua nelle fratture, dall'alterazione della roccia a contatto con gli agenti

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 <table border="1" data-bbox="1396 197 1501 282"> <tr> <td>Foglio 51 di 297</td> </tr> </table>	Foglio 51 di 297
Foglio 51 di 297		

atmosferici, nonché dalle sollecitazioni dinamiche conseguenti alle vibrazioni prodotte durante le operazioni di scavo con esplosivo.

E' pertanto opportuno stabilizzare i suddetti cunei mediante la messa in opera di bulloni metallici radiali di tipo passivo, ad ancoraggio puntuale in presenza di modesti gradi di separazione d'ammasso, o ad ancoraggio continuo per gradi di separazione maggiori, e realizzare un guscio di spritz-beton a protezione della superficie di scavo ed a contenimento del cavo.

***CASO B) fronte stabile a breve termine:***

Si possono ipotizzare fenomeni di instabilità più o meno diffusi al contorno del cavo, dovuti alla plasticizzazione dell'ammasso roccioso e conseguenti fenomeni deformativi (convergenze radiali) di ordine centimetrico.

Tali deformazioni, se non regimate mediante opportuni e tempestivi interventi di preconsolidamento e/o di consolidamento, possono innescare decompressioni progressivamente crescenti all'interno dell'ammasso roccioso, sviluppando di conseguenza carichi maggiori sia nel breve termine che nel lungo termine.

Come interventi di preconsolidamento si possono utilizzare:

- chiodi in vetroresina al fronte per aumentare le caratteristiche di resistenza del nucleo;
- drenaggi al contorno in caso di presenza d'acqua per lo scarico delle pressioni interstiziali.

Gli interventi di consolidamento lungo la cavità consistono principalmente in:

- prerivestimento costituito da spritz-beton;
- centine metalliche.

Questi interventi di preconsolidamento e consolidamento concorreranno a formare diverse sezioni tipo (descritte in seguito) che si differenziano tra di loro in funzione delle formazioni geologiche incontrate.

***CASO C) fronte instabile:***

I fenomeni deformativi, in assenza di interventi, sono di entità maggiore rispetto al caso precedente, fino ad arrivare alla rottura e al collasso del cavo, legato all'instabilità del fronte di scavo. Perché si possa realizzare l'avanzamento in galleria, senza innescare fenomeni deformativi incontrollabili, è indispensabile operare "preconsolidamenti" lanciati oltre il fron-

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 <table border="1" data-bbox="1396 197 1501 282"> <tr> <td>Foglio 52 di 297</td> </tr> </table>	Foglio 52 di 297
Foglio 52 di 297		

te di scavo, che garantiscano sia la tenuta del fronte stesso che quella della fascia di terreno perimetrale al cavo.

Questi preconsolidamenti possono essere di diversa natura, in funzione delle differenti caratteristiche geologiche delle formazioni attraversate lungo il tracciato:

- jet-grouting sub-orizzontale;
- anello consolidato da iniezioni cementizie;
- chiodi in vetroresina al fronte;
- drenaggi.

Sono inoltre necessari interventi di consolidamento al contorno del cavo in modo da fornire il necessario contenimento nel breve termine. Questi interventi possono essere il rivestimento di 1<sup>a</sup> fase con spritz-beton e centine metalliche.

In previsione di un comportamento tipo C, al fine di effettuare un controllo dello stato deformativo al fronte, appare consigliabile l'esecuzione di un preconsolidamento sistematico del fronte mediante elementi strutturali o tubi in vetroresina ad aderenza migliorata, tali da irrigidire il nucleo di scavo e ridurre i valori di estrusione del fronte e conseguentemente di preconvergenza del cavo. Tale operazione consentirebbe di mantenere le proprietà del materiale prossime alle condizioni di picco, o al limite di ridurre il decadimento. Le deformazioni al fronte si traducono infatti in decompressione al contorno del cavo con decremento della resistenza d'ammasso e incremento delle spinte sui priverestimenti.

In presenza di comportamento tipo C si renderà inoltre necessaria la messa in opera di consolidamenti anche al contorno della sezione di scavo, sempre in elementi o tubi in vetroresina, così da determinare un arco di scarico che faciliti l'incanalamento degli sforzi ai lati del cavo e che nel contempo ne riduca l'entità.

In zone con significative presenze d'acqua, il trattamento al contorno è preferibile venga realizzato con iniezioni in pressione, così da impermeabilizzare la sezione, evitare fenomeni di filtrazione e ridurre il decadimento dell'ammasso prossimo agli scavi.

Andrà inoltre prevista la realizzazione dei priverestimenti a seguito di ogni singolo sfondo di avanzamento, mediante posa in opera di centine metalliche ed un congruo strato di spritz-beton. Sempre per la categoria di comportamento C occorre inoltre prevedere la possibilità di stabilizzare, a breve distanza dal fronte, il piede della centina, mediante il getto contemporaneo di arco rovescio e murette a 1-2 diametri dal fronte di scavo.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 Foglio 53 di 297

## 5.2 Sezioni tipo applicate

### 5.2.1 Sezione tipo B0Lsb

La sezione tipo *B0Lsb*, in fase costruttiva è costituita da:

- Prerivestimento composto da uno spessore di 20 cm di spritz-beton armato con rete elettrosaldata o fibrorinforzato e centine costituite da profilati 2IPN160 passo  $p = 1.4$  m, controventate tra loro;
- impermeabilizzazione tipo “0” costituita da tessuto non tessuto e manto in pvc;
- rivestimento definitivo in cls semplice dello spessore di 80 cm in arco rovescio e di 60 cm in chiave calotta.

#### Campo di applicazione

Per quanto concerne il campo di applicazione si veda la tabella riepilogativa riportata alla fine del paragrafo.

#### Fasi esecutive

Si possono considerare le seguenti fasi costruttive:

#### **FASE 1: scavo**

Esecuzione scavo di avanzamento con sfondi di lunghezza massima pari a 4.20 m compreso il disaggio, eseguendo lo scavo a piena sezione e sagomando il fronte a forma concava anche ad ogni sfondo parziale. Al termine dello sfondo e prima di porre in opera gli interventi di prima fase va eseguito un accurato disaggio di tutti i blocchi instabili.

#### **FASE 2: posa in opera delle centine e dello spritz-beton**

Al termine di ogni singolo sfondo verrà messo in opera il rivestimento di 1<sup>a</sup> fase costituito da centine metalliche 2IPN160 passo 1.40m e da uno strato di spritz-beton di spessore 20 cm, armato con rete elettrosaldata ( $\square 6$  15x15) o fibrorinforzato. Le centine appena posate dovranno essere collegate alle altre attraverso le apposite catene.

#### **FASE 3: getto di murette e arco rovescio**

Il getto delle murette dovrà essere effettuato entro una distanza di  $9 \square$  dal fronte di scavo. Il getto dell'arco rovescio dovrà avvenire entro  $12 \square$  dal fronte di scavo o entro  $9 \square$  nel caso di

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 Foglio 54 di 297

getto contemporaneo alle murette; in particolari contesti geomeccanici tale distanza potrà essere portata a 15□.

#### **FASE 4: impermeabilizzazione**

La posa in opera dell'impermeabilizzazione sarà eseguita prima del getto del rivestimento definitivo.

#### **FASE 5: getto del rivestimento definitivo**

Il getto del rivestimento definitivo sarà eseguito ad una distanza dal fronte che dipenderà dal comportamento deformativo del cavo, tale distanza sarà comunque inferiore ai 15□.

### **5.3 Sezioni tipo B0/1 e B0/2**

La sezione tipo *B0/1*, in fase costruttiva è costituita da:

- Prerivestimento composto da uno spessore di 25 cm di spritz-beton armato con rete elettrosaldata o fibrorinforzato e centine costituite da profilati HEB180 passo  $p = 1.2$  m, controventate tra loro;
- impermeabilizzazione tipo "0" costituita da tessuto non tessuto e manto in pvc;
- eventuale coronella di tubi metallici in acciaio ( $\varnothing$  88.9 sp. 10mm,  $L \geq 18.00$  m sovrapposizione  $s \geq 3.0$  m) semplicemente cementati, da definire in funzione del contesto geomeccanico rilevato;
- rivestimento definitivo in cls semplice dello spessore di 90 cm in arco rovescio e di 70 cm in calotta.

La sezione tipo *B0/2*, in fase costruttiva è costituita da:

- Prerivestimento composto da uno spessore di 30 cm di spritz-beton armato con rete elettrosaldata o fibrorinforzato e centine costituite da profilati HEB200 passo  $p = 1.2$  m, controventate tra loro;
- Impermeabilizzazione tipo "0" costituita da tessuto non tessuto e manto in pvc;
- eventuale coronella di tubi metallici in acciaio ( $\varnothing$  88.9 sp. 10mm,  $L \geq 18.00$  m sovrapposizione  $s \geq 3.0$  m) semplicemente cementati, da definire in funzione del contesto geomeccanico rilevato;
- rivestimento definitivo in cls semplice dello spessore di 100 cm in arco rovescio e di 80 cm in calotta.

Campo di applicazione

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 Foglio 55 di 297

Per quanto concerne il campo di applicazione si veda la tabella riepilogativa riportata alla fine del paragrafo.

### Fasi esecutive

Si possono considerare le seguenti fasi costruttive:

#### **FASE 1: scavo**

Esecuzione scavo di avanzamento con sfondi di lunghezza massima pari a 3.60 m compreso il disaggio, eseguendo lo scavo a piena sezione e sagomando il fronte a forma concava ad ogni sfondo. Al termine dello sfondo e prima di porre in opera gli interventi di prima fase va eseguito un accurato disaggio di tutti i blocchi instabili.

#### **FASE 2: posa in opera delle centine e dello spritz-beton**

Al termine di ogni singolo sfondo verrà messo in opera il rivestimento di 1<sup>a</sup> fase costituito da centine metalliche HEB180 (B0/1) - HEB200 (B0/2) passo 1.20m e da uno strato di spritz-beton di spessore 25 (B0/1) – 30 (B0/2) cm, armato con rete elettrosaldata (□6 15x15) o fibrorinforzato. Le centine appena posate dovranno essere collegate alle altre attraverso le apposite catene.

#### **FASE 3: getto di murette e arco rovescio**

Il getto delle murette dovrà essere effettuato entro una distanza di 9□ dal fronte di scavo. Il getto dell'arco rovescio dovrà avvenire entro 12□ dal fronte di scavo o entro 9□ nel caso di getto contemporaneo alle murette; in particolari contesti geomeccanici tale distanza potrà essere portata a 15□.

#### **FASE 4: impermeabilizzazione**

La posa in opera dell'impermeabilizzazione sarà eseguita prima del getto del rivestimento definitivo.

#### **FASE 5: getto del rivestimento definitivo**

Il getto del rivestimento definitivo sarà eseguito ad una distanza dal fronte che dipenderà dal comportamento deformativo del cavo, tale distanza sarà comunque inferiore ai 15□.

Qualora le operazioni di scavo vengano interrotte per un tempo di circa 24 ore, è necessario

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 Foglio 56 di 297

porre in opera uno strato di spritz-beton di 10 cm al fronte. Se il fermo delle lavorazioni risultasse superiore a 48 h (festività o altro) il ciclo delle lavorazioni dovrà necessariamente terminare con la sagomatura del fronte a forma concava e la posa in opera delle centine e dello spritz-beton a ridosso del fronte stesso.

### 5.3.1 Sezione tipo B1

La sezione tipo *B1*, in fase costruttiva è costituita da:

- priverivestimento composto da centine 2IPN220 con passo  $p = 1.20$  m e da uno strato di 30 cm di spritz-beton armato con rete elettrosaldata o fibrorinforzato;
- n° 10-11 bulloni radiali ad ancoraggio continuo,  $L = 5.50 - 6.50$  m, passo longitudinale 1.20 m, passo trasversale 2.00 m. Tali bulloni saranno in acciaio  $\square 24$  mm FeB 44K ad ancoraggio continuo cementati mediante iniezioni cementizie o resina epossidica;
- impermeabilizzazione tipo "0" costituita da tessuto non tessuto e manto in pvc;
- rivestimento definitivo in cls semplice dello spessore di 100 cm in arco rovescio e di 80 cm in calotta.

#### Campo di applicazione

Per quanto concerne il campo di applicazione si veda la tabella riepilogativa riportata alla fine del paragrafo.

#### Fasi esecutive

Si possono considerare le seguenti fasi costruttive:

#### **FASE 1: scavo**

Esecuzione scavo di avanzamento con sfondi di lunghezza massima pari a 1.20 m compreso il disaggio, eseguendo lo scavo a piena sezione e sagomando il fronte a forma concava ad ogni sfondo. Al termine dello sfondo e prima di porre in opera gli interventi di prima fase va eseguito un accurato disaggio di tutti i blocchi instabili.

#### **FASE 2: posa in opera delle centine e dello spritz-beton**

Al termine di ogni singolo sfondo verrà messo in opera il rivestimento di 1<sup>a</sup> fase costituito da centine metalliche 2IPN220 passo 1.20m e da uno strato di spritz-beton di spessore 20 cm, armato con rete elettrosaldata ( $\square 6$  15x15) o fibrorinforzato. Le centine appena posate dovranno essere collegate alle altre attraverso le apposite catene.



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 Foglio 57 di 297

### **FASE 3: perforazione e posa in opera dei bulloni**

In corrispondenza dei calestrelli presenti tra i due profilati IPN220 verranno eseguite le perforazioni necessarie per la messa in opera dei bulloni radiali a cementazione continua. I bulloni saranno installati con passo trasversale pari a 2.00m e passo longitudinale pari ad 1.20m. L'iniezione dei bulloni dovrà avvenire entro mezzo diametro dal fronte di scavo. Successivamente all'iniezione verrà eseguito lo strato di completamento di spritz-beton sino a raggiungere lo spessore di 30 cm.

### **FASE 4: getto di murette e arco rovescio**

Il getto delle murette dovrà essere effettuato entro una distanza di 9□ dal fronte di scavo. Il getto dell'arco rovescio dovrà avvenire entro 12□ dal fronte di scavo o entro 9□ nel caso di getto contemporaneo alle murette; in particolari contesti geomeccanici tale distanza potrà essere portata a 15□.

### **FASE 5: impermeabilizzazione**

La posa in opera dell'impermeabilizzazione sarà eseguita prima del getto del rivestimento definitivo

### **FASE 6: getto del rivestimento definitivo**

Il getto del rivestimento definitivo sarà eseguito ad una distanza dal fronte che dipenderà dal comportamento deformativo del cavo, tale distanza sarà comunque inferiore ai 15□.

Qualora le operazioni di scavo vengano interrotte per un tempo di circa 24 ore, è necessario porre in opera uno strato di spritz-beton di 10 cm al fronte, opportunamente sagomato a forma concava. Se il fermo delle lavorazioni risulta superiore a 48 h (festività o altro) il ciclo delle lavorazioni dovrà necessariamente terminare con la posa delle centine e dello spritz-beton a ridosso del fronte stesso, la sagomatura a forma concava del fronte e la realizzazione di uno strato spritz-beton armato sp. 10 cm. In relazione al comportamento deformativo del fronte e del cavo l'arco rovescio e le murette (eventualmente la calotta) dovranno essere opportunamente avvicinate al fronte.

#### **5.3.2 Sezioni tipo B2/1 e B2/2**

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 Foglio 58 di 297

La sezione tipo *B2/1*, in fase costruttiva è costituita da:

- preconsolidamento del fronte realizzato mediante la posa in opera di n° 60 tubi in VTR, L  $\geq 24$  m, sovrapp.  $\geq 6 - 12$  m;
- pririvestimento composto da uno spessore di 30 cm di spritz-beton armato con rete elettrosaldata o fibrorinforzato e centine HEB200 con passo  $p = 1.00$  m;
- eventuale coronella di tubi metallici in acciaio ( $\varnothing 88.9$  sp. 10mm, L  $\geq 18.00$  m sovrapposizione  $s \geq 3.0$  m) valvolati 1vlv/m, da definire in funzione del contesto geomeccanico rilevato;
- impermeabilizzazione tipo “0” costituita da tessuto non tessuto e manto in pvc;
- rivestimento definitivo in cls dello spessore di 100 cm in arco rovescio e di 80 cm in calotta. Il getto dell’arco rovescio, delle murette e del rivestimento definitivo di calotta sarà eseguito ad una distanza dal fronte che dipenderà dal comportamento deformativo del cavo.
- eventuali drenaggi in avanzamento, in caso di presenza d’acqua;

La sezione tipo *B2/2*, in fase costruttiva è costituita da:

- preconsolidamento del fronte realizzato mediante la posa in opera di n° 70 tubi in VTR, L  $\geq 24$  m, sovrapp.  $\geq 6 - 12$  m;
- pririvestimento composto da uno spessore di 30 cm di spritz-beton armato con rete elettrosaldata o fibrorinforzato e centine HEB240 con passo  $p = 1.00$  m;
- eventuale coronella di tubi metallici in acciaio ( $\varnothing 88.9$  sp. 10mm, L  $\geq 18.00$  m sovrapposizione  $s \geq 3.0$  m) valvolati 1vlv/m, da definire in funzione del contesto geomeccanico rilevato;
- impermeabilizzazione tipo “0” costituita da tessuto non tessuto e manto in pvc;
- rivestimento definitivo in cls dello spessore di 100 cm in arco rovescio e di 90 cm in calotta. Il getto dell’arco rovescio, delle murette e del rivestimento definitivo di calotta sarà eseguito ad una distanza dal fronte che dipenderà dal comportamento deformativo del cavo.
- eventuali drenaggi in avanzamento, in caso di presenza d’acqua;

#### Campo di applicazione

Per quanto concerne il campo di applicazione si veda la tabella riepilogativa riportata alla fine del paragrafo.

#### Fasi esecutive

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 Foglio 59 di 297

Si possono considerare le seguenti fasi costruttive:

### **FASE 1: esecuzione del preconsolidamento del fronte.**

Dal fronte di scavo, sagomato a forma concava con freccia di circa 1.5 m, si realizza il preconsolidamento del fronte mediante la posa di n° 60 (B2/1) – 70 (B2/2) tubi in VTR cementati, aventi lunghezza minima di 24.00 m e sovrapposizione  $\geq 6 - 12$  m. Le fasi costruttive sono le seguenti:

- esecuzione sul fronte dello strato di spritz-beton fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata, avente spessore di 10 cm;
- perforazione eseguita a secco  $\square \geq 100$  mm;
- posa dell'elemento strutturale in VTR, munito dell'opportuna attrezzatura per la cementazione ed esecuzione di cianfrinatura a boccaforo;
- esecuzione della cementazione mediante malte a ritiro controllato ogni 4÷5 fori.

Le sequenze operative andranno adattate alle caratteristiche dell'ammasso ma dovranno comunque essere tali da garantire l'inghisaggio dell'elemento strutturale al terreno mediante il completo riempimento dell'intercapedine tra elemento e pareti del foro.

La fase di cementazione potrà avvenire di massima ogni 4-5 elementi già posati e comunque il prima possibile per evitare possibili franamenti del foro con conseguente perdita di efficacia dell'intervento. Il riempimento del foro avverrà dal fondo verso il paramento del fronte.

### **FASE 2: esecuzione eventuali drenaggi in avanzamento**

In caso di presenza d'acqua dovranno essere eseguiti drenaggi in avanzamento.

### **FASE 3: esecuzione scavo**

Esecuzione scavo di avanzamento a piena sezione per campi pari a 18 - 12 m (preconsolidamento del nucleo  $L \geq 24$ m sovrapposizione  $s \geq 6 - 12$ m), per singoli sfondi di lunghezza massima pari a 1.00m, sagomando il fronte a forma concava ad ogni sfondo parziale ed eseguendo uno strato di spritz-beton armato di 5cm su ognuno di tali fronti.

### **FASE 5: posa in opera del rivestimento di prima fase**

Al termine di ogni singolo sfondo verrà messo in opera il rivestimento di 1ª fase costituito da centine metalliche HEB200 (B2/1) - HEB240 (B2/2) passo 1.00m e da uno strato di spritz-beton di spessore 30 cm, armato con rete elettrosaldata ( $\square 6 15 \times 15$ ) o fibrorinforzato. Le

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 Foglio 60 di 297

centine appena posate dovranno essere collegate alle altre attraverso le apposite catene.

#### **FASE 6: getto arco rovescio e murette**

Il getto dell'arco rovescio e delle murette dovrà avvenire entro  $3\emptyset$  dal fronte nel caso di un loro getto contemporaneo, o rispettivamente entro  $3\emptyset$  e  $5\emptyset$  nel caso di getto differito. Le misure di estrusione del fronte e di convergenza del cavo potranno indicare:

- la necessità di effettuare tale getto entro distanze più restrittive (al limite realizzando il campo di avanzamento in due fasi distinte, alternandole al getto dell'arco rovescio);
- la lunghezza dei campioni di arco rovescio da realizzare;
- la necessità di realizzare il consolidamento del fronte del successivo campo di avanzamento prima del getto di arco rovescio e murette.

#### **FASE 7: impermeabilizzazione**

Posa in opera dell'impermeabilizzazione, eseguita prima del getto del rivestimento definitivo di calotta.

#### **FASE 8: getto rivestimento definitivo**

Il getto del rivestimento definitivo di calotta seguirà il fronte ad una distanza non superiore a  $9 \square$ . Anche in questo caso in funzione dell'andamento delle misure di convergenza si potranno eventualmente stabilire distanze ancora più restrittive (cioè inferiori) entro cui eseguire il getto del rivestimento definitivo.

Qualora le operazioni di scavo vengano interrotte per un periodo prossimo alle 24 ore, è necessario porre in opera al fronte uno strato di spritz-beton armato di spessore pari a 10 cm; se il fermo delle lavorazioni risulta superiore a 48 h (festività o fermi di qualsiasi natura) il ciclo delle lavorazioni dovrà necessariamente terminare con il consolidamento del fronte appena eseguito, previa sagomatura a forma concava ed esecuzione dello strato di spritz-beton armato  $sp=10$  cm, e con l'arco rovescio e le murette (eventualmente la calotta) portati a ridosso del fronte stesso.

#### **5.3.3 Sezioni tipo B4/1 e B4/2**

La sezione tipo *B4/1* è costituita da:

- preconsolidamento del fronte realizzato mediante la posa in opera di n° 60 tubi in VTR,

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 Foglio 61 di 297

lunghezza  $\geq 24$  m, sovrapp.  $\geq 6 - 12$  m, cementati;

- n° 10-11 bulloni radiali ad ancoraggio continuo  $\varnothing 28$ mm FeB 44K, lunghezza 5.50 – 6.50 m, passo trasversale 2.00 m, passo longitudinale 1.00m, cementati mediante iniezioni cementizie o resina epossidica;
- prerivestimento composto da uno strato di 30 cm di spritz-beton armato con rete elettrosaldata o fibrorinforzato e centine 2IPN240 con passo  $p = 1.00$ ;
- impermeabilizzazione tipo “0” costituita da tessuto non tessuto e un manto in pvc;
- rivestimento definitivo in cls dello spessore di 100 cm in arco rovescio e di 80 cm in calotta. Il getto dell’arco rovescio, delle murette e del rivestimento definitivo di calotta sarà eseguito ad una distanza dal fronte che dipenderà dal comportamento deformativo del cavo.

La sezione tipo *B4/2* è costituita da:

- preconsolidamento del fronte realizzato mediante la posa in opera di n° 70 tubi in VTR, lunghezza  $\geq 24$  m, sovrapp.  $\geq 6 - 12$  m, cementati;
- n° 10-11 bulloni radiali ad ancoraggio continuo  $\varnothing 28$ mm FeB 44K, lunghezza 8 m, passo trasversale 2.00 m, passo longitudinale 1.00m, cementati mediante iniezioni cementizie o resina epossidica;
- prerivestimento composto da uno strato di 30 cm di spritz-beton armato con rete elettrosaldata o fibrorinforzato e centine centine 2IPN240 con passo  $p = 1.00$ ;
- impermeabilizzazione tipo “0” costituita da tessuto non tessuto e un manto in pvc;
- rivestimento definitivo in cls dello spessore di 100 cm in arco rovescio e di 90 cm in calotta. Il getto dell’arco rovescio, delle murette e del rivestimento definitivo di calotta sarà eseguito ad una distanza dal fronte che dipenderà dal comportamento deformativo del cavo.

#### Campo di applicazione

Per quanto concerne il campo di applicazione si veda la tabella riepilogativa riportata alla fine del paragrafo.

#### Interventi previsti

Si possono considerare le seguenti fasi costruttive:

#### **FASE 1: esecuzione del preconsolidamento del fronte.**

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 Foglio 62 di 297

Dal fronte di scavo, sagomato a forma concava, si realizza il preconsolidamento del fronte mediante la posa di 60 (B4/1) – 70 (B4/2) tubi in VTR cementati, aventi sovrapposizione  $\geq 6$  -12 m. Le fasi costruttive sono le seguenti:

- esecuzione sul fronte dello strato di spritz-beton fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata, avente spessore di 10 cm;
  - perforazione eseguita a secco  $\square \geq 100$  mm;
  - posa del tubo in VTR ad aderenza migliorata, munito dell'opportuna attrezzatura per la cementazione ed esecuzione di cianfrinatura a boccaforo;
  - esecuzione della cementazione mediante miscela cementizie a ritiro controllato ogni 4÷5 fori;
- Le sequenze operative andranno adattate alle caratteristiche dell'ammasso ma dovranno comunque essere tali da garantire l'inghisaggio dell'elemento strutturale mediante il completo riempimento dell'intercapedine tra elemento e pareti del foro, nonché delle parti costituenti l'elemento strutturale.

La fase di cementazione potrà avvenire di massima ogni 4-5 elementi già posati e comunque il prima possibile per evitare possibili franamenti del foro con conseguente perdita di efficacia dell'intervento. Le caratteristiche della miscela da impiegare sono riportate nella tabella materiali riportate nel relativo elaborato grafico.

### **FASE 2: esecuzione di eventuali drenaggi**

Esecuzione di eventuali drenaggi in avanzamento, in caso di presenza d'acqua, il cui numero, le posizioni e le relative inclinazioni saranno definite in dettaglio in corso d'opera in funzione della situazione effettivamente riscontrata. Nel caso debbano essere eseguiti, al termine degli interventi di preconsolidamento descritti nella fase 1, si prevede l'uso di drenaggi costituiti da n° max 4 tubi in PVC microfessurati per 20 m a partire da fondo foro e "ciechi" per 10 m verso bocca foro, del diametro  $\square \approx 60$  mm spessore 4 mm e protezione in geotessile, messi in opera all'interno di un foro con diametro  $\square \geq 100$  mm. Dopo la posa in opera del tubo in PVC, si dovranno adottare opportuni accorgimenti per isolare il tratto microfessurato da quello cieco (sacco otturatore, cementazione), ad evitare dannose percolazioni dell'acqua raccolta in avanzamento all'interno del nucleo consolidato.

### **FASE 3: esecuzione scavo**

Esecuzione scavo di avanzamento a piena sezione per campi pari a 18 - 12 m (preconsolidamento del nucleo  $L \geq 24$ m sovrapposizione  $s \geq 6$ -12m), per singoli sfondi di lunghezza massima pari a 1.00m, sagomando il fronte a forma concava ad ogni sfondo

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 Foglio 63 di 297

parziale ed eseguendo uno strato di spritz-beton armato di 10cm su ognuno di tali fronti.

#### **FASE 4: posa in opera del rivestimento di prima fase**

Al termine di ogni singolo sfondo verrà messo in opera il rivestimento di 1<sup>a</sup> fase costituito da centine metalliche 2IPN240 passo 1.00 m e da uno strato di spritz-beton, armato con rete elettrosaldata (□6 15x15) o fibrorinforzato, di spessore 20 cm. Le centine appena posate dovranno essere collegate alle altre attraverso le apposite catene.

#### **FASE 5: perforazione e posa in opera dei bulloni**

In corrispondenza dei calestrelli presenti tra i due profilati IPN240 verranno eseguite le perforazioni necessarie per la messa in opera dei bulloni radiali a cementazione continua. I bulloni saranno installati con passo trasversale pari a 2.00m e passo longitudinale pari ad 1.00m. L'iniezione dei bulloni dovrà avvenire entro mezzo diametro dal fronte di scavo. Successivamente all'iniezione verrà eseguito lo strato di completamento di spritz-beton sino a raggiungere lo spessore di 30 cm.

#### **FASE 6: getto arco rovescio e murette**

Il getto dell'arco rovescio e delle murette dovrà avvenire entro 3Ø dal fronte nel caso di un loro getto contemporaneo, o rispettivamente entro 3Ø e 5Ø nel caso di getto differito. Le misure di estrusione del fronte e di convergenza del cavo potranno indicare:

- la necessità di effettuare tale getto entro distanze più restrittive (al limite realizzando il campo di avanzamento in due fasi distinte, alternandole al getto dell'arco rovescio);
- la lunghezza dei campioni di arco rovescio da realizzare;
- la necessità di realizzare il consolidamento del fronte del successivo campo di avanzamento prima del getto di arco rovescio e murette.

#### **FASE 7: impermeabilizzazione**

Posa in opera dell'impermeabilizzazione, eseguita prima del getto del rivestimento definitivo.

#### **FASE 8: getto rivestimento definitivo**

Tale operazione seguirà il fronte ad una distanza non superiore a 9 □. Anche in questo caso in funzione dell'andamento delle misure di convergenza si potranno eventualmente stabilire



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 Foglio 64 di 297

distanze ancora più restrittive (cioè inferiori) entro cui eseguire il getto del rivestimento definitivo.

Qualora le operazioni di scavo vengano interrotte per un periodo prossimo alle 24 ore, è necessario porre in opera al fronte, sagomato a forma concava, uno strato di spritz-beton di spessore pari a 10 cm: Se il fermo delle lavorazioni risulta superiore a 48 h (festività o fermi di qualsiasi natura) il ciclo delle lavorazioni dovrà necessariamente terminare con il consolidamento (incrementato) del fronte appena eseguito, previa sagomatura a forma concava ed esecuzione dello strato di spritz-beton armato,  $sp=10$  cm, e con il rivestimento di prima fase a ridosso del fronte stesso. In relazione al comportamento deformativo del fronte e del cavo, arco rovescio e murette dovranno essere opportunamente avvicinate al fronte.

#### 5.3.4 Sezione tipo C2

La sezione tipo C2 è costituita da:

- un preconsolidamento del fronte realizzato mediante la posa in opera di n° 55 tubi in VTR,  $L \geq 24.00$  m sovrapp.  $\geq 6 - 12$  m, cementati.
- un preconsolidamento al contorno della futura sezione di scavo mediante iniezioni cementizie in pressione, realizzate mediante 55 tubi in VTR  $L \geq 24.00$  m, sovrapp.  $\geq 6 - 12$  m, valvolati con 1 vlv/m;
- eventuali drenaggi in avanzamento, in caso di presenza d'acqua;
- eventuale preconsolidamento al piede delle centine mediante 6+6 tubi in VTR,  $L \geq 24.00$  m, sovrapp.  $\geq 6 - 12$  m;
- un prerivestimento composto da centine HEB240 con passo  $p = 1.00$ m e da uno strato di 30 cm di spritz-beton armato con rete elettrosaldato o fibrorinforzato;
- impermeabilizzazione tipo "0" costituita da tessuto non tessuto e un manto in pvc;
- rivestimento definitivo in cls armato dello spessore di 100 cm in arco rovescio e dello spessore di 90 cm in calotta.

#### Campo d'applicazione

Per quanto concerne il campo di applicazione si veda la tabella riepilogativa riportata alla fine del paragrafo.

#### Fasi esecutive

Si possono considerare le seguenti fasi costruttive:



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 Foglio 65 di 297

### **FASE 1: esecuzione del preconsolidamento del fronte.**

Dal fronte di scavo, sagomato a forma concava con freccia di circa 1.5 m, si realizza il preconsolidamento del fronte mediante la posa di 55 tubi in VTR cementati, aventi lunghezza minima di 24.00 m e sovrapposizione  $s \geq 6 - 12$  m. Le fasi costruttive sono le seguenti:

- esecuzione sul fronte dello strato di spritz-beton fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata, avente spessore di 10 cm;
- perforazione eseguita a secco  $\varnothing \geq 100$  mm;
- posa dell'elemento strutturale in VTR ad aderenza migliorata, munito dell'opportuna attrezzatura per la cementazione ed esecuzione di cianfrinatura a boccaforo;
- esecuzione della cementazione mediante miscele cementizie a ritiro controllato ogni 4÷5 fori;

Le sequenze operative andranno adattate alle caratteristiche dell'ammasso ma dovranno comunque essere tali da garantire l'inghisaggio dell'elemento strutturale al terreno mediante il completo riempimento dell'intercapedine tra elemento e pareti del foro.

La fase di cementazione potrà avvenire di massima ogni 4-5 elementi già posati e comunque il prima possibile per evitare possibili franamenti del foro con conseguente perdita di efficacia dell'intervento.

### **FASE 2: consolidamento al contorno ed al piede della centina**

Dal fronte di scavo, si realizza un arco di terreno consolidato mediante iniezioni cementizie al contorno della futura sezione di scavo ed in prossimità del piede della centina (eventuale), attraverso perforazioni inclinate rispetto all'orizzontale secondo quanto indicato negli elaborati di progetto.

Le modalità esecutive risultano:

- perforazione eseguita a secco  $\varnothing \geq 100$ mm;
- inserimento del tubo in VTR ad elevata resistenza allo scoppio ( $p > 7$ MPa), valvolato con 1 valv./m per iniezioni in pressione; tali tubi potranno essere anche in resina poliestere rinforzata con fibre di vetro;
- formazione della "guaina" al contorno del tubo ogni 4÷5 fori mediante cementazione con miscela ricca in bentonite le cui caratteristiche di massima, da definire compiutamente in corso d'opera, sono le seguenti:

- rapporto A/C = 2

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 Foglio 66 di 297

- bentonite Kg 60
- eventuale additivo antiritiro
- iniezione in pressione, valvola per valvola, di una miscela cementizia le cui caratteristiche di massima, da definire compiutamente in corso d'opera, sono le seguenti:
  - cemento a finezza di macinazione non inferiore a 4500 cmq/g Blaine (tipo R 425)
  - rapporto A/C = 0.2-0.7

Le sequenze operative andranno adattate alle caratteristiche dell'ammasso ma dovranno comunque essere tali da garantire l'inghisaggio dell'elemento strutturale al terreno mediante il completo riempimento dell'intercapedine tra elemento e pareti del foro.

La fase di cementazione o formazione della guaina potrà avvenire di massima ogni 4-5 elementi già posati e comunque il prima possibile per evitare possibili franamenti del foro con conseguente perdita di efficacia dell'intervento.

L'iniezione della guaina avverrà dal fondo verso il paramento del fronte: analogamente avverrà per l'iniezione in pressione dalle singole valvole.

Le caratteristiche delle miscele da impiegare sono riportate nella tabella materiali riportate nel relativo elaborato grafico.

Il numero delle valvole a metro lineare utilizzate per la realizzazione delle iniezioni in pressione al contorno della sezione di scavo potrà variare in funzione delle caratteristiche dell'ammasso e dei risultati dei consolidamenti precedenti riscontrati in corso d'opera.

In corso d'opera si potrà valutare la possibilità di variare la metodologia di perforazione indicata nelle fasi 1 e 2 (a secco) utilizzando un opportuno fluido di perforazione (miscela cementizia, acqua additivata con agente schiumogeno, ...), in funzione delle caratteristiche dell'ammasso e previa esecuzione di adeguate prove in sito, atte a garantire:

- ai fini del consolidamento del terreno, caratteristiche funzionali e di resistenza non inferiori a quanto fornito seguendo le attuali prescrizioni;
- l'assenza di problemi connessi alla "sensibilità" dei terreni interessati dalle perforazioni (minerali rigonfianti, frazioni argillose attive);
- condizioni di inghisaggio analoghe a quelle ottenute con la perforazione a secco.

### **FASE 3: esecuzione di eventuali drenaggi (eventuali)**

Esecuzione di eventuali drenaggi in avanzamento, in caso di presenza d'acqua, il cui numero,

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 Foglio 67 di 297

le posizioni e le relative inclinazioni saranno definite in corso d'opera in funzione della situazione effettivamente riscontrata. Nel caso debbano essere eseguiti, al termine degli interventi di preconsolidamento descritti nella fase 2, si prevede l'uso di drenaggi costituiti da n° max 6 tubi in PVC microfessurati per 20 m a partire da fondo foro e "ciechi" per 10 m verso bocca foro, del diametro  $\varnothing \approx 60$  mm spessore 4 mm e protezione in geotessile, messi in opera all'interno di un foro con diametro  $\varnothing \geq 100$  mm. Dopo la posa in opera del tubo in PVC, si dovranno adottare opportuni accorgimenti per isolare il tratto microfessurato da quello cieco (sacco otturatore, cementazione), ad evitare dannose percolazioni dell'acqua raccolta in avanzamento all'interno del nucleo consolidato.

Il numero, le posizioni e le relative inclinazioni saranno definite in dettaglio in corso d'opera in funzione della situazione effettivamente riscontrata.

#### **FASE 4: esecuzione scavo**

Esecuzione scavo di avanzamento a piena sezione per campi di lunghezza massima di 18 - 12 m (lunghezza consolidamenti contorno  $\geq 24.00$  m, sovrapposizione  $\geq 6 - 12$  m; lunghezza consolidamenti fronte  $\geq 24.00$  m, sovrapposizione  $\geq 6 - 12$  m), per singoli sfondi di lunghezza massima pari a 1.00m, sagomando il fronte a forma concava ad ogni sfondo parziale ed eseguendo uno strato di spritz-beton armato di 10cm su ognuno di tali fronti.

#### **FASE 5: posa in opera del rivestimento di prima fase**

Al termine di ogni singolo sfondo verrà messo in opera il rivestimento di 1<sup>a</sup> fase costituito da centine metalliche HEB240 passo 1.00 m e da uno strato di spritz-beton, di spessore pari a 30 cm, armato con rete elettrosaldada ( $\varnothing 6$  15x15) o fibrorinforzato. Le centine appena posate dovranno essere collegate alle altre attraverso le apposite catene.

#### **FASE 6: getto arco rovescio e murette**

Il getto dell'arco rovescio e delle murette dovrà avvenire entro  $3\emptyset$  dal fronte. Le misure di estrusione del fronte e di convergenza del cavo potranno indicare:

- la necessità di effettuare tale getto entro distanze più restrittive (al limite realizzando il campo di avanzamento in due fasi distinte, alternandole al getto dell'arco rovescio);
- la lunghezza dei campioni di arco rovescio da realizzare;
- la possibilità di realizzare il consolidamento del fronte del successivo campo di avanzamento prima del getto di arco rovescio e murette.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 Foglio 68 di 297

### **FASE 7: impermeabilizzazione**

La posa in opera dell'impermeabilizzazione sarà eseguita prima del getto del rivestimento definitivo.

### **FASE 8: getto rivestimento definitivo**

Tale operazione seguirà il fronte ad una distanza non superiore a 9 m. Anche in questo caso in funzione dell'andamento delle misure di convergenza si potranno eventualmente stabilire distanze ancora più restrittive (cioè inferiori) entro cui eseguire il getto del rivestimento definitivo.

Qualora le operazioni di scavo vengano interrotte per un periodo prossimo alle 24 ore, è necessario porre in opera al fronte uno strato di spritz-beton di spessore pari a 10 cm, con lo scopo di evitare che il materiale al contatto con l'atmosfera subisca deterioramenti; se il fermo delle lavorazioni risulta superiore a 48 h (festività o fermi di qualsiasi natura) il ciclo delle lavorazioni dovrà necessariamente terminare con il consolidamento incrementato del fronte appena eseguito, previa sagomatura a forma concava ed esecuzione dello strato di spritz-beton armato,  $sp=10$  cm, e con il rivestimento di prima fase, l'arco rovescio e le murette portati a ridosso del fronte stesso.

#### **5.3.5 Sezione tipo C4**

La sezione tipo C4, in fase costruttiva è costituita da:

- preconsolidamento del fronte realizzato mediante la posa in opera di n° 70 tubi in VTR L  $\geq 24.00$  m, sovrapp.  $\geq 6 - 12$  m, cementati con miscele cementizie a ritiro controllato;
- preconsolidamento al contorno della futura sezione di scavo mediante n° 70 tubi in VTR, L  $\geq 24.00$  m, sovrapp.  $\geq 6 - 12$  m cementati con miscele cementizie a ritiro controllato;
- eventuale preconsolidamento al piede delle centine mediante 6+6 tubi in VTR, L  $\geq 24.00$  m, sovrapp.  $\geq 6 - 12$  m, da eseguirsi qualora non venga utilizzato il puntone in arco rovescio;
- eventuali drenaggi in avanzamento, in caso di presenza d'acqua;
- prerinvestimento composto da centine HEB240 passo  $p = 1.00$  m con eventuale puntone (da definire in funzione del contesto geomeccanico), e da uno strato di 30 cm di spritz-beton armato con rete elettrosaldata o fibrorinforzato;
- impermeabilizzazione tipo "0" costituita da tessuto non tessuto e manto in pvc;
- arco rovescio in cls semplice dello spessore di 100 cm, rivestimento definitivo dello spessore di 90 cm in calotta.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 Foglio 69 di 297

### Campo di applicazione

Per quanto concerne il campo di applicazione si veda la tabella riepilogativa riportata alla fine del paragrafo.

### Interventi previsti

Si possono considerare le seguenti fasi costruttive:

#### **FASE 1: esecuzione del preconsolidamento del fronte**

Dal fronte di scavo, sagomato a forma concava con freccia di circa 1.5 m, si realizza il preconsolidamento del fronte mediante la posa di n° 70 tubi in VTR cementati con miscele a ritiro controllato, aventi lunghezza minima di 24.00 m e sovrapposizione  $\geq 6 - 12$  m. Le fasi costruttive sono le seguenti:

- esecuzione sul fronte dello strato di spritz-beton fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata, avente spessore di 10 cm;
- perforazione eseguita a secco  $\square \geq 100$  mm;
- posa dell'elemento strutturale in VTR, munito dell'opportuna attrezzatura per la cementazione ed esecuzione di cianfrinatura a boccaforo;
- esecuzione della cementazione mediante miscele cementizie a ritiro controllato ogni 4÷5 fori;

Le sequenze operative andranno adattate alle caratteristiche dell'ammasso ma dovranno comunque essere tali da garantire l'inghisaggio dell'elemento strutturale al terreno mediante il completo riempimento dell'intercapedine tra elemento e pareti del foro.

La fase di cementazione potrà avvenire di massima ogni 4-5 elementi già posati e comunque il prima possibile per evitare possibili franamenti del foro con conseguente perdita di efficacia dell'intervento. Il riempimento del foro avverrà dal fondo verso il paramento del fronte.

Le caratteristiche della miscela da impiegare sono riportate nella tabella materiali del relativo elaborato grafico.

#### **FASE 2: consolidamento al contorno della sezione**

Dal fronte di scavo, si realizza un arco di terreno consolidato al contorno della sezione di

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 Foglio 70 di 297

scavo mediante posa in opera di n° 70 tubi in VTR cementati, aventi lunghezza minima di 24.00 m e sovrapposizione  $\geq 6 - 12$  m.

### **FASE 3: esecuzione drenaggi in avanzamento (eventuali)**

L'esecuzione di drenaggi al contorno della sezione, secondo il numero e le geometrie indicate in progetto, avverrà al termine degli interventi di preconsolidamento descritti nella fase 2.

### **FASE 4: esecuzione scavo**

Esecuzione scavo di avanzamento a piena sezione per una lunghezza massima di 18 - 12 m (consolidamenti  $L = 24.00$ m, sovrapposizione  $\geq 6 - 12$  m), per singoli sfondi max. di 1.00 m, sagomando il fronte a forma concava anche ad ogni sfondo parziale ed eseguendo uno strato di spritz-beton armato, sp.10 cm, su ognuno di tali fronti.

### **FASE 5: posa in opera del rivestimento di prima fase**

Al termine di ogni singolo sfondo verrà messo in opera il rivestimento di 1a fase costituito da centine metalliche HEB240 passo 1.00 m e da uno strato di spritz-beton, di spessore pari a 30 cm, armato o fibrorinforzato. Le centine appena posate dovranno essere collegate alle altre attraverso le apposite catene.

### **FASE 6: getto arco rovescio e murette**

Il getto dell'arco rovescio e delle murette dovrà avvenire entro  $3\emptyset$  dal fronte. Le misure di estrusione del fronte e di convergenza del cavo potranno indicare:

- la necessità di effettuare tale getto entro distanze più restrittive (al limite realizzando il campo di avanzamento in due fasi distinte, alternandole al getto dell'arco rovescio);
- la lunghezza dei campioni di arco rovescio da realizzare;
- la possibilità di realizzare il consolidamento del fronte del successivo campo di avanzamento prima del getto di arco rovescio e murette.

### **FASE 7: impermeabilizzazione**

Posa in opera dell'impermeabilizzazione, eseguita prima del getto del rivestimento definitivo.

### **FASE 8: getto rivestimento definitivo**

Tale operazione seguirà il fronte ad una distanza non superiore a  $9 \square$ . Anche in questo caso in

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00	Foglio 71 di 297

funzione dell'andamento delle misure di convergenza si potranno eventualmente stabilire distanze ancora più restrittive (cioè inferiori) entro cui eseguire il getto del rivestimento definitivo.

Qualora le operazioni di scavo vengano interrotte per un periodo prossimo alle 24 ore, è necessario porre in opera al fronte, sagomato a forma concava, uno strato di spritz-beton armato di spessore pari a 10 cm, con lo scopo di evitare che il materiale al contatto con l'atmosfera subisca deterioramenti. Se il fermo delle lavorazioni risulta superiore a 48 h (festività o fermi di qualsiasi natura) il ciclo delle lavorazioni dovrà necessariamente terminare con il consolidamento del fronte appena eseguito (eventualmente incrementato), previa sagomatura a forma concava ed esecuzione dello strato di spritz-beton armato, sp=10 cm, e con il rivestimento di prima fase, l'arco rovescio e le murette portati a ridosso del fronte stesso. In relazione al comportamento deformativo del fronte e del cavo, l'arco rovescio e le murette dovranno essere opportunamente avvicinate al fronte.

La sequenza operativa di perforazione, inserimento del tubo o dell'elemento strutturale in VTR e cementazione indicata precedentemente, andrà adattata alle caratteristiche dell'ammasso, prevedendo comunque l'inserimento del tubo o dell'elemento strutturale in VTR e la successiva cementazione massimo ogni 5 perforazioni realizzate, garantendo comunque il completo riempimento del foro e l'inghisaggio del tubo o dell'elemento strutturale. In corso d'opera si potrà comunque valutare la possibilità di variare la metodologia di perforazione indicata (a secco) utilizzando un opportuno fluido di perforazione (miscele cementizie, acqua additivata con agenti schiumogeni, etc) in funzione delle caratteristiche dell'ammasso e previa esecuzione di adeguate prove in sito, atte a garantire:

- caratteristiche di resistenza e funzionali ai fini del consolidamento del terreno non inferiori a quanto fornito seguendo le attuali prescrizioni;
- l'assenza di problemi connessi alla "sensibilità" dei terreni interessati dalle perforazioni (minerali rigonfianti, frazioni argillose attive, etc)
- condizioni di inghisaggio analoghe a quelle ottenute con la perforazione a secco.

#### 5.4 Campi d'applicazione e variabilità delle sezioni tipo

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 <div style="float: right;">Foglio 72 di 297</div>

Si riporta nel seguito una tabella contenente i campi di applicazione, gli spostamenti attesi e la variabilità prevista per ogni sezione tipo. I valori attesi delle convergenze medie e degli spostamenti massimi delle mire si discostano dai risultati emersi in sede di calcolo in quanto nella pratica è necessario tenere conto dell'importanza di fattori difficilmente schematizzabili e modellabili numericamente, quali anisotropie nel comportamento deformativo del cavo, condizioni geomeccaniche particolari e localizzate, fasi esecutive e cadenze d'avanzamento. Per questi motivi il range delle convergenze e degli spostamenti delle mire attesi può essere più elevato di quelli calcolati numericamente, come indicato in tabella.

In funzione delle caratteristiche d'ammasso e degli spostamenti registrati in corso d'opera sarà compito del progettista operare sulla variabilità di ciascuna sezione tipo di modo da garantire la sicurezza dell'opera nel breve e nel lungo termine.

Per quanto concerne i dettagli di tale variabilità si veda la tabella allegata alla presente relazione. Nella succitata tabella sono rappresentati i parametri caratteristici dei gruppi geomeccanici 1, 2 e 3; l'utilizzo degli interventi previsti per le singole sezioni tipo sarà funzione di tali "parametri caratteristici" e dei risultati delle misure riscontrate in corso d'opera (convergenze ed estrusioni).

Per maggiori dettagli sul campo d'applicazione di ciascuna sezione tipo si rimanda alla fase successiva di progettazione esecutiva.



		GRUPPI GEOMECCANICI				
		1	2	3	4	
SEZIONI TIPO	H < 300 m	B0L				
	H < 500 m	B01	B1	B41		C2
	H > 500 m	B02	B1 B21 B22	B42		C4 C2 C4
PARAMETRI CARATTERISTICI	c [Mpa]	1.6 - 1.3	1.2 - 1.1	1.0 - 0.9	0.7-0.65	CAMPO D'APPLICAZIONE *
	φ [°]	36 - 34	35 - 33	32 - 30	29-28	
	E [Gpa]	5.4	2.1	1.7	1.2	
	σ <sub>1</sub> [Mpa]	1.3	0.3	0.2	0.1	
	σ <sub>2</sub> [Mpa]	44.0	39.0	34.0	28.0	
	RQD	> 50%	35-50%	20-35%	< 20%	
	Foliazione	Regolarmente spiccata	Foliarmente spiccata	Foliarmente spiccata	Intensa	
	Struttura	Piegata fino alla mesoscala	Piegata fino alla macroscala	Piegata fino alla macroscala	Non riconoscibile (ammasso destrutturato)	
	Giunti	Privi di alterazione	Da poco alterati ad alterati	Alterati	Molto alterati	
	% Palombini	> 50%	< 50%	< 20%	< 10%	
Stato Palombini	Poco fratturati e poco alterati	Da fratturati a molto fratturati e/o localmente alterati	Molto fratturati e alterati	Intensamente fratturati ed alterati		
Comportamento fronte	B	B	B	C		
DEFORMAZIONI	Spostamento singola mira o convergenza diametrale Soglia attenzione [cm]	< 4	< 5	< 8	< 10	
	Spostamento singola mira o convergenza diametrale Soglia allarme [cm]	< 6	< 7	< 9	< 11	
ESTRUSIONI	Estrusioni cumulative Soglia attenzione [cm]	-	< 5	< 7	< 10	
	Estrusioni cumulative Soglia allarme [cm]	-	< 8	< 10	< 15	
MUR	Passo centine [m]	1.5 — 1.4 — 1.2				
	Puntone	-				
	Spessore Sb [cm]	15 — 20 — 25				
	Distanza max getto murette Distanza max getto a.r. Distanza max getto calotta	10p — 10p — 10p				
M01 - M02	Passo centine [m]	1.4 — 1.2 — 1.0				
	Puntone	-				
	Spessore Sb [cm]	20 — 25 — 30				
	Distanza max getto murette Distanza max getto a.r. Distanza max getto calotta	10p — 10p — 10p				
B1	Passo centine [m]	1.4 — 1.2 — 1.0				
	Puntone	-				
	Spessore Sb [cm]	25 — 30 — 35				
	Distanza max getto murette Distanza max getto a.r. Distanza max getto calotta	10p — 10p — 10p				
	Lunghezza bulloni acciaio [m]	5.5 — 6				
	Passo trasversale [m]	1.5 — 1.2				
B01	Passo centine [m]	1.2 — 1.0 — 0.8				
	Puntone	-				
	Spessore Sb [cm]	25 — 30 — 35				
	Consolidamento VTR fronte Lunghezza sovr. VTR [m] Distanza max getto murette Distanza max getto a.r. Distanza max getto calotta	40 — 60 — 80 6 — 9 — 12 10p — 10p — 10p				
	Passo centine [m]	1.2 — 1.0 — 0.8				
	Puntone	-				
B02	Passo centine [m]	1.2 — 1.0 — 0.8				
	Puntone	-				
	Spessore Sb [cm]	25 — 30 — 35				
	Consolidamento VTR fronte Lunghezza sovr. VTR [m] Distanza max getto murette Distanza max getto a.r. Distanza max getto calotta	55 — 70 — 90 6 — 9 — 12 10p — 10p — 10p				
	Passo centine [m]	1.2 — 1.0 — 0.8				
	Puntone	-				
B41	Passo centine [m]	1.2 — 1.0 — 0.8				
	Puntone	-				
	Spessore Sb [cm]	25 — 30 — 35				
	Consolidamento VTR fronte Lunghezza sovr. VTR [m] Distanza max getto murette Distanza max getto a.r. Distanza max getto calotta	40 — 60 — 80 6 — 9 — 12 10p — 10p — 10p				
	Lunghezza bulloni acciaio [m]	5.5 — 6				
	Passo trasversale [m]	1.5 — 1.2				
B42	Passo centine [m]	1.2 — 1.0 — 0.8				
	Puntone	-				
	Spessore Sb [cm]	25 — 30 — 35				
	Consolidamento VTR fronte Lunghezza sovr. VTR [m] Distanza max getto murette Distanza max getto a.r. Distanza max getto calotta	55 — 70 — 90 6 — 9 — 12 10p — 10p — 10p				
	Lunghezza bulloni acciaio [m]	5 — 6 — 8				
	Passo trasversale [m]	1.5 — 1.2				
C1	Passo centine [m]	1.2 — 1.0 — 0.8			1.2 — 1.0 — 0.8	
	Puntone	-				
	Spessore Sb [cm]	25 — 30 — 35				
	Consolidamento VTR fronte Lunghezza sovr. VTR [m] Distanza max getto murette Distanza max getto a.r. Distanza max getto calotta	40 — 55 — 80 6 — 9 — 12 10p — 10p — 10p				
	Passo centine [m]	1.2 — 1.0 — 0.8				
	Puntone	-				
C3	Passo centine [m]	1.2 — 1.0 — 0.8			1.2 — 1.0 — 0.8	
	Puntone	-				
	Spessore Sb [cm]	25 — 30 — 35				
	Consolidamento VTR fronte Lunghezza sovr. VTR [m] Distanza max getto murette Distanza max getto a.r. Distanza max getto calotta	55 — 70 — 85 6 — 9 — 12 10p — 10p — 10p				
	Passo centine [m]	1.2 — 1.0 — 0.8				
	Puntone	-				

VARIABILITA' SEZIONI TIPO

\* I parametri geomeccanici sono stati ricavati tramite correlazioni empiriche (Block & Brown) e sono stati tarati in funzione delle coperture presenti (da 500 ai 600 m)  
 \*\* - Per distanza massima si intende la distanza limite, misurata a partire dal fronte di scavo, entro cui eseguire i getti di rivestimento definitivo  
 \*\*\* - Qualora si rivestissero impronte geologiche (R2>1, fenomeno di squeezing, etc.) è previsto l'impiego di sezioni dotate di sovrapposizioni ed armature  
 \*\*\*\* - Su tutte le sezioni tipo i disegni in avanzamento sono da ritenersi eventuali

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 Foglio 74 di 297

## 6. VERIFICA DELLE SEZIONI TIPOLOGICHE

In questo capitolo sono descritte le verifiche tenso-deformative relative alle sezioni tipo presenti nelle gallerie in esame. I calcoli sono stati effettuati per tutte le sezioni tipo in presenza delle massime coperture previste per ognuna di esse.

### 6.1 Analisi alle differenze finite FLAC 3.4

Le analisi tenso-deformative presentate nel seguito, sono state condotte impiegando il codice di calcolo FLAC 3.4 (Fast Lagrangian Analysis of Continua), sviluppato da ITASCA Consulting, il quale consente di affrontare problemi di meccanica del continuo, determinando gli stati tensionali e deformativi in un dominio bidimensionale, le cui caratteristiche sono definite da leggi di comportamento, di tipo elastico o plastico, e da imposte condizioni al contorno, implementando il metodo delle differenze finite. Tale metodo si basa sulla discretizzazione delle equazioni differenziali che governano il problema fisico in esame (equazioni derivanti dal teorema della divergenza di Gauss), attraverso la sostituzione delle derivate con quozienti di differenze finite. In questo modo, le equazioni differenziali vengono trasformate in equazioni algebriche, da risolversi in successivi passi di calcolo. L'algoritmo di calcolo segue uno schema lagrangiano denominato "esplicito per integrazione diretta nel tempo" (explicit time marking), il quale è in grado di lavorare agevolmente e molto velocemente per sistemi con grandi deformazioni, con stati di collasso molto avanzati e in condizioni di instabilità (la possibilità di giungere al collasso non è infatti limitata da problemi di stabilità numerica, quale l'invertibilità di matrici). L'adattamento del metodo alle differenze finite a casi di griglia di forma qualunque segue l'approccio di Wilkins M.L.

La discretizzazione viene operata sovrapponendo alla porzione di continuo considerata un reticolo, in genere di maglie quadrilatere (elementi quadrilateri e/o triangolari), in corrispondenza dei cui nodi (gridpoints) sono definite le grandezze in gioco. E' allora possibile approssimare la derivata prima di una funzione rispetto a una variabile indipendente, con il rapporto tra la variazione subita dalla funzione stessa nel passare da un nodo ad uno contiguo, e la corrispondente variazione della variabile indipendente.

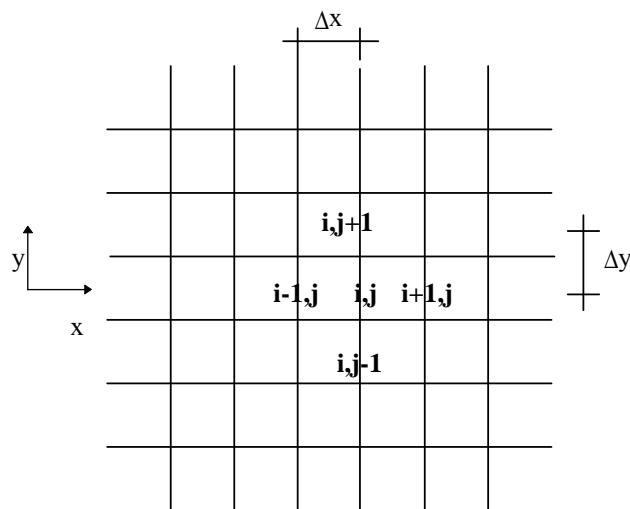
Con riferimento alla figura seguente, può assumersi ad un certo istante  $t$  una delle seguenti equivalenze:

$$\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)_{i,j} \approx \frac{u_{i+1,j}^t - u_{i,j}^t}{\Delta x},$$

$$\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)_{i,j} \approx \frac{u_{i+1,j}^t - u_{i-1,j}^t}{2\Delta x},$$

$$\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)_{i,j} \approx \frac{u_{i,j}^t - u_{i-1,j}^t}{\Delta x}.$$

In modo analogo si opera per le derivate rispetto ad  $y$ , e per le derivate di ordine superiore.



La legge costitutiva del materiale viene espressa nella seguente forma:

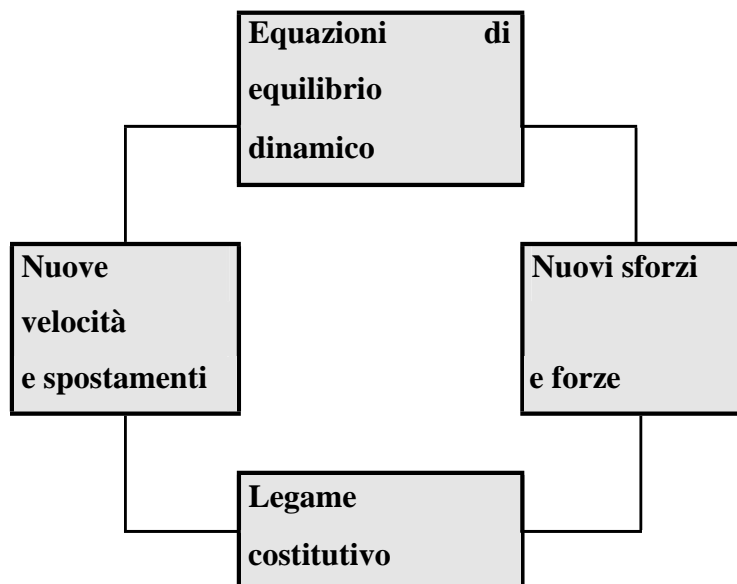
$$\sigma = E \cdot \frac{\partial u}{\partial x} \Rightarrow \sigma_{i,j} = E \cdot \frac{u_{i+1,j}^t - u_{i,j}^t}{\Delta x} \quad \text{—}$$

Il codice di calcolo FLAC usa uno schema di soluzione “esplicito condizionatamente stabile”, la cui sequenza di calcolo iterativo, illustrata schematicamente nella figura seguente, comprende i seguenti passi:

- per ogni nodo della griglia si valuta la massa  $\mathbf{m}$ , la risultante delle forze esterne  $\mathbf{F}_e$  (gravità, carichi esterni ...), la risultante delle forze interne  $\mathbf{F}_i$ , calcolata per integrazione degli sforzi nelle zone collegate al nodo stesso, così che è possibile

determinare la forza squilibrata agente sul nodo  $F_u$  (unbalanced force  $F_u = F_e - F_i$ ); affinché il sistema sia in equilibrio, tale forza deve essere nulla;

- per ogni gridpoint si scrive l'equazione di Newton  $F_u = ma$ , tramite la quale è possibile determinare l'accelerazione del nodo in esame; integrando due volte l'accelerazione si ottiene la velocità e lo spostamento incrementale di ogni nodo;
- dal campo di spostamenti incrementali, è possibile risalire al campo di deformazioni incrementali e quindi, attraverso il legame costitutivo dei materiali, al campo di variazioni degli sforzi nel reticolo;



- la variazione degli sforzi comporta la modifica, per ogni nodo della griglia, della risultante delle forze interne e conseguentemente la necessità di rideterminare la  $F_u$ , dando inizio ad un nuovo passo di calcolo. Il processo iterativo ha termine qualora si ottenga una forza squilibrata che abbia un valore minore di una tolleranza prestabilita. In generale, l'analisi può essere terminata quando la “unbalanced force” è pari allo 0.1% o all'1% della forza iniziale agente sul nodo.

Nell'analisi condotta, per l'ammasso si è assunto modello di comportamento elastoplastico con criterio di rottura Strain-Softening, basato sul criterio di rottura di Mohr-Coulomb. Con tale modello, una volta raggiunta la rottura secondo il criterio di Mohr-Coulomb, il successivo comportamento rammollente è simulato rendendo i valori dei

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 Foglio 77 di 297

parametri del criterio di Mohr-Coulomb (coesione, angolo di resistenza al taglio, dilatanza) funzioni della deformazione plastica.

Il rivestimento di prima fase ed il rivestimento definitivo sono stati schematizzati con elementi BEAM. Per entrambi i rivestimenti si è adottato un modello costitutivo elastico-lineare ed isotropo.

Gli elementi rappresentativi dei rivestimenti sono attivati “free stress” (senza sforzi iniziali) e sono soggetti al peso proprio e agli spostamenti indotti dalle variazioni di rigidità e di sollecitazione che intervengono nello stesso step di calcolo e nei successivi.

Le analisi sono state condotte in condizioni di deformazione piane (PLANE STRAIN), ma con accorgimenti tali, da rappresentare il progressivo passaggio dal problema tridimensionale, vicino al fronte, a quello piano, lontano dal fronte. L’effetto del fronte di scavo è stato considerato nel calcolo con una progressiva riduzione delle “forze di scavo”, forze applicate in direzione radiale ai nodi appartenenti al profilo di scavo (con verso uscente). Tali forze, scomposte vettorialmente in due componenti, in direzione degli assi di riferimento x ed y, vengono calcolate, nella condizione geostatica, per integrazione delle tensioni geostatiche  $\sigma_{xx}$  e  $\sigma_{yy}$ , nelle zone collegate al nodo stesso. La loro introduzione comporta l’eliminazione del nucleo di materiale all’interno del profilo di scavo. Successivamente vengono ridotte progressivamente, secondo la curva Panet, opportunamente tarata come indicato nel successivo paragrafo.

## 6.2 Taratura del modello di calcolo

La taratura del modello alle differenze finite è ottenuta per confronto con i risultati forniti dall’analisi della galleria mediante il metodo delle Linee Caratteristiche e con quelli forniti da una simulazione mediante un modello assialsimmetrico FLAC. L’introduzione del concetto di “effetto fronte” nel calcolo richiede la definizione di una legge di rilassamento del nucleo in grado di simulare il progressivo incremento della deformazione della cavità, con conseguente diminuzione della pressione esercitata sui rivestimenti. Tale concetto risulta adeguatamente espresso in termini analitici dalla curva  $1-\lambda = \sigma_r/\sigma_0$  di Panet, che rappresenta in termini di sforzi radiali il passaggio dal comportamento tridimensionale a quello piano. L’adozione della sola curva  $\lambda$ , così come comunemente espressa quale criterio di riduzione delle caratteristiche

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 Foglio 78 di 297

elastiche e di resistenza del nucleo nel corso dell'analisi, non produce tuttavia i dovuti risultati tenso-deformativi, né per confronto con quanto ottenuto in base alla teoria delle Linee Caratteristiche o a simulazioni con modelli assialsimmetrici, né per confronto con quanto effettivamente rilevato in corso d'opera. Tale curva deve essere tarata in funzione delle caratteristiche geomeccaniche del materiale, dello stato tensionale in sito e del criterio di rottura del materiale.

Per tale motivo si è stabilito di tarare la riduzione delle forze di scavo facendo in modo di ottenere un valore di convergenza al fronte prossimo a quello determinato mediante il calcolo delle Linee Caratteristiche e dal modello assialsimmetrico.

La riduzione così ottenuta va applicata al termine della time geostatica. Si ha pertanto:

$$R_{\text{forze, fronte}} = R_{\text{PANET, fronte}} * \alpha$$

con  $\alpha = (\text{Rid.}\%) / R_{\text{PANET, fronte}} \%$ .

Una volta determinata la riduzione iniziale, le riduzioni alle Time successive verranno determinate proporzionalmente all'andamento della curva 1- $\lambda$  di Panet in funzione della distanza dal fronte.

Si ha pertanto:

$$R_{\text{forze}} = R_{\text{forze, fronte}} + \beta \square (R_{\text{PANET}} - R_{\text{PANET, fronte}})$$

in cui il termine  $\beta = (100\% - \text{Rid.}\%) / (100\% - R_{\text{PANET, fronte}}\%)$  tiene conto delle percentuali di riduzione residue, dopo il rilassamento del fronte. I valori adottati nelle varie times per ogni sezione tipo sono riportati negli allegati di calcolo FLAC.

### 6.2.1 Geometria dei modelli di calcolo

Nelle analisi descritte la galleria è stata schematizzata rispetto al suo asse di simmetria verticale. Il modello ha un'altezza di 250 m ed un'ampiezza di 120 m, risulta composto da 8120 zone. La copertura è stata considerata nel calcolo applicando alla superficie del modello un sovraccarico corrispondente al peso di terreno effettivamente gravante nel caso in esame.

Per l'ammasso roccioso è stato utilizzato un legame costitutivo elastico-plastico ideale, con criterio di rottura di Strain-Softening. Il rapporto  $K_0$  tra le tensioni litostatiche orizzontali e verticali è stato posto pari ad 1.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00	Foglio 79 di 297

Nel caso delle sezioni tipo C2 e C4, in ragione del delicato contesto geomeccanico di applicazione (Gruppo 3), l'analisi alle differenze finite è stata raffinata schematizzando parte delle murette con elementi bidimensionali SHELL, ciò al fine di ridurre al minimo la presenza di punti angolosi che avrebbero falsato il calcolo delle sollecitazioni nel rivestimento definitivo.

Per quanto concerne i parametri di input utilizzati per modellare l'ammasso, gli spostamenti massimi raggiunti nonché le verifiche tensionali nel prerivestimento e nel rivestimento definitivo relative ad ogni sezione tipo, si faccia riferimento agli allegati di calcolo della presente relazione.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00	Foglio 80 di 297

## 7. ANALISI DELLE PRESSIONI IDROSTATICHE

L'idrogeologia ha confermato la sostanziale impermeabilità della formazione delle Argilliti a Palombini e l'ipotesi di stillicidi solo in corrispondenza dei palombini. Lo scavo dei cunicoli non ha messo in evidenza significative venute d'acqua se si fa eccezione per alcune piccole emergenze nei punti di maggior concentrazione dei palombini fratturati di entità molto modesta e di durata limitata nel tempo. In base agli studi condotti le portate previste per ogni singolo cunicolo dovrebbero essere inferiori ai 10-15 litri/sec.

### Sezione d'impermeabilizzazione tipo «0»

Tale sezione di drenaggio risulta costituita da:

- tessuto non tessuto, spessore effettivo  $s = 2$  mm, collegato ai tubi drenanti longitudinali in PVC microfessurato  $\varnothing \geq 150$  mm,  $sp \geq 3$  mm;
- telo in PVC avente spessore  $s \geq 2$  mm;



GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00	Foglio 81 di 297

## 8. MONITORAGGIO IN CORSO D'OPERA

Per quanto concerne il monitoraggio da effettuarsi in corso d'opera si rimanda ai relativi elaborati grafici ("Profilo di monitoraggio").

Nel caso dei cunicoli Vallemme e Castagnola, dato il loro carattere "esplorativo", ad integrazione della strumentazione di controllo e monitoraggio comunemente utilizzata, sono state previste delle stazioni di monitoraggio e di prova da ubicarsi all'interno di apposite "nicchie" laterali per l'esecuzione di una serie di prove in sito.

Tutte le indicazioni concernenti le strumentazioni di monitoraggio, le modalità di restituzione e le frequenze di lettura saranno successivamente indicate in fase di progettazione esecutiva.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00 Foglio 82 di 297

## 9. CONCLUSIONI

In questa relazione sono state analizzate le problematiche progettuali connesse all'esecuzione del cunicolo esplorativo "Castagnola" e della finestra d'accesso "Polcevera", nell'ambito del sistema ad Alta Capacità tratta Milano-Genova.

Le opere in esame si sviluppano nella formazione delle Argilliti a Palombini; detta formazione è costituita da argilloscisti nerastri o grigio scuri, spesso grafitosi, a patine di alterazione giallastre, con scistosità accentuata e facile divisibilità in scaglie sottili, vi si intercalano lenti calcaree fino a metriche, di colore grigio scuro compatte a frattura concoide, con grana medio-fine ("Palombini"), che possono essere alterate e quindi completamente incoerenti con una colorazione bruno-rossiccia.

Le fasi progettuali contenute nella presente relazione si articolano nei seguenti punti fondamentali:

- FASE CONOSCITIVA, in cui viene esaminato il quadro geologico e geomeccanico relativo ai cunicoli sulla scorta degli studi e delle indagini intrapresi;
- FASE DI DIAGNOSI, in cui viene individuato il probabile comportamento dell'ammasso allo scavo in funzione delle caratteristiche geomeccaniche e degli stati tensionali agenti;
- FASE DI TERAPIA, in cui vengono stabilite le tipologie di intervento di preconsolidamento, consolidamento e rivestimento ritenute più idonee.

Sono stati eseguiti i calcoli necessari per la valutazione degli stati tensionali agenti sugli elementi strutturali che compongono le sezioni-tipo e le verifiche di resistenza utilizzando il metodo delle Linee Caratteristiche (che ha consentito di effettuare un predimensionamento degli interventi ed una taratura del calcolo bidimensionale) ed il software alle differenze finite FLAC. L'esame dei dati raccolti conferma l'adeguatezza statica dell'intervento proposto da progetto.

Si sottolinea che lo scavo parziale dei cunicoli esplorativi ha permesso di investigare le reali caratteristiche geomeccaniche della formazione argillitica in esame, ma rimangono alcune incertezze sul comportamento d'ammasso ad alte coperture; queste incertezze imporranno un futuro riesame ed un'accurata verifica sia delle indicazioni progettuali adesso adottate sia dei parametri assunti nel calcolo.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	A301-00-D-CV-RO-GN00-0X-011-F00	Foglio 83 di 297

## 10. Allegati :

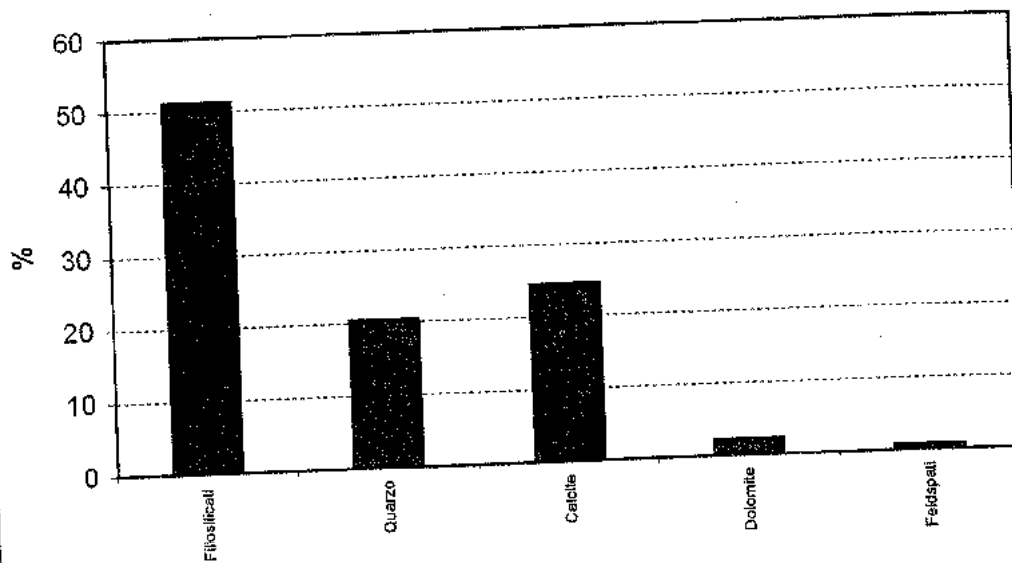
1. *Composizione mineralogica Argilliti a Palombini*
2. *Variatione caratteristiche geomeccaniche con la profondità*
3. *Diagrammi di classificazione Deere e Miller*
4. *Prove di taglio su giunto*
5. *Risultati statistici*
6. *Tabella riassuntiva parametri geomeccanici*
7. *Tabella riassuntiva linee caratteristiche*
8. *Linee caratteristiche – output grafici e numerici*
9. *Output grafici FLAC*

## **Composizione mineralogica Argilliti a palombini**

TABELLA 1

CAMP.	Progressiva (m)	Copertura (m)	Profondità campioni (m)		Profondità media (m)	ANALISI MINERALOGICA							
			da	a		Clonite (%)	Muscovita (%)	Albite (%)	Filibisicati (%)	Quarzo (%)	Calcite (%)	Dolomite (%)	Feldspati (%)
20	240	130	Macrocampione da nicchia					63	42	7	25	5	0
BCD56	315	160	Macrocampione					21	31	31	48	0	0
BCD20	371	193	Macrocampione					21	31	31	48	0	0
BCD21	433	183	Macrocampione				35	46	19				
C5	427	50	17.30	17.60	17			88	12	0	0	0	0
C1	427	50	1.70	1.95	2			60	20	5	15	0	0
C3	427	50	6.75	9.28	9			43	17	40	5	0	7
26	400	85	Macrocampione da nicchia					73	15	5	29	1	0
						35	46	19	47	23			
						VALORI MEDI							

Composizione media della matrice delle Argilliti a Palombini



Composizione media della matrice delle Argilliti a Palombini

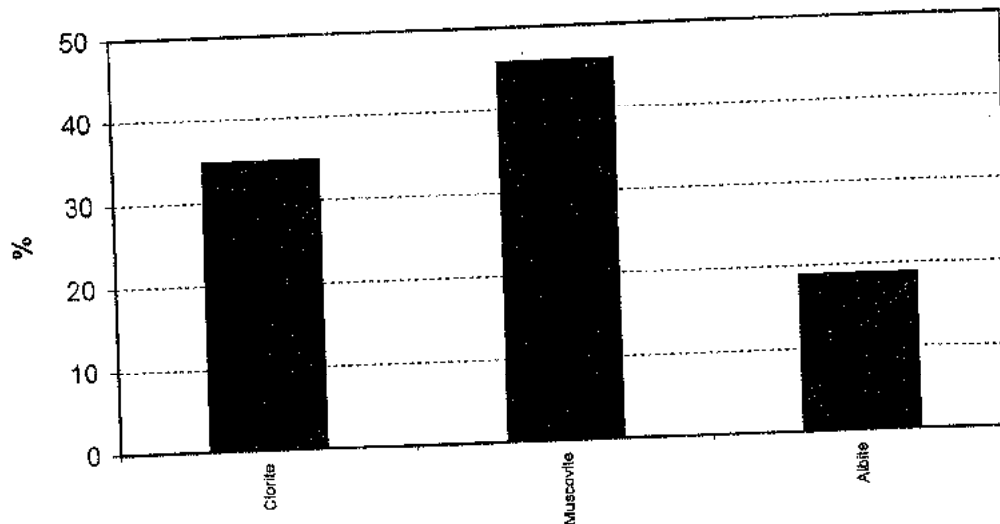


FIG. 1

## **Variazione caratteristiche geomeccaniche con la profondità**

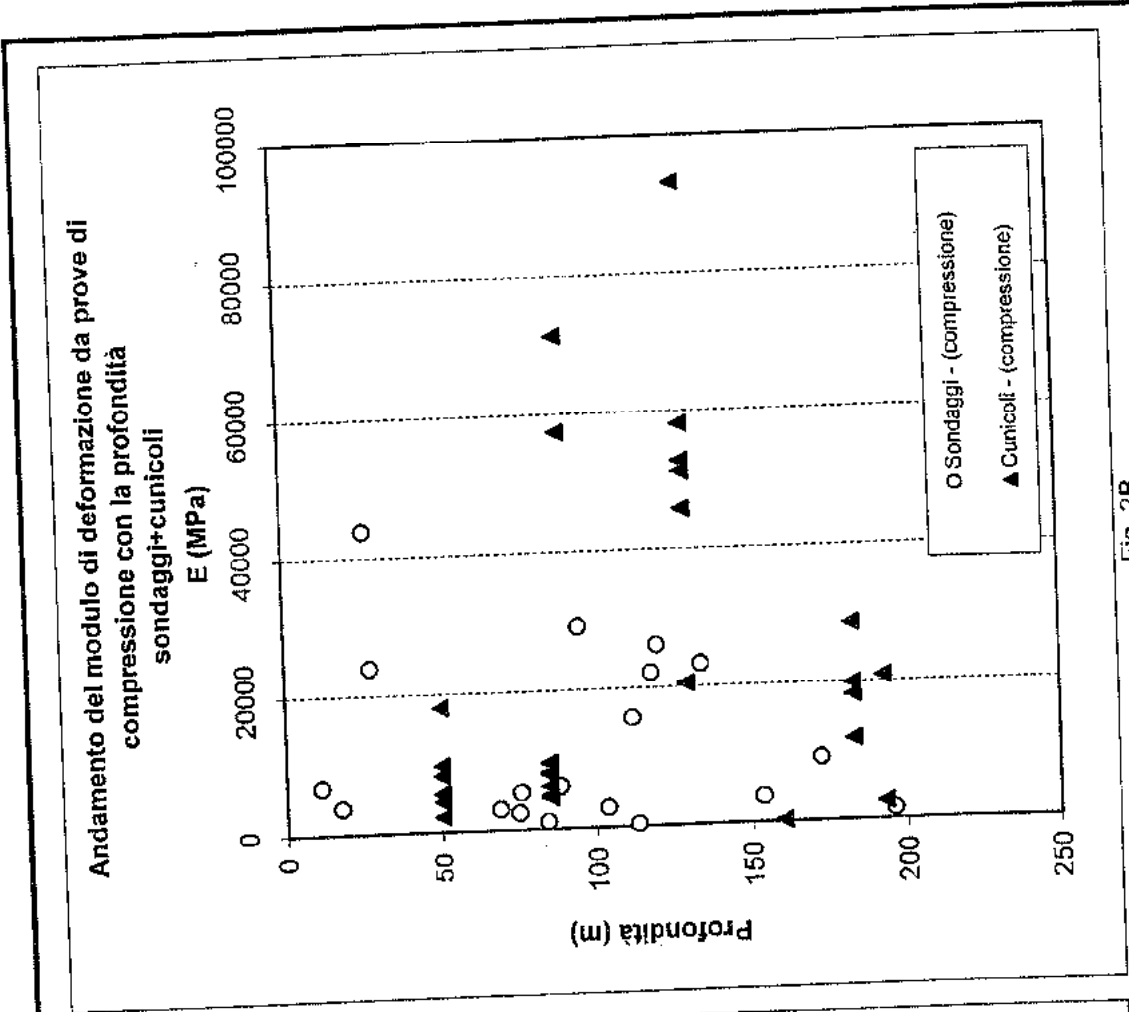


Fig. 2B

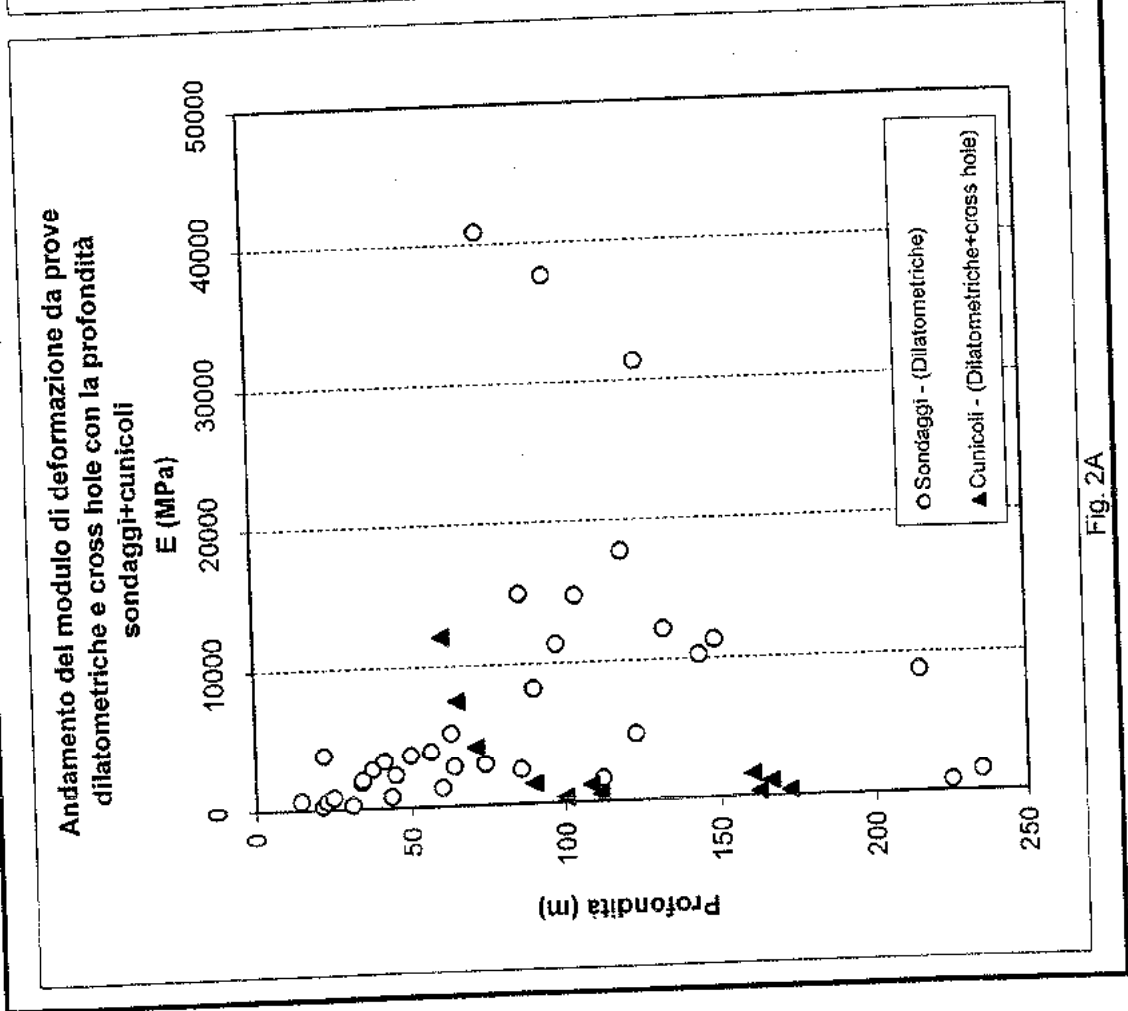


Fig. 2A



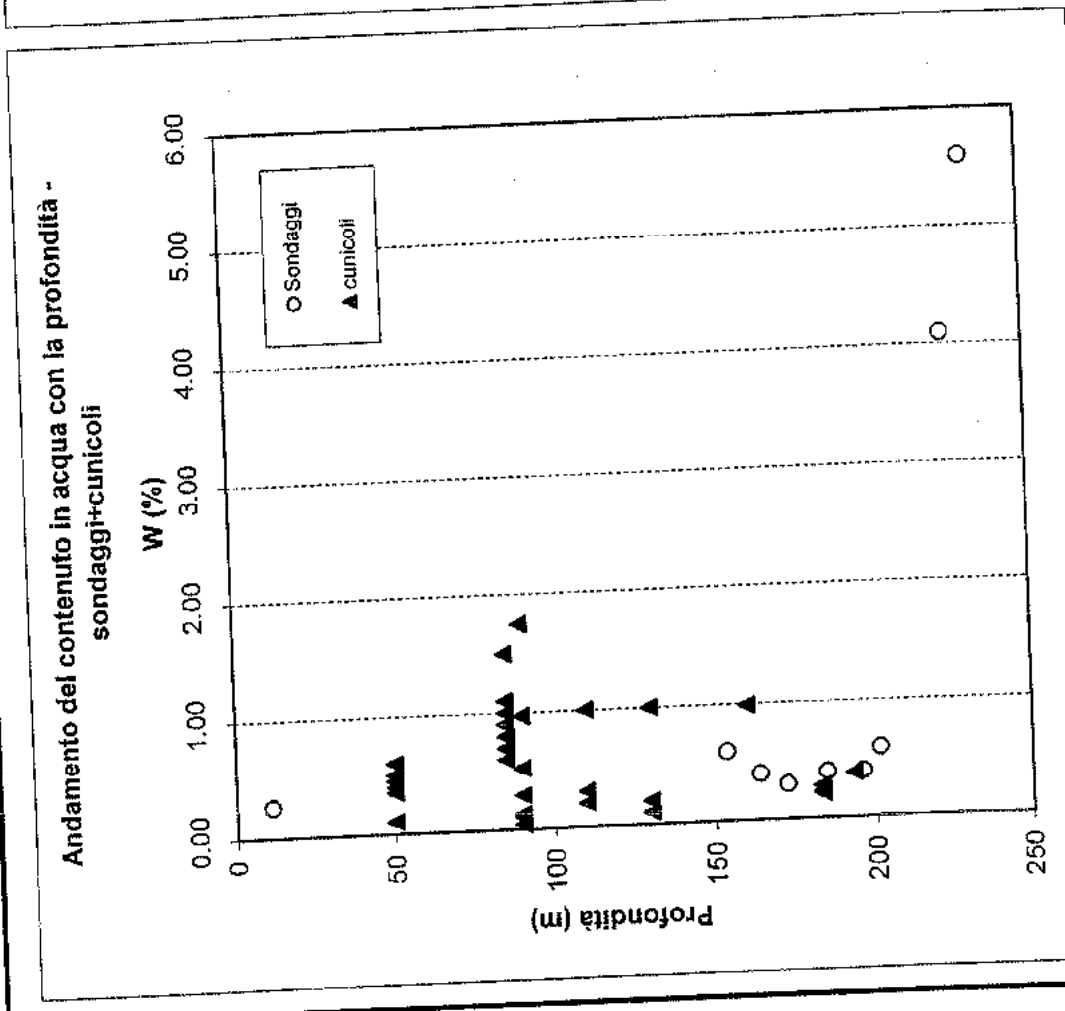


Fig. 3A

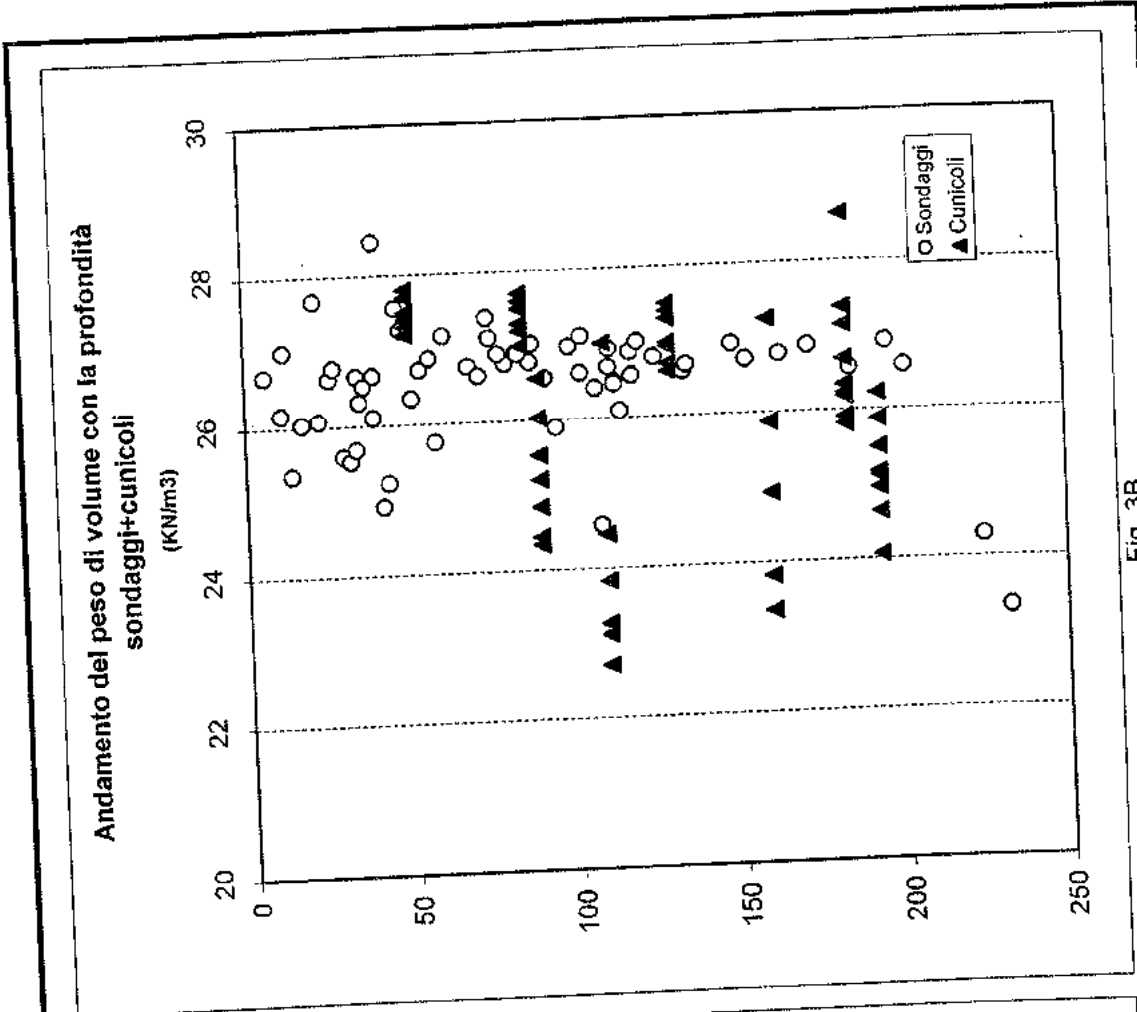


Fig. 3B

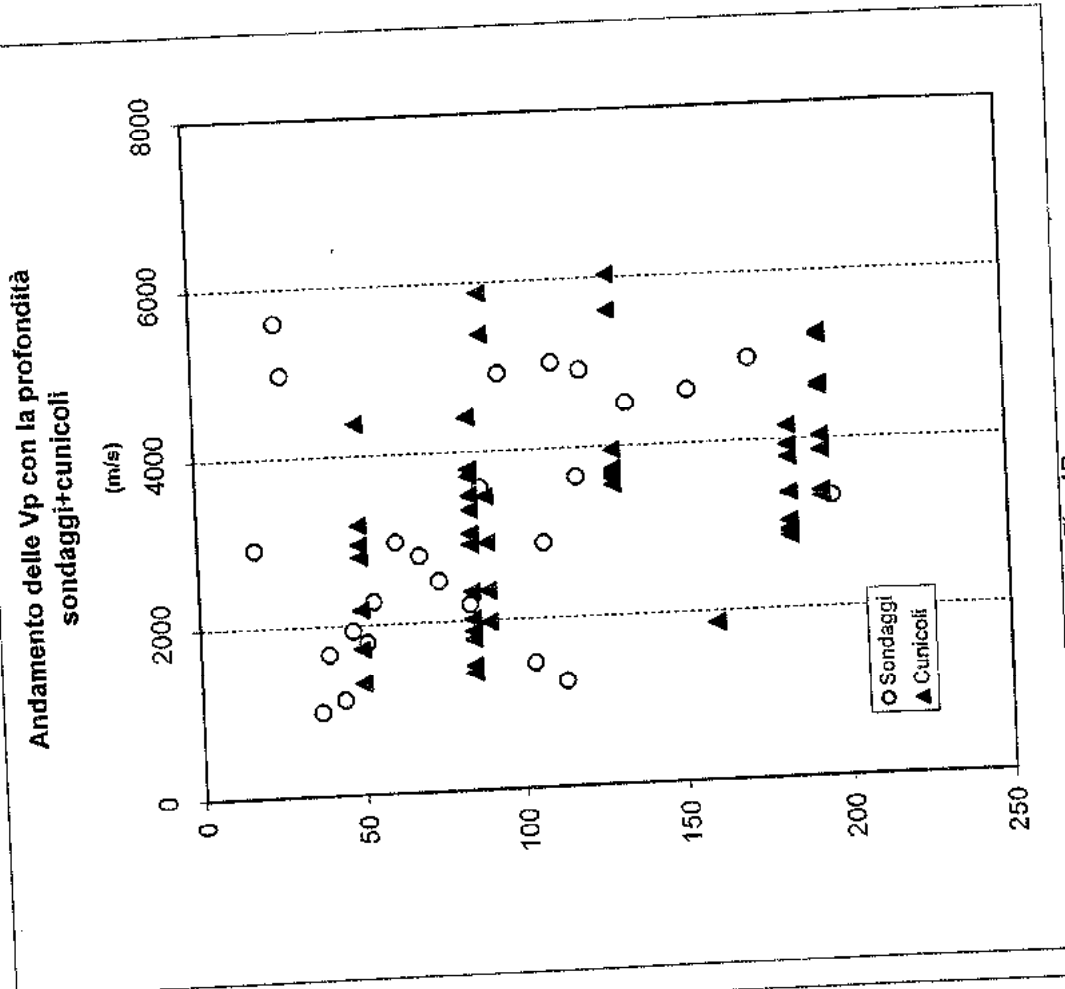


Fig. 4B

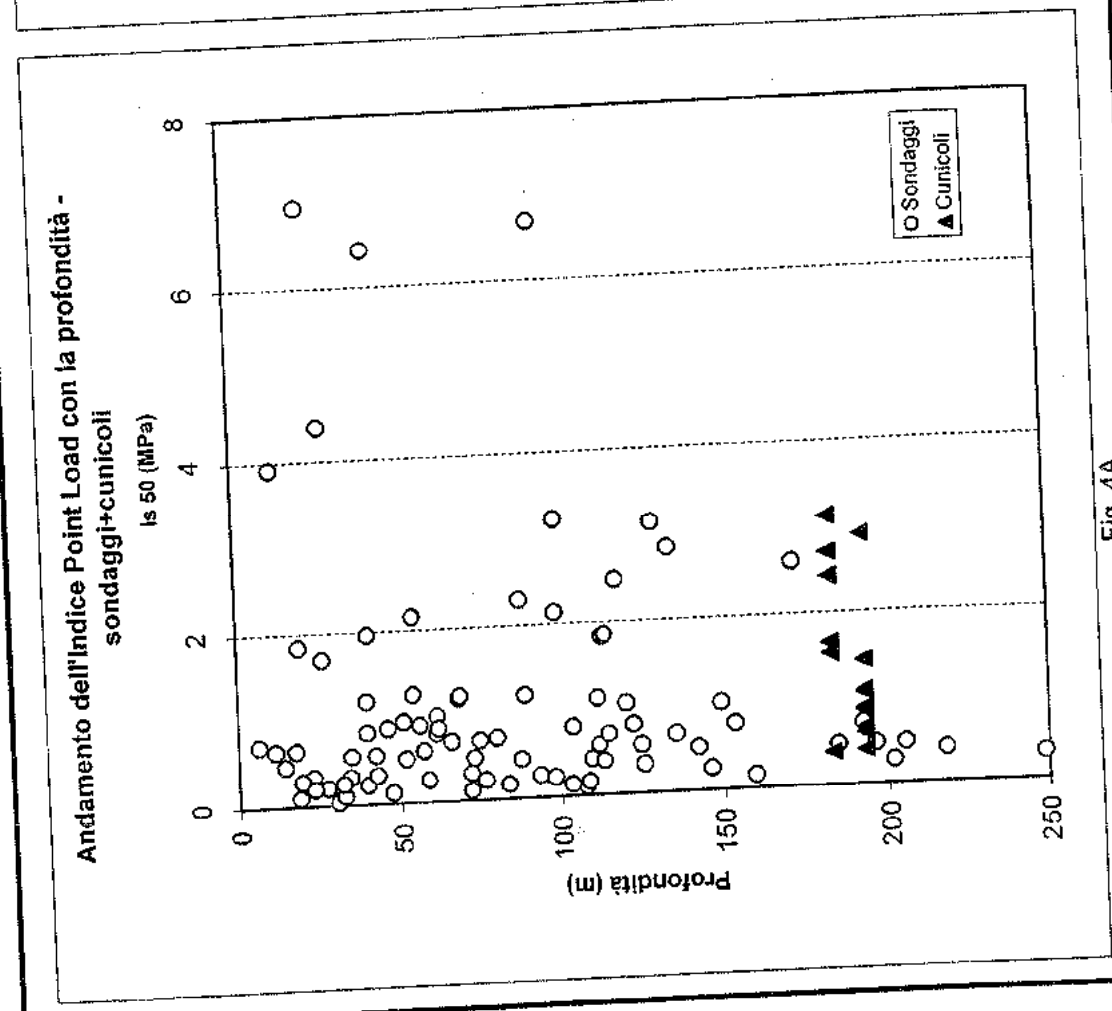


Fig. 4A

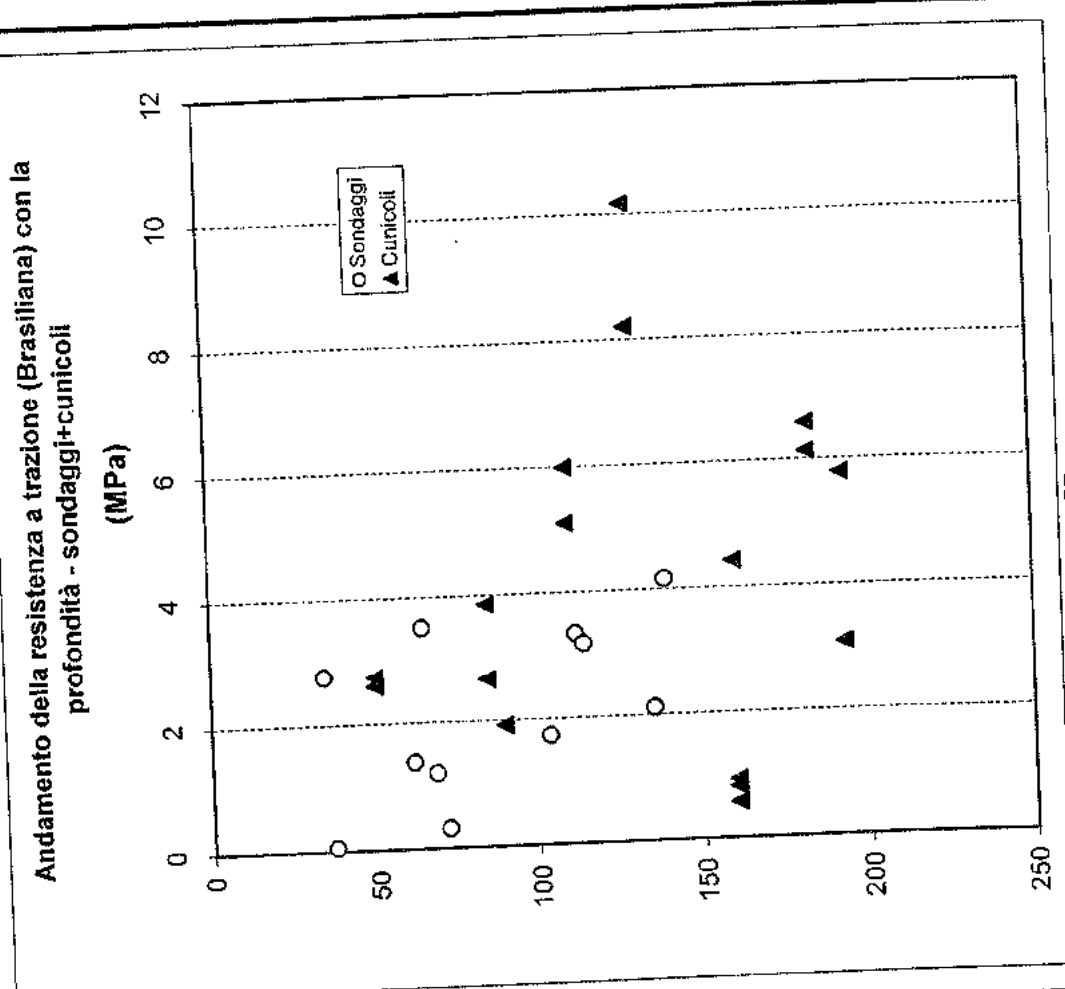


Fig. 5B

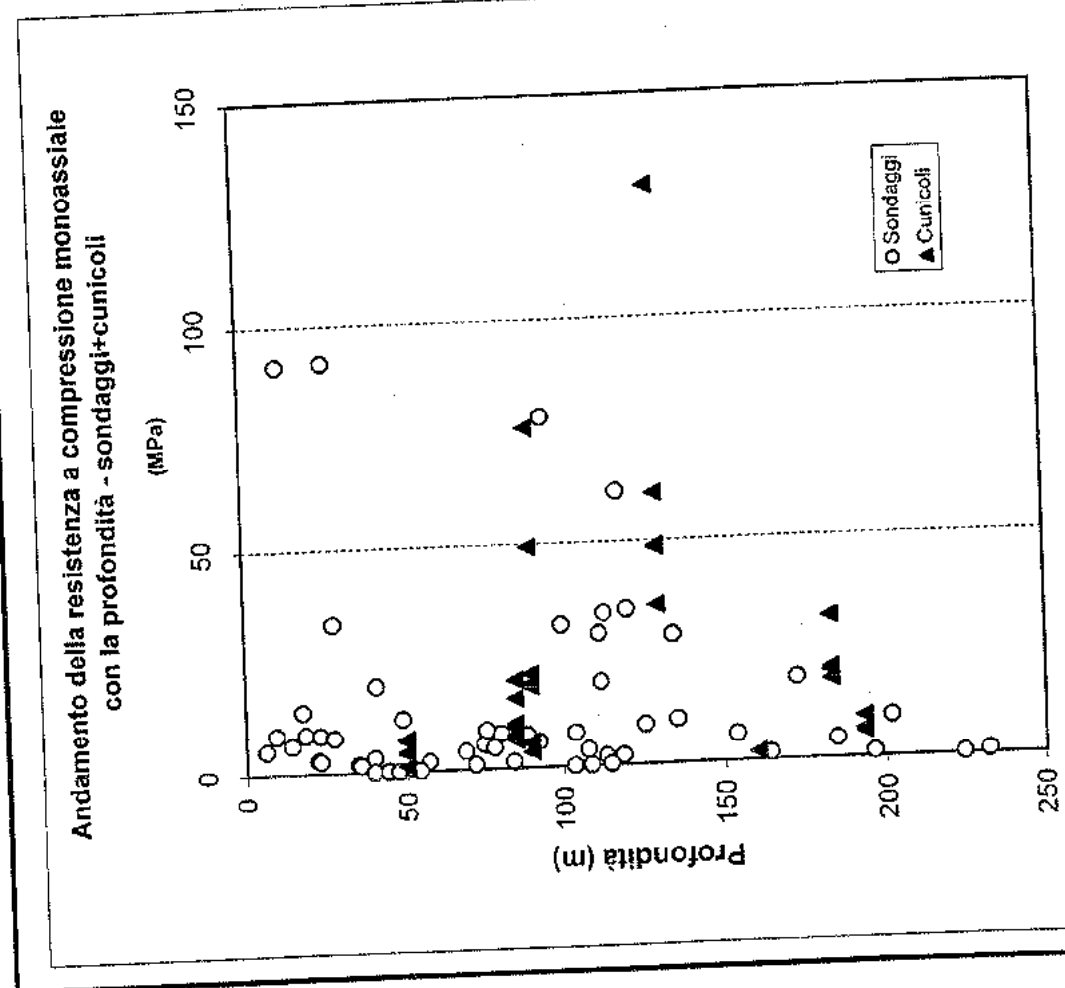


Fig. 5A

**Prove di taglio (sondaggi + cunicoli)**

Prove di taglio su giunto naturale - totale sondaggi + cunicoli

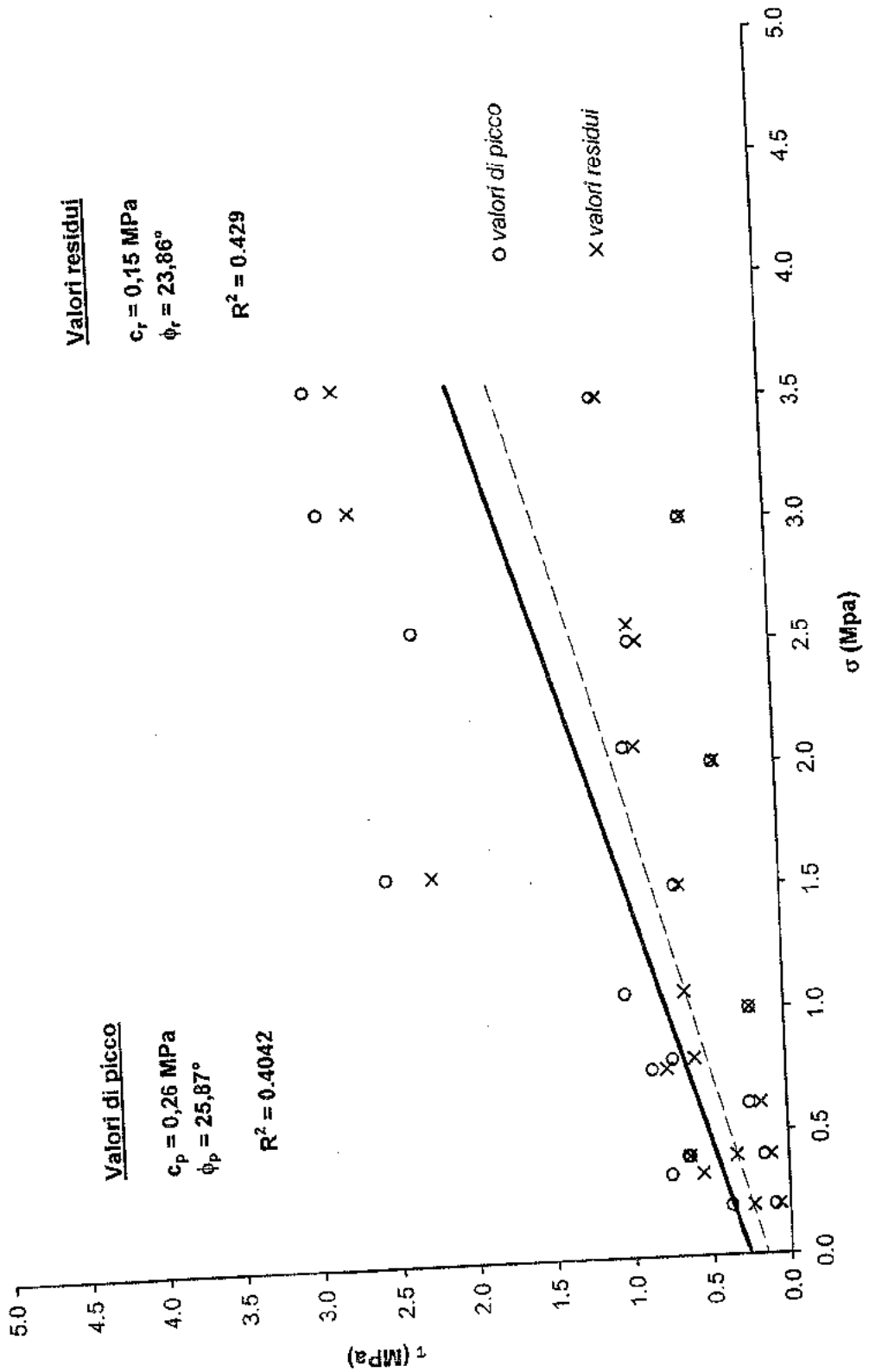


Fig. 6A

### Prove di taglio su giunto naturale - gruppo 1 sondaggi + cunicoli

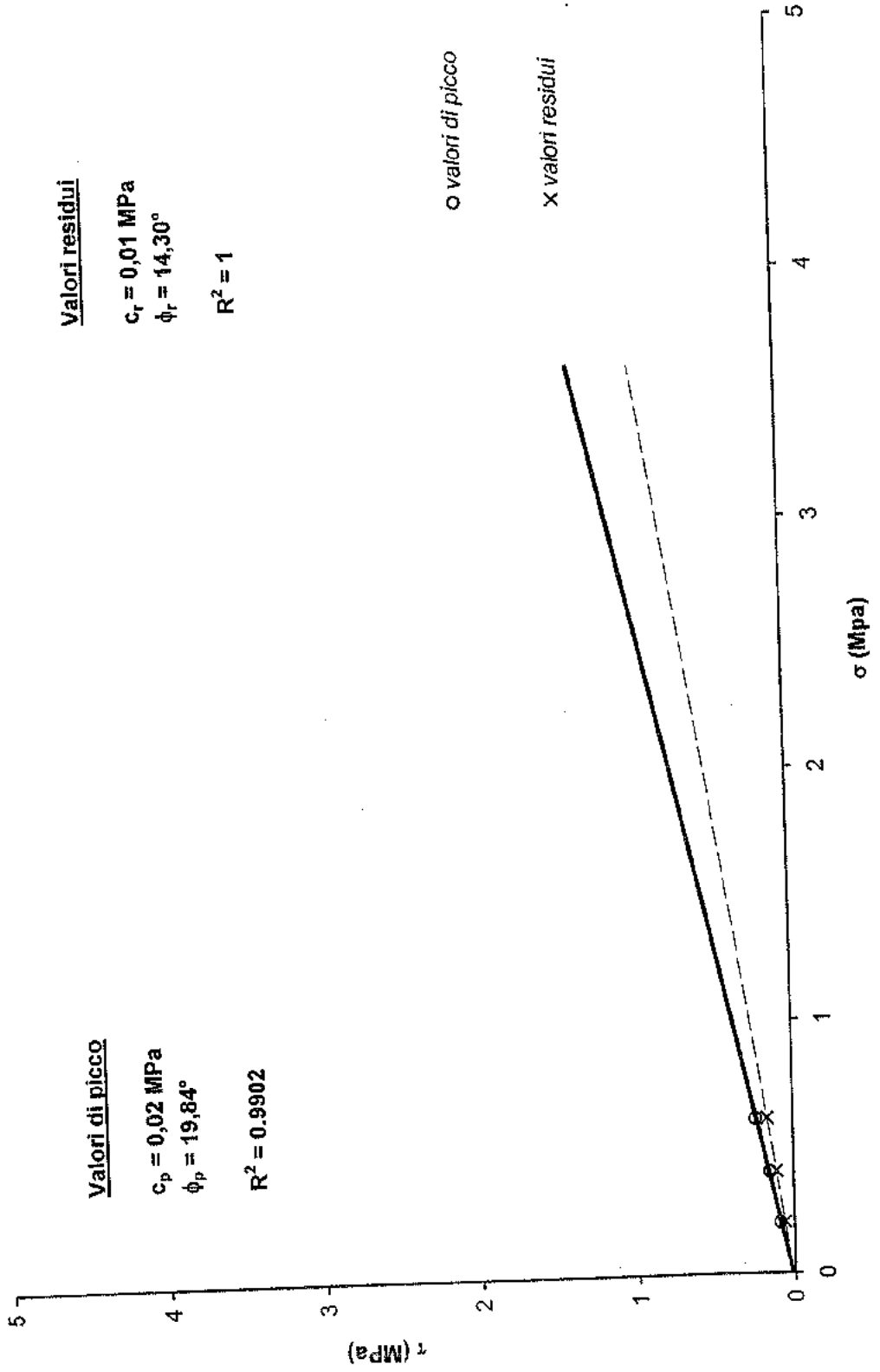


Fig. 6B

### Prove di taglio su giunto naturale - gruppo 2 sondaggi + cunicoli

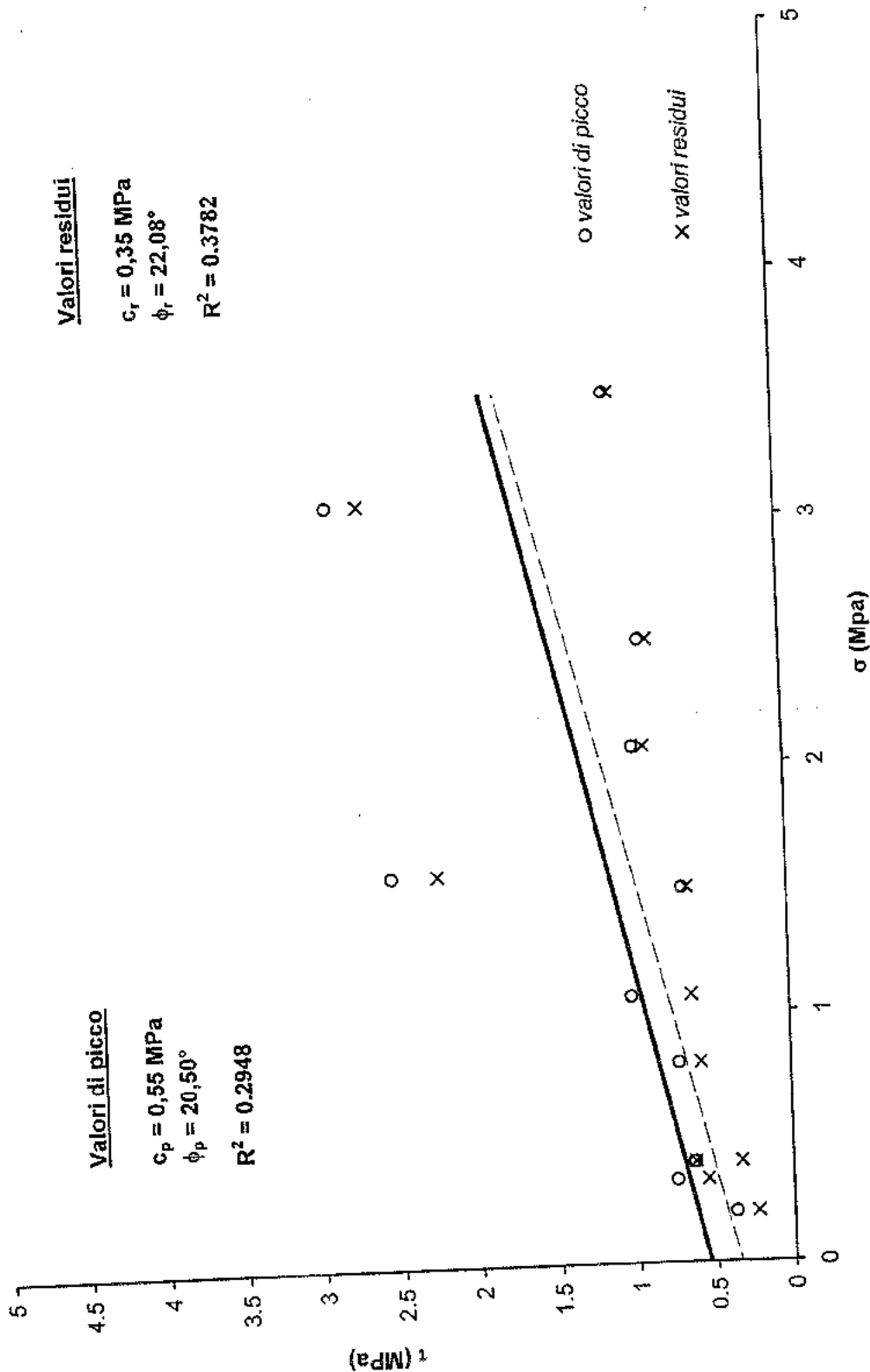


Fig. 6C

### Prove di taglio su giunto naturale - gruppo 3 sondaggi + cunicoli

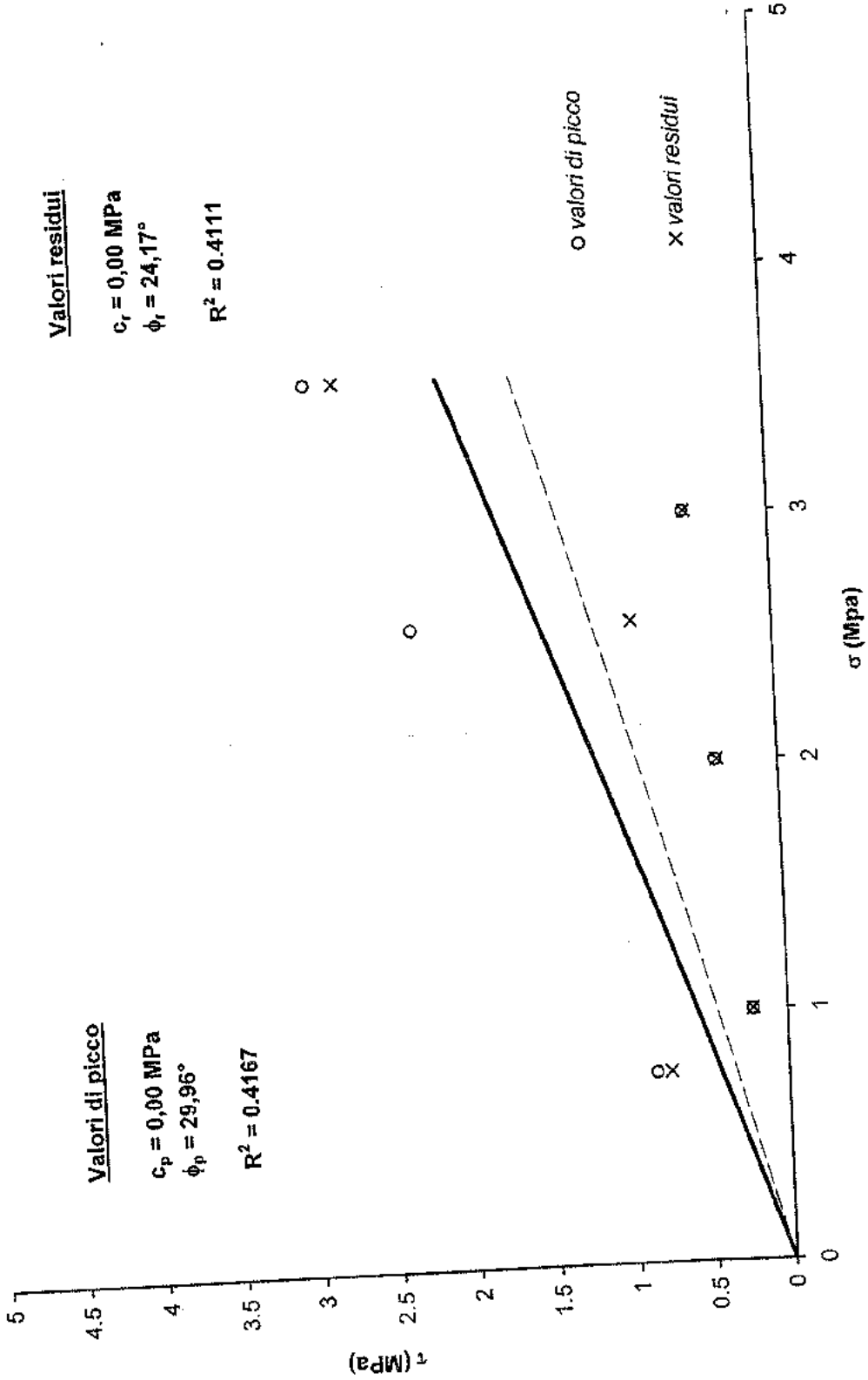
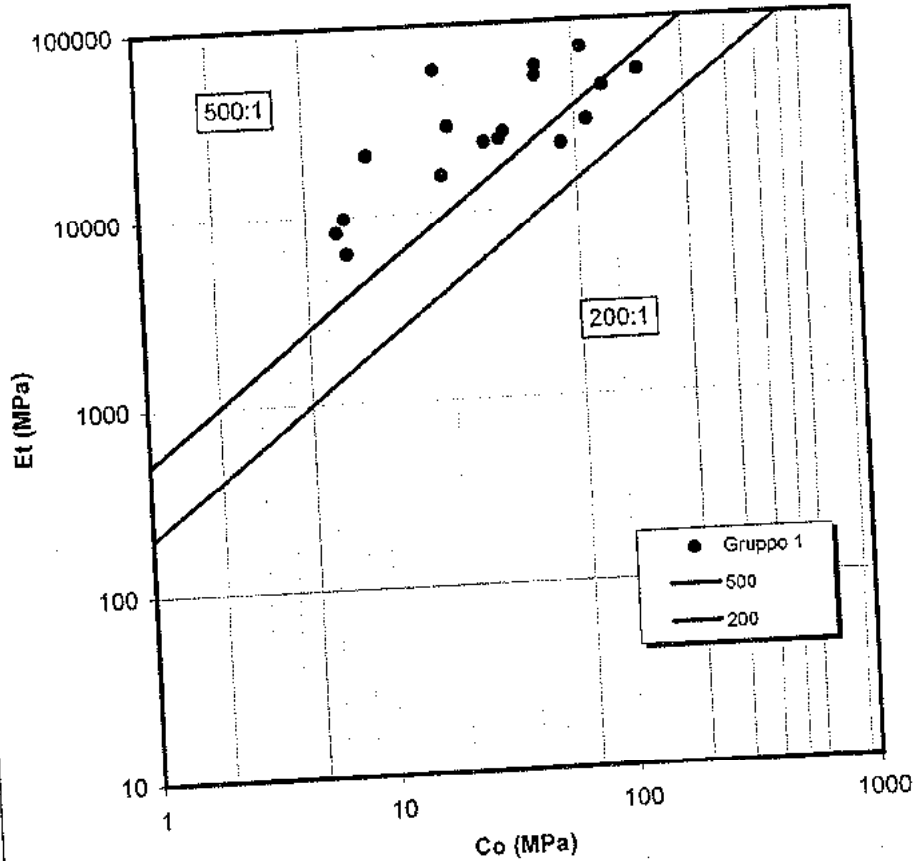


Fig. 6D



## **Diagrammi di classificazione Deere e Miller**

Diagramma di classificazione secondo Deere e Miller



Classificazione di Deere e Miller

Classe	Descrizione	Resistenza a compressione Co (Mpa)
A	Resistenza molto alta	> 224
B	Resistenza alta	112 - 224
C	Resistenza media	56 - 112
D	Resistenza bassa	28 - 56
E	Resistenza molto bassa	< 28

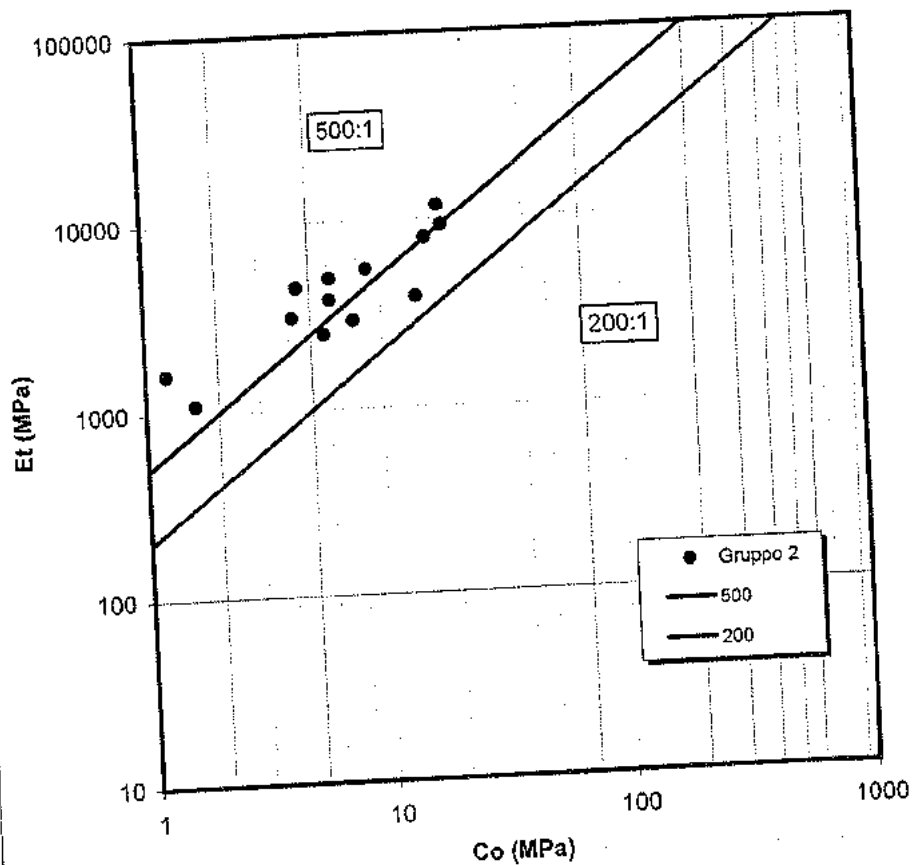
Classe	Descrizione	Rapporto dei moduli Et/Co
H	Alto	> 500
M	Medio	200 - 500
L	Basso	< 200

Classe: B, C, D, E - H, M

LINEA A.C. GENOVA-MILANO  
 FORMAZIONE DELLE ARGILLITI A PALOMBINI DEL PASSO DELLA BOCCHETTA  
 TOTALE INDAGINI - GRUPPO 1

Fig.7

Diagramma di classificazione secondo Deere e Miller



Classificazione di Deere e Miller

Classe	Descrizione	Resistenza a compressione Co (Mpa)
A	Resistenza molto alta	> 224
B	Resistenza alta	112 - 224
C	Resistenza media	56 - 112
D	Resistenza bassa	28 - 56
E	Resistenza molto bassa	< 28

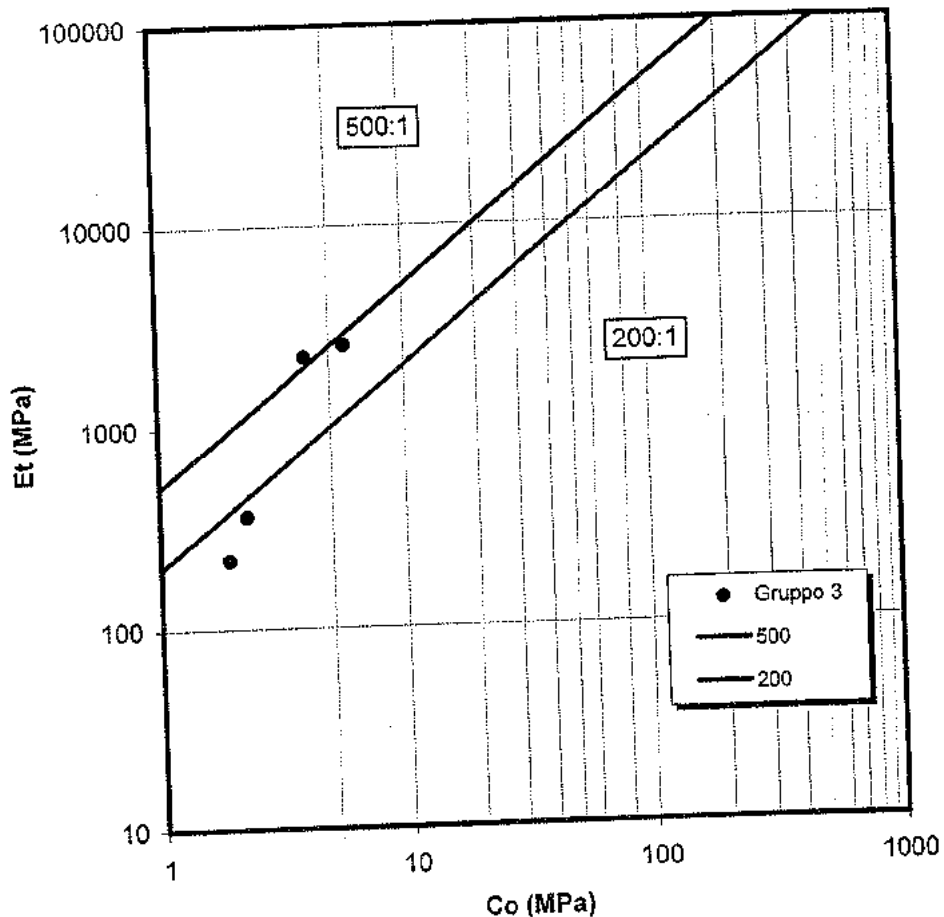
Classe	Descrizione	Rapporto dei moduli Et/Co
H	Alto	> 500
M	Medio	200 - 500
L	Basso	< 200

Classe: E - H, M

LINEA A.C. GENOVA-MILANO  
 FORMAZIONE DELLE ARGILLITI A PALOMBINI DEL PASSO DELLA BOCCHETTA  
 TOTALE INDAGINI - GRUPPO 2

Fig.8

Diagramma di classificazione secondo Deere e Miller



Classificazione di Deere e Miller

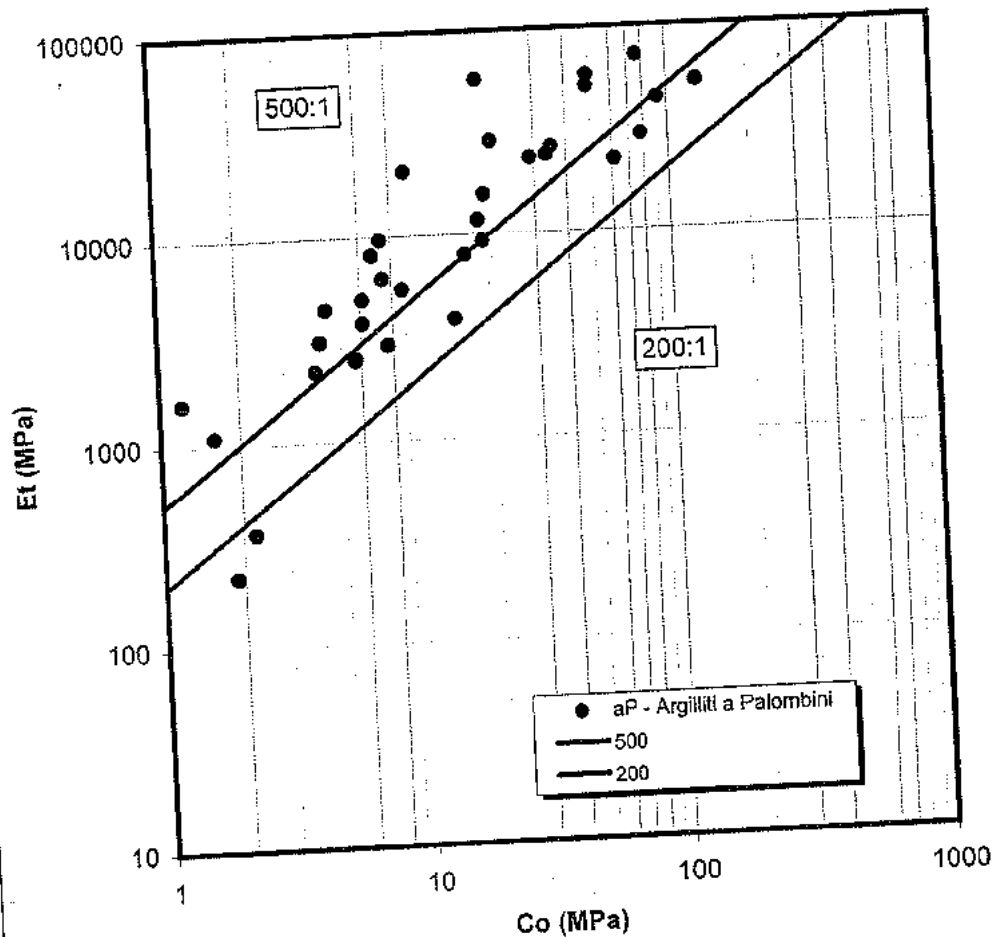
Classe	Descrizione	Resistenza a compressione Co (Mpa)
A	Resistenza molto alta	> 224
B	Resistenza alta	112 - 224
C	Resistenza media	56 - 112
D	Resistenza bassa	28 - 56
E	Resistenza molto bassa	< 28

Classe	Descrizione	Rapporto dei moduli Et/Co
H	Alto	> 500
M	Medio	200 - 500
L	Basso	< 200

Classe: E - H, M, L

LINEA A.C. GENOVA-MILANO  
 FORMAZIONE DELLE ARGILLITI A PALOMBINI DEL PASSO DELLA BOCCHETTA  
 INDAGINI GEOGNOSTICHE 2001 - 2002 - GRUPPO 3

Diagramma di classificazione secondo Deere e Miller



Classificazione di Deere e Miller

Classe	Descrizione	Resistenza a compressione $Co$ (Mpa)
A	Resistenza molto alta	> 224
B	Resistenza alta	112 - 224
C	Resistenza media	56 - 112
D	Resistenza bassa	28 - 56
E	Resistenza molto bassa	< 28

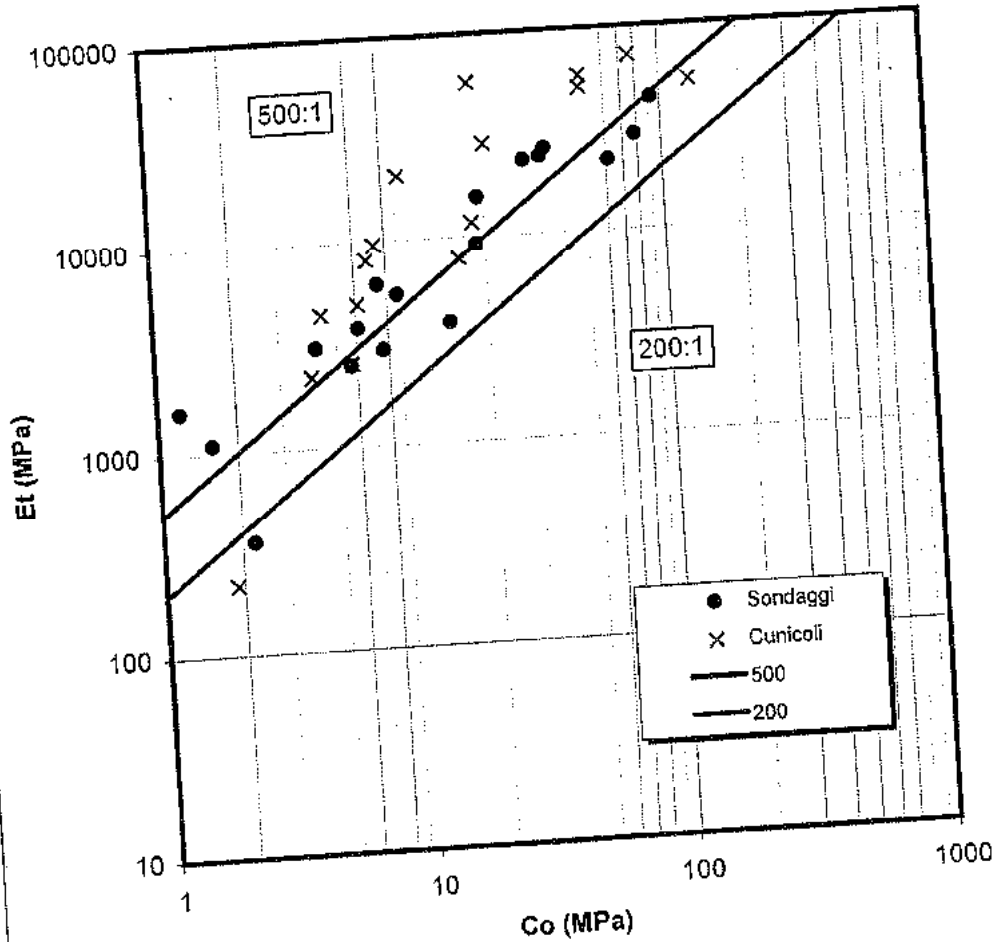
Classe	Descrizione	Rapporto dei moduli $Et/Co$
H	Alto	> 500
M	Medio	200 - 500
L	Basso	< 200

Classe: B, C, D, E - H, M, L

LINEA A.C. GENOVA-MILANO  
 FORMAZIONE DELLE ARGILLITI A PALOMBINI DEL PASSO DELLA BOCCHETTA  
 TOTALE INDAGINI

Fig.10

Diagramma di classificazione secondo Deere e Miller



Classificazione di Deere e Miller

Classe	Descrizione	Resistenza a compressione Co (Mpa)
A	Resistenza molto alta	> 224
B	Resistenza alta	112 - 224
C	Resistenza media	56 - 112
D	Resistenza bassa	28 - 56
E	Resistenza molto bassa	< 28

Classe	Descrizione	Rapporto dei moduli Et/Co
H	Alto	> 500
M	Medio	200 - 500
L	Basso	< 200

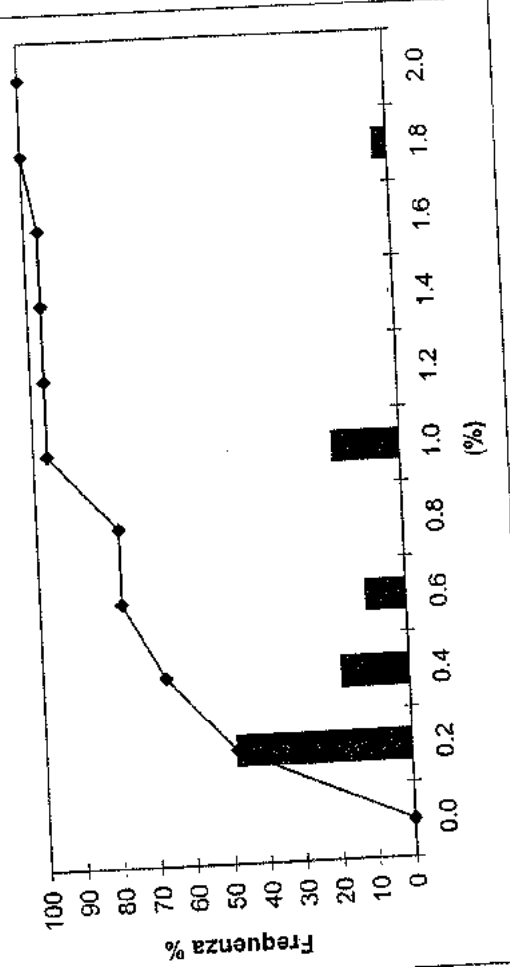
Classe: B, C, D, E - H, M, L

LINEA A.C. GENOVA-MILANO  
 FORMAZIONE DELLE ARGILLITI A PALOMBINI DEL PASSO DELLA BOCCHETTA  
 TOTALE INDAGINI

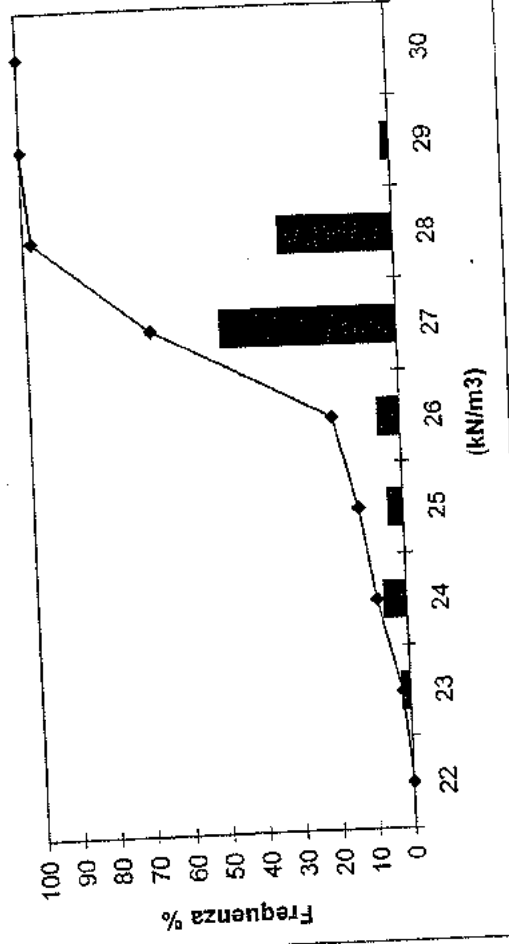
Fig.11

## **Risultati statistici (cunicoli e sondaggi)**

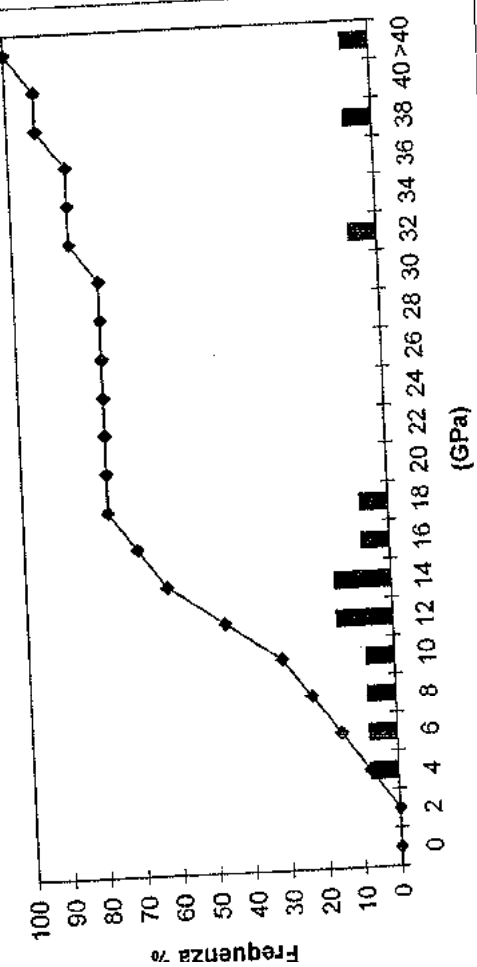
Gruppo 1: Distribuzione dei valori del contenuto d'acqua (solo dati relativi ai cunicoli)



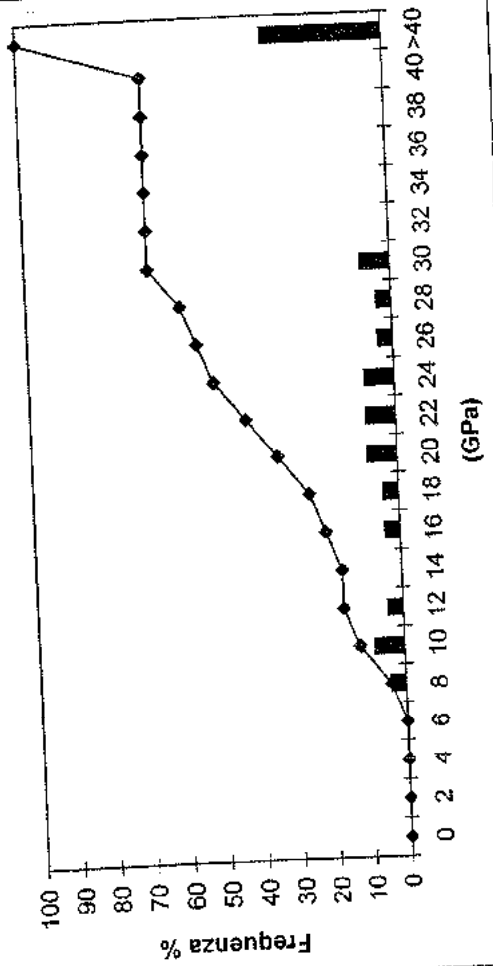
Gruppo 1: Distribuzione dei valori del peso di volume apparente, sondaggi + cunicoli



Gruppo 1: Distribuzione dei valori di E medio - prove dilatometriche e cross-hole, sondaggi + cunicoli

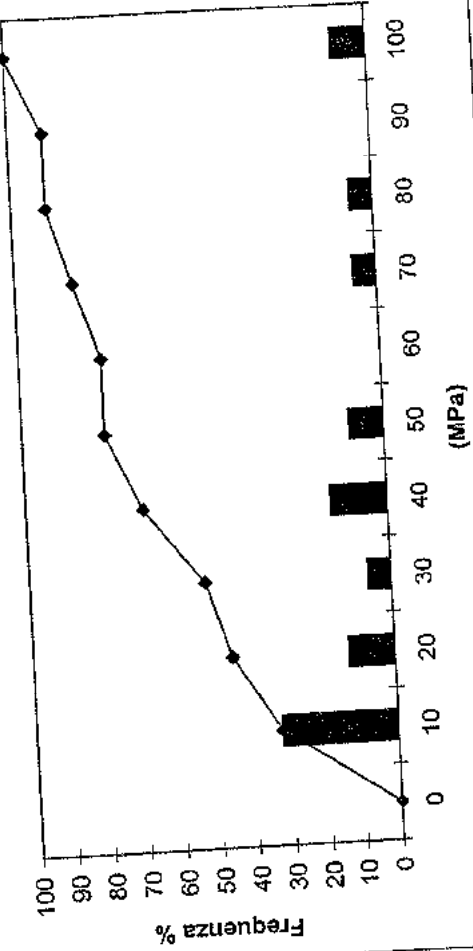


Gruppo 1: Distribuzione dei valori di E medio - prove di compressione, sondaggi + cunicoli

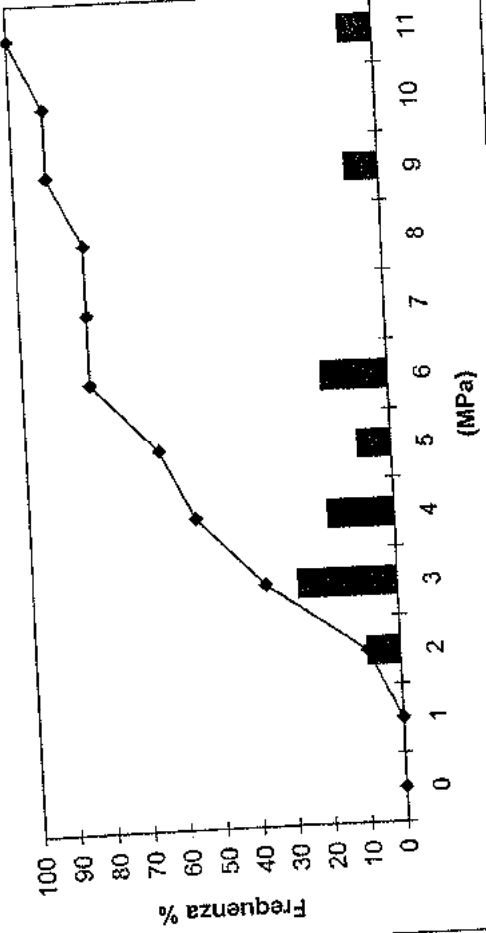




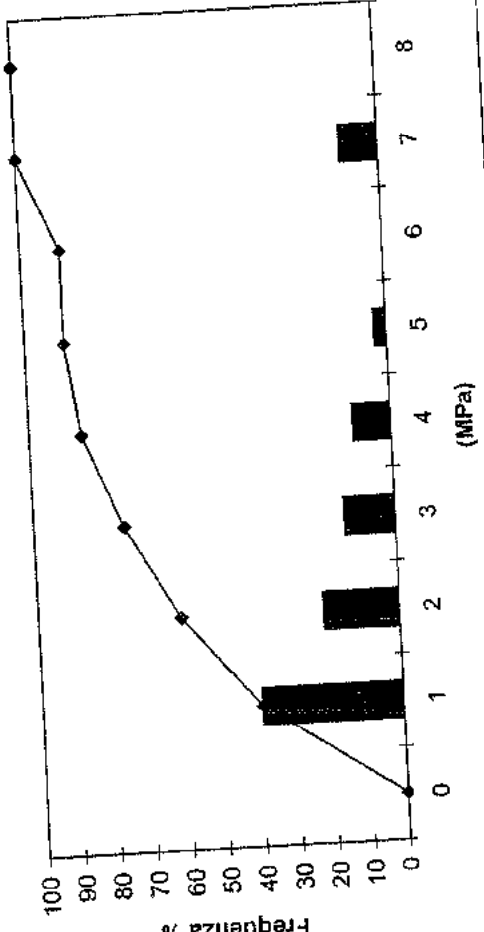
Gruppo 1: Distribuzione dei valori della resistenza alla compressione monoassiale, sondaggi + cunicoli



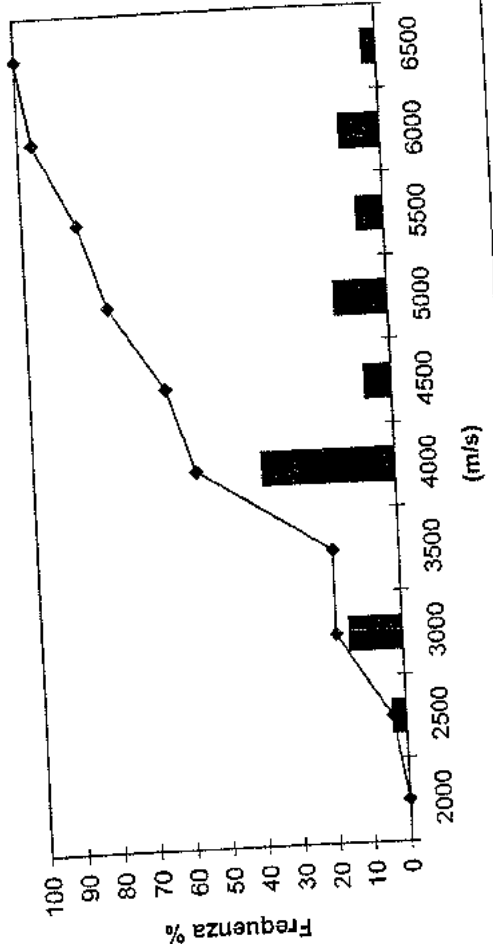
Gruppo 1: Distribuzione dei valori della resistenza a trazione (Brasiliana), sondaggi+cunicoli



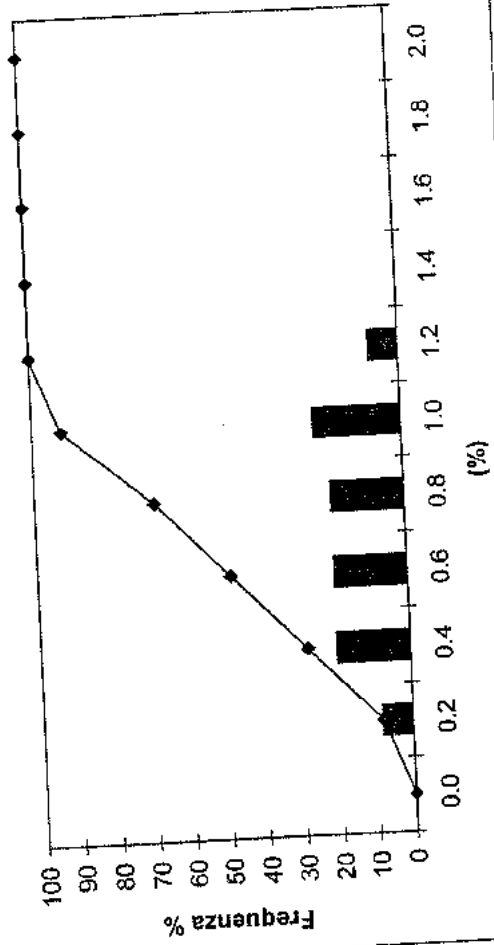
Gruppo 1: Distribuzione dei valori dell'indice Point Load (solo dati relativi ai sondaggi)



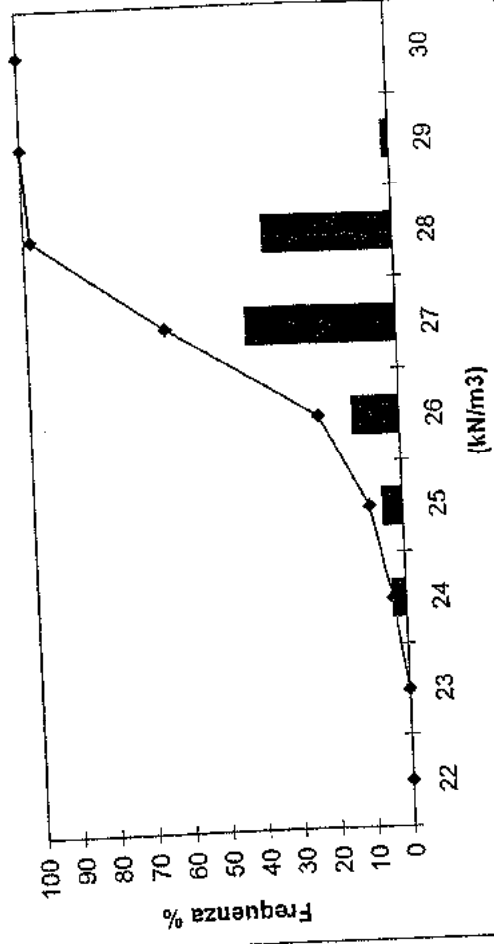
Gruppo 1: Distribuzione delle velocità delle onde P, sondaggi + cunicoli



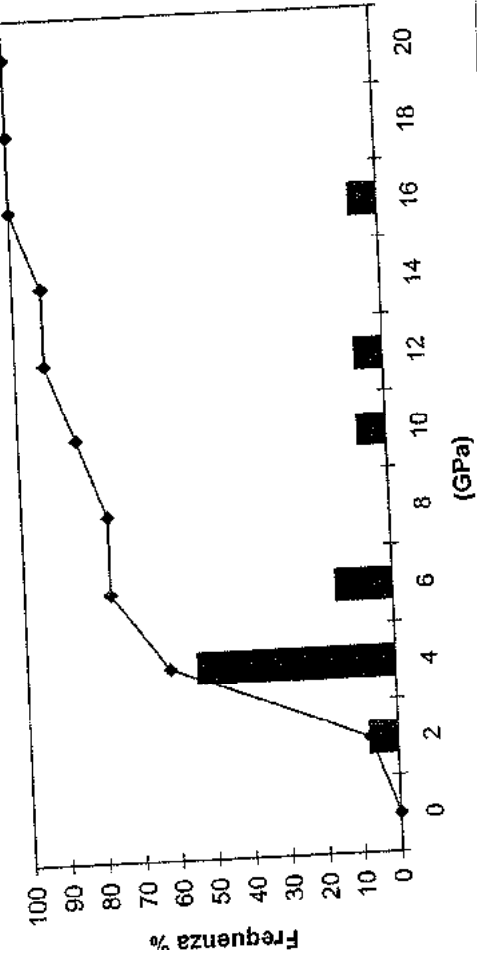
Gruppo 2: Distribuzione dei valori del contenuto d'acqua, sondaggi + cunicoli



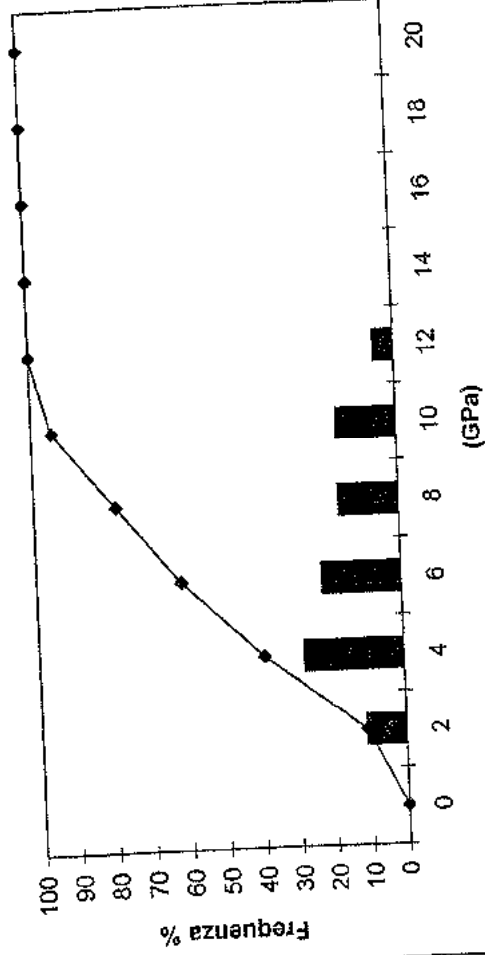
Gruppo 2: Distribuzione dei valori del peso di volume apparente, sondaggi + cunicoli



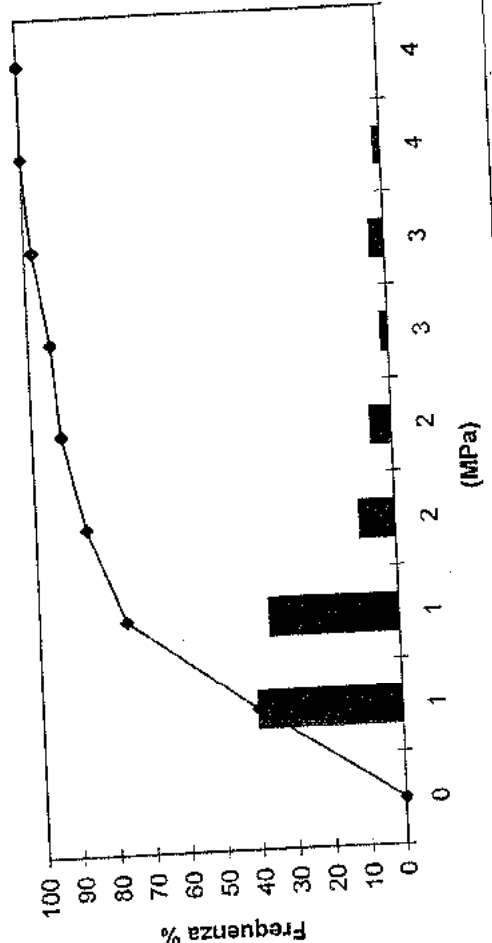
Gruppo 2: Distribuzione dei valori di E medio - prove dilatometriche e cross-hole (solo dati relativi ai sondaggi)



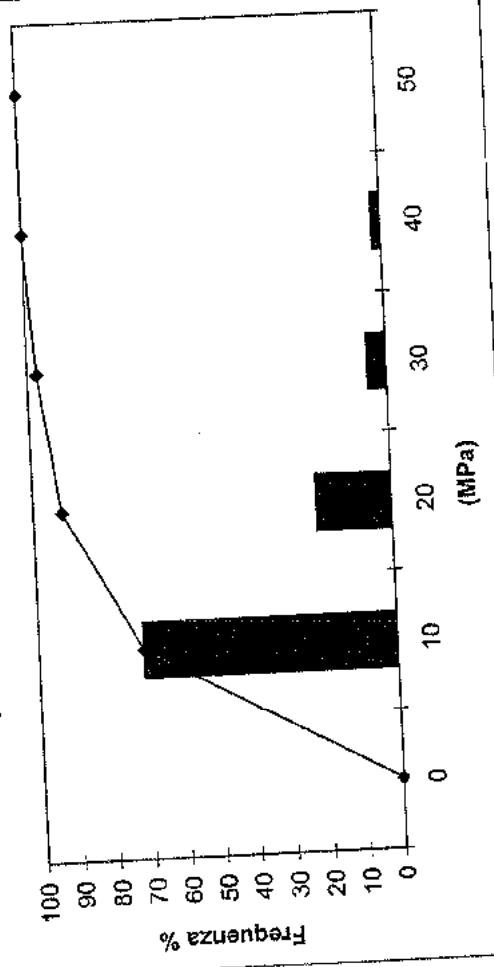
Gruppo 2: Distribuzione dei valori di E medio - prove di compressione, sondaggi + cunicoli



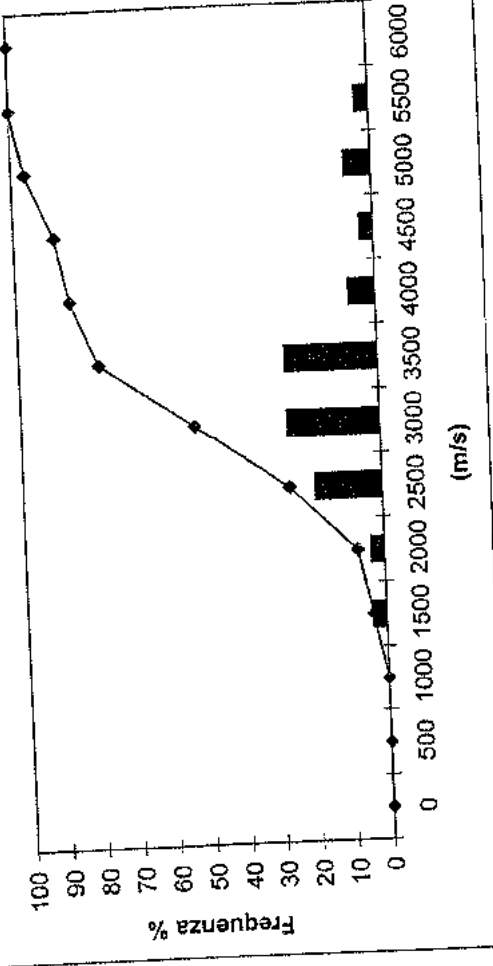
Gruppo 2: Distribuzione dei valori dell'indice Point Load, sondaggi + cunicoli



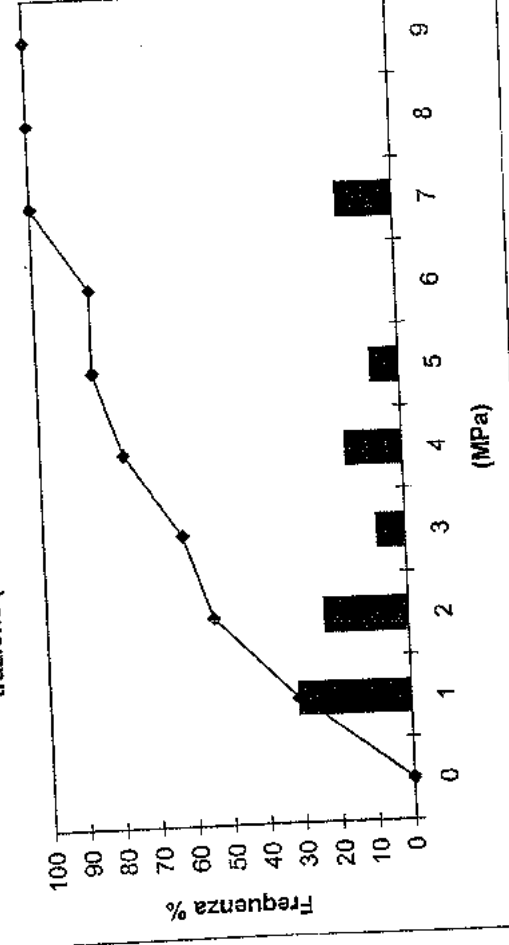
Gruppo 2: Distribuzione dei valori della resistenza alla compressione monoassiale, sondaggi + cunicoli



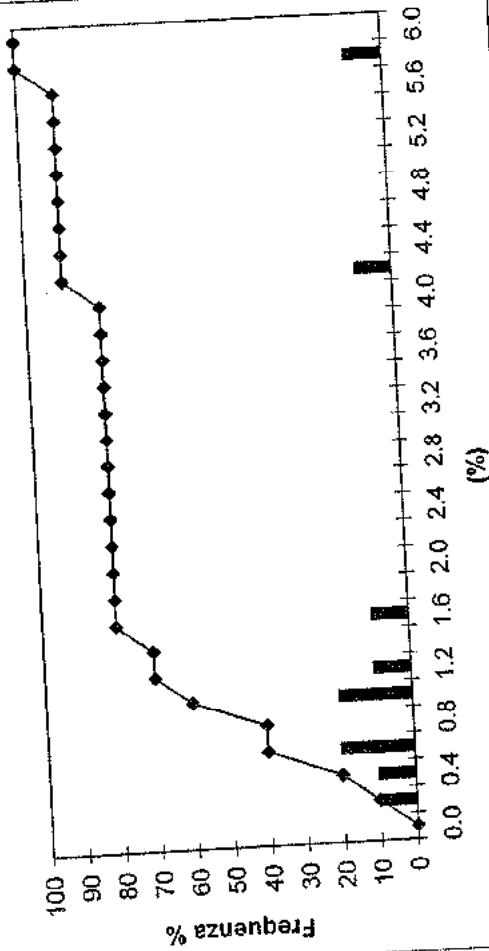
Gruppo 2: Distribuzione delle velocità delle onde P - sondaggi + cunicoli



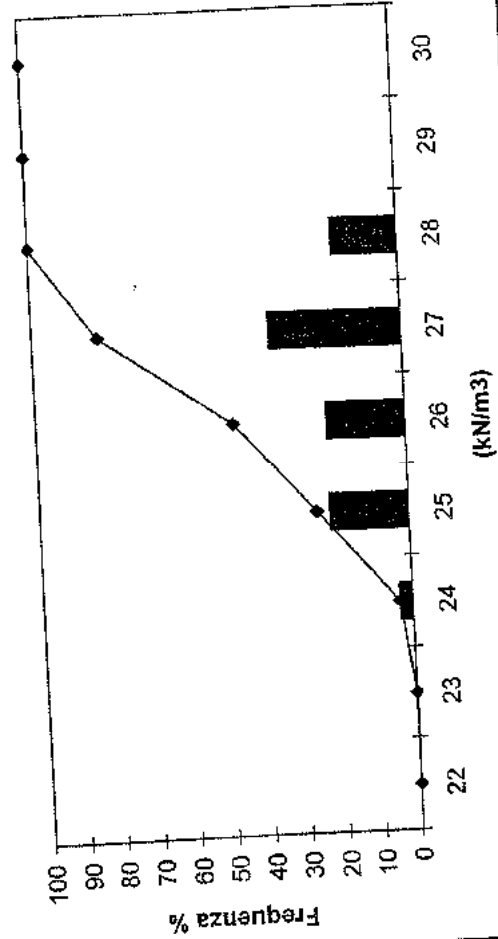
Gruppo 2: Distribuzione dei valori della resistenza a trazione (Brasiliana), sondaggi + cunicoli



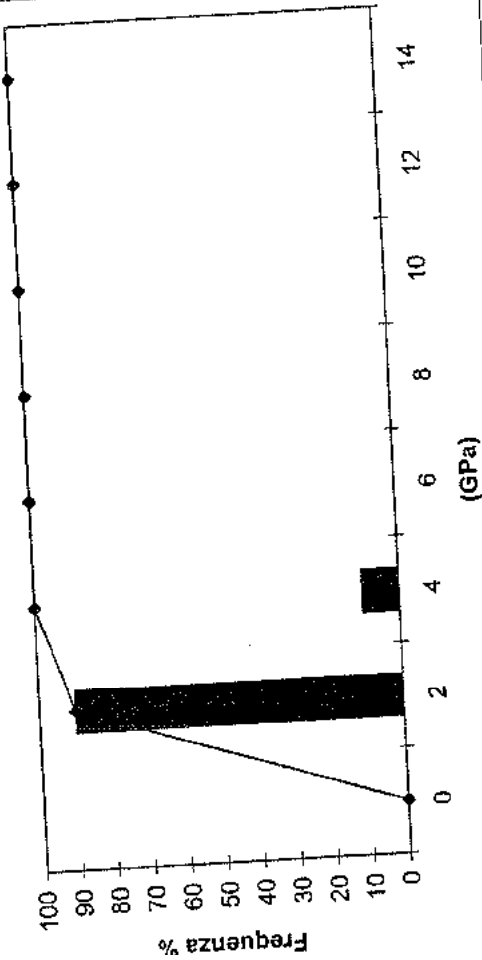
Gruppo 3: Distribuzione dei valori del contenuto d'acqua, sondaggi + cunicoli



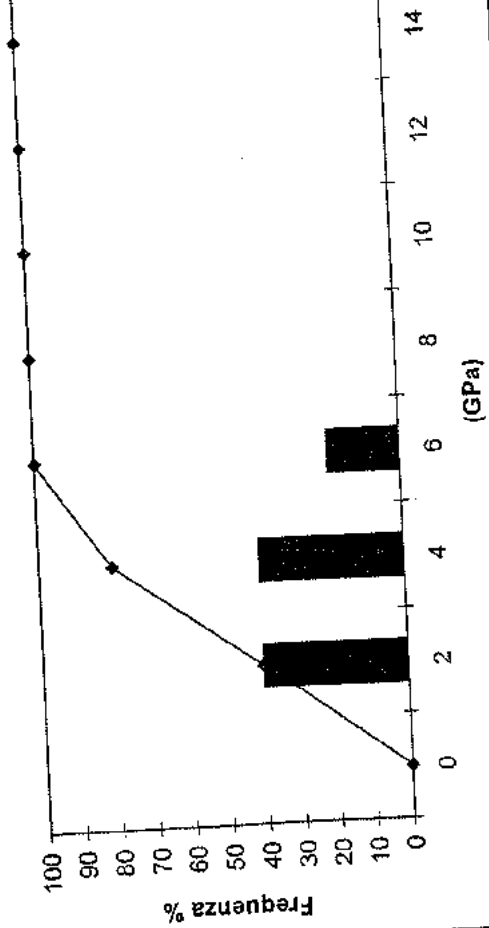
Gruppo 3: Distribuzione dei valori del peso di volume apparente, sondaggi + cunicoli



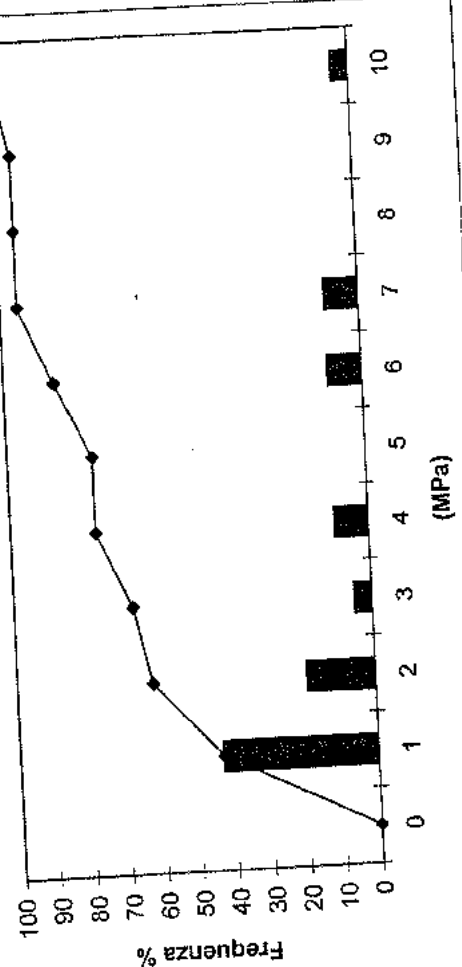
Gruppo 3: Distribuzione dei valori di E medio - prove dilatometriche e cross-hole, sondaggi + cunicoli



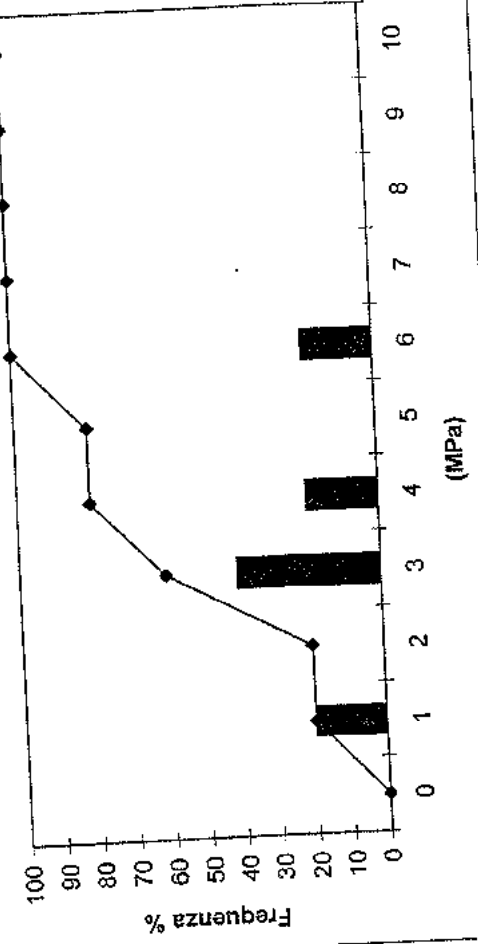
Gruppo 3: Distribuzione dei valori di E medio - prove di compressione, sondaggi + cunicoli



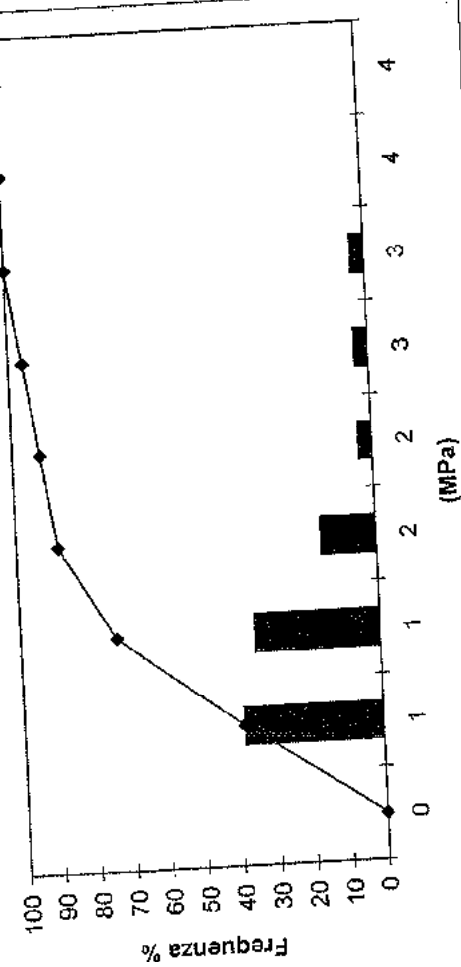
Gruppo 3: Distribuzione dei valori della resistenza alla compressione monoassiale, sondaggi + cunicoli



Gruppo 2: Distribuzione dei valori della resistenza a trazione (Brasiliana), sondaggi + cunicoli



Gruppo 3: Distribuzione dei valori dell'indice Point Load, sondaggi + cunicoli



Gruppo 3: Distribuzione delle velocità delle onde P, sondaggi + cunicoli

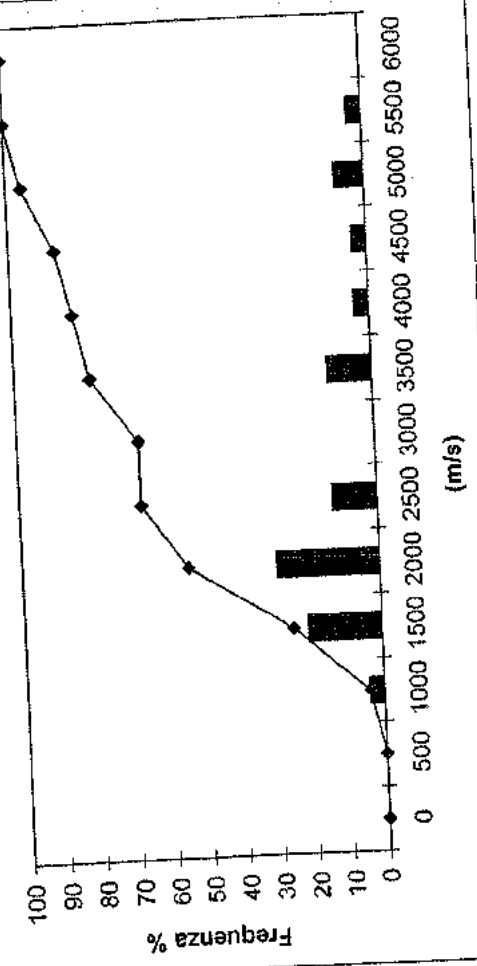


Fig.17

## **Tabella riassuntiva parametri geomeccanici**

Cunicoli + sondaggi				Note	
PARAMETRI DERIVATI DALLE PROVE IN SITU E DI LABORATORIO					
Parametro	U.M.	Gruppo 1	Gruppo 2	Gruppo 3	
RQD	(%)	39 - 96	39-96	0 - 82	Prove in situ
K <sub>0</sub>	-	2.1	2.5	1,8 - 2,5	
Modulo di deformazione	(MPa)	11000 - 14000	3100 - 4000	800 - 1400	Prove di laboratorio
Contenuto d'acqua	(%)	0,16 - 0,32	0,52 - 0,72	0,7 - 1,0	
Peso di volume apparente	(kN/m <sup>3</sup> )	26,4 - 26,8	26,4 - 26,9	25,7 - 26,3	
Indice di resistenza Point Load	(MPa)	1,0 - 2,0	0,5 - 0,8	0,5 - 0,8	
V <sub>p</sub>	(m/s)	3700 - 4300	2800 - 3200	1750 - 2250	
Resistenza a compressione monoassiale	(MPa)	16,0 - 35,0	5,8 - 8,2	1,0 - 2,0	
Modulo di deformazione	(MPa)	22000 - 28000	4000 - 6000	2000 - 3000	
Resistenza a trazione	(MPa)	3,2 - 4,6	1,4 - 2,8	2,5 - 3,0	
Resistenza a attrito giunti (picco)	(°)		25.87		
Coesione giunti (picco)	(MPa)		0.26		
Angolo di attrito giunti (residuo)	(°)		23.86		
Coesione giunti (residuo)	(MPa)		0.15		
mi	-	19.041	15.613	2.282	Parametri di ammasso secondo Hoek e Brown da prove triassiali, monoassiali e di trazione indiretta cunicoli
Sigma ci	(MPa)	37.978	12.731	6.680	
GSI	-	44 - 54	34 - 44	28 - 34	
mb	-	2,577 - 3,683	1,478 - 2,113	0,174 - 0,216	
s	-	0,002 - 0,006	0,0007 - 0,002	0,0003 - 0,0007	
a	-	0,504 - 0,509	0,509 - 0,517	0,517 - 0,526	
Res. compressione monoassiale d'ammasso	(MPa)	1,603 - 2,884	0,287 - 0,537	0,1 - 0,151	
Res. trazione d'ammasso	(MPa)	0,029 - 0,062	0,006 - 0,012	0,013 - 0,020	
Res. globale d'ammasso	(MPa)	7,972 - 9,808	1,937 - 2,422	0,326 - 0,390	
Modulo di deformazione d'ammasso	(MPa)	4363 - 7758	1420 - 2526	728 - 1029	
mi	-	16.764	23.469	1.695	Parametri di ammasso secondo Hoek e Brown da prove triassiali, monoassiali e di trazione indiretta cunicoli+sondaggi
Sigma ci	(MPa)	32.306	9.012	5.120	
GSI	-	44 - 54	34 - 44	28 - 34	
mb	-	2,269 - 3,243	2,222 - 3,176	0,130 - 0,161	
s	-	0,002 - 0,006	0,0007 - 0,002	0,0003 - 0,0007	
a	-	0,504 - 0,509	0,509 - 0,517	0,517 - 0,526	
Res. compressione monoassiale d'ammasso	(MPa)	1,364 - 2,453	0,203 - 0,380	0,076 - 0,115	
Res. trazione d'ammasso	(MPa)	0,028 - 0,060	0,003 - 0,006	0,013 - 0,021	
Res. globale d'ammasso	(MPa)	6,366 - 7,848	1,689 - 2,100	0,216 - 0,260	
Modulo di deformazione d'ammasso	(MPa)	4024 - 7156	1195 - 2125	638 - 901	

## **Tabella riassuntiva linee caratteristiche**



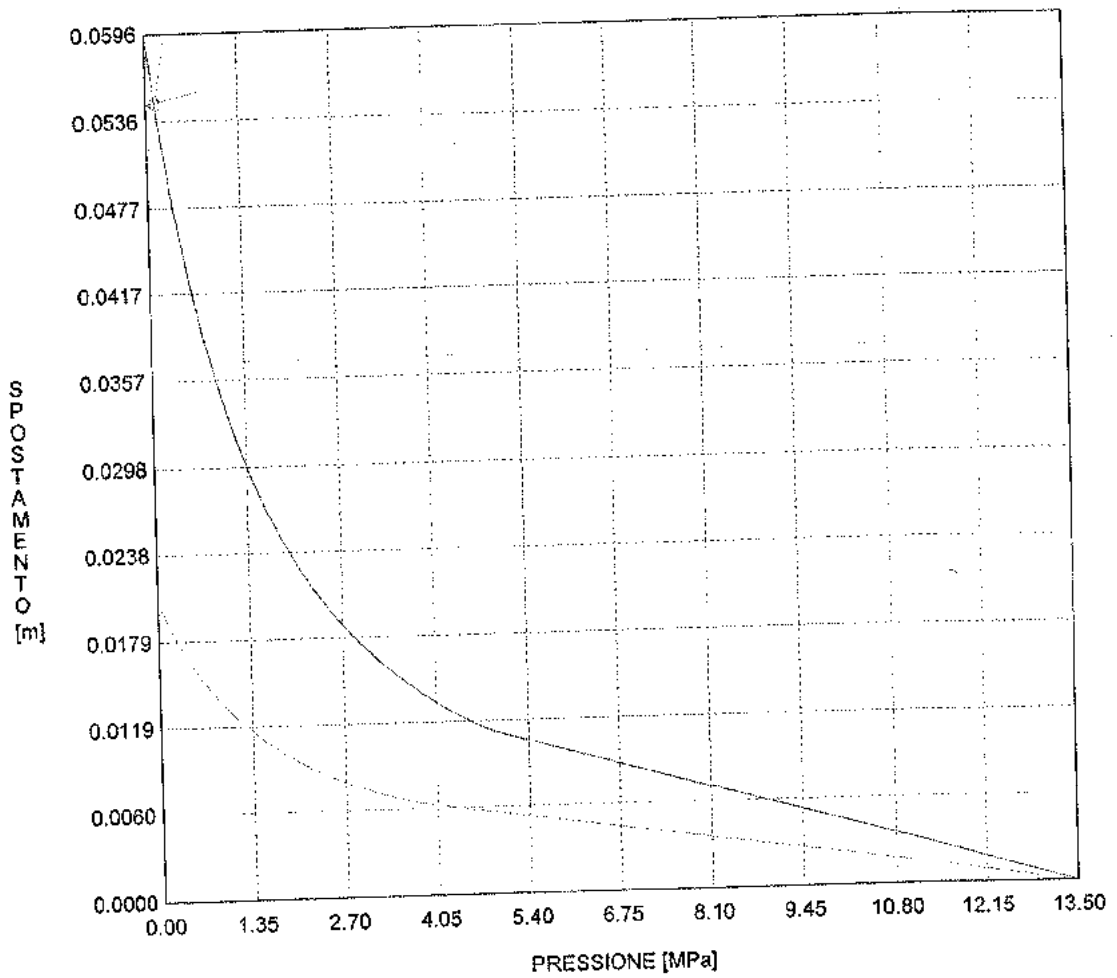
# Tabella riassuntiva predimensionamento mediante curve caratteristiche

Copertura [m]	$\gamma$ [KN/m <sup>3</sup> ]	$c_p$ [Mpa]	$c_r$ [Mpa]	$\phi_p$ °	$\phi_r$ °	$\nu$	E [Mpa]	$\sigma_{sb}$ [Mpa]	$\sigma_{steel}$ [Mpa]	$\sigma_{cls}$ [Mpa]	$\Delta_{max sb}$ [cm]	SEZ. TIPO
500	27	1.3	1	34	28	0.3	5365	2.5	16.8	1	0.4	B0/1
600	27	1.6	1.3	36	30	0.3	5365	2.1	13.7	0.9	0.3	B0/2
600	27	1.2	1.15	35	33	0.3	2100	2.2	14.5	0.9	0.3	B1
500	27	1.1	1	33	31	0.3	2100	8.2	54.4	3.6	1.3	B2/1
600	27	1.2	1.15	35	33	0.3	2100	8.8	58.3	3.6	1.4	B2/2
500	27	0.9	0.85	30	28	0.3	1650	9.2	60.6	4.1	1.4	B4/1
600	27	1	0.9	32	30	0.3	1650	10.2	67.4	4.1	1.6	B4/2
600	27	0.7	0.65	29	28	0.3	1200	11.6	70.1	5.4	1.7	C2 armata
600	27	0.7	0.65	29	28	0.3	1200	11.7	70.7	4.8	1.7	C4

\* I valori di tensione sono indicativi. Per maggiori dettagli si vedano i risultati delle analisi numeriche condotte con codice FLAC

## **Output grafici e numerici linee caratteristiche**

PRERIVESTIMENTO  
RIVESTIMENTO  
GALLERIA  
FRONTE SFERICO



Diametro della galleria: 10.7 m  
 Tipo di analisi: calcolo accoppiato fronte-galleria - metodo Trasformazione Omotetica  
 Calcolo curve caratteristiche: SOLUZIONI CHIUSE

**PARAMETRI DELLA ROCCIA**

E: 5350 MPa NI: 0.3 GAMMA: 0 kN/m<sup>3</sup> SIGMA0: 13.5 MPa

Tipo di criterio di resistenza: MOHR-COULOMB

**RESISTENZA**

PHI picco: 34 °  
 C picco: 1.3 MPa  
 PHI residuo: 28 °  
 C residua: 1 MPa  
 PSI: 0 °

**RESISTENZA A LUNGO TERMINE**

PHI picco: 0.001 °  
 C picco: 0.000001 MPa  
 PHI residuo: 0.001 °  
 C residua: 0.000001 MPa  
 PSI: 0 °

**SOSTEGNI DI PRIMA FASE**

Spritz-Beton sp. .25 m resistenza 19.2 MPa centine sez. 0.00653 m<sup>2</sup> passo 1.2 m resistenza 190 MPa

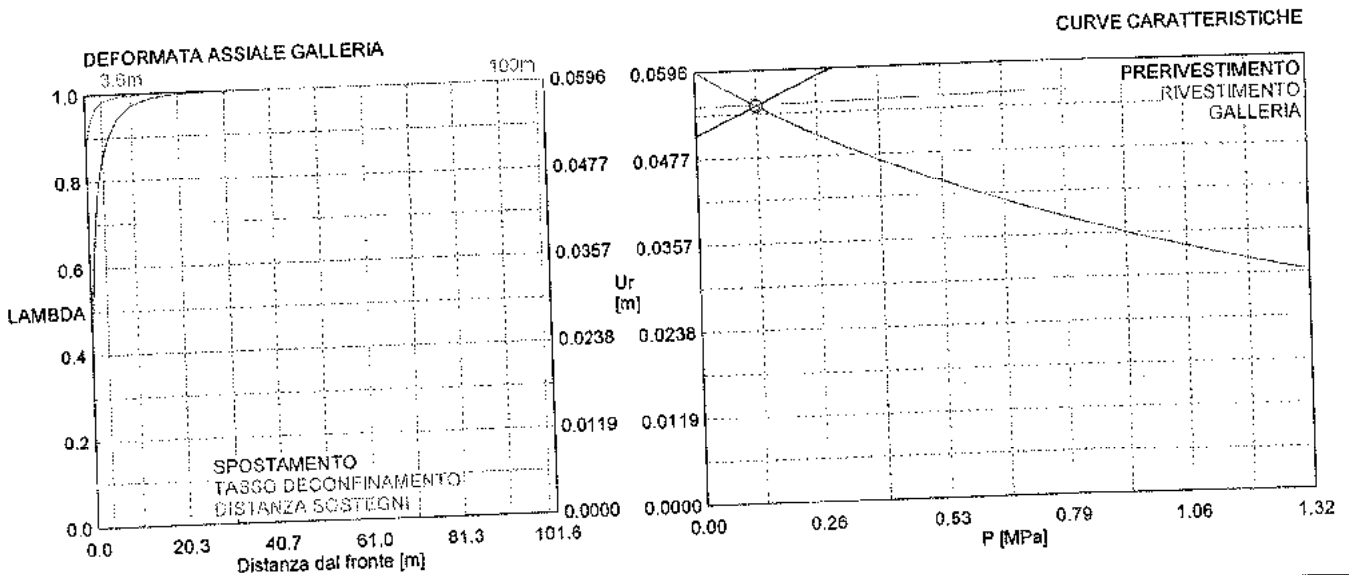
Spostamento radiale anello chiuso .0039 m

**TENSIONI ANELLO CHIUSO**

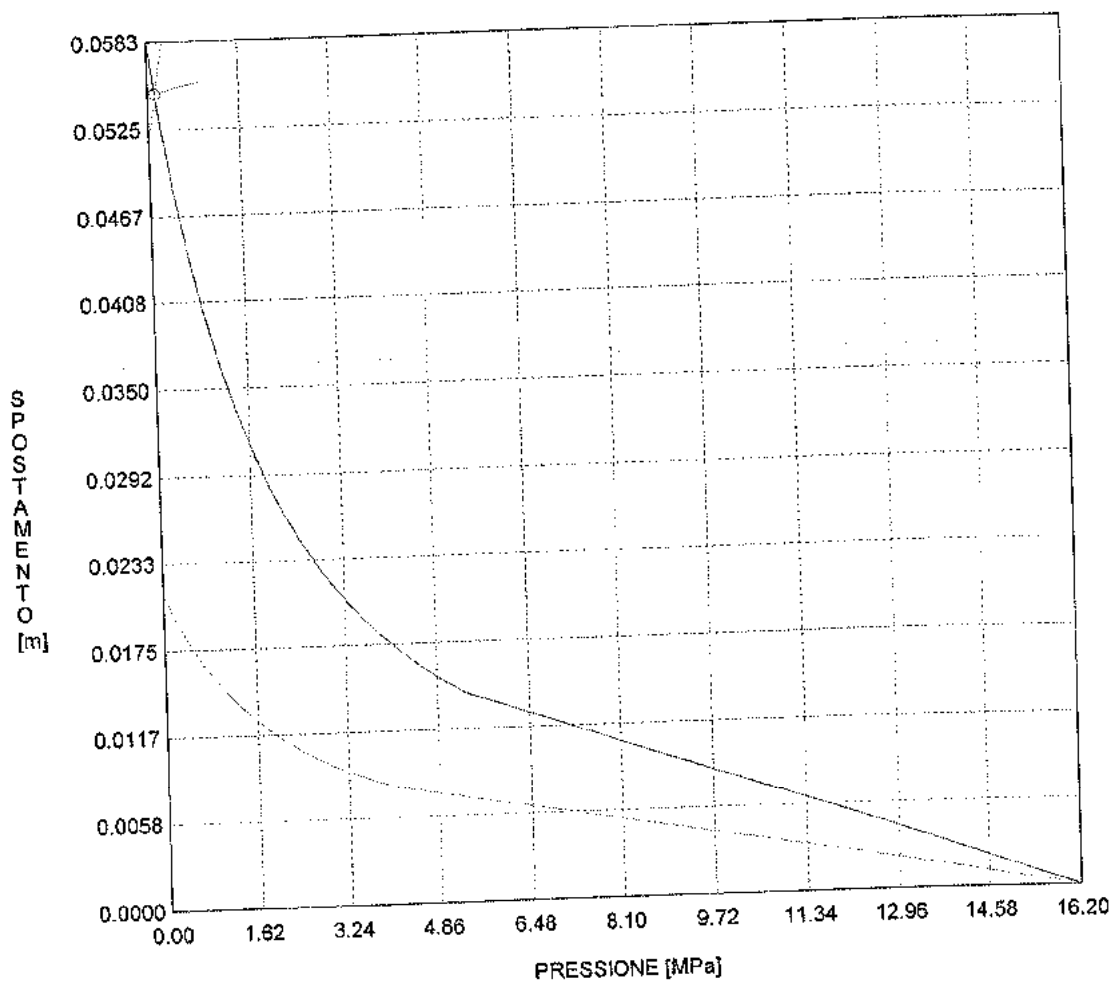
Spritz-beton 2.5 MPa Centine 16.8 MPa

**RIVESTIMENTO DEFINITIVO**

CLS spessore 0.7 m resistenza 6.3 MPa gioco radiale 0 m  
 Spostamento radiale 0.00014 m  
 Tensione CLS 1. MPa



PRERIVESTIMENTO  
RIVESTIMENTO  
GALLERIA  
FRONTE SFERICO



Diametro della galleria: 10.7 m  
 Tipo di analisi: calcolo accoppiato fronte-galleria - metodo Trasformazione Omotetica  
 Calcolo curve caratteristiche: SOLUZIONI CHIUSE

**PARAMETRI DELLA ROCCIA**

E: 5350 MPa Ni: 0.3 GAMMA: 0 kN/m<sup>3</sup> SIGMA0: 16.2 MPa

Tipo di criterio di resistenza: MOHR-COULOMB

**RESISTENZA**

PHI picco: 36 °  
 C picco: 1.6 MPa  
 PHI residuo: 30 °  
 C residua: 1.3 MPa  
 PSI: 0 °

**RESISTENZA A LUNGO TERMINE**

PHI picco: 0.001 °  
 C picco: 0.000001 MPa  
 PHI residuo: 0.001 °  
 C residua: 0.000001 MPa  
 PSI: 0 °

**SOSTEGNI DI PRIMA FASE**

Spritz-Beton sp. .3 m resistenza 19.2 MPa centine sez. 0.00781 m<sup>2</sup> passo 1.2 m resistenza 190 MPa

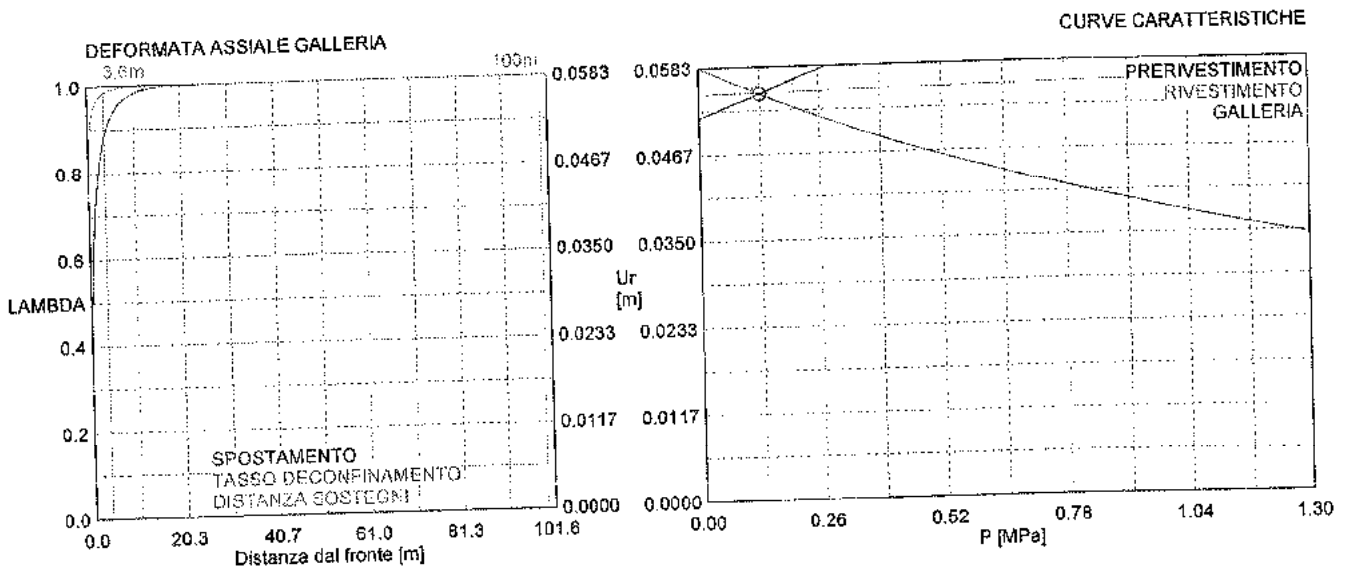
Spostamento radiale anello chiuso .0032 m

**TENSIONI ANELLO CHIUSO**

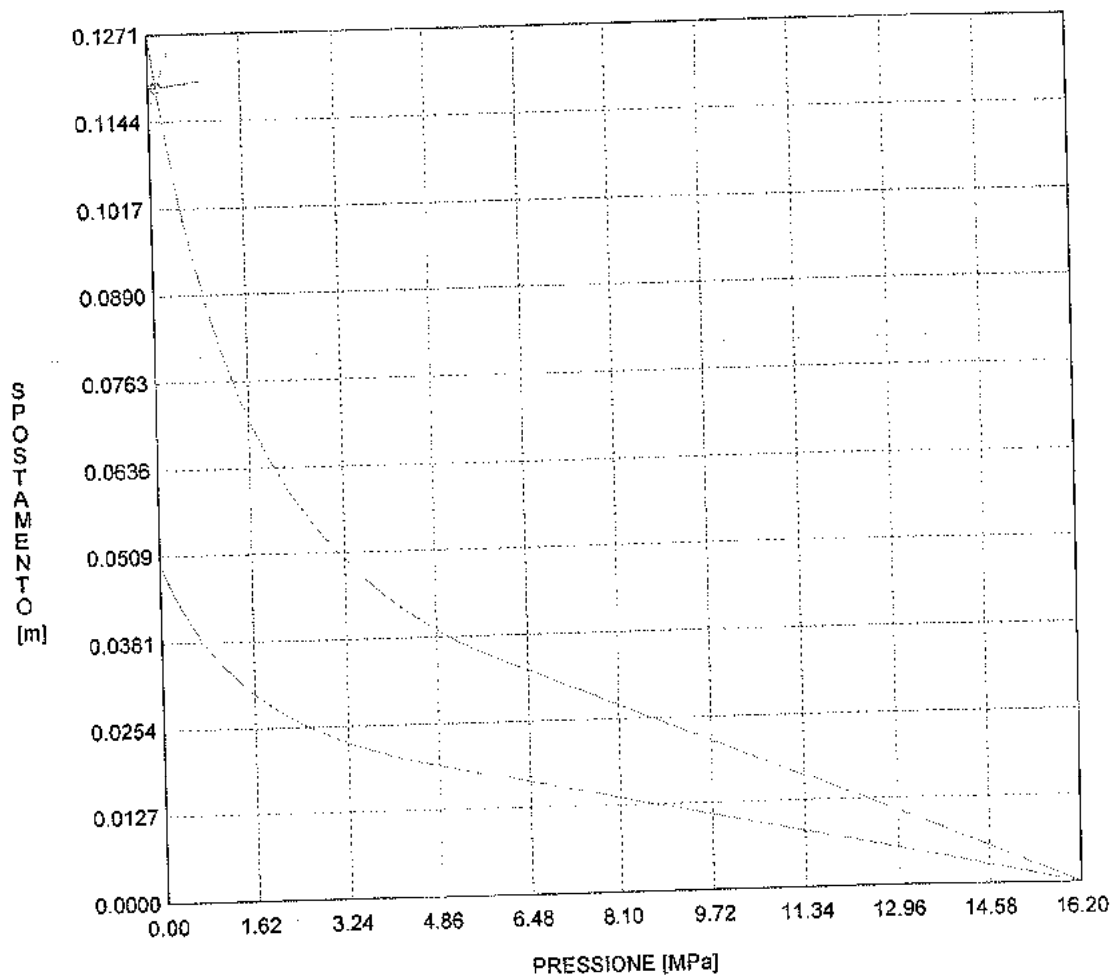
Spritz-beton 2.1 MPa Centine 13.7 MPa

**RIVESTIMENTO DEFINITIVO**

CLS spessore 0.8 m resistenza 6.3 MPa gioco radiale 0 m  
 Spostamento radiale 0.00012 m  
 Tensione CLS 0.9 MPa



FRERIVESTIMENTO  
RIVESTIMENTO  
GALLERIA  
GALLERIA (NO CHIODATURA - NO GROUTING)  
FRONTE SFERICO



Diametro della galleria: 11 m  
 Tipo di analisi: calcolo accoppiato fronte-galleria - metodo Trasformazione Omotetica  
 Calcolo curve caratteristiche: SOLUZIONI TRANSFER-MATRIX

**PARAMETRI DELLA ROCCIA**

E: 2100 MPa NI: 0.3 GAMMA: 0 kN/m<sup>3</sup> SIGMA0: 16.2 MPa

Tipo di criterio di resistenza: MOHR-COULOMB

**RESISTENZA**

PHI picco: 35 °  
 C picco: 1.2 MPa  
 PHI residuo: 33 °  
 C residua: 1.15 MPa  
 PSI: 0 °  
 H apparente: 0 MPa

**RESISTENZA A LUNGO TERMINE**

PHI picco: 0.001 °  
 C picco: 0.000001 MPa  
 PHI residuo: 0.001 °  
 C residua: 0.000001 MPa  
 PSI: 0 °  
 H apparente: 0 MPa

**SOSTEGNI DI PRIMA FASE**

Spritz-Beton sp. .3 m resistenza 19.2 MPa centine sez. 0.0079 m<sup>2</sup> passo 1.2 m resistenza 190 MPa  
 Chiodi ad aderenza continua sezione 0.000452 m<sup>2</sup> lunghezza 5.5 m incidenza 0.43 chiodi/m<sup>2</sup>

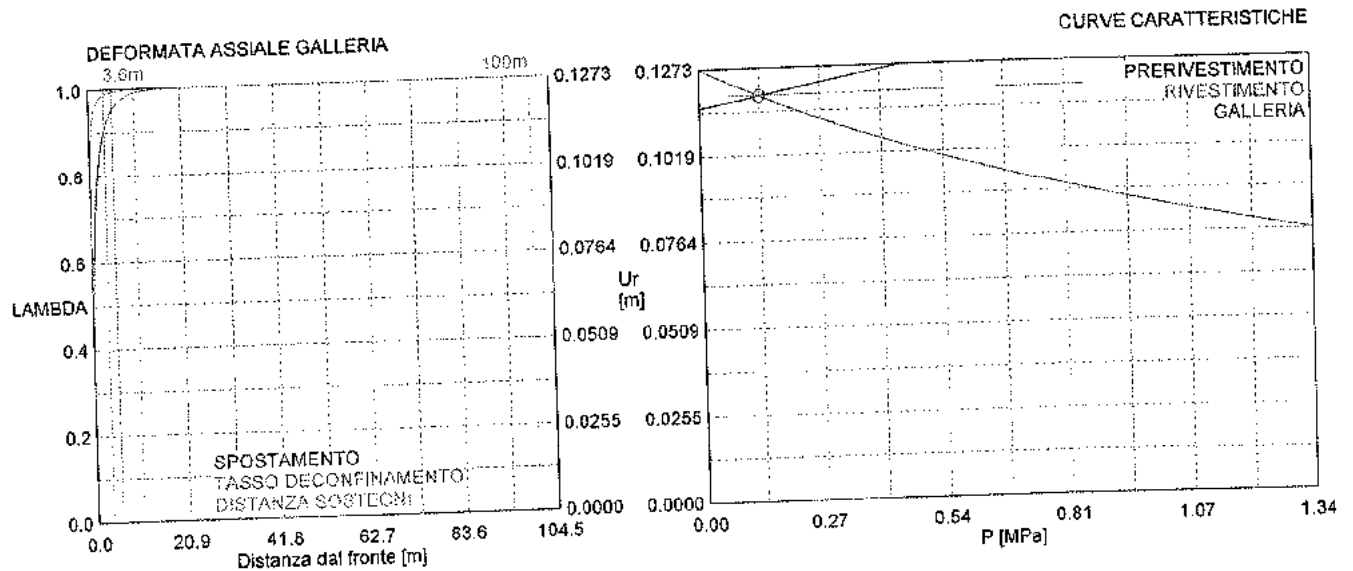
Spostamento radiale anello chiuso .0035 m

**TENSIONI ANELLO CHIUSO**

Spritz-beton 2.2 MPa Centine 14.6 MPa  
 Fattore sicurezza sfilamento chiodatura 1000.0  
 Fattore sicurezza a trazione chiodatura 999.0

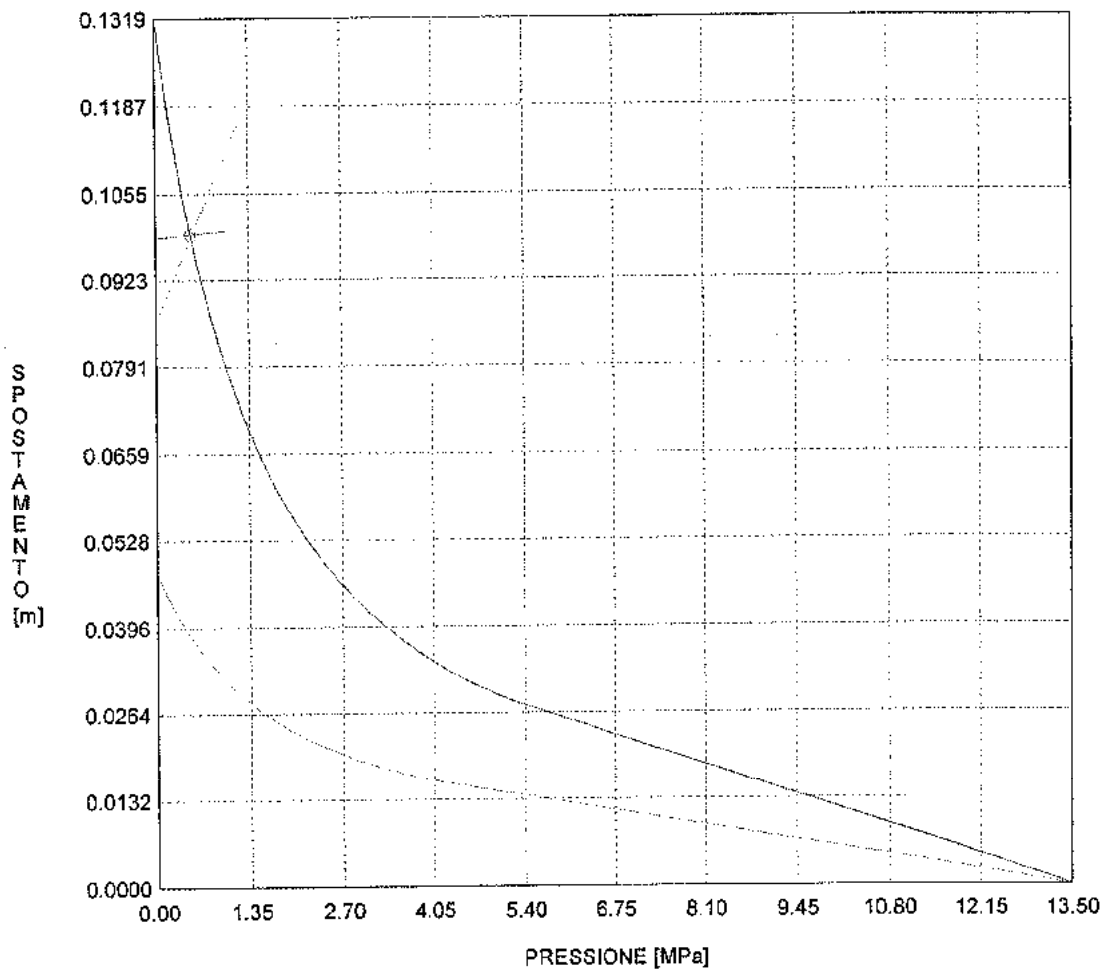
**RIVESTIMENTO DEFINITIVO**

CLS spessore 0.8 m resistenza 6.3 MPa gioco radiale 0 m  
 Spostamento radiale 0.00013 m  
 Tensione CLS 0.9 MPa





PRERIVESTIMENTO  
RIVESTIMENTO  
GALLERIA  
FRONTE SFERICO



Diametro della galleria: 11 m  
 Tipo di analisi: calcolo accoppiato fronte-galleria - metodo Trasformazione Omotetica  
 Calcolo curve caratteristiche: SOLUZIONI CHIUSE

**PARAMETRI DELLA ROCCIA**

E: 2100 MPa NI: 0.3 GAMMA: 0 kN/m<sup>3</sup> SIGMA0: 13.5 MPa

Tipo di criterio di resistenza: MOHR-COULOMB

<b>RESISTENZA</b>	<b>RESISTENZA A LUNGO TERMINE</b>
PHI picco: 33 °	PHI picco: 0.001 °
C picco: 1.1 MPa	C picco: 0.000001 MPa
PHI residuo: 31 °	PHI residuo: 0.001 °
C residua: 1 MPa	C residua: 0.000001 MPa
PSI: 0 °	PSI: 0 °

**PRECONSOLIDAMENTO FRONTE**

Chiodatura assiale con barre sezione 0 m<sup>2</sup> incidenza 0.0 chiodi/m<sup>2</sup>  
 Ulteriore miglioramento fronte - incremento Cp 0.16 MPa - pressione sul fronte 0 MPa

**SOSTEGNI DI PRIMA FASE**

Spritz-Beton sp. .3 m resistenza 19.2 MPa centine sez. 0.00781 m<sup>2</sup> passo 1 m resistenza 190 MPa

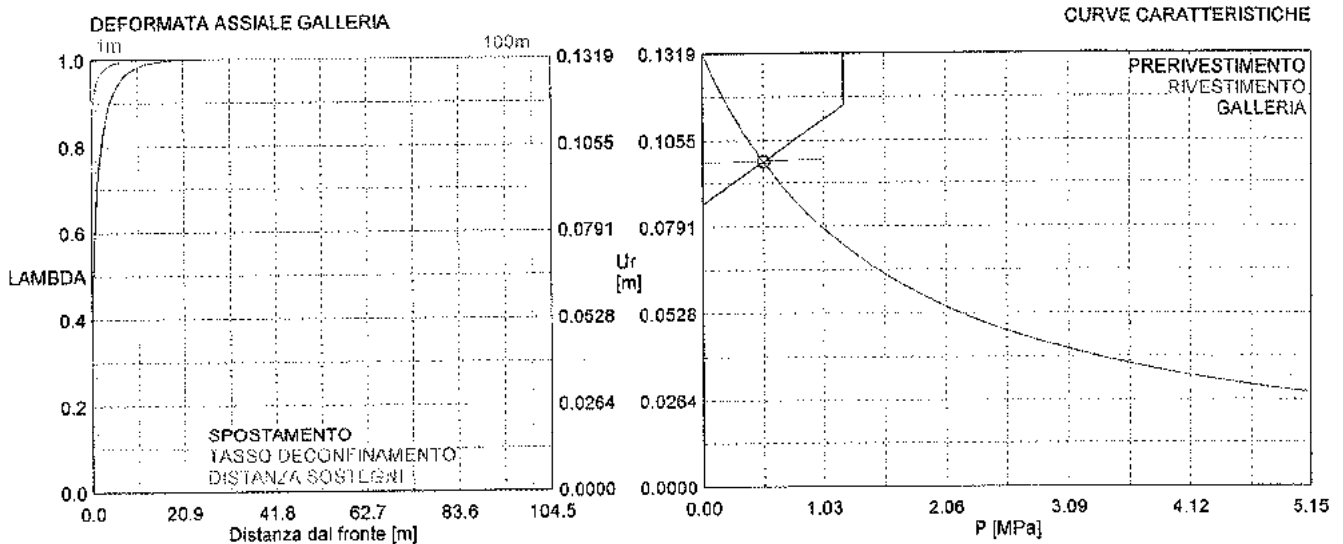
Spostamento radiale anello chiuso .013 m

**TENSIONI ANELLO CHIUSO**

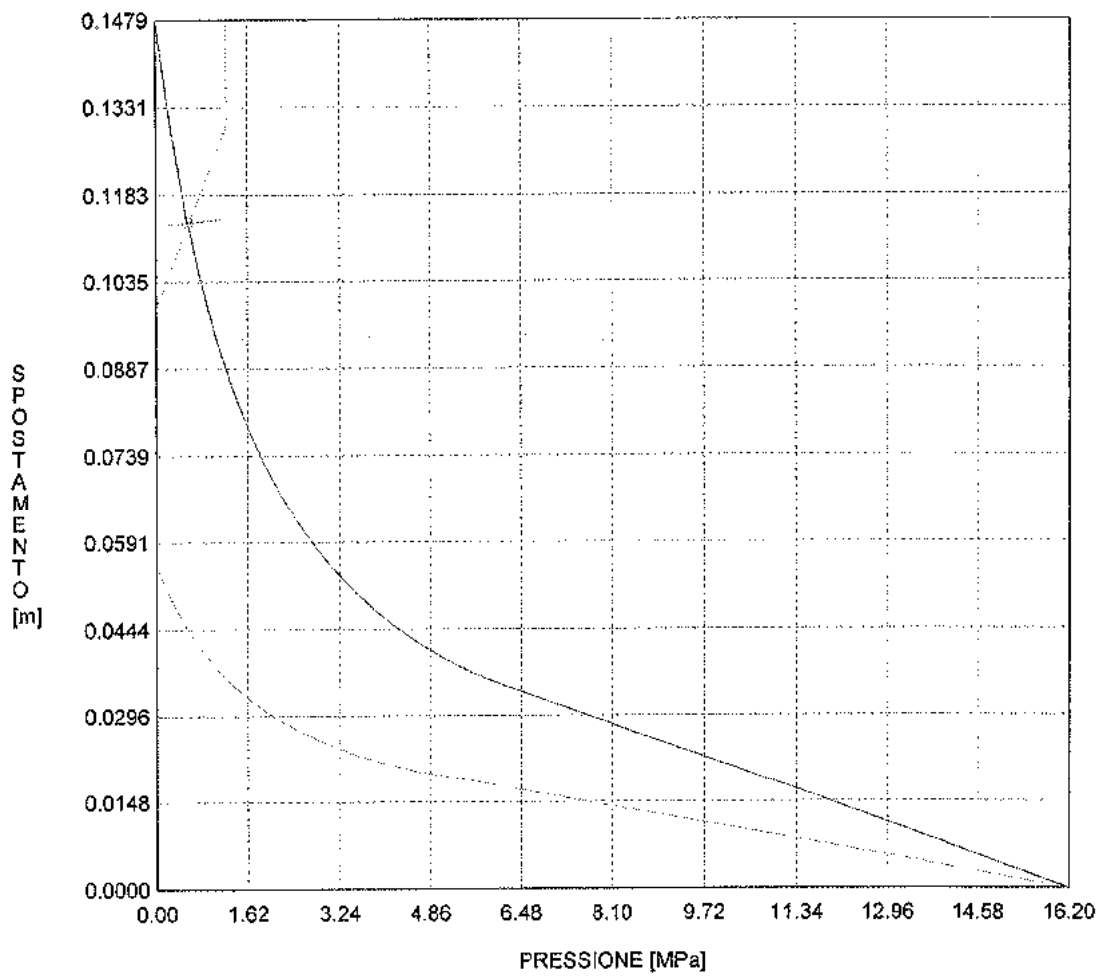
Spritz-beton 8.2 MPa Centine 54.4 MPa

**RIVESTIMENTO DEFINITIVO**

CLS spessore 0.8 m resistenza 7.5 MPa gioco radiale 0 m  
 Spostamento radiale 0.00047 m  
 Tensione CLS 3.6 MPa



PRERIVESTIMENTO  
RIVESTIMENTO  
GALLERIA  
FRONTE SFERICO



Diametro della galleria: 11.2 m  
 Tipo di analisi: calcolo accoppiato fronte-galleria - metodo Trasformazione Omotetica  
 Calcolo curve caratteristiche: SOLUZIONI CHIUSE

**PARAMETRI DELLA ROCCIA**

E: 2100 MPa Ni: 0.3 GAMMA: 0 kN/m<sup>3</sup> SIGMA0: 16.2 MPa

Tipo di criterio di resistenza: MOHR-COULOMB

**RESISTENZA**

PHI picco: 35 °  
 C picco: 1.2 MPa  
 PHI residuo: 33 °  
 C residua: 1.15 MPa  
 PSI: 0 °

**RESISTENZA A LUNGO TERMINE**

PHI picco: 0.001 °  
 C picco: 0.000001 MPa  
 PHI residuo: 0.001 °  
 C residua: 0.000001 MPa  
 PSI: 0 °

**PRECONSOLIDAMENTO FRONTE**

Chiodatura assiale con barre sezione 0 m<sup>2</sup> incidenza 0.0 chiodi/m<sup>2</sup>  
 Ulteriore miglioramento fronte - incremento Cp 0.17 MPa - pressione sul fronte 0 MPa

**SOSTEGNI DI PRIMA FASE**

Spritz-Beton sp. .3 m resistenza 19.2 MPa centine sez. 0.0106 m<sup>2</sup> passo 1 m resistenza 190 MPa

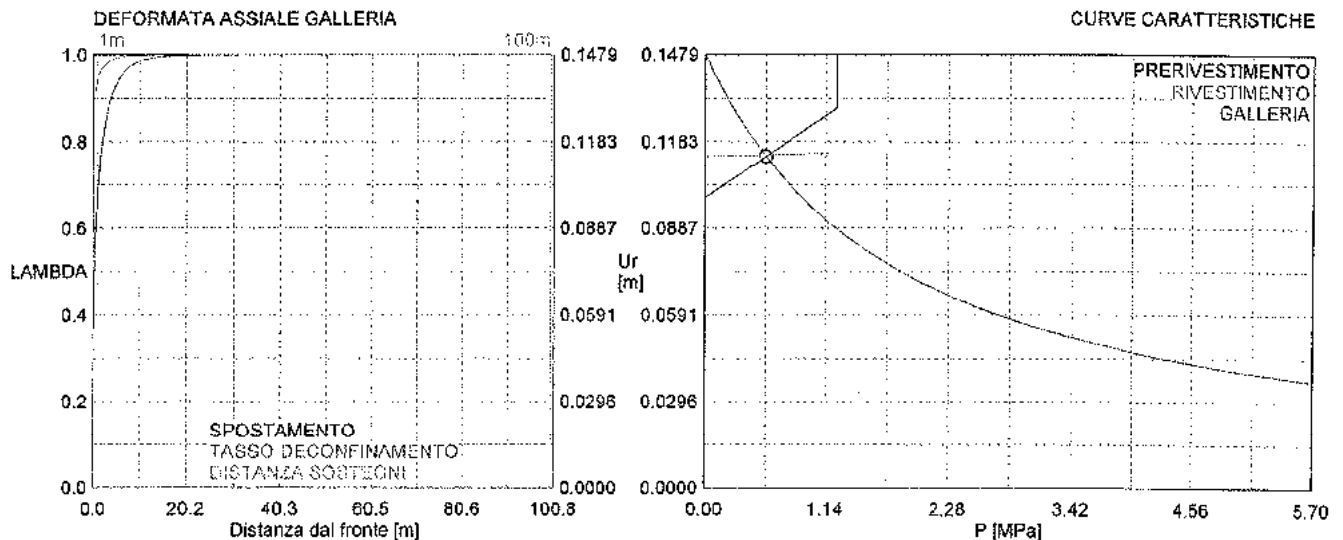
Spostamento radiale anello chiuso .0141 m

**TENSIONI ANELLO CHIUSO**

Spritz-beton 8.8 MPa Centine 58.3 MPa

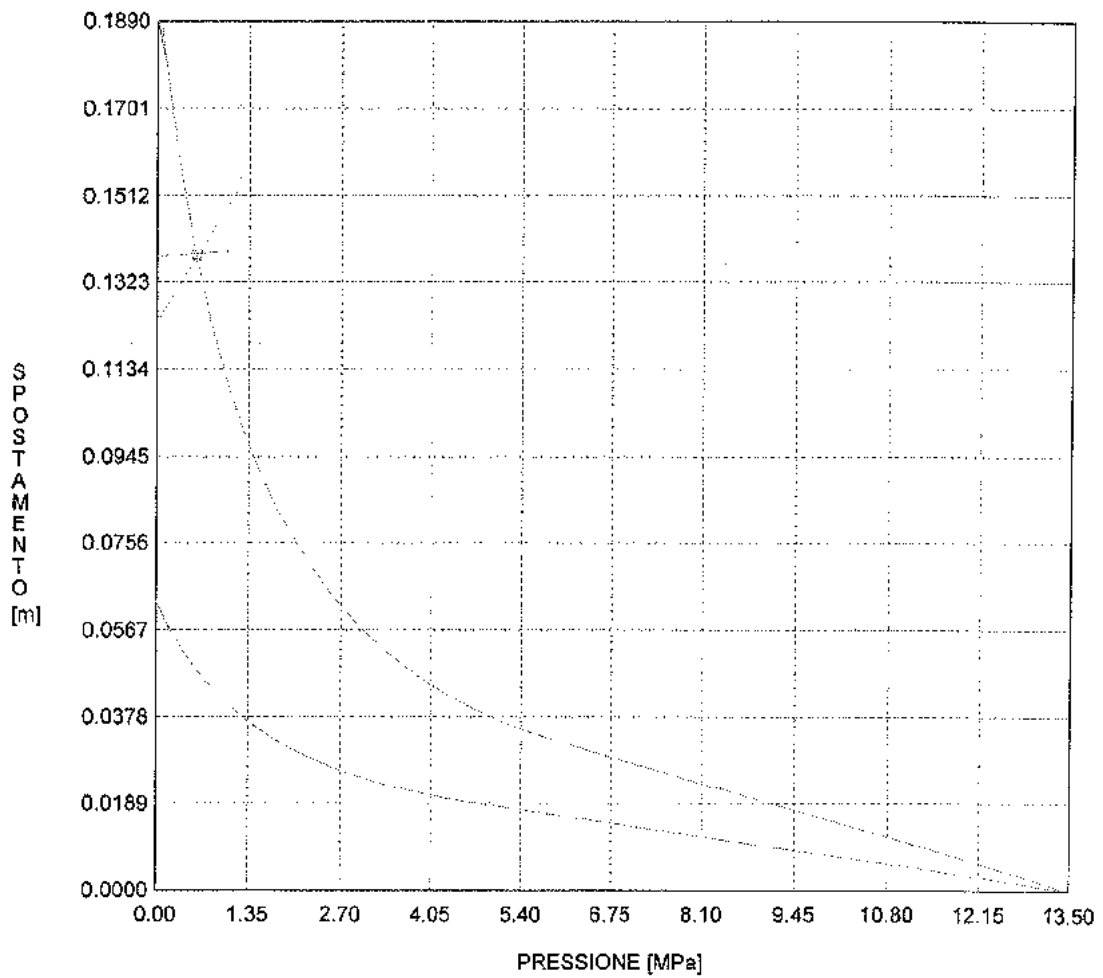
**RIVESTIMENTO DEFINITIVO**

CLS spessore 0.9 m resistenza 7.5 MPa gioco radiale 0 m  
 Spostamento radiale 0.00047 m  
 Tensione CLS 3.6 MPa



CURVE CARATTERISTICHE ANALISI BASE

PRE RIVESTIMENTO  
RIVESTIMENTO  
GALLERIA  
GALLERIA (NO CHIODATURA - NO GROUTING)  
FRONTE SFERICO



Diametro della galleria: 11 m  
 Tipo di analisi: calcolo accoppiato fronte-galleria - metodo Trasformazione Omotetica  
 Calcolo curve caratteristiche: SOLUZIONI TRANSFER-MATRIX

**PARAMETRI DELLA ROCCIA**

E: 1650 MPa NI: 0.3 GAMMA: 0 kN/m<sup>3</sup> SIGMA0: 13.5 MPa

Tipo di criterio di resistenza: MOHR-COULOMB

RESISTENZA RESISTENZA A LUNGO TERMINE

PHI picco: 30 °	PHI picco: 0.001 °
C picco: 0.9 MPa	C picco: 0.000001 MPa
PHI residuo: 28 °	PHI residuo: 0.001 °
C residua: 0.85 MPa	C residua: 0.000001 MPa
PSI: 0 °	PSI: 0 °
H apparente: 0 MPa	H apparente: 0 MPa

**PRECONSOLIDAMENTO FRONTE**

Chiodatura assiale con barre sezione 0 m<sup>2</sup> incidenza 0.0 chiodi/m<sup>2</sup>  
 Ulteriore miglioramento fronte - incremento Cp 0.15 MPa - pressione sul fronte 0 MPa

**SOSTEGNI DI PRIMA FASE**

Spritz-Beton sp. .3 m resistenza 19 MPa centine sez. 0.00922 m<sup>2</sup> passo 1 m resistenza 190 MPa  
 Chiodi ad aderenza continua sezione 0.000615 m<sup>2</sup> lunghezza 5.5 m incidenza 0.52 chiodi/m<sup>2</sup>

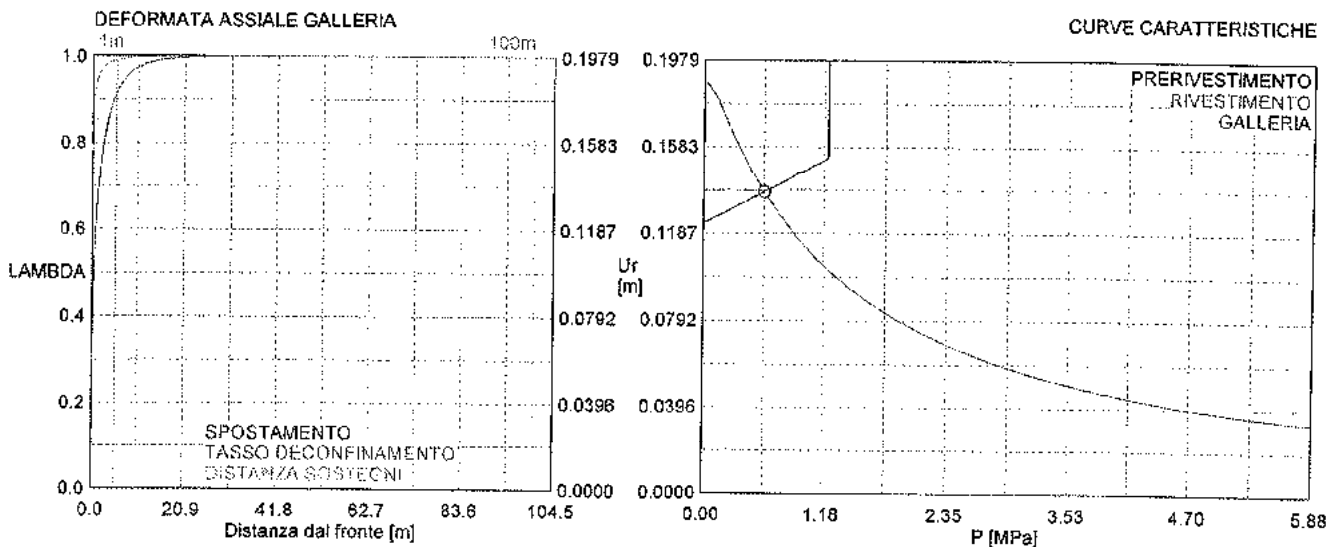
Spostamento radiale anello chiuso .0144 m

**TENSIONI ANELLO CHIUSO**

Spritz-beton 9.2 MPa Centine 60.6 MPa  
 Fattore sicurezza sfilamento chiodatura 1000.0  
 Fattore sicurezza a trazione chiodatura 999.0

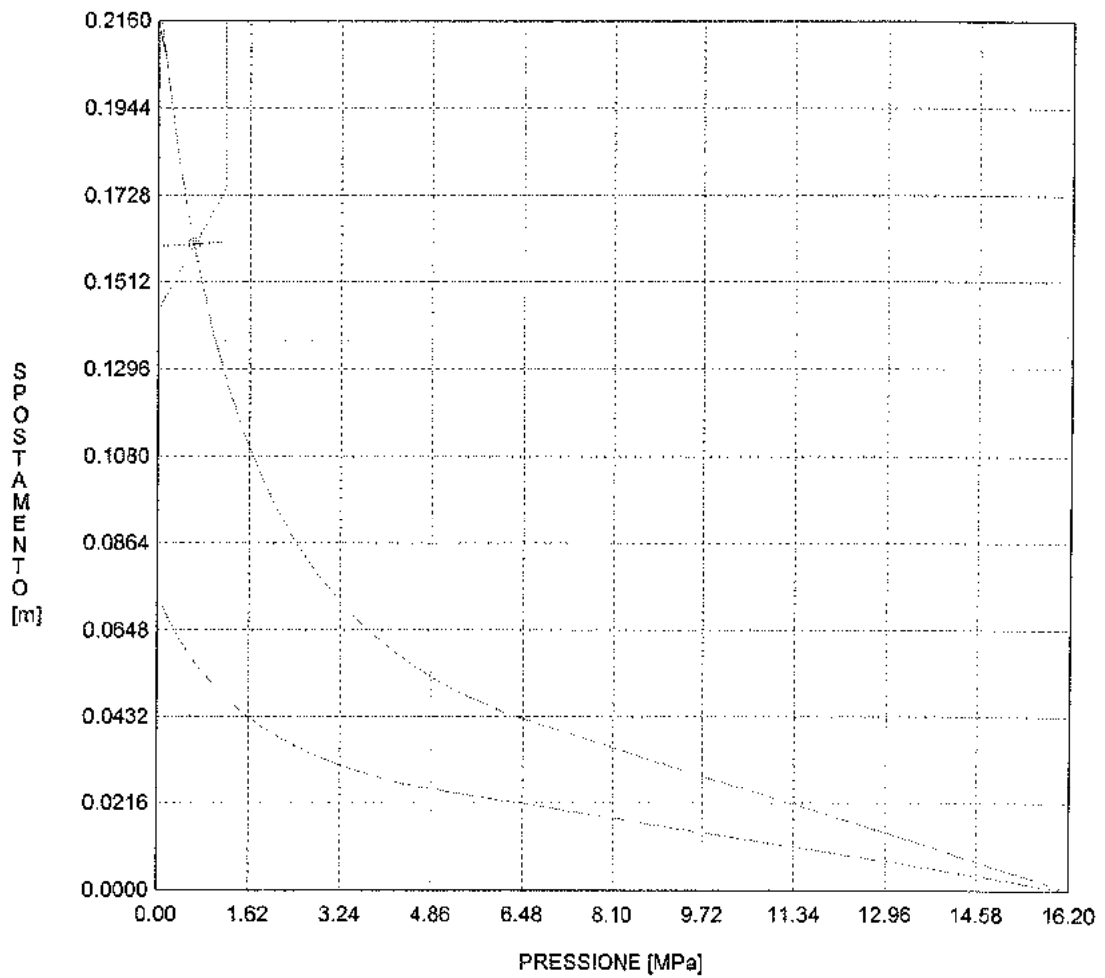
**RIVESTIMENTO DEFINITIVO**

CLS spessore 0.8 m resistenza 7.5 MPa gioco radiale 0 m  
 Spostamento radiale 0.00054 m  
 Tensione CLS 4.1 MPa



CURVE CARATTERISTICHE ANALISI BASE

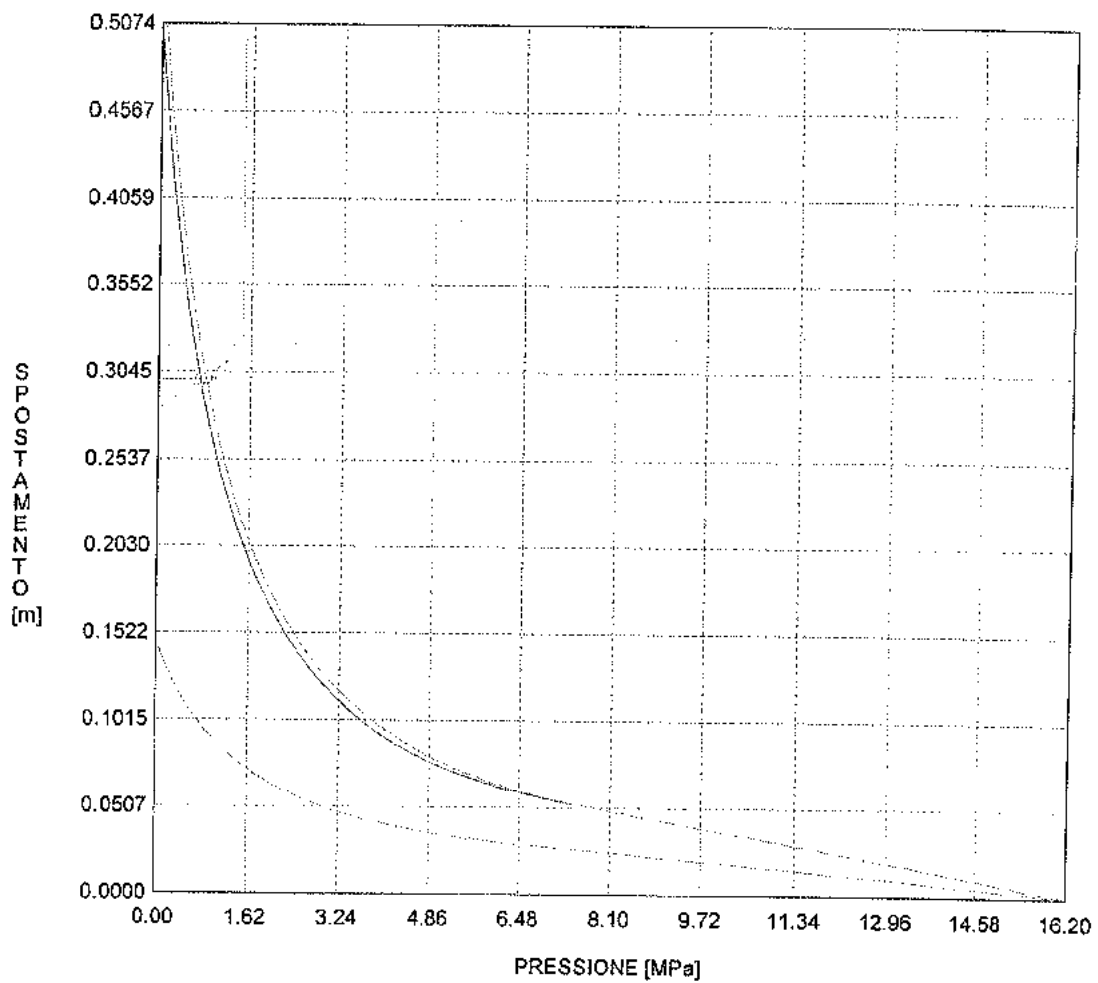
PRER.VESTIMENTO  
RIVESTIMENTO  
GALLERIA  
GALLERIA (NO CHIODATURA - NO GROUTING)  
FRONTE SFERICO







PRIVESTIMENTO  
RIVESTIMENTO  
GALLERIA  
GALLERIA (NO CHIODATURA - NO GROUTING)  
FRONTE SFERICO



Diametro della galleria: 11.2 m

Tipo di analisi: calcolo accoppiato fronte-galleria - metodo Trasformazione Omotetica

Calcolo curve caratteristiche: SOLUZIONI TRANSFER-MATRIX

**PARAMETRI DELLA ROCCIA**

E: 1200 MPa Ni: 0.3 GAMMA: 0 kN/m<sup>3</sup> SIGMA0: 16.2 MPa

Tipo di criterio di resistenza: MOHR-COULOMB

**RESISTENZA**

PHI picco: 29 °

C picco: 0.7 MPa

PHI residuo: 28 °

C residuo: 0.65 MPa

PSI: 0 °

H apparente: 0 MPa

**RESISTENZA A LUNGO TERMINE**

PHI picco: 0.001 °

C picco: 0.000001 MPa

PHI residuo: 0.001 °

C residuo: 0.000001 MPa

PSI: 0 °

H apparente: 0 MPa

**CORONA DI ROCCIA MIGLIORATA**

Spessore 1.5 m modulo 1200.0 MPa resistenza 2.8 MPa

Fattore di sicurezza della corona 1

**PRECONSOLIDAMENTO FRONTE**

Chiodatura assiale con barre sezione 0 m<sup>2</sup> incidenza 0.0 chiodi/m<sup>2</sup>

Ultimatore miglioramento fronte - incremento Cp 0.17 MPa - pressione sul fronte 0 MPa

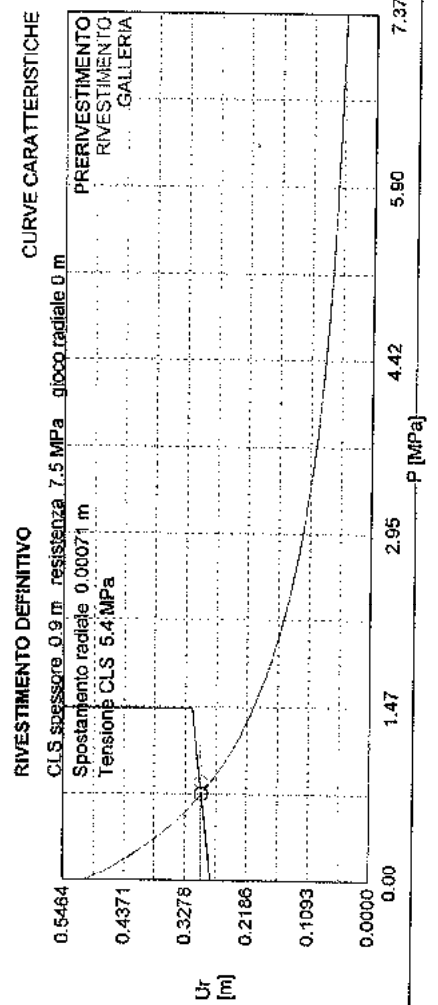
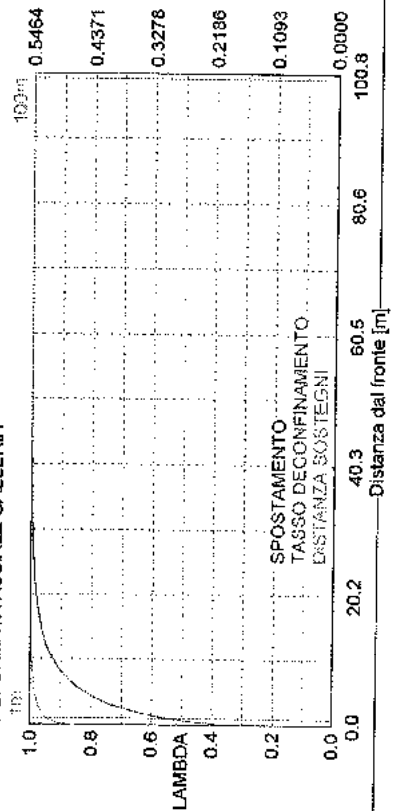
**SOSTEGNI DI PRIMA FASE**

Spritz-Beton sp. 3 m resistenza 23 MPa centine sez. 0.106 m<sup>2</sup> passo 1 m resistenza 190 MPa

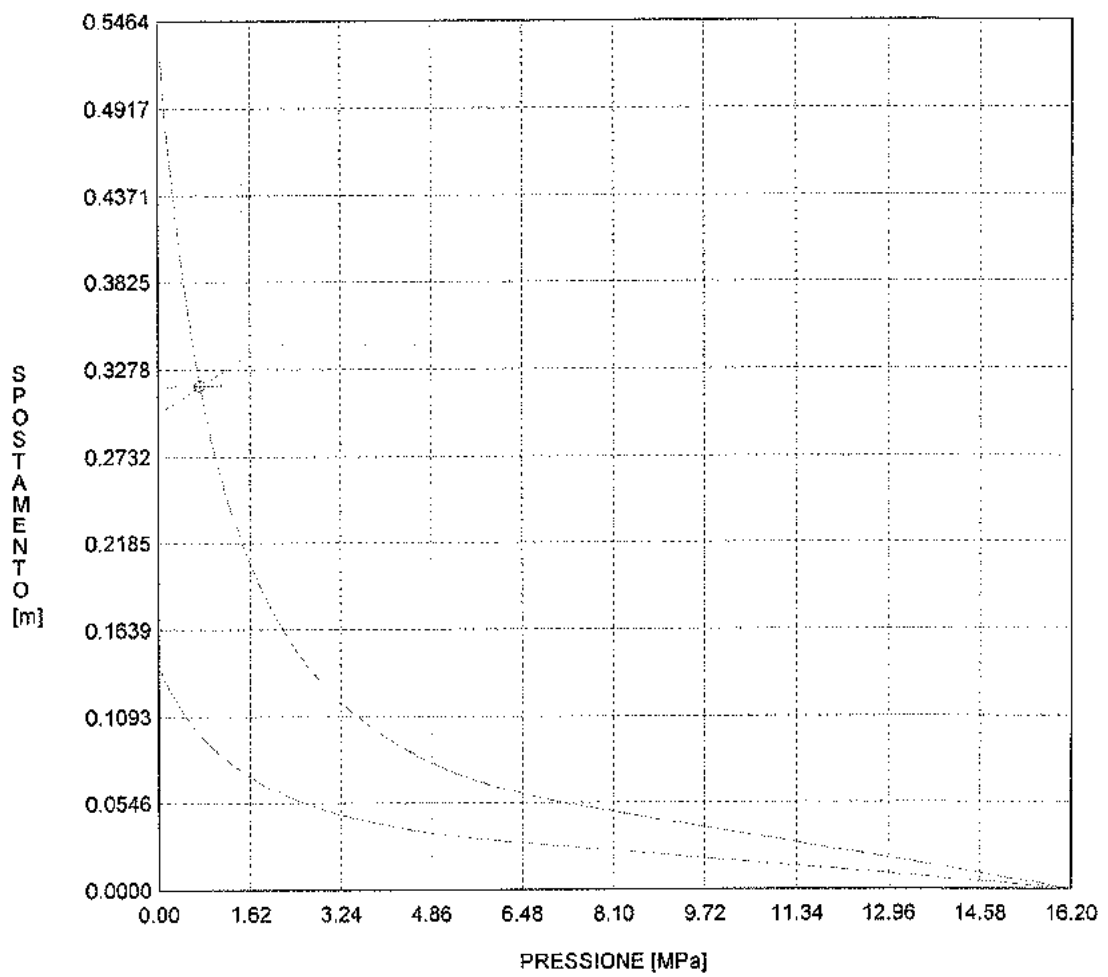
Spostamento radiale anello chiuso 0.17 m

**TENSIONI ANELLO CHIUSO**

Spritz-beton 11.6 MPa Centine 70.1 MPa  
 DEFORMATA ASSIALE GALLERIA



PRERIVESTIMENTO  
RIVESTIMENTO  
GALLERIA  
GALLERIA (NO CHIODATURA - NO GROUTING)  
FRONTE SFERICO



Diametro della galleria: 11.2 m

Tipo di analisi: calcolo accoppiato fronte-galleria - metodo Trasformazione Omotetica

Calcolo curve caratteristiche: SOLUZIONI TRANSFER-MATRIX

**PARAMETRI DELLA ROCCIA**

E: 1200 MPa NI: 0.3 GAMMA: 0 kN/m<sup>3</sup> SIGMA0: 16.2 MPa

Tipo di criterio di resistenza: MOHR-COULOMB

**RESISTENZA**

PHI picco: 29 °  
 C picco: 0.7 MPa  
 PHI residuo: 28 °  
 C residua: 0.65 MPa  
 PSI: 0 °  
 H apparente: 0 MPa

**RESISTENZA A LUNGO TERMINE**

PHI picco: 0.001 °  
 C picco: 0.000001 MPa  
 PHI residuo: 0.001 °  
 C residua: 0.000001 MPa  
 PSI: 0 °  
 H apparente: 0 MPa

**CORONA DI ROCCIA MIGLIORATA**

Spessore 3 m modulo 1200.0 MPa resistenza 2.4 MPa  
 Fattore di sicurezza della corona 1

**PRECONSOLIDAMENTO FRONTE**

Chiodatura assiale con barre sezione 0 m<sup>2</sup> incidenza 0.0 chiodi/m<sup>2</sup>  
 Ulteriore miglioramento fronte - incremento Cp 0.22 MPa - pressione sul fronte 0 MPa

**SOSTEGNI DI PRIMA FASE**

Spritz-Beton sp. .3 m resistenza 23 MPa centine sez. 0.0106 m<sup>2</sup> passo 1 m resistenza 190 MPa

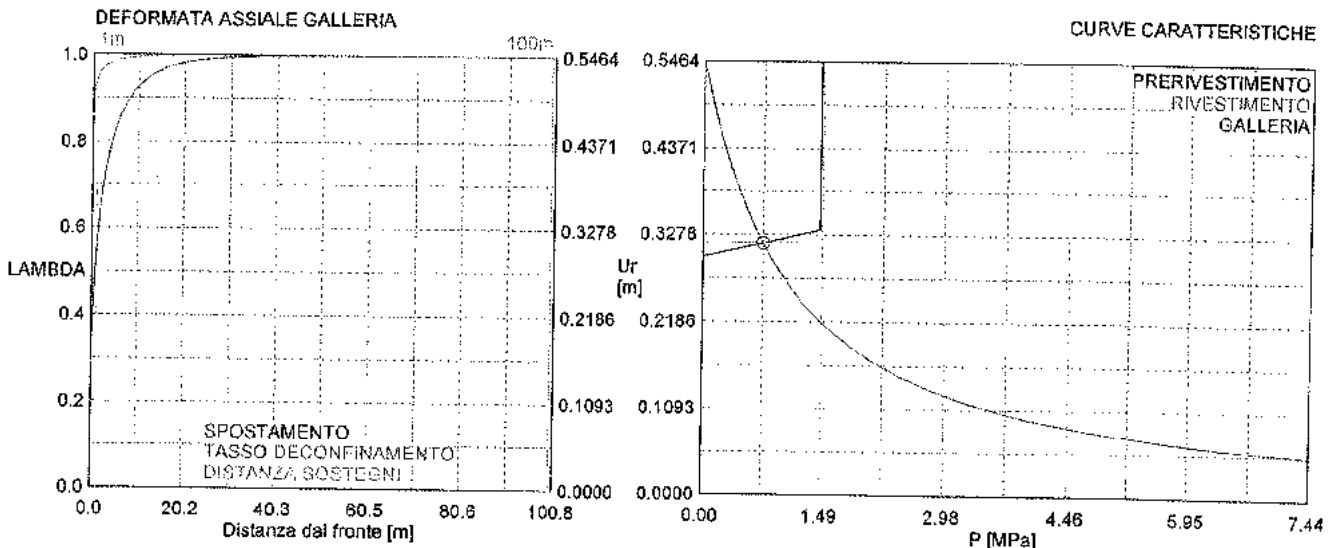
Spostamento radiale anello chiuso .0171 m

**TENSIONI ANELLO CHIUSO**

Spritz-beton 11.7 MPa Centine 70.7 MPa

**RIVESTIMENTO DEFINITIVO**

CLS spessore 0.9 m resistenza 7.5 MPa gioco radiale 0 m  
 Spostamento radiale 0.00063 m  
 Tensione CLS 4.8 MPa



```

#####
#####
###
###
###   #####   ##   ##   ##
###   #####   ##   ##   ##
###   #####   ##   ##   ##
#####   ##   ##   ##   ##
#####   #####   #####
#####

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO  
 CONVERGENZA-CONFINAMENTO  
 SOLUTORE ANALITICO

VERSIONE 4 (2003)

LINEA AC MILANO-GENOVA  
 ARGILLITI A PALOMBINI - GRUPPO 1  
 SEZIONE TIPO B0/1 - COPERTURA 500m

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA  
 VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 2  
 1 -> metodo Panet-Guenot (galleria non sostenuta)  
 2 -> metodo trasformazione omotetica (galleria non  
 sostenuta)  
 3 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da vuoto  
 sferico)  
 4 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da  
 correlazione  $N_s$ )  
 5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da  
 trasformazione omotetica)

D A T I   A N A L I S I

R galleria [m] .....  
 5.35000

PARAMETRI GEOTECNICI

-----  
 Tensione originaria [MPa] .....  
 13.50000  
 Modulo di Young [MPa] .....  
 5350.00000  
 Coefficiente di Poisson .....  
 .30000  
 Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] .  
 .00000  
 RESISTENZA ROCCIA  
 Coesione picco [MPa] .....  
 1.30000  
 Angolo attrito picco [°] .....  
 34.00000  
 Coesione residua [MPa] .....  
 1.00000  
 Angolo attrito residuo [MPa] .....  
 28.00000  
 Angolo dilatanza [°] .....  
 .00000

PRERIVESTIMENTO

-----  
 Distanza dal fronte alla messa in opera [m] .....  
 3.60000  
 Coefficiente riduzione rigidezza .....  
 .11000  
 Forma del presivestimento ..... CIRCOLARE  
 CHIUSO  
 SPRITZ-BETON E CENTINE  
 Spessore spritz [m] .....  
 .25000  
 Modulo Young spritz [MPa] .....

28500.00000 Coefficiente di Poisson spritz .....  
.20000 Sezione centina [m2] .....  
.00653 Altezza sezione centina [m2] .....  
.18000 Posizione baricentro sezione centina [m] .....  
.09000 Momento inerzia baricentrico sezione centina [m4] .  
.00003831 Passo centine [m] .....  
1.20000 Modulo Young ferro centine [MPa] .....  
210000.00000 Resistenza compressione spritz [MPa] .....  
19.20000 Resistenza ferro centine [MPa] .....  
190.00000

RIVESTIMENTO DEFINITIVO

-----  
100.00000 Distanza dal fronte alla messa in opera [m] .....  
.70000 Spessore CLS [m] .....  
Modulo Young CLS [MPa] .....  
28500.00000 Coefficiente di Poisson CLS .....  
.20000 Resistenza compressione CLS [MPa] .....  
6.30000 opzione calcolo rivestimento .....  
0 [0 prerivestimenti non collaboranti a lungo termine]  
[1 prerivestimenti collaboranti a lungo termine]  
Gioco radiale posa in opera rivestimento [m] .....  
.00000

R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

.000000 Press. fine calcolo galleria non sostenuta [MPa] ..  
.059563 Spostamento radiale galleria non sostenuta [m] ....  
11.017227 Raggio plastico galleria non sostenuta [m] .....  
.000000 Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....  
.020598 Spostamento radiale fronte sferico [m] .....  
.005926 spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....  
.017273 spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...  
7.312806 Raggio plastico fronte sferico [m] .....

R I S U L T A T O A N A L I S I G A L L E R I A

.000000 Pressione fine calcolo [MPa] .....  
.059563 spost. radiale galleria fine calcolo [m] .....  
11.017227 Raggio plastico galleria fine calcolo [m] .....

PRERIVESTIMENTO

-----  
Raggio plastico al punto di equilibrio [m] .....

10.60193	Pressione al punto di equilibrio [MPa] .....
.13236	Spostamento al punto di equilibrio [m] .....
.05471	Spostamento alla messa in opera [m] .....
.05081	Convergenza radiale prerivestimento [m] .....
.00390	Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....
.981166	SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)
	Tensione spritz [MPa] .....
2.52482	Tensione centine [MPa] .....
16.84096	Coefficiente di sicurezza spritz .....
7.60449	Coefficiente di sicurezza centine .....
11.28202	Pressione rottura spritz [MPa] .....
1.00650	Pressione rottura centine [MPa] .....
1.49323	Rigidezza spritz [MPa] .....
158.05009	Rigidezza centinatura [MPa] .....
23.49579	
	RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS)
	-----
	Raggio plastico al punto di equilibrio [m] .....
10.61455	Pressione al punto di equilibrio [MPa] .....
.12811	Spostamento al punto di equilibrio [m] .....
.05485	Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....
.05471	Convergenza radiale rivestimento [m] .....
.00014	Tensione CLS [MPa] .....
1.00218	Coefficiente di sicurezza .....
6.28627	Pressione rottura anello CLS [MPa] .....
.80536	Rigidezza anello CLS [MPa] .....
4516.88783	Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....
1.000000	

```
#####
#####
###
###
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
### ##### ## ## ##
##### ## ## ## ##
##### #####
```

CALCOLO GALLERIE CON METODO  
CONVERGENZA-CONFINAMENTO  
SOLUTORE ANALITICO

VERSIONE 4 (2003)

LINEA MILANO - GENOVA

ANALISI 1 - SEZIONE TIPO B0/2

ARGILLITI A PALOMBINI - GRUPPO 1 - COPERTURA 600m

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA  
VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 2  
1 -> metodo Panet-Guenot (galleria non sostenuta)  
2 -> metodo trasformazione omotetica (galleria non  
sostenuta)  
3 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da vuoto  
sferico)  
4 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da  
correlazione NS)  
5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da  
trasformazione omotetica)

D A T I A N A L I S I

R galleria [m] .....  
5.35000

PARAMETRI GEOTECNICI

-----  
Tensione originaria [MPa] .....  
16.20000  
Modulo di Young [MPa] .....  
5350.00000  
Coefficiente di Poisson .....  
.30000  
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] .  
.00000  
RESISTENZA ROCCIA  
Coesione picco [MPa] .....  
1.60000  
Angolo attrito picco [°] .....  
36.00000  
Coesione residua [MPa] .....  
1.30000  
Angolo attrito residuo [MPa] .....  
30.00000  
Angolo dilatanza [°] .....  
.00000

PRERIVESTIMENTO

-----  
Distanza dal fronte alla messa in opera [m] .....  
3.60000  
Coefficiente riduzione rigidezza .....  
.11000  
Forma del presivestimento ..... CIRCOLARE  
CHIUSO  
SPRITZ-BETON E CENTINE  
Spessore spritz [m] .....  
.30000  
Modulo Young spritz [MPa] .....



28500.00000  
 Coefficiente di Poisson spritz .....  
 .20000 Sezione centina [m2] .....  
 .00781 Altezza sezione centina [m2] .....  
 .20000 Posizione baricentro sezione centina [m] .....  
 .10000 Momento inerzia baricentrico sezione centina [m4] .  
 .00005696 Passo centine [m] .....  
 1.20000 Modulo Young ferro centine [MPa] .....  
 210000.00000 Resistenza compressione spritz [MPa] .....  
 19.20000 Resistenza ferro centine [MPa] .....

RIVESTIMENTO DEFINITIVO

-----  
 100.00000 Distanza dal fronte alla messa in opera [m] .....  
 .80000 Spessore CLS [m] .....  
 28500.00000 Modulo Young CLS [MPa] .....  
 .20000 Coefficiente di Poisson CLS .....  
 6.30000 Resistenza compressione CLS [MPa] .....  
 0 opzione calcolo rivestimento .....  
 [0 prerivestimenti non collaboranti a lungo termine]  
 [1 prerivestimenti collaboranti a lungo termine]  
 .00000 Gioco radiale posa in opera rivestimento [m] .....

R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

.000000 Press. fine calcolo galleria non sostenuta [MPa] ..  
 .058329 spostamento radiale galleria non sostenuta [m] ....  
 9.851666 Raggio plastico galleria non sostenuta [m] .....  
 .000000 Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....  
 .021214 spostamento radiale fronte sferico [m] .....  
 .005804 spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....  
 .016915 spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...  
 6.944534 Raggio plastico fronte sferico [m] .....

R I S U L T A T O A N A L I S I G A L L E R I A

.000000 Pressione fine calcolo [MPa] .....  
 .058329 spost. radiale galleria fine calcolo [m] .....  
 9.851666 Raggio plastico galleria fine calcolo [m] .....

PRERIVESTIMENTO

-----  
 Raggio plastico al punto di equilibrio [m] .....

9.57942	Pressione al punto di equilibrio [MPa] .....
.12980	Spostamento al punto di equilibrio [m] .....
.05476	Spostamento alla messa in opera [m] .....
.05159	Convergenza radiale prerivestimento [m] .....
.00317	Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....
.984042	SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)
	Tensione spritz [MPa] .....
2.07611	Tensione centine [MPa] .....
13.68523	Coefficiente di sicurezza spritz .....
9.24807	Coefficiente di sicurezza centine .....
13.88358	Pressione rottura spritz [MPa] .....
1.20041	Pressione rottura centine [MPa] .....
1.80211	Rigidezza spritz [MPa] .....
190.99728	Rigidezza centinatura [MPa] .....
28.10140	
	RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS)
	-----
	Raggio plastico al punto di equilibrio [m] .....
9.58866	Pressione al punto di equilibrio [MPa] .....
.12523	Spostamento al punto di equilibrio [m] .....
.05488	Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....
.05476	Convergenza radiale rivestimento [m] .....
.00012	Tensione CLS [MPa] .....
.85848	Coefficiente di sicurezza .....
7.33852	Pressione rottura anello CLS [MPa] .....
.91897	Rigidezza anello CLS [MPa] .....
5296.12756	Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....
1.000000	

```
#####
#####
###
###
###   #####  ##   ##   ##
###   #####  ##   ##   ##
###   #####  ##   ##   ##
#####
#####
```

CALCOLO GALLERIE CON METODO  
CONVERGENZA-CONFINAMENTO  
SOLUTORE TRANSFER-MATRIX

VERSIONE 4 (2003)

LINEA AC MILANO-GENOVA  
ARGILLITI A PALOMBINI - GRUPPO 2  
SEZIONE TIPO B1 - COPERTURA 600m

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA  
VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 2  
1 -> metodo Panet-Guenot (galleria non sostenuta)  
2 -> metodo trasformazione omotetica (galleria non  
sostenuta)  
3 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da vuoto  
sferico)  
4 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da  
correlazione NS)  
5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da  
trasformazione omotetica)

D A T I   A N A L I S I

R galleria [m] .....  
5.50000

PARAMETRI GEOTECNICI  
-----

Tensione originaria [MPa] .....  
16.20000

Modulo di Young [MPa] .....  
2100.00000

Coefficiente di Poisson .....  
.30000

Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] ..  
.00000

Pressione interstiziale falda indisturbata [MPa] ..  
.00000

Pressione interstiziale al bordo scavo B.T. [MPa]..  
.00000

Raggio influenza idraulica galleria B.T. [m] .....  
5.50000

Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa]..  
.00000

Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m] .....  
5.50000

RESISTENZA ROCCIA

Coesione picco [MPa] .....  
1.20000

Angolo attrito picco [°] .....  
35.00000

Coesione residua [MPa] .....  
1.15000

Angolo attrito residuo [MPa] .....  
33.00000

Angolo dilatanza [°] .....  
.00000

Modulo di softening apparente Ha [MPa] .....  
.00000

Modulo di softening H [MPa] .....

.00000

-----  
PRERIVESTIMENTO  
-----

3.60000 Distanza dal fronte alla messa in opera [m] .....

.11000 Coefficiente riduzione rigidezza .....

CHIUSO Forma del presivestimento ..... CIRCOLARE

-----  
BARRE AD ADERENZA CONTINUA  
-----

21000.00000 Modulo di Young [MPa] .....

430.00000 Resistenza a trazione [MPa] .....

.00000 Tensione tesatura iniziale [MPa] .....

5.50000 Lunghezza [m] .....

.00045 Sezione reagente [m<sup>2</sup>] .....

20.00000 Spaziatura circonferenziale [°] .....

1.20000 Spaziatura longitudinale [MPa] .....

.15000 Coesione interfaccia barra-roccia [MPa] .....

28.00000 Angolo attrito interfaccia barra-roccia [°] .....

.13900 Perimetro sezione sfilamento [m] .....

1 opzione dispositivo di ripartizione .....

[0 dispositivo di ripartizione assente]  
5.50000 Distanza dal fronte attivazione barre [m] .....

-----  
SPRITZ-BETON E CENTINE  
-----

.30000 Spessore spritz [m] .....

28500.00000 Modulo Young spritz [MPa] .....

.20000 Coefficiente di Poisson spritz .....

.00790 Sezione centina [m<sup>2</sup>] .....

.22000 Altezza sezione centina [m<sup>2</sup>] .....

.11000 Posizione baricentro sezione centina [m] .....

.00006110 Momento inerzia baricentrico sezione centina [m<sup>4</sup>] .

1.20000 Passo centine [m] .....

210000.00000 Modulo Young ferro centine [MPa] .....

19.20000 Resistenza compressione spritz [MPa] .....

190.00000 Resistenza ferro centine [MPa] .....

-----  
RIVESTIMENTO DEFINITIVO  
-----

100.00000 Distanza dal fronte alla messa in opera [m] .....

.80000 Spessore CLS [m] .....

28500.00000 Modulo Young CLS [MPa] .....

.20000 Coefficiente di Poisson CLS .....

6.30000 Resistenza compressione CLS [MPa] .....  
 0 Opzione calcolo rivestimento .....  
 [0 prerivestimenti non collaboranti a lungo termine]  
 [1 prerivestimenti collaboranti a lungo termine]  
 .00000 Gioco radiale posa in opera rivestimento [m] .....

R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

.000000 Press. fine calcolo curva galleria [MPa] .....  
 .127129 Spostamento radiale galleria [m] .....  
 9.623933 Raggio plastico galleria [m] .....  
 .000000 Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....  
 .049485 Spostamento radiale fronte sferico [m] .....  
 .012670 Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....  
 .036929 Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...  
 7.049540 Raggio plastico fronte sferico [m] .....

R I S U L T A T O A N A L I S I G A L L E R I A

.000000 Pressione fine calcolo [MPa] .....  
 .127129 Spost. radiale galleria fine calcolo [m] .....  
 9.623933 Raggio plastico galleria fine calcolo [m] .....  
 .000000 Pressione fine calcolo (L.T.) [MPa] .....  
 .127342 Spost. radiale galleria fine calcolo (L.T.) [m] ...  
 9.644911 Raggio plastico galleria fine calcolo (L.T.) [m] ..

PRERIVESTIMENTO

-----  
 9.37360 Raggio plastico punto di equilibrio [m] .....  
 .13434 Pressione punto di equilibrio [MPa] .....  
 .11927 Spostamento punto di equilibrio [m] .....  
 .11581 spostamento galleria alla messa in opera [m] .....  
 .00347 Convergenza radiale prerivestimento [m] .....  
 .987775 Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....

BARRE AD ADERENZA CONTINUA

-----  
 999.00000 Fattore di sicurezza rottura a trazione .....  
 1000.00000 Fattore di sicurezza sfilamento .....  
 .12159 Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....  
 .00554 Convergenza radiale barre [m] .....  
 .994203 Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....

SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)  
 Tensione spritz [MPa] .....  
 2.20359  
 Tensione centine [MPa] .....  
 14.55368  
 Coefficiente di sicurezza spritz .....  
 8.71307  
 Coefficiente di sicurezza centine .....  
 13.05512  
 Pressione rottura spritz [MPa] .....  
 1.17050  
 Pressione rottura centine [MPa] .....  
 1.75380  
 Rigidezza spritz [MPa] .....  
 185.57480  
 Rigidezza centinatura [MPa] .....  
 27.65000

-----  
 RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS)  
 Raggio plastico punto di equilibrio [m] .....  
 9.37360  
 Pressione punto di equilibrio [MPa] .....  
 .13196  
 Spostamento punto di equilibrio [MPa] .....  
 .11941  
 Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....  
 .11927  
 Convergenza radiale rivestimento [m] .....  
 .00013  
 Tensione CLS [MPa] .....  
 .92921  
 Coefficiente di sicurezza CLS .....  
 6.77994  
 Pressione rottura CLS [MPa] .....  
 .89467  
 Rigidezza anello CLS [MPa] .....  
 5125.89928  
 Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....  
 1.000000

```

#####
#####
###
###
###   #####   ##   ##   ##
###   #####   ##   ##   ##
###   #####   ##   ##   ##
#####   ##   ##   ##   ##
#####   #####   #####
#####

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO  
 CONVERGENZA-CONFINAMENTO  
 SOLUTORE ANALITICO

VERSIONE 4 (2003)

LINEA AC MILANO-GENOVA

ARGILLITI A PALOMBINI - GRUPPO 2

SEZIONE TIPO B2/1 - COPERTURA 500m

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA

VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 2

1 -> metodo Panet-Guenot (galleria non sostenuta)

2 -> metodo trasformazione omotetica (galleria non

sostenuta)

3 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da vuoto

sferico)

4 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da

correlazione NS)

5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da

trasformazione omotetica)

D A T I A N A L I S I

R galleria [m] .....  
 5.50000

PARAMETRI GEOTECNICI

-----  
 Tensione originaria [MPa] .....  
 13.50000

Modulo di Young [MPa] .....  
 2100.00000

Coefficiente di Poisson .....  
 .30000

Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] .  
 .00000

RESISTENZA ROCCIA

Coesione picco [MPa] .....  
 1.10000

Angolo attrito picco [°] .....  
 33.00000

Coesione residua [MPa] .....  
 1.00000

Angolo attrito residuo [MPa] .....  
 31.00000

Angolo dilatanza [°] .....  
 .00000

FRONTE DI SCAVO RINFORZATO

Consolidamento generico del fronte

Incremento coesione picco [MPa] .....  
 .16000

Pressione sul fronte di scavo [MPa] .....  
 .00000

Parametri di resistenza equivalenti del fronte rinforzato

Coesione picco [MPa] .....  
 1.26000

Coesione residua [MPa] .....  
 1.00000

PRERIVESTIMENTO

-----

1.00000 Distanza dal fronte alla messa in opera [m] .....

.11000 Coefficiente riduzione rigidezza .....

CHIUSO Forma del presvestimento ..... CIRCOLARE

SPRITZ-BETON E CENTINE

.30000 Spessore spritz [m] .....

28500.00000 Modulo Young spritz [MPa] .....

.20000 Coefficiente di Poisson spritz .....

.00781 Sezione centina [m<sup>2</sup>] .....

.20000 Altezza sezione centina [m<sup>2</sup>] .....

.10000 Posizione baricentro sezione centina [m] .....

.00005996 Momento inerzia baricentrico sezione centina [m<sup>4</sup>] .

1.00000 Passo centine [m] .....

210000.00000 Modulo Young ferro centine [MPa] .....

19.20000 Resistenza compressione spritz [MPa] .....

190.00000 Resistenza ferro centine [MPa] .....

RIVESTIMENTO DEFINITIVO

-----

100.00000 Distanza dal fronte alla messa in opera [m] .....

.80000 Spessore CLS [m] .....

31200.00000 Modulo Young CLS [MPa] .....

.20000 Coefficiente di Poisson CLS .....

7.50000 Resistenza compressione CLS [MPa] .....

0 opzione calcolo rivestimento .....

[0 prerivestimenti non collaboranti a lungo termine]  
 [1 prerivestimenti collaboranti a lungo termine]

.00000 Gioco radiale posa in opera rivestimento [m] .....

R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

.000000 Press. fine calcolo galleria non sostenuta [MPa] ..

.131895 Spostamento radiale galleria non sostenuta [m] ....

10.735393 Raggio plastico galleria non sostenuta [m] .....

.000000 Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....

.047913 Spostamento radiale fronte sferico [m] .....

.013124 Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....

.038249 Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...

7.341137 Raggio plastico fronte sferico [m] .....



.000000 Pressione fine calcolo [MPa] .....  
 .131895 Spost. radiale galleria fine calcolo [m] .....  
 10.735393 Raggio plastico galleria fine calcolo [m] .....

PRERIVESTIMENTO

-----  
 9.45626 Raggio plastico al punto di equilibrio [m] .....  
 .51473 Pressione al punto di equilibrio [MPa] .....  
 .09892 Spostamento al punto di equilibrio [m] .....  
 .08595 Spostamento alla messa in opera [m] .....  
 .01296 Convergenza radiale prerivestimento [m] .....  
 .939579 Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....  
 8.24401 SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)  
 Tensione spritz [MPa] .....  
 54.44791 Tensione centine [MPa] .....  
 2.32896 Coefficiente di sicurezza spritz .....  
 3.48957 Coefficiente di sicurezza centine .....  
 1.19878 Pressione rottura spritz [MPa] .....  
 1.79617 Pressione rottura centine [MPa] .....  
 185.57480 Rigidezza spritz [MPa] .....  
 32.80200 Rigidezza centinatura [MPa] .....

RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS)

-----  
 9.47575 Raggio plastico al punto di equilibrio [m] .....  
 .50522 Pressione al punto di equilibrio [MPa] .....  
 .09939 Spostamento al punto di equilibrio [m] .....  
 .09892 spostamento galleria alla messa in opera [m] .....  
 .00047 Convergenza radiale rivestimento [m] .....  
 3.55759 Tensione CLS [MPa] .....  
 2.10817 Coefficiente di sicurezza .....  
 1.06509 Pressione rottura anello CLS [MPa] .....  
 5611.51079 Rigidezza anello CLS [MPa] .....  
 1.000000 Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....

```

#####
#####
###
###
###   #####   ##   ##   ##
###   #####   ##   ##   ##
###   #####   ##   ##   ##
#####          ##   ##   ##   ##
#####          #####   #####
#####          ##

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO  
 CONVERGENZA-CONFINAMENTO  
 SOLUTORE ANALITICO

VERSIONE 4 (2003)

LINEA AC MILANO-GENOVA

ARGILLITI A PALOMBINI - GRUPPO 2

SEZIONE TIPO B2/2 - COPERTURA 600m

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA  
 VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 2  
 1 -> metodo Panet-Guenot (galleria non sostenuta)  
 2 -> metodo trasformazione omotetica (galleria non  
 sostenuta)  
 3 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da vuoto  
 sferico)  
 4 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da  
 correlazione  $N_s$ )  
 5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da  
 trasformazione omotetica)

D A T I A N A L I S I

R galleria [m] .....  
 5.60000

PARAMETRI GEOTECNICI

Tensione originaria [MPa] .....  
 16.20000

Modulo di Young [MPa] .....  
 2100.00000

Coefficiente di Poisson .....  
 .30000

Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] .  
 .00000

RESISTENZA ROCCIA

Coesione picco [MPa] .....  
 1.20000

Angolo attrito picco [°] .....  
 35.00000

Coesione residua [MPa] .....  
 1.15000

Angolo attrito residuo [MPa] .....  
 33.00000

Angolo dilatanza [°] .....  
 .00000

FRONTE DI SCAVO RINFORZATO

Consolidamento generico del fronte

Incremento coesione picco [MPa] .....  
 .17000

Pressione sul fronte di scavo [MPa] .....  
 .00000

Parametri di resistenza equivalenti del fronte rinforzato

Coesione picco [MPa] .....  
 1.37000

Coesione residua [MPa] .....  
 1.15000

PRERIVESTIMENTO

-----

1.00000	Distanza dal fronte alla messa in opera [m] .....	
.11000	Coefficiente riduzione rigidezza .....	
CHIUSO	Forma del presvestimento .....	CIRCOLARE
	SPRITZ-BETON E CENTINE	
.30000	Spessore spritz [m] .....	
28500.00000	Modulo Young spritz [MPa] .....	
.20000	Coefficiente di Poisson spritz .....	
.01060	Sezione centina [m2] .....	
.24000	Altezza sezione centina [m2] .....	
.12000	Posizione baricentro sezione centina [m] .....	
.00112590	Momento inerzia baricentrico sezione centina [m4] .	
1.00000	Passo centine [m] .....	
210000.00000	Modulo Young ferro centine [MPa] .....	
19.20000	Resistenza compressione spritz [MPa] .....	
190.00000	Resistenza ferro centine [MPa] .....	

RIVESTIMENTO DEFINITIVO

-----

100.00000	Distanza dal fronte alla messa in opera [m] .....
.90000	Spessore CLS [m] .....
31200.00000	Modulo Young CLS [MPa] .....
.20000	Coefficiente di Poisson CLS .....
7.50000	Resistenza compressione CLS [MPa] .....
0	Opzione calcolo rivestimento .....
	[0 prerivestimenti non collaboranti a lungo termine]
	[1 prerivestimenti collaboranti a lungo termine]
.00000	Gioco radiale posa in opera rivestimento [m] .....

R I S U L T A T O   A N A L I S I   F R O N T E   D I   S C A V O

.000000	Press. fine calcolo galleria non sostenuta [MPa] ..
.147871	Spostamento radiale galleria non sostenuta [m] ....
10.349768	Raggio plastico galleria non sostenuta [m] .....
.000000	Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....
.055156	Spostamento radiale fronte sferico [m] .....
.014713	Spostamento radiale fronte (correl. NS) [m] .....
.042883	Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...
7.304533	Raggio plastico fronte sferico [m] .....

.000000 Pressione fine calcolo [MPa] .....  
 .147871 spost. radiale galleria fine calcolo [m] .....  
 10.349768 Raggio plastico galleria fine calcolo [m] .....

PRERIVESTIMENTO

-----  
 9.20970 Raggio plastico al punto di equilibrio [m] .....  
 .57029 Pressione al punto di equilibrio [MPa] .....  
 .11320 Spostamento al punto di equilibrio [m] .....  
 .09906 Spostamento alla messa in opera [m] .....  
 .01414 Convergenza radiale prerivestimento [m] .....  
 .943544 Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....  
 8.82068 SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)  
 Tensione spritz [MPa] .....  
 58.32842 Tensione centine [MPa] .....  
 2.17670 Coefficiente di sicurezza spritz .....  
 3.25742 Coefficiente di sicurezza centine .....  
 1.24134 Pressione rottura spritz [MPa] .....  
 1.85766 Pressione rottura centine [MPa] .....  
 182.12755 Rigidezza spritz [MPa] .....  
 43.72500 Rigidezza centinatura [MPa] .....

RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS)

-----  
 9.22633 Raggio plastico al punto di equilibrio [m] .....  
 .56021 Pressione al punto di equilibrio [MPa] .....  
 .11368 Spostamento al punto di equilibrio [m] .....  
 .11320 Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....  
 .00047 Convergenza radiale rivestimento [m] .....  
 3.60510 Tensione CLS [MPa] .....  
 2.08039 Coefficiente di sicurezza .....  
 1.16545 Pressione rottura anello CLS [MPa] .....  
 6267.74176 Rigidezza anello CLS [MPa] .....  
 1.000000 Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....

```
#####
#####
###
###
###   #####   ##   ##   ##
###   #####   ##   ##   ##
###   #####   ##   ##   ##
#####
#####   ##   ##   ##   ##
#####   #####   #####
##
```

CALCOLO GALLERIE CON METODO  
CONVERGENZA-CONFINAMENTO  
SOLUTORE TRANSFER-MATRIX

VERSIONE 4 (2003)

LINEA AC MILANO-GENOVA  
ARGILLITI A PALOMBINI - GRUPPO 2  
SEZIONE TIPO B4/1 - COPERTURA 500m

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA  
VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 2  
1 -> metodo Panet-Guenot (galleria non sostenuta)  
2 -> metodo trasformazione omotetica (galleria non  
sostenuta)  
3 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da vuoto  
sferico)  
4 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da  
correlazione Ns)  
5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da  
trasformazione omotetica)

D A T I   A N A L I S I

```

5.50000 R galleria [m] .....
-----
PARAMETRI GEOTECNICI
-----
13.50000 Tensione originaria [MPa] .....
1650.00000 Modulo di Young [MPa] .....
.30000 Coefficiente di Poisson .....
.00000 Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] .
.00000 Pressione interstiziale falda indisturbata [MPa] ..
.00000 Pressione interstiziale al bordo scavo B.T. [MPa]..
5.50000 Raggio influenza idraulica galleria B.T. [m] .....
.00000 Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa]..
5.50000 Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m] .....
RESISTENZA ROCCIA
.90000 Coesione picco [MPa] .....
30.00000 Angolo attrito picco [°] .....
.85000 Coesione residua [MPa] .....
28.00000 Angolo attrito residuo [MPa] .....
.00000 Angolo dilatanza [°] .....
.00000 Modulo di softening apparente Ha [MPa] .....
.00000 Modulo di softening H [MPa] .....
```

.00000 FRONTE DI SCAVO RINFORZATO  
 Consolidamento generico del fronte  
 Incremento coesione picco [MPa] .....

.15000 Pressione sul fronte di scavo [MPa] .....

.00000 Parametri di resistenza equivalenti del fronte rinforzato  
 Coesione picco [MPa] .....

1.05000 Coesione residua [MPa] .....

.85000

PRERIVESTIMENTO

-----

1.00000 Distanza dal fronte alla messa in opera [m] .....

.11000 Coefficiente riduzione rigidezza .....

CHIUSO Forma del presivestimento ..... CIRCOLARE

BARRE AD ADERENZA CONTINUA

-----

210000.00000 Modulo di Young [MPa] .....

430.00000 Resistenza a trazione [MPa] .....

.00000 Tensione tesatura iniziale [MPa] .....

5.50000 Lunghezza [m] .....

.00061 Sezione reagente [m<sup>2</sup>] .....

20.00000 Spaziatura circonferenziale [°] .....

1.00000 Spaziatura longitudinale [MPa] .....

.20000 Coesione interfaccia barra-roccia [MPa] .....

29.00000 Angolo attrito interfaccia barra-roccia [°] .....

.15000 Perimetro sezione sfilamento [m] .....

1 Opzione dispositivo di ripartizione .....

[0 dispositivo di ripartizione assente]  
 Distanza dal fronte attivazione barre [m] .....

5.50000

SPRITZ-BETON E CENTINE

.30000 Spessore spritz [m] .....

28500.00000 Modulo Young spritz [MPa] .....

.20000 Coefficiente di Poisson spritz .....

.00922 Sezione centina [m<sup>2</sup>] .....

.24000 Altezza sezione centina [m<sup>2</sup>] .....

.12000 Posizione baricentro sezione centina [m] .....

.00008658 Momento inerzia baricentrico sezione centina [m<sup>4</sup>] .

1.00000 Passo centine [m] .....

210000.00000 Modulo Young ferro centine [MPa] .....

19.00000 Resistenza compressione spritz [MPa] .....

190.00000 Resistenza ferro centine [MPa] .....

RIVESTIMENTO DEFINITIVO

-----  
 100.00000 Distanza dal fronte alla messa in opera [m] .....  
 .80000 Spessore CLS [m] .....  
 31200.00000 Modulo Young CLS [MPa] .....  
 .20000 Coefficiente di Poisson CLS .....  
 7.50000 Resistenza compressione CLS [MPa] .....  
 0 opzione calcolo rivestimento .....  
 [0 prerivestimenti non collaboranti a lungo termine]  
 [1 prerivestimenti collaboranti a lungo termine]  
 .00000 Gioco radiale posa in opera rivestimento [m] .....

R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

.000000 Press. fine calcolo curva galleria [MPa] .....  
 .188968 spostamento radiale galleria [m] .....  
 11.916659 Raggio plastico galleria [m] .....  
 .000000 Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....  
 .062792 spostamento radiale fronte sferico [m] .....  
 .019690 spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....  
 .057387 spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...  
 7.603975 Raggio plastico fronte sferico [m] .....

R I S U L T A T O A N A L I S I G A L L E R I A

.000000 Pressione fine calcolo [MPa] .....  
 .188968 spost. radiale galleria fine calcolo [m] .....  
 11.916659 Raggio plastico galleria fine calcolo [m] .....  
 .000000 Pressione fine calcolo (L.T.) [MPa] .....  
 .197887 spost. radiale galleria fine calcolo (L.T.) [m] ...  
 12.178287 Raggio plastico galleria fine calcolo (L.T.) [m] ..

PRERIVESTIMENTO

-----  
 10.32525 Raggio plastico punto di equilibrio [m] .....  
 .58801 Pressione punto di equilibrio [MPa] .....  
 .13783 spostamento punto di equilibrio [m] .....  
 .12341 spostamento galleria alla messa in opera [m] .....  
 .01442 Convergenza radiale prerivestimento [m] .....  
 .940317 Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....

BARRE AD ADERENZA CONTINUA

999.00000	Fattore di sicurezza rottura a trazione .....
1000.00000	Fattore di sicurezza sfilamento .....
.18082	Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....
.00815	Convergenza radiale barre [m] .....
.990370	Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....
9.16914	SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)
60.55795	Tensione spritz [MPa] .....
2.07217	Tensione centine [MPa] .....
3.13749	Coefficiente di sicurezza spritz .....
1.21846	Coefficiente di sicurezza centine .....
1.84488	Pressione rottura spritz [MPa] .....
185.57480	Pressione rottura centine [MPa] .....
38.72400	Rigidezza spritz [MPa] .....
	Rigidezza centinatura [MPa] .....
	RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS)
10.34678	Raggio plastico punto di equilibrio [m] .....
.58068	Pressione punto di equilibrio [MPa] .....
.13836	Spostamento punto di equilibrio [MPa] .....
.13783	Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....
.00054	Convergenza radiale rivestimento [m] .....
4.08896	Tensione CLS [MPa] .....
1.83421	Coefficiente di sicurezza CLS .....
1.06509	Pressione rottura CLS [MPa] .....
5611.51079	Rigidezza anello CLS [MPa] .....
1.000000	Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....



#####  
#####  
###  
###  
###    #####    ##    ##    ##  
###    #####    ##    ##    ##  
###    #####    ##    ##    ##  
#####  
#####

CALCOLO GALLERIE CON METODO  
CONVERGENZA-CONFINAMENTO  
SOLUTORE TRANSFER-MATRIX

VERSIONE 4 (2003)

LINEA AC MILANO-GENOVA  
ARGILLITI A PALOMBINI - GRUPPO 2  
SEZIONE TIPO B4/2 - COPERTURA 600m

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA  
VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 2  
1 -> metodo Panet-Guenot (galleria non sostenuta)  
2 -> metodo trasformazione omotetica (galleria non sostenuta)  
3 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da vuoto sferico)  
4 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da correlazione Ns)  
5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da trasformazione omotetica)

D A T I   A N A L I S I

R galleria [m] .....  
5.60000

PARAMETRI GEOTECNICI  
-----

Tensione originaria [MPa] .....  
16.20000

Modulo di Young [MPa] .....  
1650.00000

Coefficiente di Poisson .....  
.30000

Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] ..  
.00000

Pressione interstiziale falda indisturbata [MPa] ..  
.00000

Pressione interstiziale al bordo scavo B.T. [MPa]..  
.00000

Raggio influenza idraulica galleria B.T. [m] .....  
5.60000

Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa]..  
.00000

Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m] .....  
5.60000

RESISTENZA ROCCIA

Coesione picco [MPa] .....  
1.00000

Angolo attrito picco [°] .....  
32.00000

Coesione residua [MPa] .....  
.90000

Angolo attrito residuo [MPa] .....  
30.00000

Angolo dilatanza [°] .....  
.00000

Modulo di softening apparente Ha [MPa] .....  
.00000

Modulo di softening H [MPa] .....

.00000	FRONTE DI SCAVO RINFORZATO	
	Consolidamento generico del fronte	
	Incremento coesione picco [MPa] .....	
.17000	Pressione sul fronte di scavo [MPa] .....	
.00000	Parametri di resistenza equivalenti del fronte rinforzato	
	Coesione picco [MPa] .....	
1.17000	Coesione residua [MPa] .....	
.90000		
	PRERIVESTIMENTO	
-----		
1.00000	Distanza dal fronte alla messa in opera [m] .....	
.11000	Coefficiente riduzione rigidezza .....	
CHIUSO	Forma del presivestimento .....	CIRCOLARE
	BARRE AD ADERENZA CONTINUA	
-----		
210000.00000	Modulo di Young [MPa] .....	
430.00000	Resistenza a trazione [MPa] .....	
.00000	Tensione tesatura iniziale [MPa] .....	
8.00000	Lunghezza [m] .....	
.00061	Sezione reagente [m <sup>2</sup> ] .....	
20.00000	Spaziatura circonferenziale [°] .....	
1.00000	Spaziatura longitudinale [MPa] .....	
.20000	Coesione interfaccia barra-roccia [MPa] .....	
28.00000	Angolo attrito interfaccia barra-roccia [°] .....	
.15000	Perimetro sezione sfilamento [m] .....	
1	Opzione dispositivo di ripartizione .....	
	[0 dispositivo di ripartizione assente]	
5.50000	Distanza dal fronte attivazione barre [m] .....	
	SPRITZ-BETON E CENTINE	
.30000	Spessore spritz [m] .....	
28500.00000	Modulo Young spritz [MPa] .....	
.20000	Coefficiente di Poisson spritz .....	
.00922	Sezione centina [m <sup>2</sup> ] .....	
.24000	Altezza sezione centina [m <sup>2</sup> ] .....	
.12000	Posizione baricentro sezione centina [m] .....	
.00008658	Momento inerzia baricentrico sezione centina [m <sup>4</sup> ] .	
1.00000	Passo centine [m] .....	
210000.00000	Modulo Young ferro centine [MPa] .....	
19.00000	Resistenza compressione spritz [MPa] .....	
190.00000	Resistenza ferro centine [MPa] .....	

RIVESTIMENTO DEFINITIVO

-----  
 100.00000 Distanza dal fronte alla messa in opera [m] .....  
 .90000 Spessore CLS [m] .....  
 31200.00000 Modulo Young CLS [MPa] .....  
 .20000 Coefficiente di Poisson CLS .....  
 7.50000 Resistenza compressione CLS [MPa] .....  
 0 Opzione calcolo rivestimento .....  
 [0 prerivestimenti non collaboranti a lungo termine]  
 [1 prerivestimenti collaboranti a lungo termine]  
 .00000 Gioco radiale posa in opera rivestimento [m] .....

R I S U L T A T O A N A L I S I F R O N T E D I S C A V O

.000000 Press. fine calcolo curva galleria [MPa] .....  
 .216008 Spostamento radiale galleria [m] .....  
 11.526746 Raggio plastico galleria [m] .....  
 .000000 Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....  
 .073635 Spostamento radiale fronte sferico [m] .....  
 .022416 Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....  
 .065334 Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...  
 7.582584 Raggio plastico fronte sferico [m] .....

R I S U L T A T O A N A L I S I G A L L E R I A

.000000 Pressione fine calcolo [MPa] .....  
 .216008 spost. radiale galleria fine calcolo [m] .....  
 11.526746 Raggio plastico galleria fine calcolo [m] .....  
 .000000 Pressione fine calcolo (L.T.) [MPa] .....  
 .225288 spost. radiale galleria fine calcolo (L.T.) [m] ...  
 11.733988 Raggio plastico galleria fine calcolo (L.T.) [m] ..

PRERIVESTIMENTO

-----  
 10.07798 Raggio plastico punto di equilibrio [m] .....  
 .64211 Pressione punto di equilibrio [MPa] .....  
 .16021 Spostamento punto di equilibrio [m] .....  
 .14387 Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....  
 .01633 Convergenza radiale prerivestimento [m] .....  
 .945057 Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....

BARRE AD ADERENZA CONTINUA

-----	
999.00000	Fattore di sicurezza rottura a trazione .....
1000.00000	Fattore di sicurezza sfilamento .....
.20773	Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....
.00827	Convergenza radiale barre [m] .....
.991731	Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....
	SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)
10.18842	Tensione spritz [MPa] .....
67.37282	Tensione centine [MPa] .....
1.86486	Coefficiente di sicurezza spritz .....
2.82013	Coefficiente di sicurezza centine .....
1.19745	Pressione rottura spritz [MPa] .....
1.81084	Pressione rottura centine [MPa] .....
182.12755	Rigidezza spritz [MPa] .....
38.03250	Rigidezza centinatura [MPa] .....
	RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS)
-----	
10.09956	Raggio plastico punto di equilibrio [m] .....
.63478	Pressione punto di equilibrio [MPa] .....
.16074	Spostamento punto di equilibrio [MPa] .....
.16021	Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....
.00054	Convergenza radiale rivestimento [m] .....
4.08497	Tensione CLS [MPa] .....
1.83600	Coefficiente di sicurezza CLS .....
1.16545	Pressione rottura CLS [MPa] .....
6267.74176	Rigidezza anello CLS [MPa] .....
1.000000	Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....

```

#####
#####
###
###
###   #####   ##   ##   ##
###   #####   ##   ##   ##
###   #####   ##   ##   ##
#####          ##   ##   ##   ##
#####          #####   #####   .
#####          ##

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO  
 CONVERGENZA-CONFINAMENTO  
 SOLUTORE TRANSFER-MATRIX

VERSIONE 4 (2003)

LINEA AC MILANO-GENOVA  
 ARGILLITI A PALOMBINI - GRUPPO 3  
 SEZIONE TIPO C2 - COPERTURA 600 m

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA  
 VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 2  
 1 -> metodo Panet-Guenot (galleria non sostenuta)  
 2 -> metodo trasformazione omotetica (galleria non  
 sostenuta)  
 3 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da vuoto  
 sferico)  
 4 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da  
 correlazione  $N_s$ )  
 5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da  
 trasformazione omotetica)

D A T I   A N A L I S I

5.60000 R galleria [m] .....

PARAMETRI GEOTECNICI

-----

16.20000 Tensione originaria [MPa] .....

1200.00000 Modulo di Young [MPa] .....

.30000 Coefficiente di Poisson .....

.00000 Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] .

.00000 Pressione interstiziale falda indisturbata [MPa] ..

.00000 Pressione interstiziale al bordo scavo B.T. [MPa]..

.00000 Raggio influenza idraulica galleria B.T. [m] .....

5.60000 Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa]..

.00000 Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m] .....

5.60000 RESISTENZA ROCCIA

.70000 Coesione picco [MPa] .....

29.00000 Angolo attrito picco [°] .....

.65000 Coesione residua [MPa] .....

28.00000 Angolo attrito residuo [MPa] .....

.00000 Angolo dilatanza [°] .....

.00000 Modulo di softening apparente  $H_a$  [MPa] .....

.00000 Modulo di softening  $H$  [MPa] .....

.00000	FRONTE DI SCAVO RINFORZATO	
	Consolidamento generico del fronte	
.17000	Incremento coesione picco [MPa] .....	
.00000	Pressione sul fronte di scavo [MPa] .....	
	Parametri di resistenza equivalenti del fronte rinforzato	
.87000	Coesione picco [MPa] .....	
.65000	Coesione residua [MPa] .....	
	INIEZIONI O JET-GROUTING	
1.50000	Spessore corona trattata [m] .....	
1200.00000	Modulo terreno trattato [MPa] .....	
.30000	Coefficiente di Poisson terreno trattato .....	
.79992	Coesione picco terreno trattato [MPa] .....	
30.00000	Angolo attrito picco terreno trattato [°] .....	
.79992	Coesione residua terreno trattato [MPa] .....	
30.00000	Angolo attrito residuo terreno trattato [MPa] .....	
.00000	Angolo dilatanza terreno trattato [°] .....	
.00000	Modulo di softening apparente Ha [MPa] .....	
.00000	Modulo di softening H [MPa] .....	
	PRERIVESTIMENTO	
1.00000	Distanza dal fronte alla messa in opera [m] .....	
.11000	Coefficiente riduzione rigidezza .....	
CHIUSO	Forma del presivestimento .....	CIRCOLARE
	SPRITZ-BETON E CENTINE	
.30000	Spessore spritz [m] .....	
31200.00000	Modulo Young spritz [MPa] .....	
.20000	Coefficiente di Poisson spritz .....	
.01060	Sezione centina [m <sup>2</sup> ] .....	
.24000	Altezza sezione centina [m <sup>2</sup> ] .....	
.12000	Posizione baricentro sezione centina [m] .....	
.00011259	Momento inerzia baricentrico sezione centina [m <sup>4</sup> ] .	
1.00000	Passo centine [m] .....	
210000.00000	Modulo Young ferro centine [MPa] .....	
23.00000	Resistenza compressione spritz [MPa] .....	
190.00000	Resistenza ferro centine [MPa] .....	
	RIVESTIMENTO DEFINITIVO	
100.00000	Distanza dal fronte alla messa in opera [m] .....	
.90000	Spessore CLS [m] .....	

Modulo Young CLS [MPa] .....  
 31200.00000  
 Coefficiente di Poisson CLS .....  
 .20000  
 Resistenza compressione CLS [MPa] .....  
 7.50000  
 opzione calcolo rivestimento .....  
 0  
 [0 prerivestimenti non collaboranti a lungo termine]  
 [1 prerivestimenti collaboranti a lungo termine]  
 Gioco radiale posa in opera rivestimento [m] .....  
 .00000

R I S U L T A T O   A N A L I S I   F R O N T E   D I   S C A V O

Press. fine calcolo curva galleria [MPa] .....  
 .000000  
 Spostamento radiale galleria [m] .....  
 .507422  
 Raggio plastico galleria [m] .....  
 15.567570  
 Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....  
 .000000  
 Spostamento radiale fronte sferico [m] .....  
 .147092  
 spostamento radiale fronte (corre]. Ns) [m] .....  
 .054365  
 Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...  
 .158452  
 Raggio plastico fronte sferico [m] .....  
 8.666994

R I S U L T A T O   A N A L I S I   G A L L E R I A

Pressione fine calcolo [MPa] .....  
 .000000  
 spost. radiale galleria fine calcolo [m] .....  
 .507422  
 Raggio plastico galleria fine calcolo [m] .....  
 15.567570  
 Pressione fine calcolo (L.T.) [MPa] .....  
 .000000  
 spost. radiale galleria fine calcolo (L.T.) [m] ...  
 .546385  
 Raggio plastico galleria fine calcolo (L.T.) [m] ..  
 16.099017

CORONA DI ROCCIA CONSOLIDATA MEDIANTE GROUTING

-----  
 fattore di sicurezza .....  
 1.00000

PRERIVESTIMENTO

-----  
 Raggio plastico punto di equilibrio [m] .....  
 12.22008  
 Pressione punto di equilibrio [MPa] .....  
 .73749  
 Spostamento punto di equilibrio [m] .....  
 .29957  
 Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....  
 .28258  
 Convergenza radiale prerivestimento [m] .....  
 .01699  
 Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....  
 .948155  
 SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)  
 Tensione spritz [MPa] .....  
 11.60105  
 Tensione centine [MPa] .....

70.07538	
1.98258	Coefficiente di sicurezza spritz .....
2.71137	Coefficiente di sicurezza centine .....
1.46211	Pressione rottura spritz [MPa] .....
1.99958	Pressione rottura centine [MPa] .....
199.38174	Rigidezza spritz [MPa] .....
43.72500	Rigidezza centinatura [MPa] .....
	<b>RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS)</b>
12.22008	Raggio plastico punto di equilibrio [m] .....
.83828	Pressione punto di equilibrio [MPa] .....
.30027	Spostamento punto di equilibrio [MPa] .....
.29957	Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....
.00071	Convergenza radiale rivestimento [m] .....
5.39458	Tensione CLS [MPa] .....
1.39028	Coefficiente di sicurezza CLS .....
1.16545	Pressione rottura CLS [MPa] .....
6267.74176	Rigidezza anello CLS [MPa] .....
.999999	Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....



```

#####
#####
###
###
###   #####   ##   ##   ##
###   #####   ##   ##   ##
###   #####   ##   ##   ##
#####   ##   ##   ##   ##
#####   #####   #####
#####

```

CALCOLO GALLERIE CON METODO  
 CONVERGENZA-CONFINAMENTO  
 SOLUTORE TRANSFER-MATRIX

VERSIONE 4 (2003)

LINEA AC MILANO-GENOVA

ARGILLITI A PALOMBINI - GRUPPO 3

SEZIONE TIPO C4- COPERTURA 600m

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOPPIATO FRONTE-GALLERIA  
 VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 2  
 1 -> metodo Panet-Guenot (galleria non sostenuta)  
 2 -> metodo trasformazione omotetica (galleria non  
 sostenuta)  
 3 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da vuoto  
 sferico)  
 4 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da  
 correlazione  $N_s$ )  
 5 -> Nuovo Metodo Implicito (convergenza al fronte da  
 trasformazione omotetica)

D A T I   A N A L I S I

R galleria [m] .....  
 5.60000

PARAMETRI GEOTECNICI

-----  
 Tensione originaria [MPa] .....  
 16.20000  
 Modulo di Young [MPa] .....  
 1200.00000  
 Coefficiente di Poisson .....  
 .30000  
 Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] ..  
 .00000  
 Pressione interstiziale falda indisturbata [MPa] ..  
 .00000  
 Pressione interstiziale al bordo scavo B.T. [MPa]..  
 .00000  
 Raggio influenza idraulica galleria B.T. [m] .....  
 5.60000  
 Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa]..  
 .00000  
 Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m] .....  
 5.60000  
 RESISTENZA ROCCIA  
 Coesione picco [MPa] .....  
 .70000  
 Angolo attrito picco [°] .....  
 29.00000  
 Coesione residua [MPa] .....  
 .65000  
 Angolo attrito residuo [MPa] .....  
 28.00000  
 Angolo dilatanza [°] .....  
 .00000  
 Modulo di softening apparente  $H_a$  [MPa] .....  
 .00000  
 Modulo di softening  $H$  [MPa] .....

.00000	FRONTE DI SCAVO RINFORZATO	
	Consolidamento generico del fronte	
.22000	Incremento coesione picco [MPa] .....	
.00000	Pressione sul fronte di scavo [MPa] .....	
.92000	Parametri di resistenza equivalenti del fronte rinforzato	
.65000	Coesione picco [MPa] .....	
	Coesione residua [MPa] .....	
3.00000	INIEZIONI O JET-GROUTING	
1200.00000	Spessore corona trattata [m] .....	
.30000	Modulo terreno trattato [MPa] .....	
.70008	Coefficiente di Poisson terreno trattato .....	
29.00000	Coesione picco terreno trattato [MPa] .....	
.70008	Angolo attrito picco terreno trattato [°] .....	
29.00000	Coesione residua terreno trattato [MPa] .....	
.00000	Angolo attrito residuo terreno trattato [MPa] .....	
.00000	Angolo dilatanza terreno trattato [°] .....	
.00000	Modulo di softening apparente Ha [MPa] .....	
.00000	Modulo di softening H [MPa] .....	
	PRERIVESTIMENTO	
1.00000	Distanza dal fronte alla messa in opera [m] .....	
.11000	Coefficiente riduzione rigidezza .....	
CHIUSO	Forma del presivestimento .....	CIRCOLARE
.30000	SPRITZ-BETON E CENTINE	
31200.00000	Spessore spritz [m] .....	
.20000	Modulo Young spritz [MPa] .....	
.01060	Coefficiente di Poisson spritz .....	
.24000	Sezione centina [m <sup>2</sup> ] .....	
.12000	Altezza sezione centina [m <sup>2</sup> ] .....	
.00011259	Posizione baricentro sezione centina [m] .....	
1.00000	Momento inerzia baricentrico sezione centina [m <sup>4</sup> ] .	
210000.00000	Passo centine [m] .....	
23.00000	Modulo Young ferro centine [MPa] .....	
190.00000	Resistenza compressione spritz [MPa] .....	
	Resistenza ferro centine [MPa] .....	
	RIVESTIMENTO DEFINITIVO	
100.00000	Distanza dal fronte alla messa in opera [m] .....	
.90000	Spessore CLS [m] .....	

Modulo Young CLS [MPa] .....  
 31200.00000  
 Coefficiente di Poisson CLS .....  
 .20000  
 Resistenza compressione CLS [MPa] .....  
 7.50000  
 Opzione calcolo rivestimento .....  
 0  
 [0 prerivestimenti non collaboranti a lungo termine]  
 [1 prerivestimenti collaboranti a lungo termine]  
 Gioco radiale posa in opera rivestimento [m] .....  
 .00000

R I S U L T A T O   A N A L I S I   F R O N T E   D I   S C A V O

Press. fine calcolo curva galleria [MPa] .....  
 .000000  
 spostamento radiale galleria [m] .....  
 .546368  
 Raggio plastico galleria [m] .....  
 16.099017  
 Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] .....  
 .000000  
 Spostamento radiale fronte sferico [m] .....  
 .140730  
 Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] .....  
 .054365  
 Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ...  
 .158452  
 Raggio plastico fronte sferico [m] .....  
 8.532125

R I S U L T A T O   A N A L I S I   G A L L E R I A

Pressione fine calcolo [MPa] .....  
 .000000  
 Spost. radiale galleria fine calcolo [m] .....  
 .546368  
 Raggio plastico galleria fine calcolo [m] .....  
 16.099017  
 Pressione fine calcolo (L.T.) [MPa] .....  
 .000000  
 Spost. radiale galleria fine calcolo (L.T.) [m] ...  
 .546385  
 Raggio plastico galleria fine calcolo (L.T.) [m] ..  
 16.099017

CORONA DI ROCCIA CONSOLIDATA MEDIANTE GROUTING

-----  
 fattore di sicurezza .....  
 1.00000

PRERIVESTIMENTO

-----  
 Raggio plastico punto di equilibrio [m] .....  
 12.49245  
 Pressione punto di equilibrio [MPa] .....  
 .74399  
 Spostamento punto di equilibrio [m] .....  
 .31712  
 Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....  
 .29998  
 Convergenza radiale prerivestimento [m] .....  
 .01714  
 Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....  
 .948155  
 SPRITZ-BETON E CENTINE (ANELLO CHIUSO)  
 Tensione spritz [MPa] .....  
 11.70331  
 Tensione centine [MPa] .....

70.69312	Coefficiente di sicurezza spritz .....
1.96526	Coefficiente di sicurezza centine .....
2.68767	Pressione rottura spritz [MPa] .....
1.46211	Pressione rottura centine [MPa] .....
1.99958	Rigidezza spritz [MPa] .....
199.38174	Rigidezza centinatura [MPa] .....
43.72500	
	RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS)
	-----
12.49245	Raggio plastico punto di equilibrio [m] .....
.74072	Pressione punto di equilibrio [MPa] .....
.31774	Spostamento punto di equilibrio [MPa] .....
.31712	Spostamento galleria alla messa in opera [m] .....
.00063	Convergenza radiale rivestimento [m] .....
4.76676	Tensione CLS [MPa] .....
1.57340	Coefficiente di sicurezza CLS .....
1.16545	Pressione rottura CLS [MPa] .....
6267.74176	Rigidezza anello CLS [MPa] .....
.999999	Tasso di deconfinamento alla messa in opera .....

## **Output grafici FLAC**

## **Calcolo FLAC – Sezione tipo B0/1**

# ANALISI FLAC

## Sezione tipo B01 - Ap gruppo 1

### Input Analist alle Differenze Finite FLAC

Geometria	
Copertura (m)	500.00
Altezza falda statica (m)	0.00
Coefficiente efficienza drenaggio	0.20
Altezza falda dinamica (m)	0.00
Raggio scavo (m)	5.35

Parametri geomeccanici	1° strato		2° strato	
	Picco	Residuo	Picco	Residuo
Valori di picco e residui	27	27		
Peso di volume (kN/m <sup>3</sup> )	24	28		
Angolo attrito (°)	1.30	7.0		
Coesione (MPa)	5.35	5.35		
Modulo elastico (GPa)	0.30	0.30		
Modulo di Poisson	0.30	0.30		
Modulo di deformazione volumetrica (Bulk modulus)(GPa)	4.46	4.46		
Modulo elastico tangenziale (Shear modulus)(GPa)	2.06	2.06		
Modello costitutivo	Strain-Softening			

Materiali					
Spitz-beton	$f_{cm}$ (MPa)	$\sigma$ (m)	$E_{spz}$ (MPa)	$E_{saz}$ (MPa)	$I_{spz}$ (cm <sup>4</sup> )
	25	0.25		28500	1.30E+03
Centine	Tipo	p (m)	$A_c$ (cm <sup>2</sup> )	h (cm)	Jxx (cm <sup>4</sup> )
	HEB100	1.00	65.3	10.00	3931.0
Rivestimenti	$R_{w,0}$ (MPa)	S (m)	Armato	D	
A.R.	25	1.00		5.0	
Calotta	25	0.70		5.0	

### LEGENDA SIMBOLI

- $f_{cm}$  - resistenza media cilindrica a compressione dello spitz-beton
- $\sigma$  - spessore dello spitz-beton
- $E_{spz}$  - moduli elastici intermedi dello spitz-beton
- $E_{saz}$  - modulo elastico finale dello spitz-beton
- $I_{spz}$  - momento di inerzia dello spitz-beton
- n - numero di centine per gruppo
- p - passo centine
- AS - area del profilo della singola centina
- h - altezza del profilo centina
- Jxx - momento di inerzia del profilo della singola centina
- $R_{w,0}$  - resistenza caratteristica cubica a compressione del cis
- S - spessore del rivestimento definitivo
- Ematur - modulo elastico del cis maturo
- D - Distanza di galleria tra rivestimenti definitivi e fronte (multiplo del diametro della galleria)
- Epre - modulo elastico del preinvestimento

Fasi di calcolo (TIME)	x (m)	$\nu R$	RPanet	ROEM	Epre (MPa)	$E_{-k}$ (MPa)
TIME 1 - Geostatico	-∞	-∞	0.000	0.000	-	-
TIME 2 - Taratura e scavo	0.30	0.000	0.280	0.580	-	-
TIME 3 - Posa centine e SS	1.20	0.224	0.551	0.568	32300	28500
TIME 4 - Getto Muricete e A.R.	30.00	3.807	0.965	0.864	32300	28500
TIME 5 - Getto calotta	40.00	4.000	1.000	1.000	32300	28500
TIME 6 - Decadimento ammasso e preinvestimento	40.00	4.000	1.000	1.000	32300	28500

### Relazione per il calcolo di RPanet, ROEM:

$$R^* = u_0 + (u_{\infty} - u_0) \cdot \left[ 1 - \left( \frac{1}{1 + \frac{x}{0.84 \cdot R_0}} \right)^2 \right]$$

$R^*$  = Convergenza radiale ad una distanza di x metri dal fronte espressa come % di  $u_{\infty}$

$u_0$  = Convergenza radiale in corrispondenza del fronte espressa come % di  $u_{\infty}$

$u_{\infty}$  = Convergenza radiale ad una distanza infinita dal fronte

RP = Raggio plastico

R = Raggio della galleria

x = distanza tra il fronte e la sezione di calcolo

### TIMES DI CALCOLO

- Viene applicato il peso proprio del terreno, ricostruendo in termini di tensioni litostatiche la situazione preesistente lo scavo della galleria
- Viene simulato l'arrivo del fronte di scavo
- Viene simulata la posa in opera delle centine e dello spitz-beton
- Viene simulato il getto delle muricete e gettato investito e l'avanzamento dello scavo
- Si simula il getto del rivestimento definitivo di calotta
- Si applica un decadimento delle caratteristiche meccaniche del preinvestimento e dell'ammasso

- TIME 1 - Geostatico
- TIME 2 - Taratura e scavo
- TIME 3 - Posa centine e SS
- TIME 4 - Getto Muricete e A.R.
- TIME 5 - Getto calotta
- TIME 6 - Decadimento ammasso e preinvestimento

$N_0 = 1$   
 $R_0 = R$

JOB TITLE : Prerivestimento - Sezioni di verifica

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

18-Feb-04 16:21

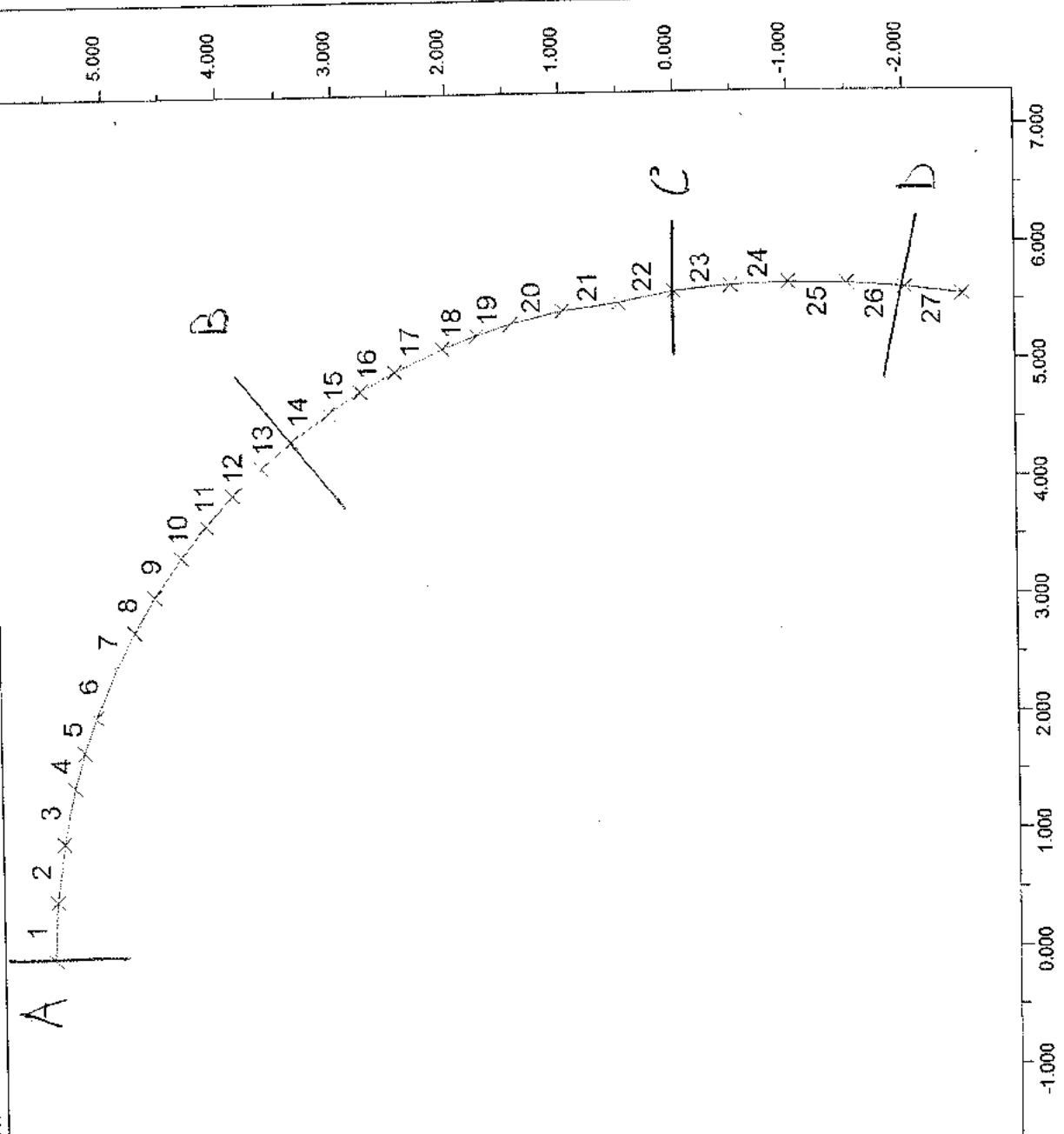
step 19559

-1.637E+00 <x< 7.286E+00

-2.953E+00 <y< 5.969E+00

Beam Plot

Structural Element Numbers



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA



## Sezione tipo B0/1 - Ap gruppo 1

### Verifica del pririvestimento

#### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E MECCANICHE

MATERIALI	Tipo	$\sigma_{max}$ (MPa)	H (cm)	Passo (m)	n°	A (cm²)	I (cm⁴)
Spritz-beton	Fcm 25	19.20	25	-	-	2500.0	1302.1
Centine	HEB180	210	18.00	1.20	1.00	65.3	3831.0
Sezione omogeneizzata						3261.8	53149.9

Coefficiente omogeneizzazione m	15	
Baricentro centina d (cm)	9.00	dall'estradosso
Baricentro sezione omogeneiz. Yg (cm)	11.68	dall'estradosso
$e^{lim,e} = I^*/(A*Yg)$ (cm)	1.39	dimensione nocciolo d'inerzia estradosso
$e^{lim,i} = I^*/(A*(H-Yg))$ (cm)	1.22	dimensione nocciolo d'inerzia intradosso

$e = M/N$  eccentricità

#### Formule impiegate

Tensioni positive se di compressione

$$\sigma_{sb,i} = N/A^* + (M(H-Yg))/I^* \quad \sigma_{sb,o} = N/A^* - (MYg)/I^*$$

$$\sigma_{s,i} = m(N/A^* + M(d+H_s/2-Yg))/I^*$$

$$\sigma_{s,o} = m(N/A^* - M(d-H_s/2-Yg))/I^*$$

Sezione	Elemento	Altezza (m)	N (KN/m)	M (KN*m/m)	e (m)	$\sigma_{sb,i}$ (Mpa)	$\sigma_{sb,e}$ (Mpa)	$\sigma_{s,i}$ (Mpa)	$\sigma_{s,o}$ (Mpa)	
CHIAVE CALOTTA	1	0.25	967	-4.1	0.00	1.94	3.87	37.16	57.99	TIME 3
RENI	14	0.25	863	1.3	0.00	2.97	2.36	42.00	35.40	
P.C.	22	0.25	754	-12.3	-0.02	-0.77	5.02	12.74	75.23	
PIEDE	26	0.25	774	-20.60	-0.03	-2.79	6.90	-1.13	103.51	
CHIAVE CALOTTA	1	0.25	1441	-4.6	0.00	3.27	5.43	58.06	81.43	TIME 4
RENI	14	0.25	1363	0.5	0.00	4.30	4.07	63.57	61.03	
P.C.	22	0.25	1218	-20.2	-0.02	-1.33	8.17	20.00	122.61	
PIEDE	26	0.25	1341	-42.3	-0.03	-6.49	13.41	-13.75	201.13	

JOB TITLE : Sezioni di verifica - Riv. definitivo

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

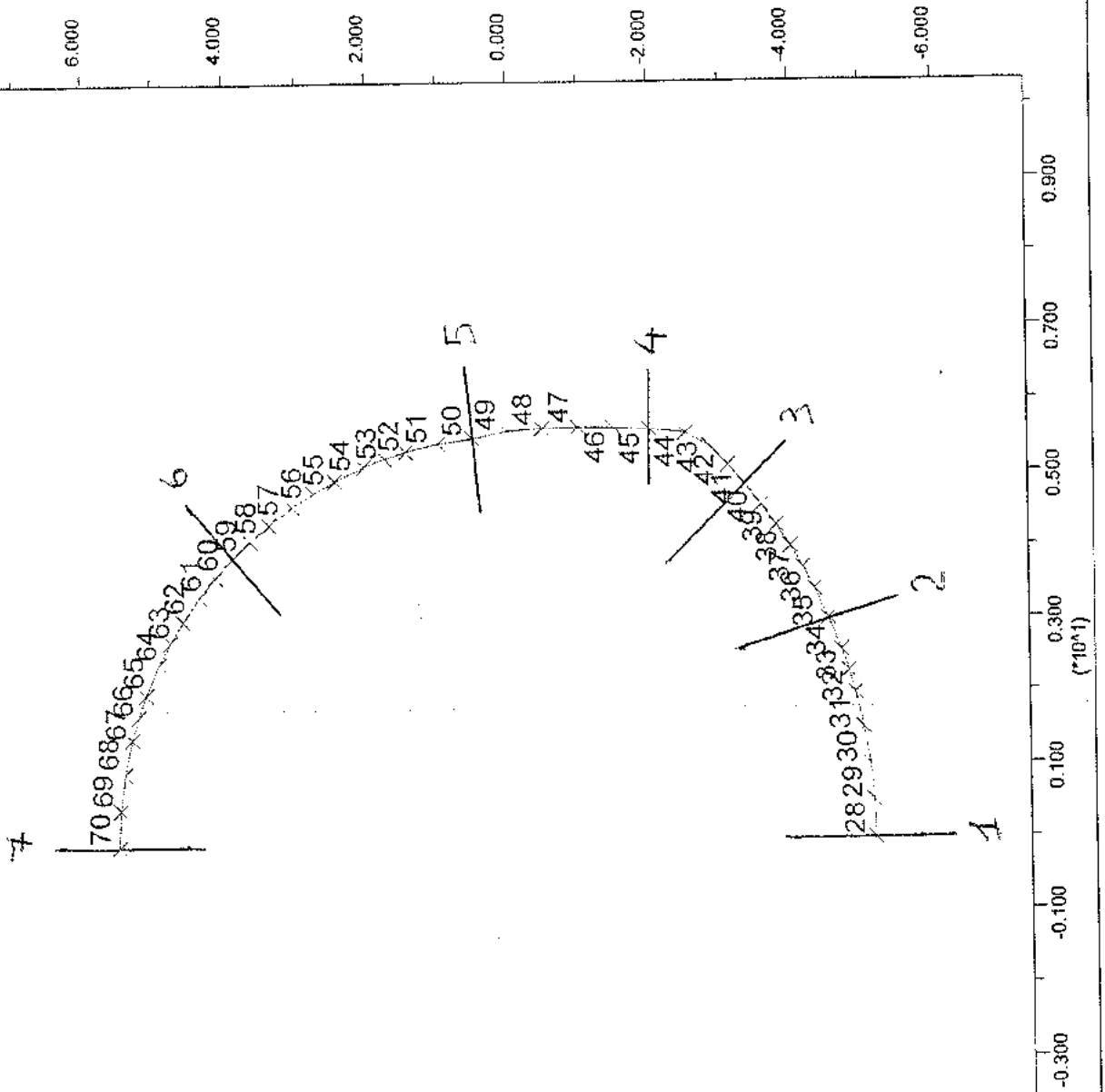
17-Feb-04 9:37  
step 22571  
-4.668E+00 <x< 1.032E+01  
-7.312E+00 <y< 7.674E+00

Beam Plot

Beam Plot

Beam Plot

Structural Element Numbers



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

Sezione tipo B0/1 - Ap gruppo 1  
Verifica del rivestimento definitivo

TIME 4 - Getto Murette e A.R.

Sezione	Elemento	Altezza (m)	N (kN/m)	M (kNm/m)	e (m)	σc (MPa)
CHIAVE A.R.	28	1.00	802	-23.3	-0.03	0.9
SEZIONE INTERMEDIA A.R.	34	1.00	791	68.1	0.09	1.2
ATTACCO A.R. - MURETTA	40	1.00	795	109.6	0.14	1.4

TIME 5 - Getto calotta

Sezione	Elemento	Altezza (m)	N (kN/m)	M (kNm/m)	e (m)	σc (MPa)
CHIAVE A.R.	28	1.00	1182	35.2	0.03	1.4
SEZIONE INTERMEDIA A.R.	34	1.00	1232	-51.3	-0.04	1.5
ATTACCO A.R. - MURETTA	40	1.00	1249	-147.4	-0.12	2.1
ATTACCO CAL. - MURETTA	45	0.70	383	-40.0	-0.10	1.0
PIANO DEI CENTRI	49	0.70	356	56.5	0.16	1.2
RENI	59	0.70	345	-5.9	-0.02	0.6
CHIAVE CALOTTA	70	0.70	323	-4.3	-0.01	0.5

TIME 6 - Decadimento ammasso e priverivestimento

Sezione	Elemento	Altezza (m)	N (kN/m)	M (kNm/m)	e (m)	σc (MPa)
CHIAVE A.R.	28	1.00	1309	23.7	0.02	1.5
SEZIONE INTERMEDIA A.R.	34	1.00	1343	-58.7	-0.04	1.7
ATTACCO A.R. - MURETTA	40	1.00	1364	-155.3	-0.11	2.3
ATTACCO CAL. - MURETTA	45	0.70	1634	-71.5	-0.04	3.2
PIANO DEI CENTRI	49	0.70	1429	91.1	0.06	3.2
RENI	59	0.70	1644	32.8	0.02	2.8
CHIAVE CALOTTA	70	0.70	1578	-41.7	-0.03	2.8

## Sezione tipo B0/1 - Ap gruppo 1

Output Analisi alle Differenze Finite FLAC

TIME	Riduzione forze di scavo [%]	Spostamento y in chiave calotta [cm]	Spostamento x sul piano dei centri [cm]	Spostamento y in chiave A.R. [cm]	Tensioni preriv.		Tensioni Riv. def.
					$\sigma_{SB,max}$ [MPa]	$\sigma_{s,max}$ [MPa]	
TIME 1 - Geostatico	0.0	Nodo i=1 j=68	Nodo i=12 j=57	Nodo i=1 j=47	-	-	-
TIME 2 - Taratura e scavo	98.0	5.5	5.9	5.2	-	-	-
TIME 3 - Posa centina e SB	98.8	5.6	6.0	5.5	6.90	103.51	-
TIME 4 - Getto Murette e A.R.	99.4	5.7	6.1	5.6	13.41	201.13	1.8
TIME 5 - Getto calotta	100.0	5.7	6.1	5.6	-	-	2.1
TIME 6 - Decadimento ammasso e prriverimento	100.0	5.7	6.1	5.6	-	-	3.2

Materiali	Tipo	Tensioni ammissibili [MPa]
Spritz-beton	fc <sub>m</sub>	$\sigma_{SB,amm}$ 19.20
Centina	Fe	$\sigma_{s,amm}$ 210
Calcestruzzo	R <sub>ck</sub>	$\sigma_{cls,amm}$ 6.25

Tensioni positive nel cls : compressione

Tensioni positive nell'acciaio : trazione

Spostamenti x positivi verso destra, spostamenti y positivi verso l'alto

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola (Ap gruppo 1) - SEZ. TIPO B0/1

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

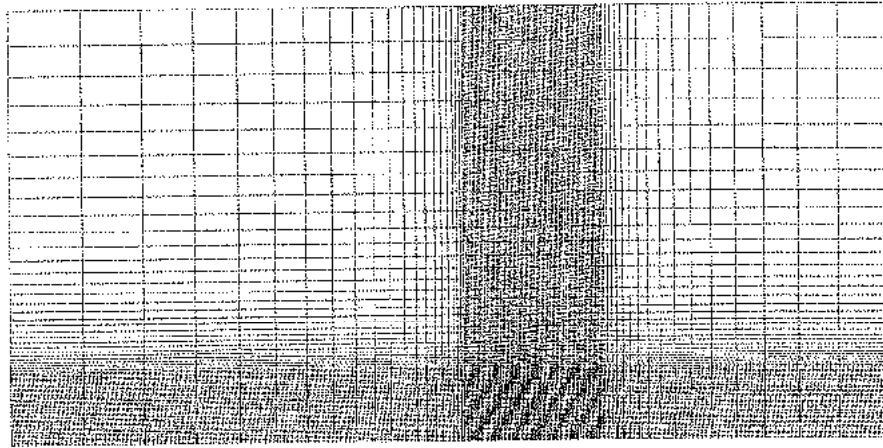
18-Feb-04 14:50

step 9721

-1.067E+02 <x< 2.267E+02

-1.417E+02 <y< 1.917E+02

MESH DI CALCOLO



(\*10^2)

1.500

1.000

0.500

0.000

-0.500

-1.000

1.750

1.250

0.750

0.250

-0.250

-0.750

(\*10^2)

Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola (Ap gruppo 1) - SEZ. TIPO B0/1

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

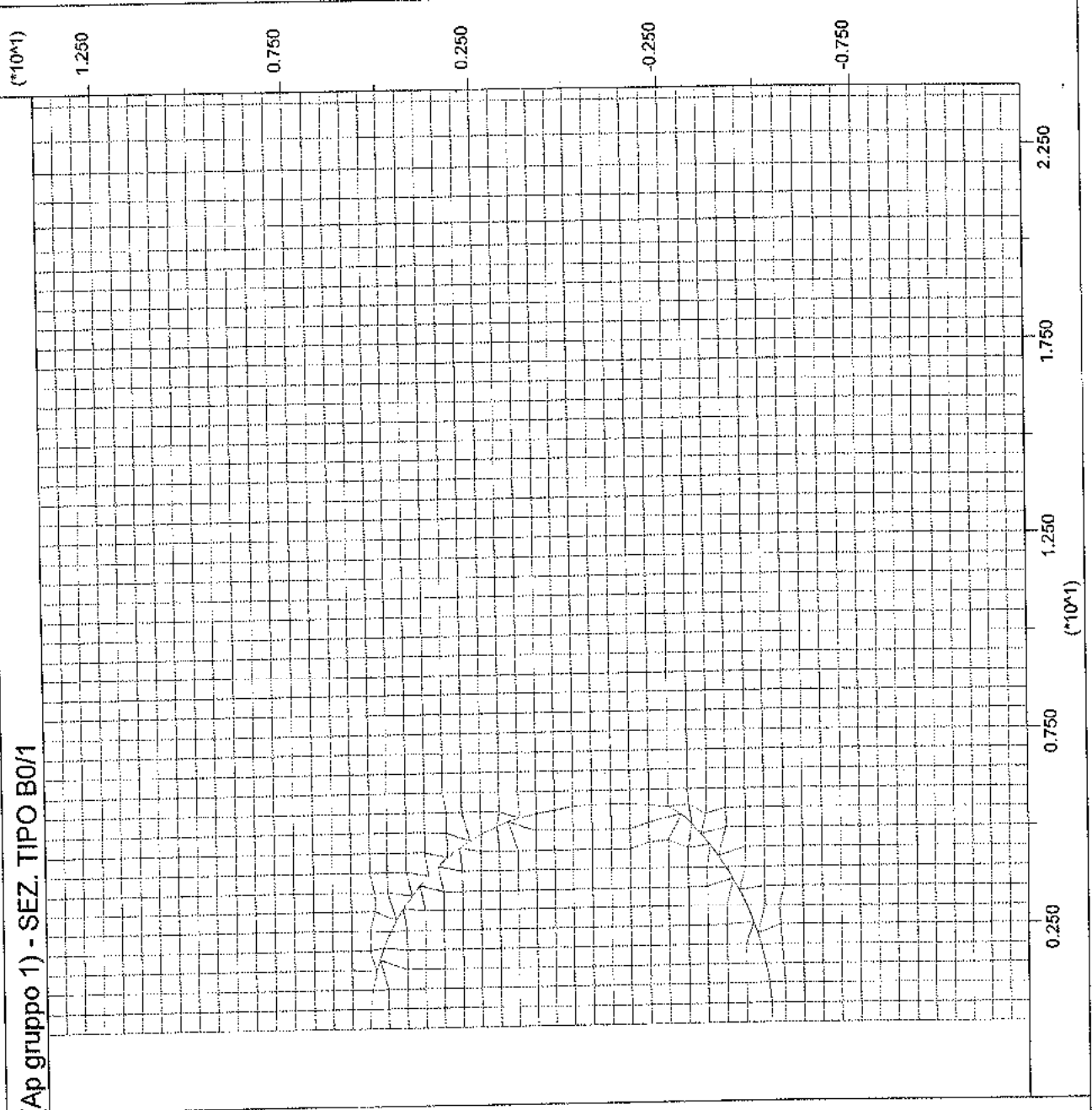
18-Feb-04 14:50

step 9721

-2.000E+00 <x< 2.400E+01

-1.200E+01 <y< 1.400E+01

MESH DI CALCOLO



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B2 - "TIME 1"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

18-Feb-04 14:50

step 9721

-1.067E+02 <x< 2.267E+02

-1.417E+02 <y< 1.917E+02

Principal stresses

Max. Value = -9.622E+06

Min. Value = -1.583E+07

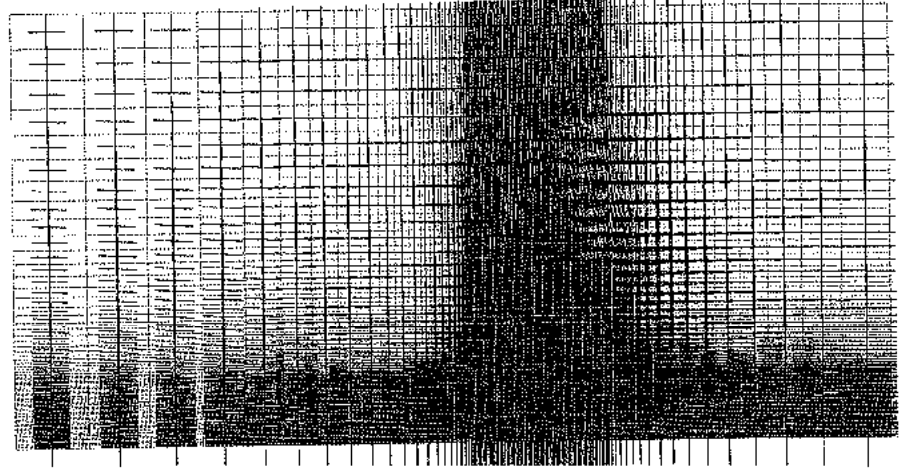


0 5E 7

Tensioni principali : Pa



1E 2



(\*10^2)

1.500

1.000

0.500

0.000

-0.500

-1.000

1.750

1.250

0.750

0.250

-0.250

-0.750

(\*10^2)

Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B2 - "TIME 1"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

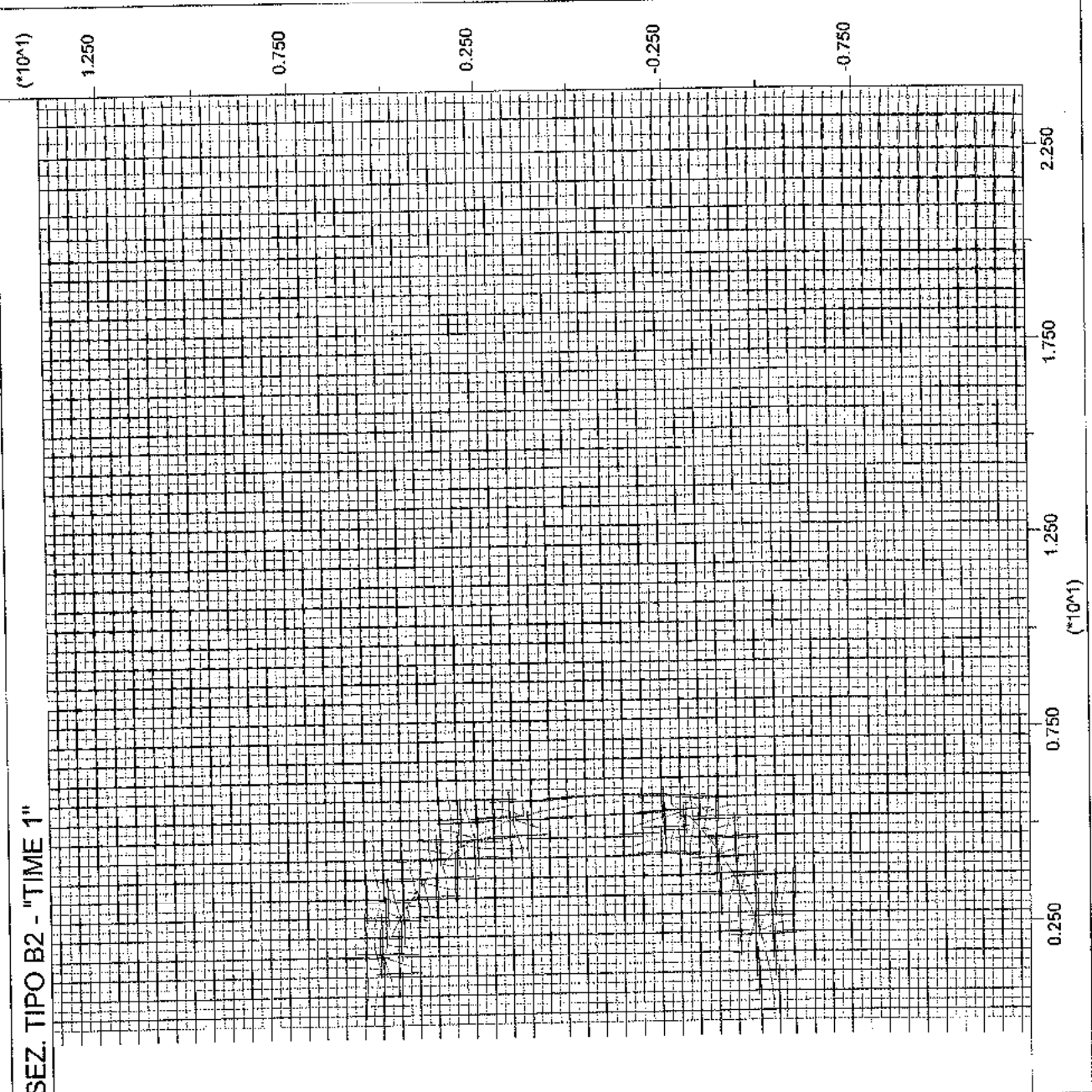
18-Feb-04 14:50  
step 9721  
-2.000E+00 <x< 2.400E+01  
-1.200E+01 <y< 1.400E+01

Principal stresses

Max. Value = -1.292E+07  
Min. Value = -1.371E+07



Tensioni principali : Pa



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA



JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/1 - "TIME 2"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

18-Feb-04 16:20

step 18135

-2.000E+00 <x< 2.400E+01

-1.200E+01 <y< 1.400E+01

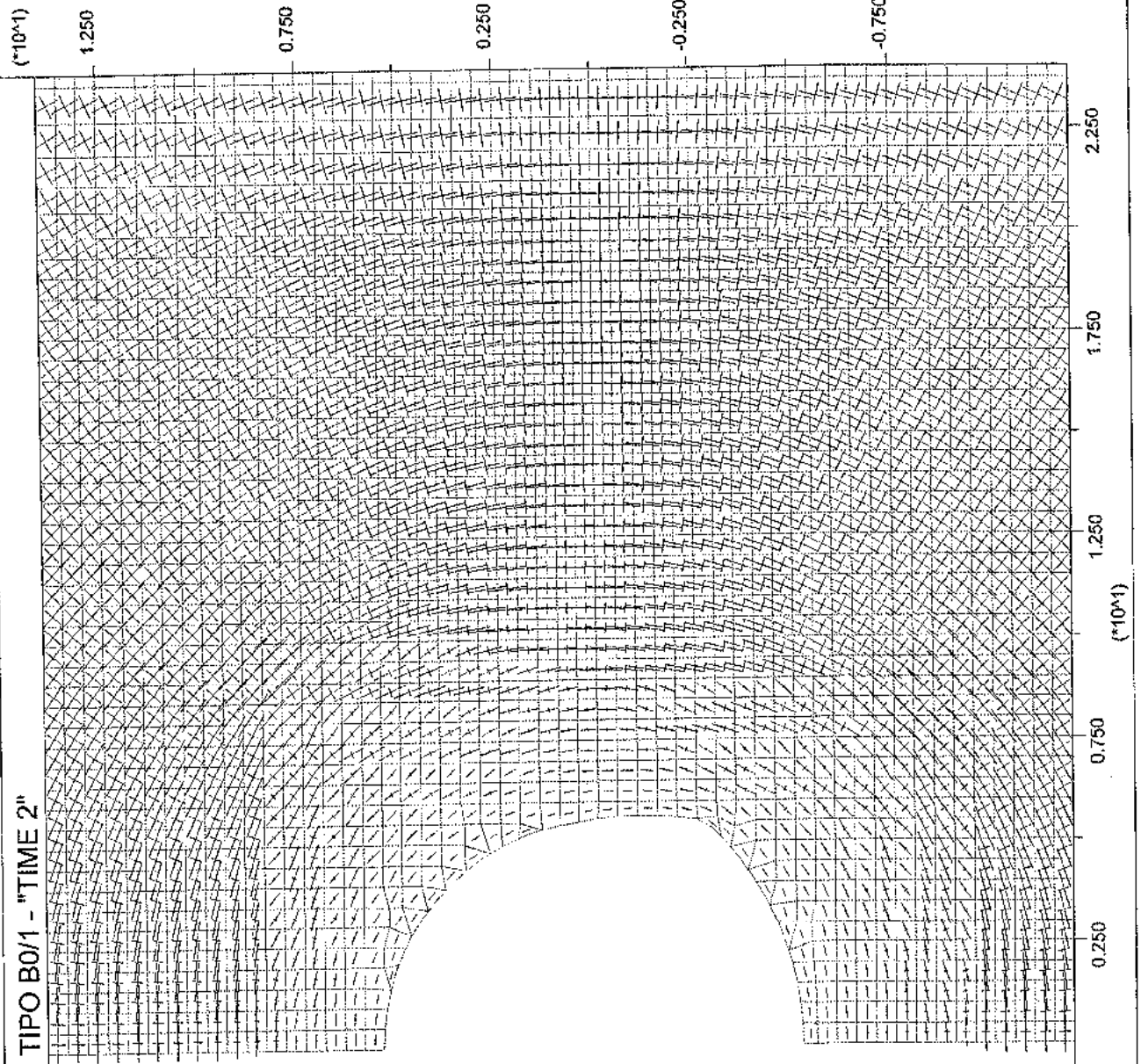
Principal stresses

Max. Value = -2.957E+05

Min. Value = -2.494E+07



Tensioni principali : Pa



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/1 - "TIME 2"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

18-Feb-04 16:20

step 18135

-2.000E+00 <x< 2.400E+01

-1.200E+01 <y< 1.400E+01

Y-displacement contours

-4.00E-02

-2.00E-02

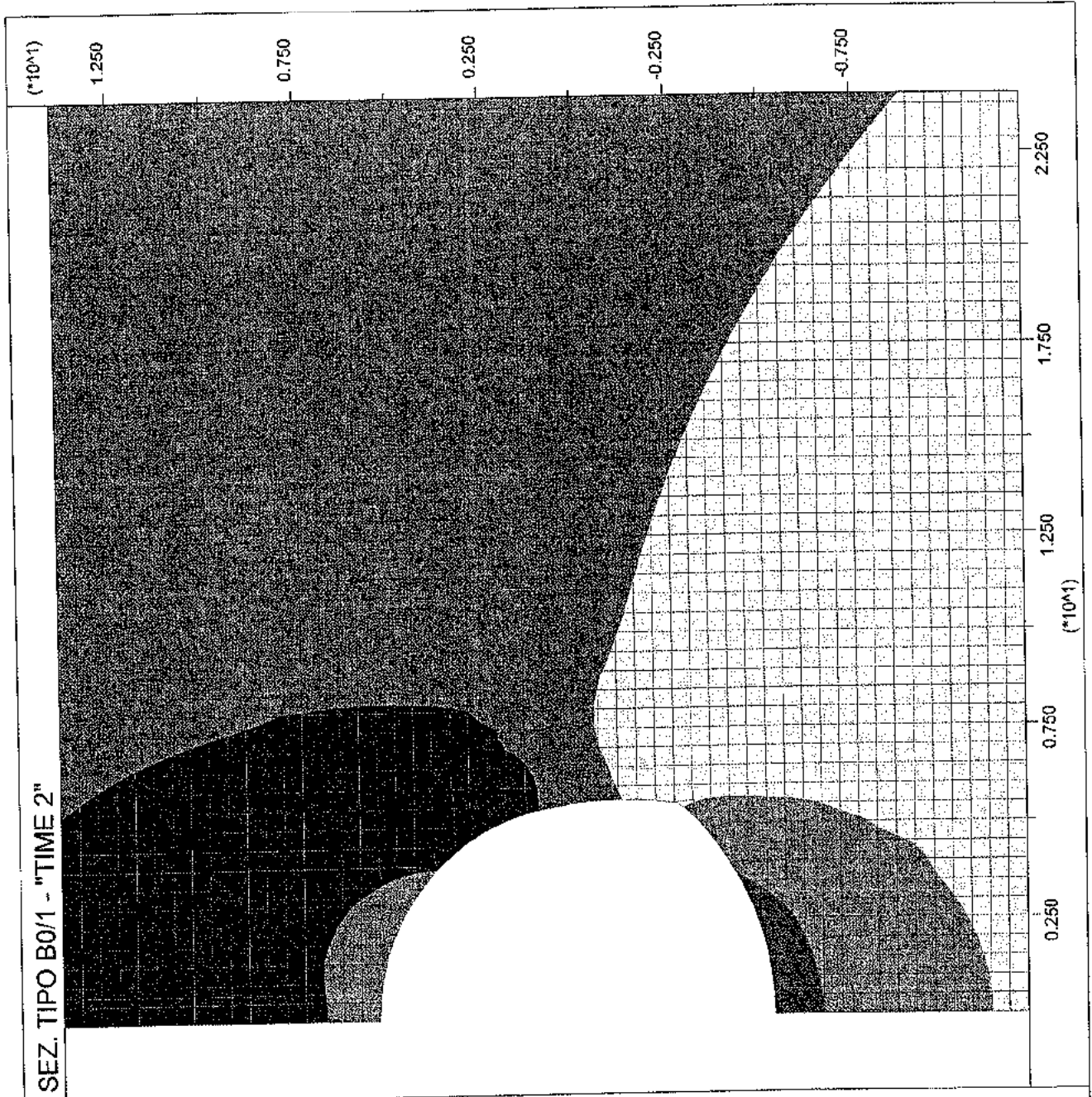
0.00E+00

2.00E-02

4.00E-02

Contour interval= 2.00E-02

Spostamenti verticali



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/1 - "TIME 2"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

18-Feb-04 16:20

step 18135

-2.000E+00 <x< 2.400E+01

-1.200E+01 <y< 1.400E+01

X-displacement contours

-5.00E-02

-4.00E-02

-3.00E-02

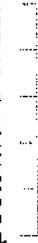
-2.00E-02

-1.00E-02

0.00E+00

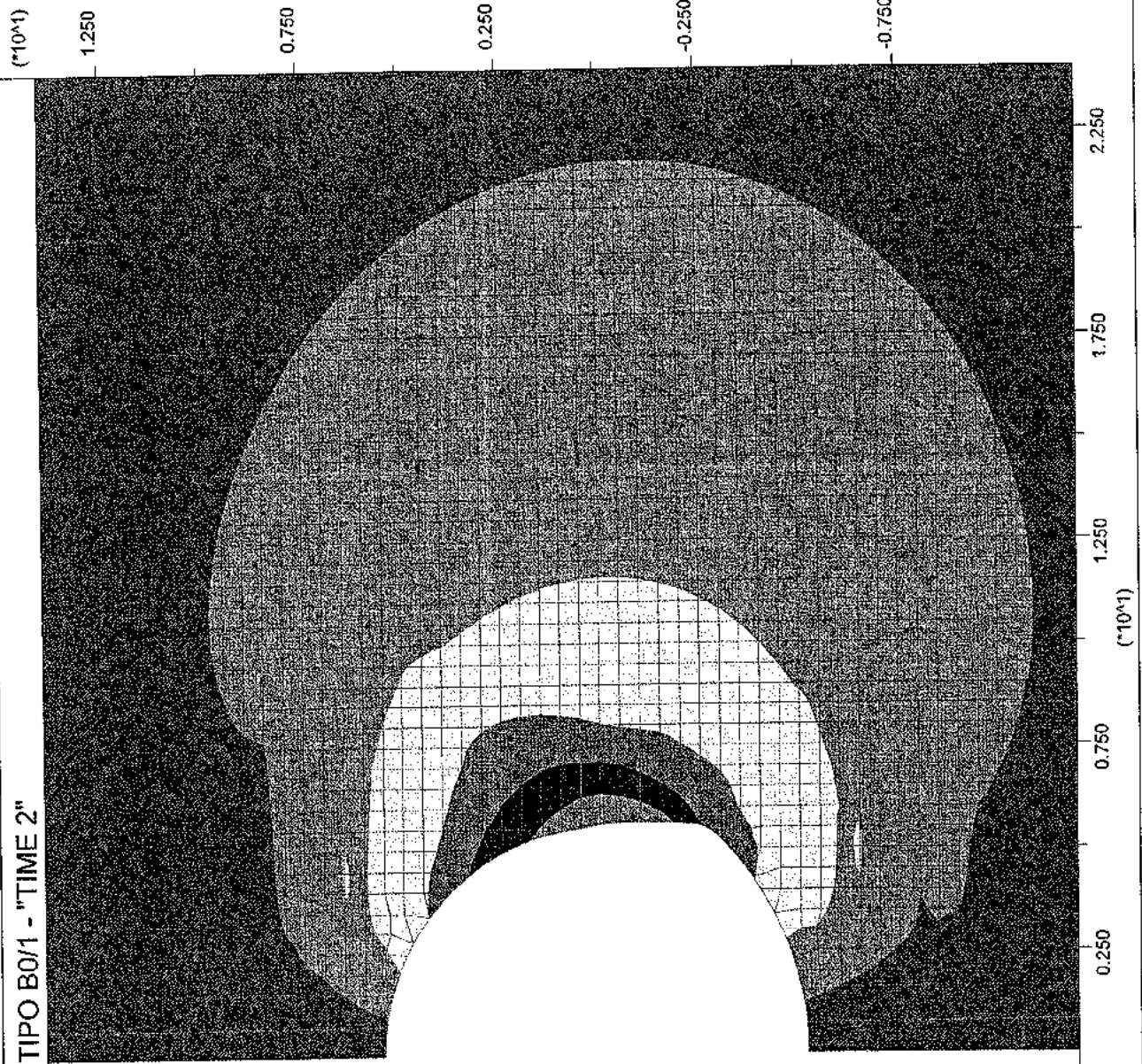
Contour interval= 1.00E-02

Spostamenti orizzontali



0

5E 0



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

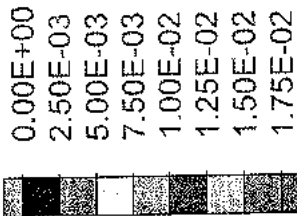
JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/1 - "TIME 2"

**FLAC (Version 4.00)**

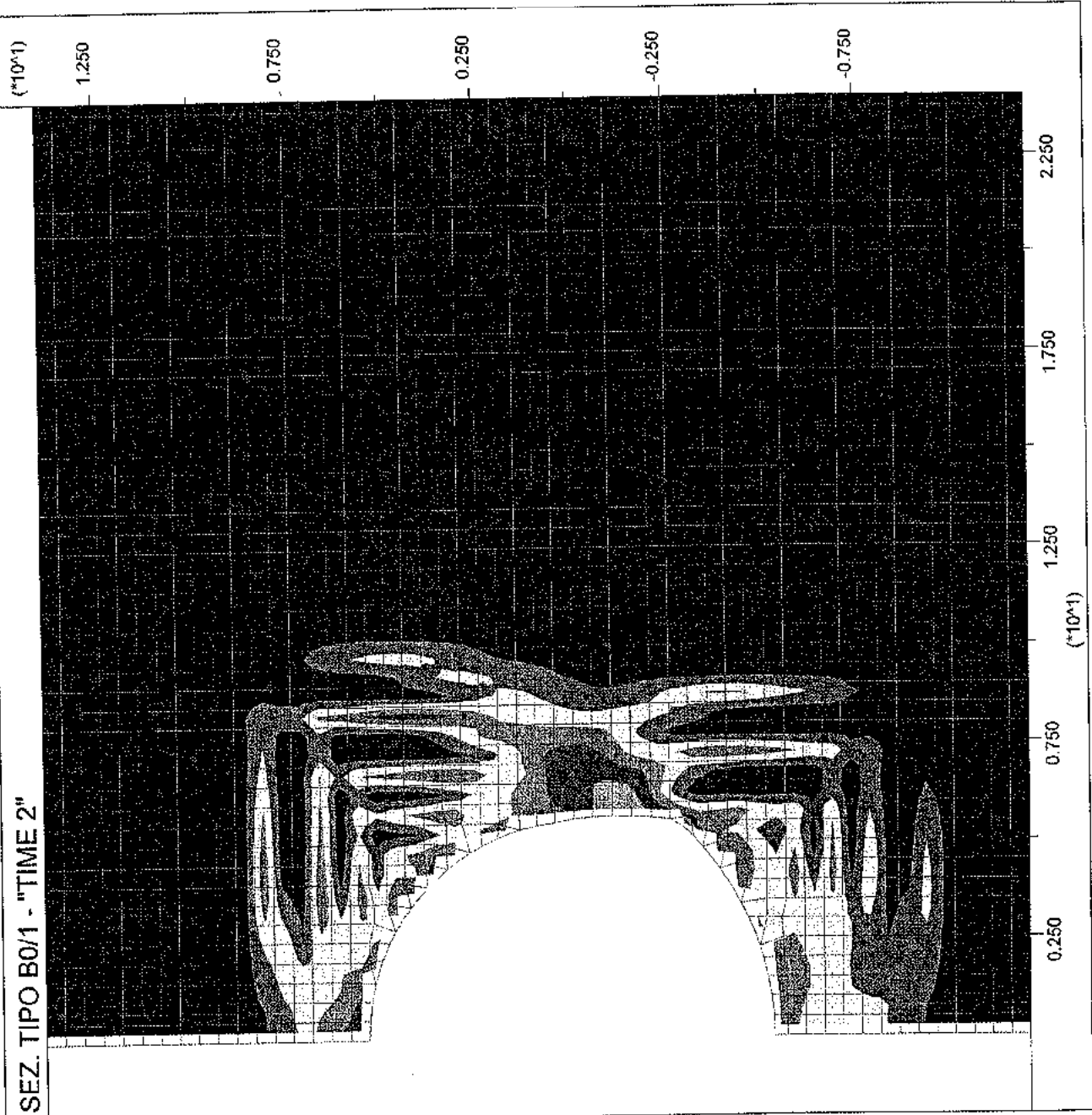
LEGEND

18-Feb-04 16:20  
step 18135  
-2.000E+00 <x< 2.400E+01  
-1.200E+01 <y< 1.400E+01

Max. shear strain increment



Contour interval= 2.50E-03  
Deformazioni plastiche per taglio



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/1 - "TIME 3"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

18-Feb-04 16:21

step 19559

-2.000E+00 <x< 2.400E+01

-1.200E+01 <y< 1.400E+01

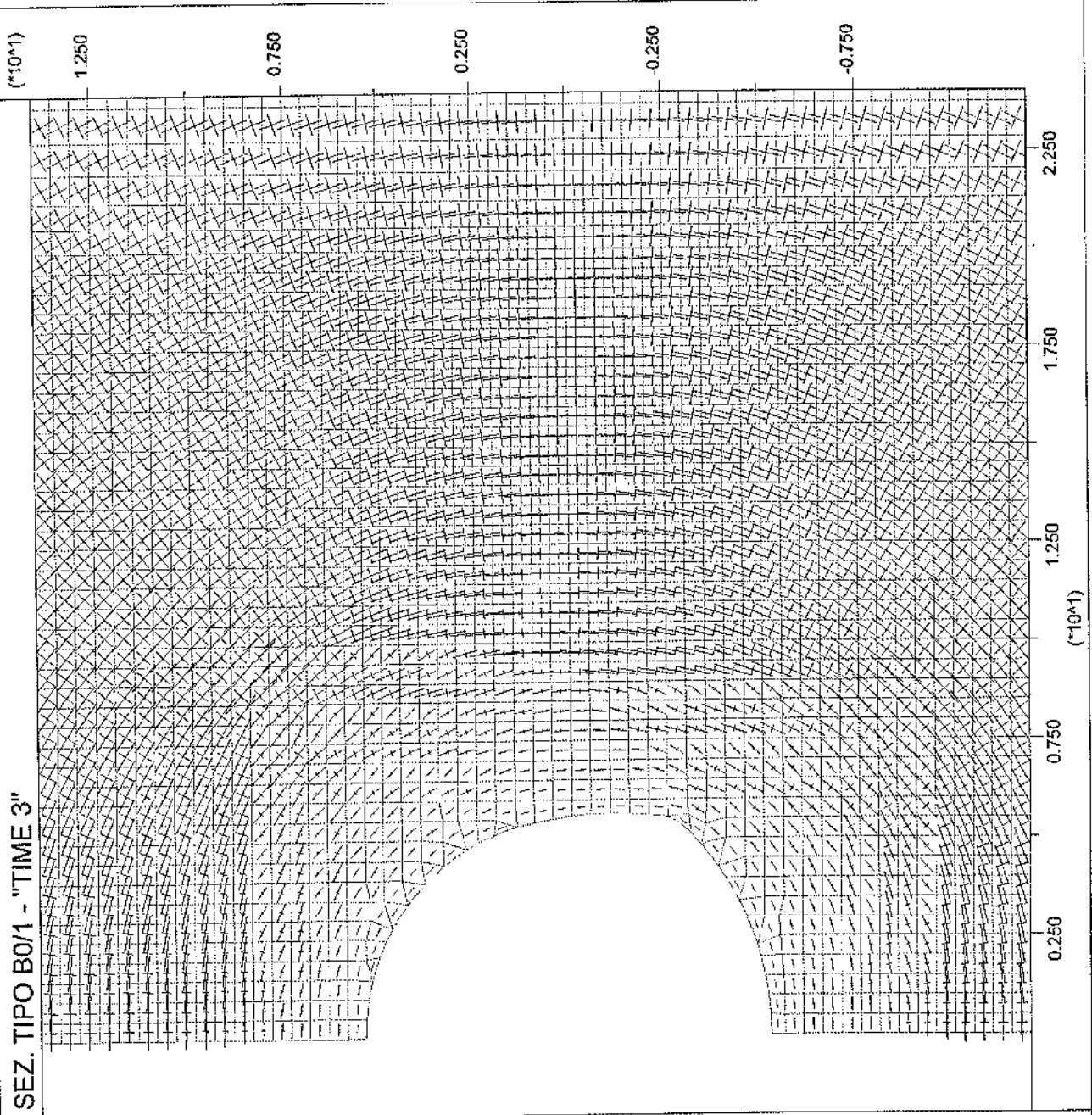
Principal stresses

Max. Value = -1.277E+05

Min. Value = -2.501E+07



Tensioni principali : Pa



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA



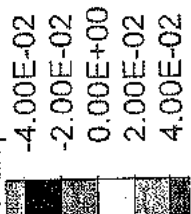
JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/1 - "TIME 3"

**FLAC (Version 4.00)**

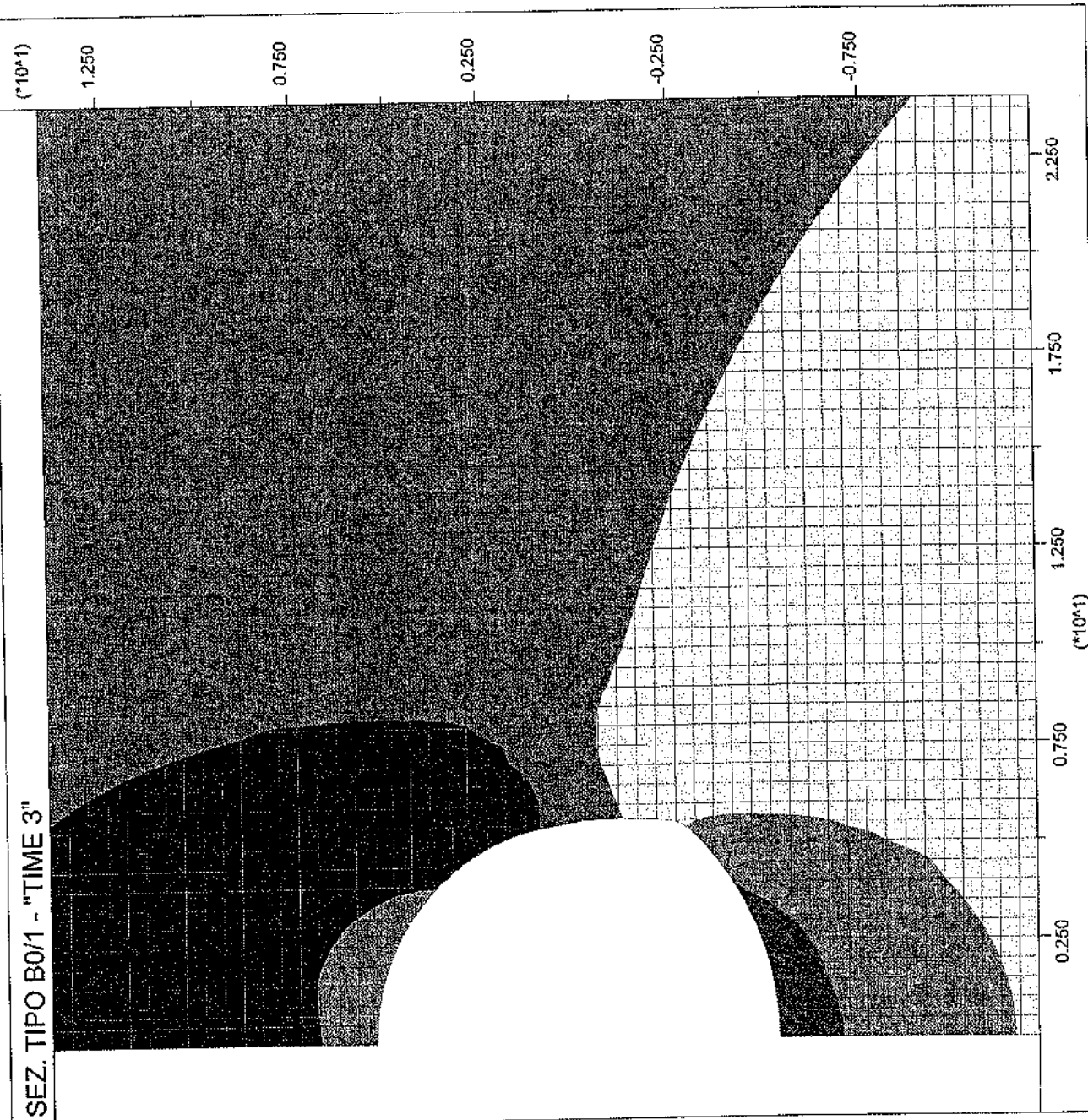
LEGEND

18-Feb-04 16:21  
step 19559  
-2.000E+00 <x< 2.400E+01  
-1.200E+01 <y< 1.400E+01

Y-displacement contours



Contour interval= 2.00E-02  
Spostamenti verticali



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/1 - "TIME 3"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

18-Feb-04 16:21

step 19559

-2.000E+00 <x< 2.400E+01

-1.200E+01 <y< 1.400E+01

X-displacement contours

-6.00E-02

-5.00E-02

-4.00E-02

-3.00E-02

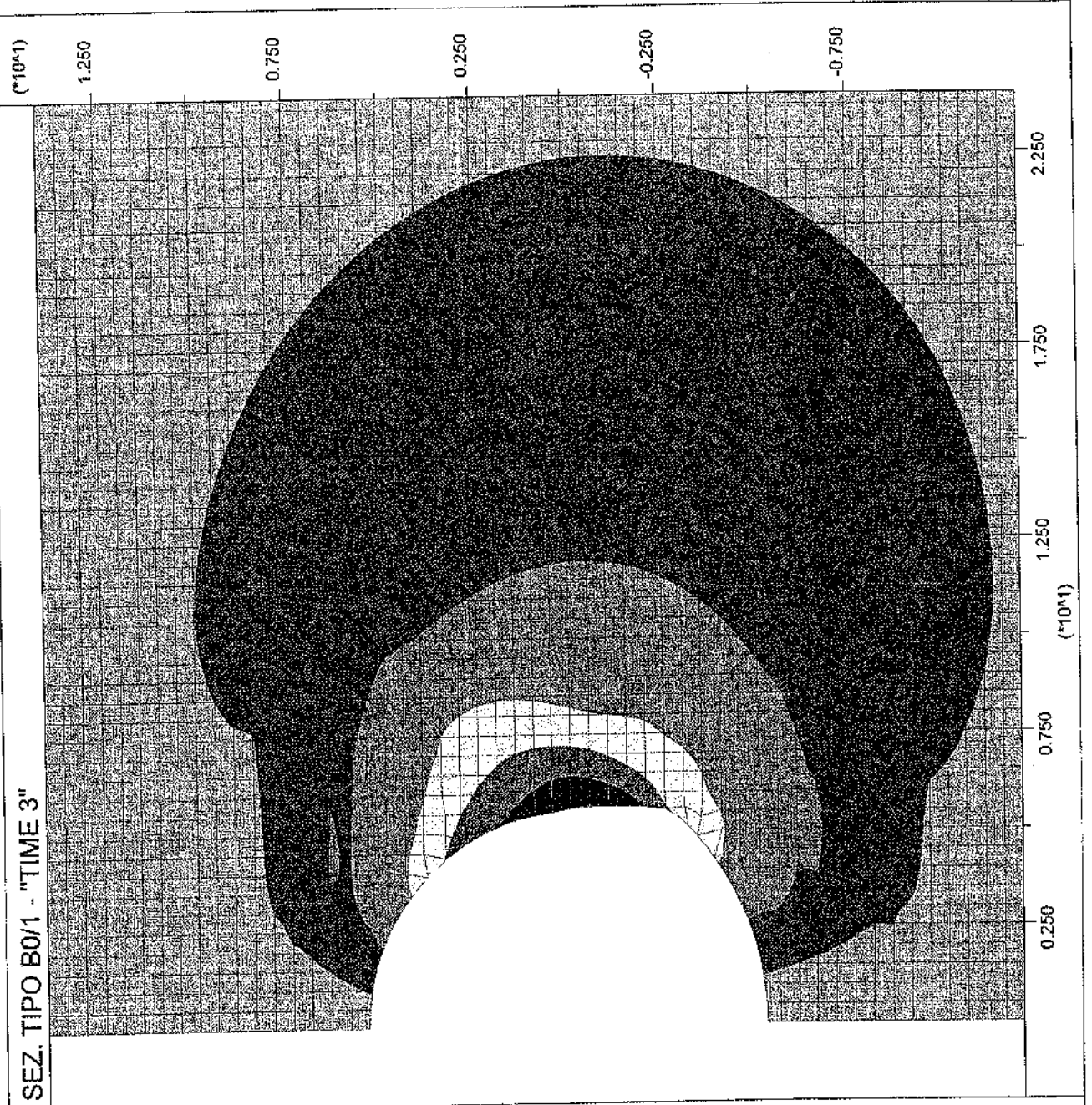
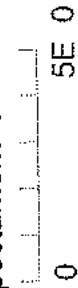
-2.00E-02

-1.00E-02

0.00E+00

Contour interval= 1.00E-02

Spostamenti orizzontali



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

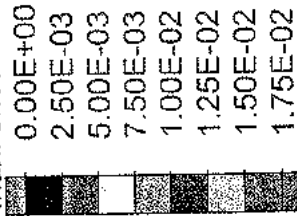
JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/1 - "TIME 3"

**FLAC (Version 4.00)**

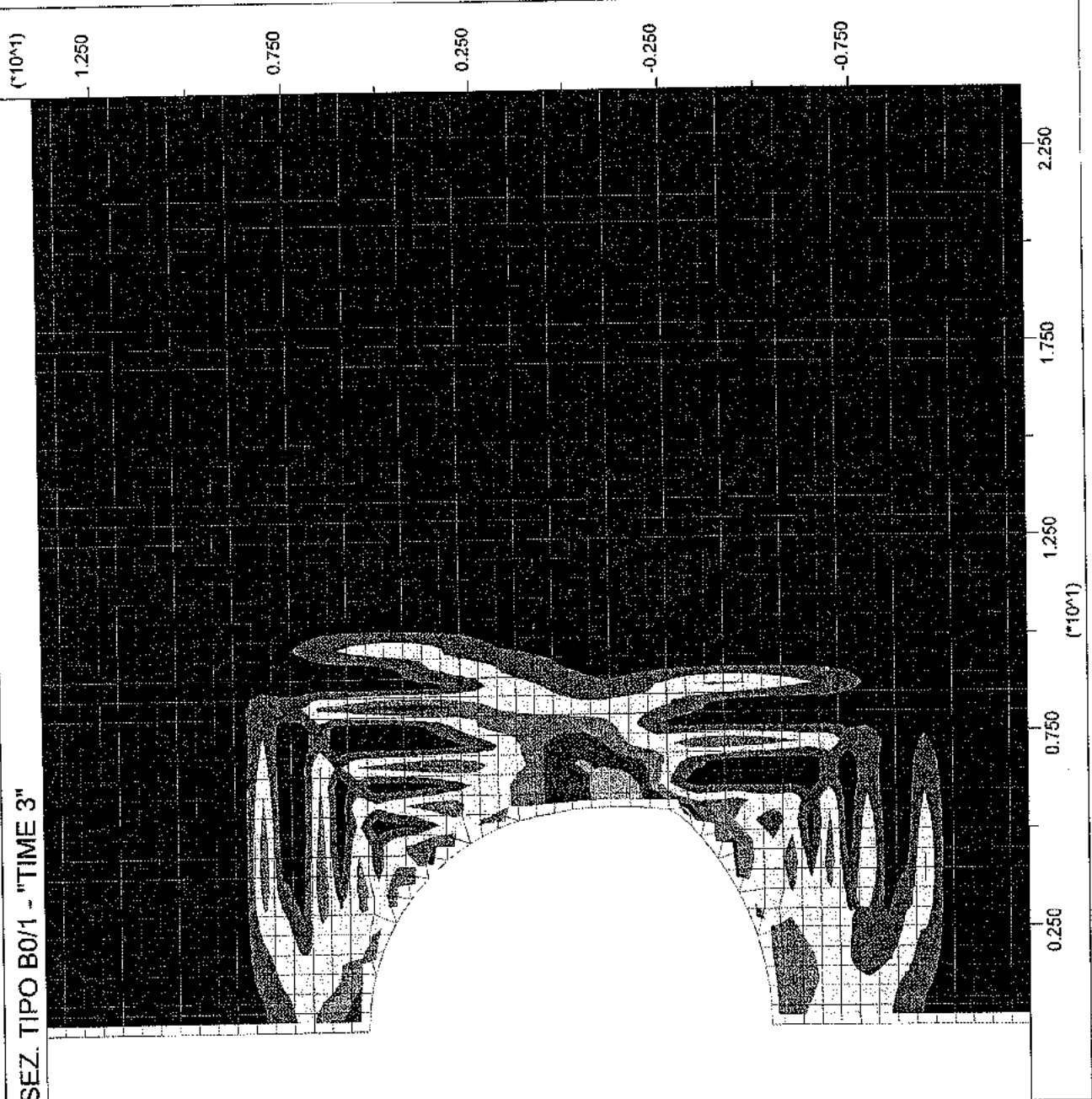
LEGEND

18-Feb-04 16:21  
step 19559  
-2.000E+00 <x< 2.400E+01  
-1.200E+01 <y< 1.400E+01

Max. shear strain increment



Contour interval= 2.50E-03  
Deformazioni plastiche per taglio





JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/1 - "TIME 3"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

18-Feb-04 16:21

step 19559

-2.000E+00 <x< 1.400E+01

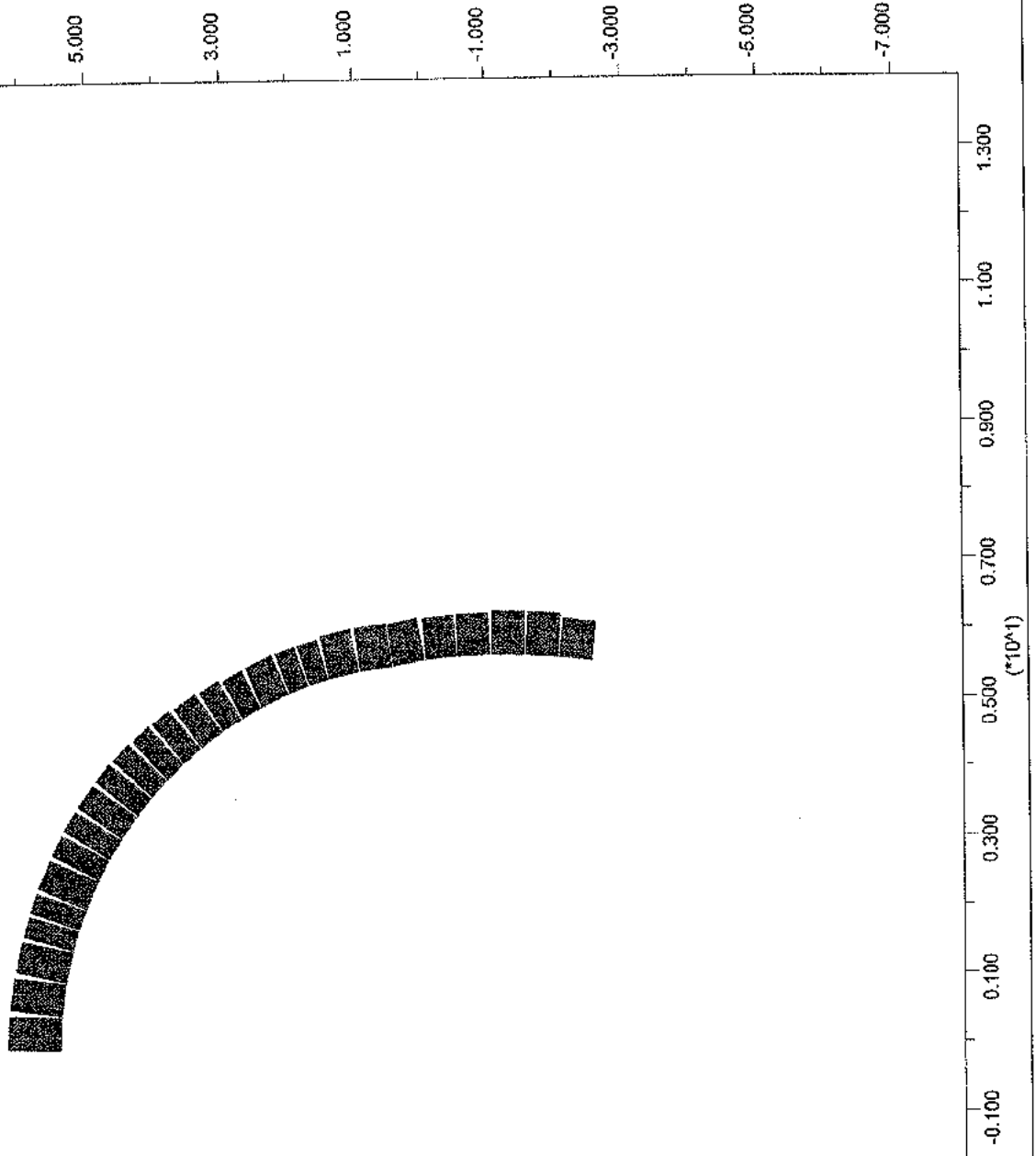
-8.000E+00 <y< 8.000E+00

Preriv. Sforzo normale [N/m]

■ Axial Force on

Structure Max. Value

# 1 (Beam) 9.834E+05



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/1 - "TIME 3"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

18-Feb-04 16:21

step 19559

-2.000E+00 <x< 1.400E+01

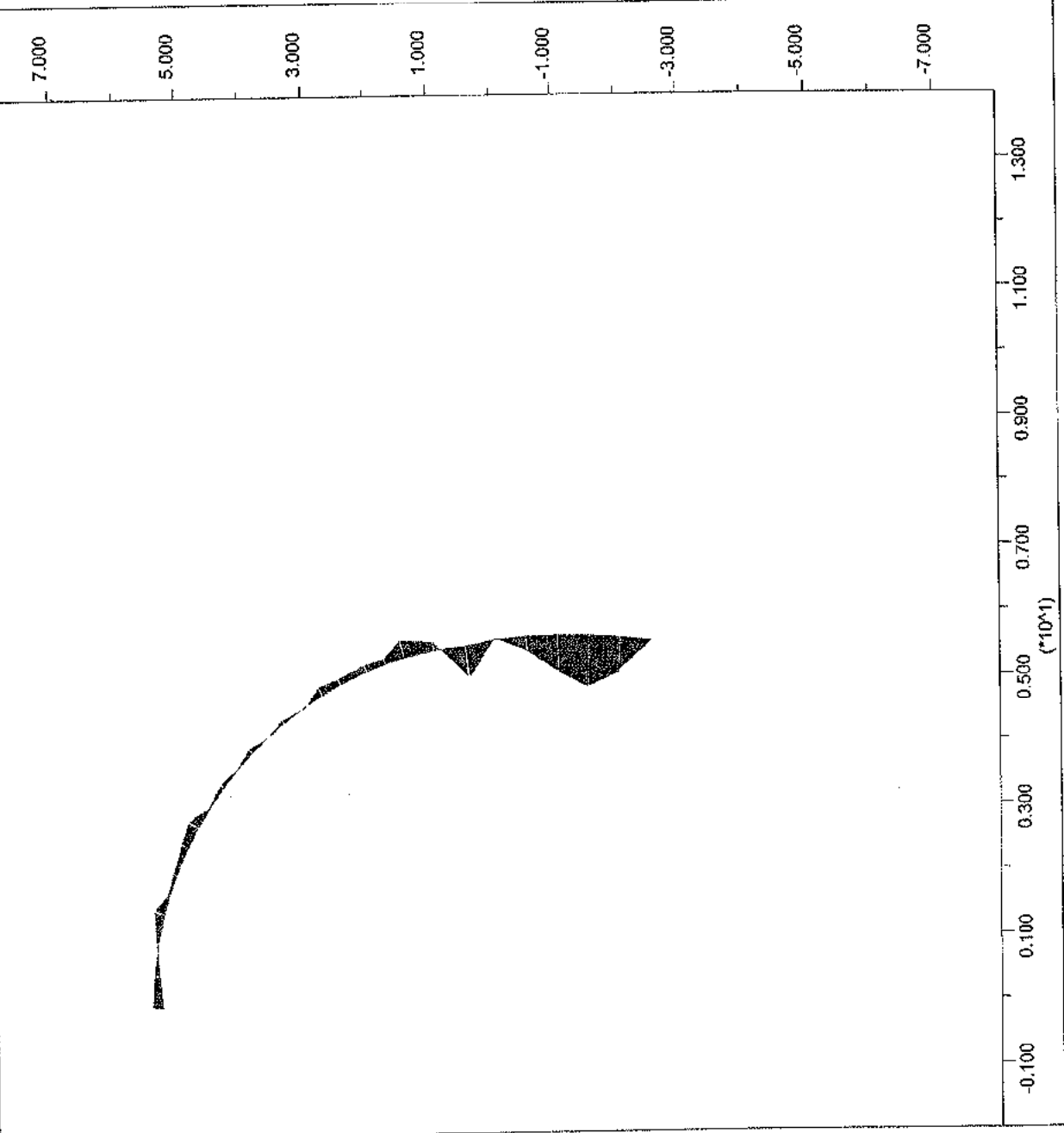
-8.000E+00 <y< 8.000E+00

Preriv. Momento flettente [N\*m/m]

■ Moment on

Structure Max. Value

# 1 (Beam) -2.059E+04



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/1 - "TIME 4"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

18-Feb-04 16:21

step 21987

-2.000E+00 <x< 2.400E+01

-1.200E+01 <y< 1.400E+01

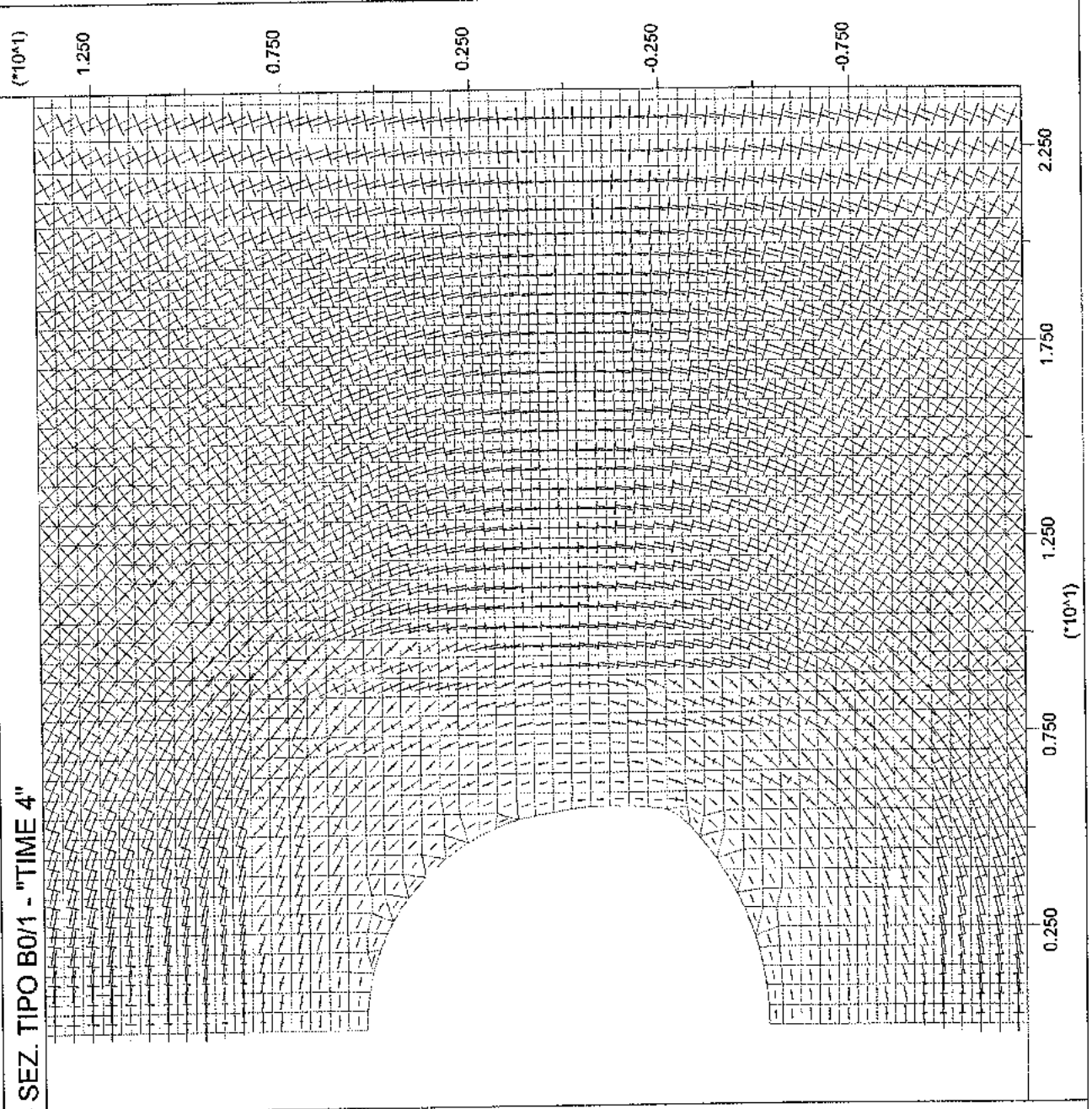
Principal stresses

Max. Value = -8.238E+03

Min. Value = -2.501E+07



Tensioni principali : Pa



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

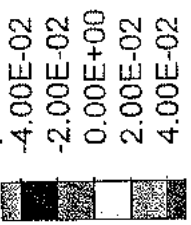
JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/1 - "TIME 4"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

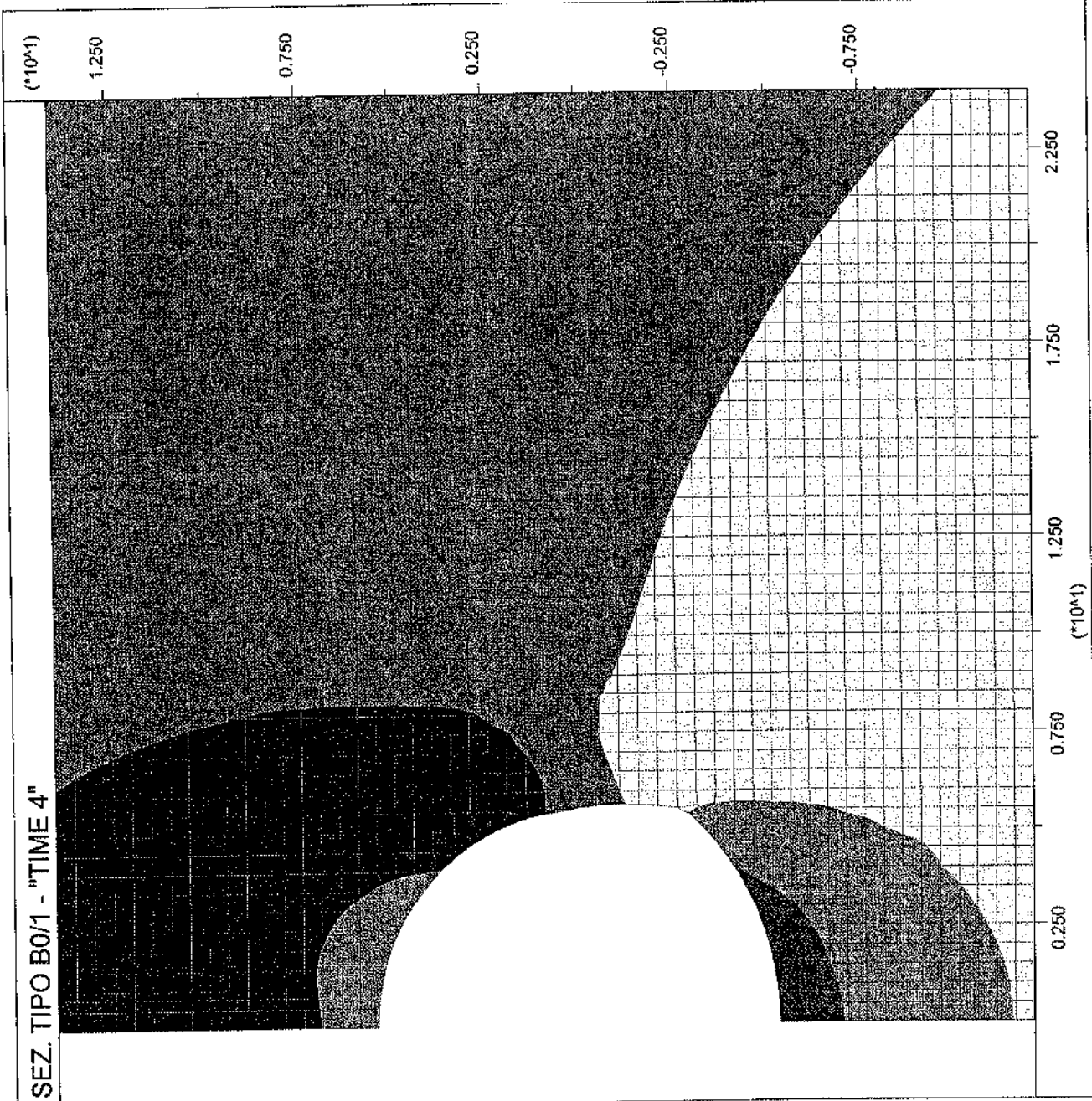
18-Feb-04 16:21  
step 21987  
-2.000E+00 <x< 2.400E+01  
-1.200E+01 <y< 1.400E+01

Y-displacement contours



Contour interval= 2.00E-02

Spostamenti verticali



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

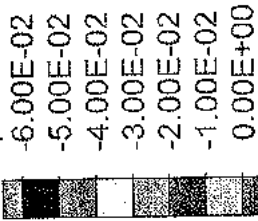
JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/1 - "TIME 4"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

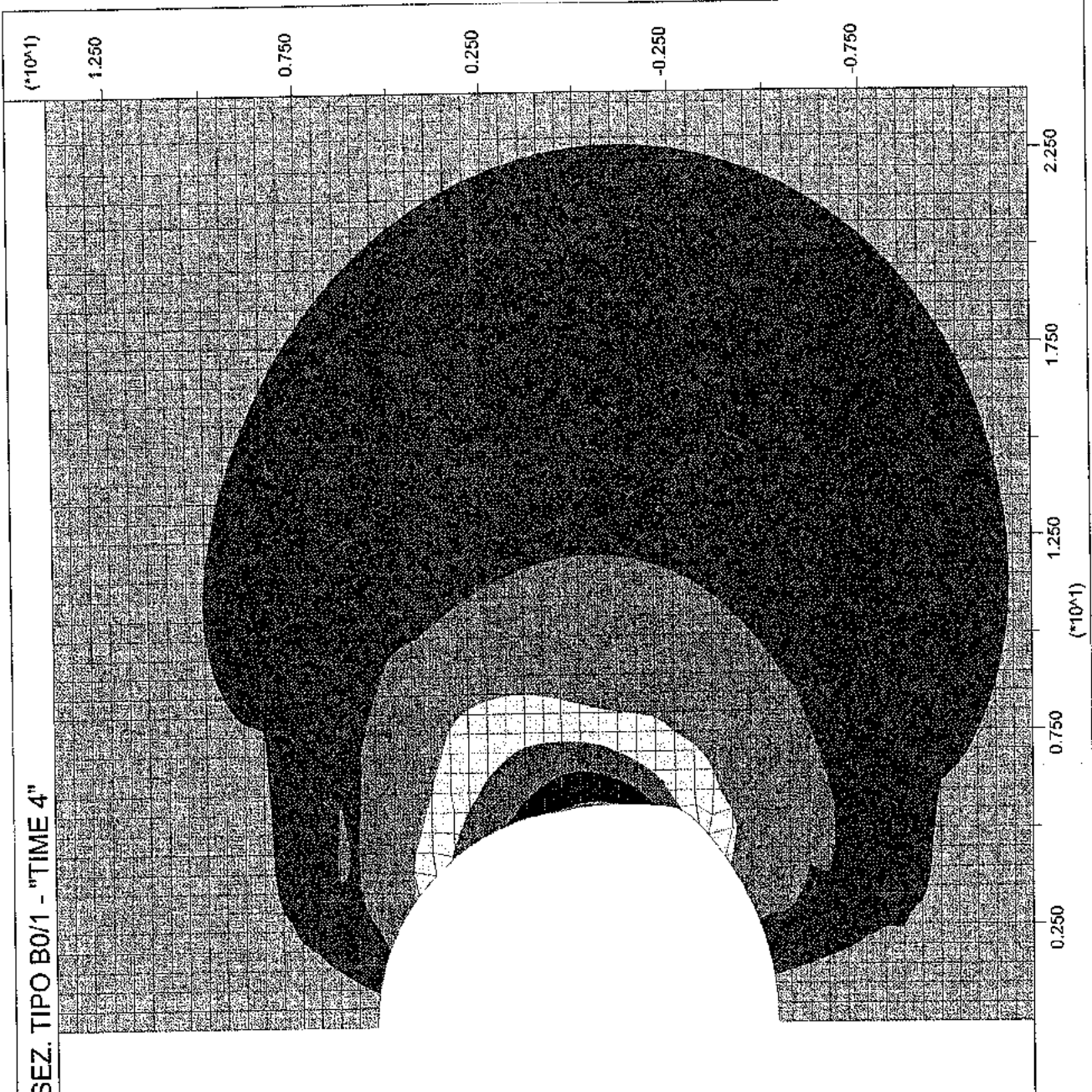
18-Feb-04 16:21  
step 21987  
-2.000E+00 <x< 2.400E+01  
-1.200E+01 <y< 1.400E+01

X-displacement contours



Contour interval= 1.00E-02

Spostamenti orizzontali



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

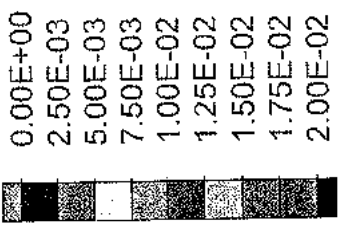
JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/1 - "TIME 4"

**FLAC (Version 4.00)**

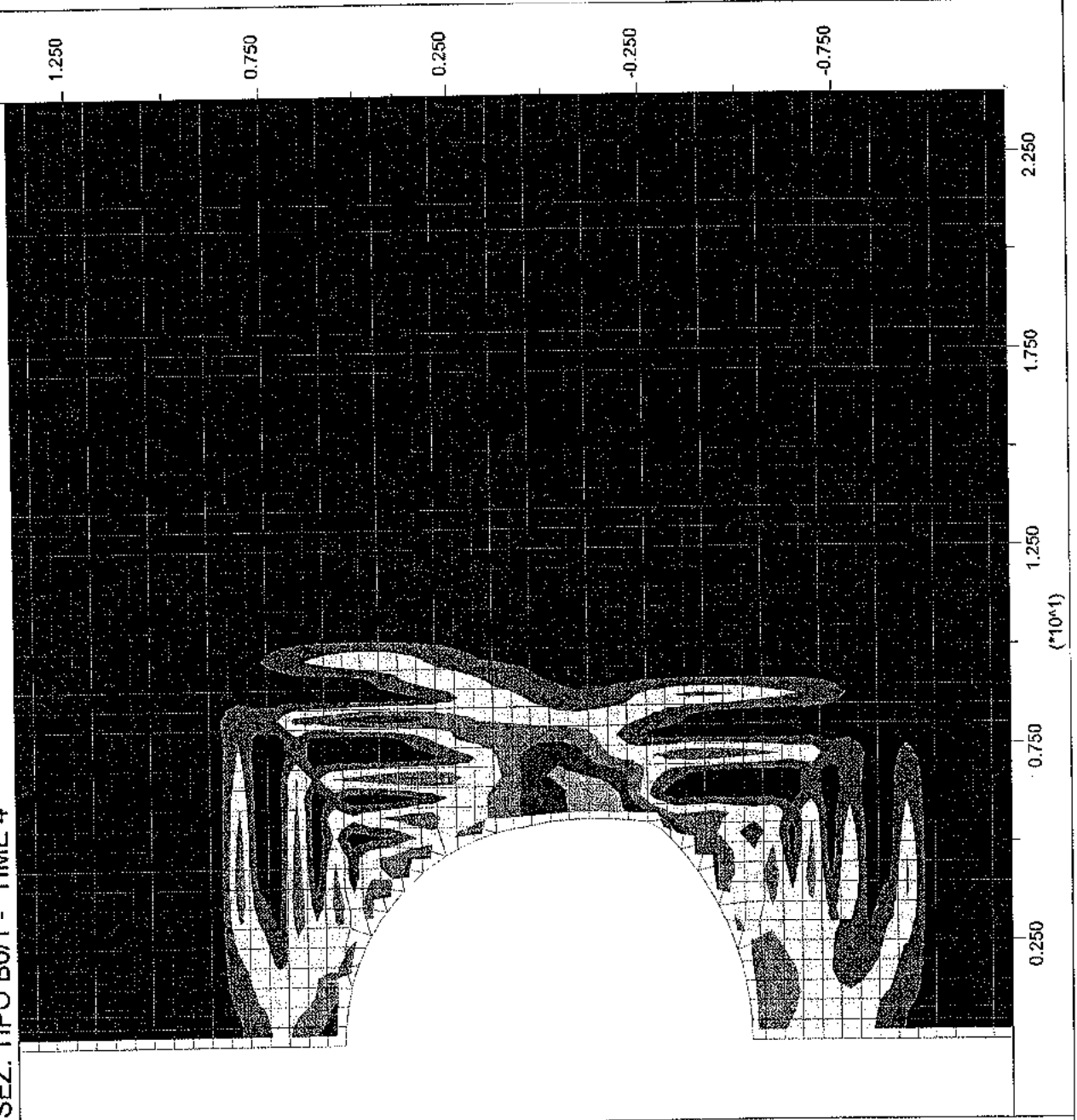
LEGEND

18-Feb-04 16:21  
step 21987  
-2.00E+00 <x< 2.40E+01  
-1.20E+01 <y< 1.40E+01

Max. shear strain increment



Contour interval= 2.50E-03  
Deformazioni plastiche per taglio



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/1 - "TIME 4"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

18-Feb-04 16:21

step 21987

-2.000E+00 <x< 1.400E+01

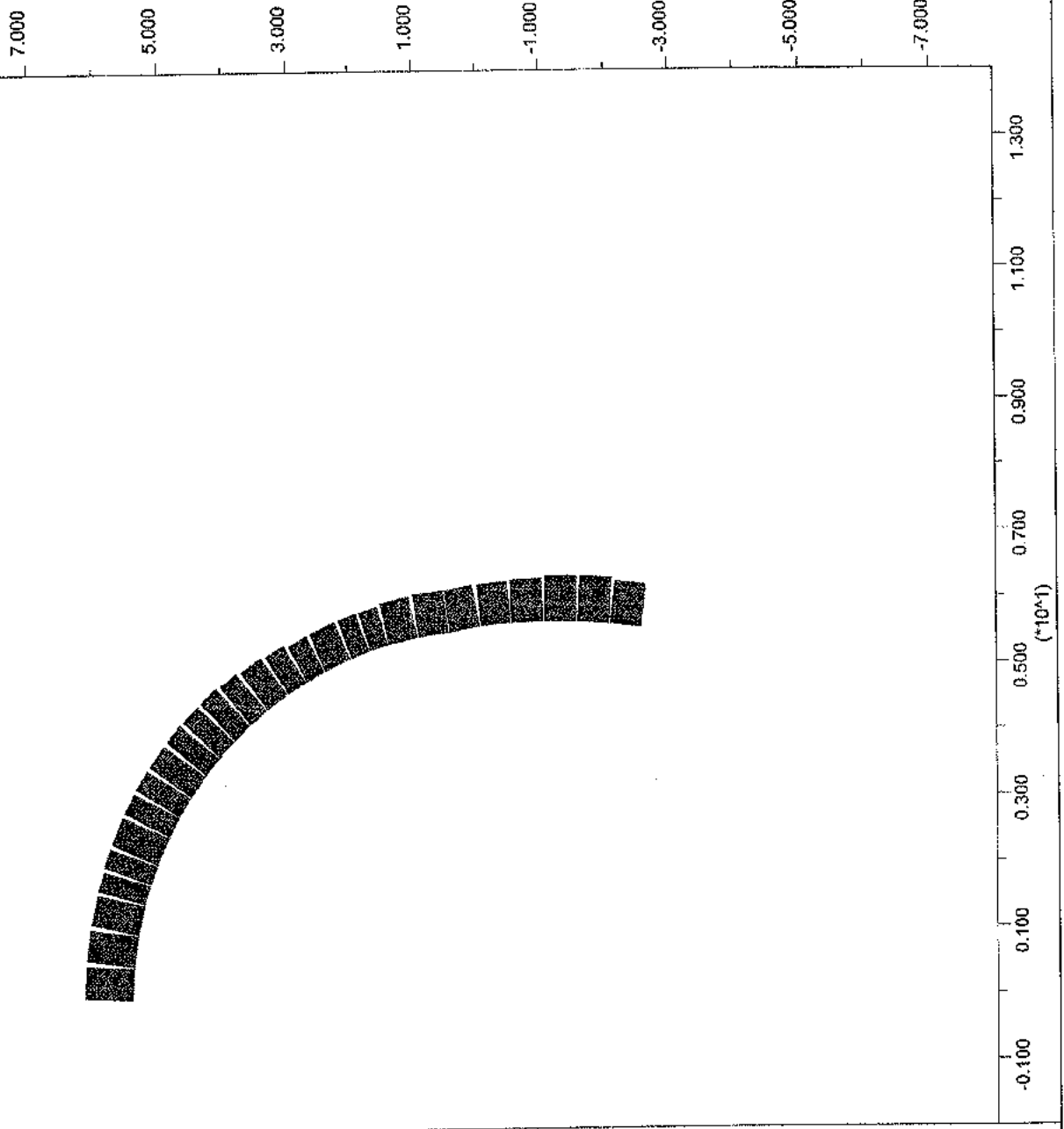
-8.000E+00 <y< 8.000E+00

Preriv. Sforzo normale [N/m]

■ Axial Force on

Structure Max. Value

# 1 (Beam) 1.534E+06



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/1 - "TIME 4"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

18-Feb-04 16:21

step 21987

-2.000E+00 <x< 1.400E+01

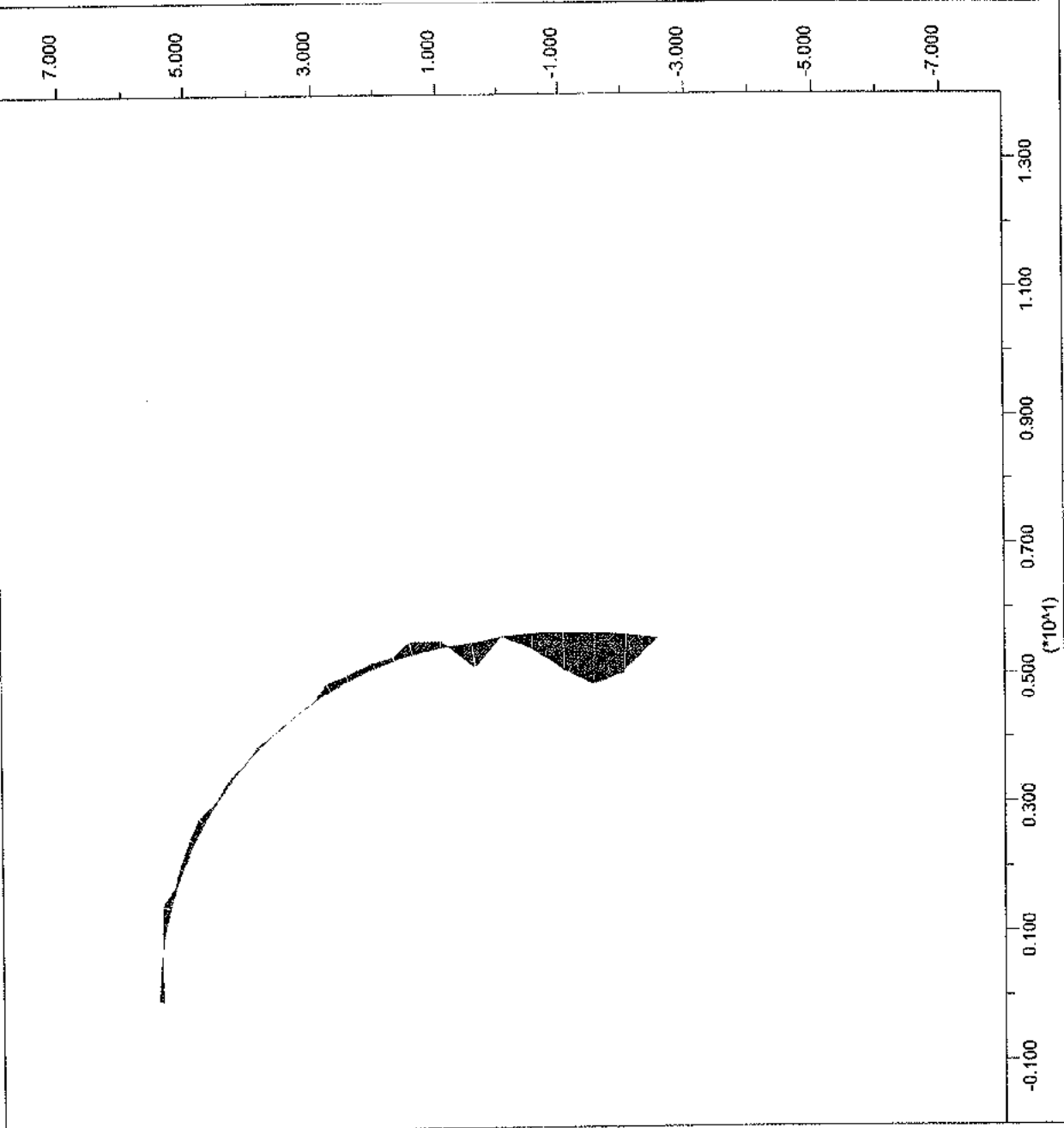
-8.000E+00 <y< 8.000E+00

Prinv. Momento flettente [N\*m/m]

■ Moment on

Structure Max. Value

# 1 (Beam ) -4.235E+04



itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA



JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/1 - "TIME 4"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

18-Feb-04 16:21

step 21987

-2.000E+00 <x< 1.400E+01

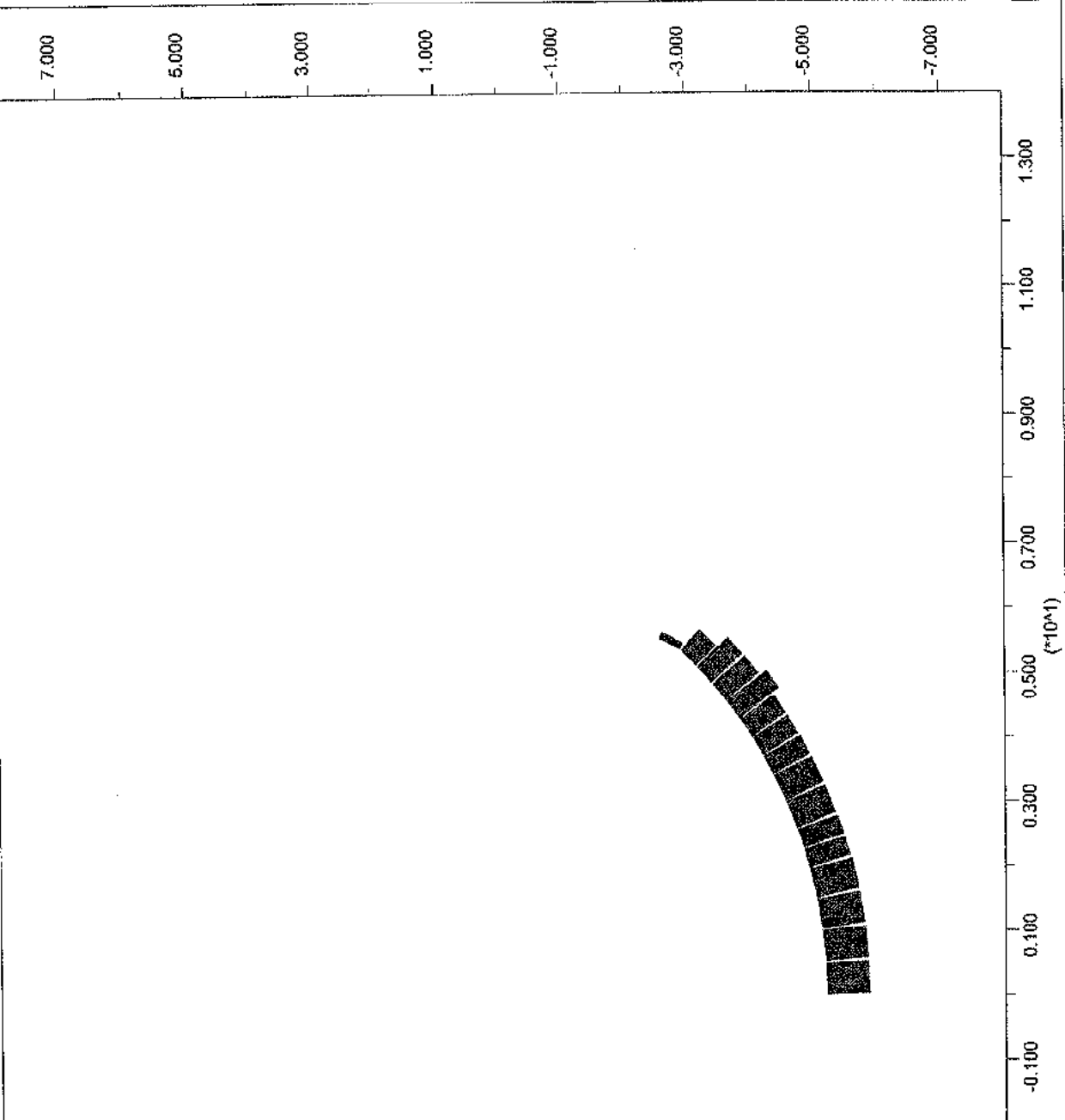
-8.000E+00 <y< 8.000E+00

A.R. Sforzo normale [N/m]

■ Axial Force on

Structure Max. Value

# 2 (Beam ) 9.405E+05



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/1 - "TIME 4"


**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

18-Feb-04 16:21  
step 21987

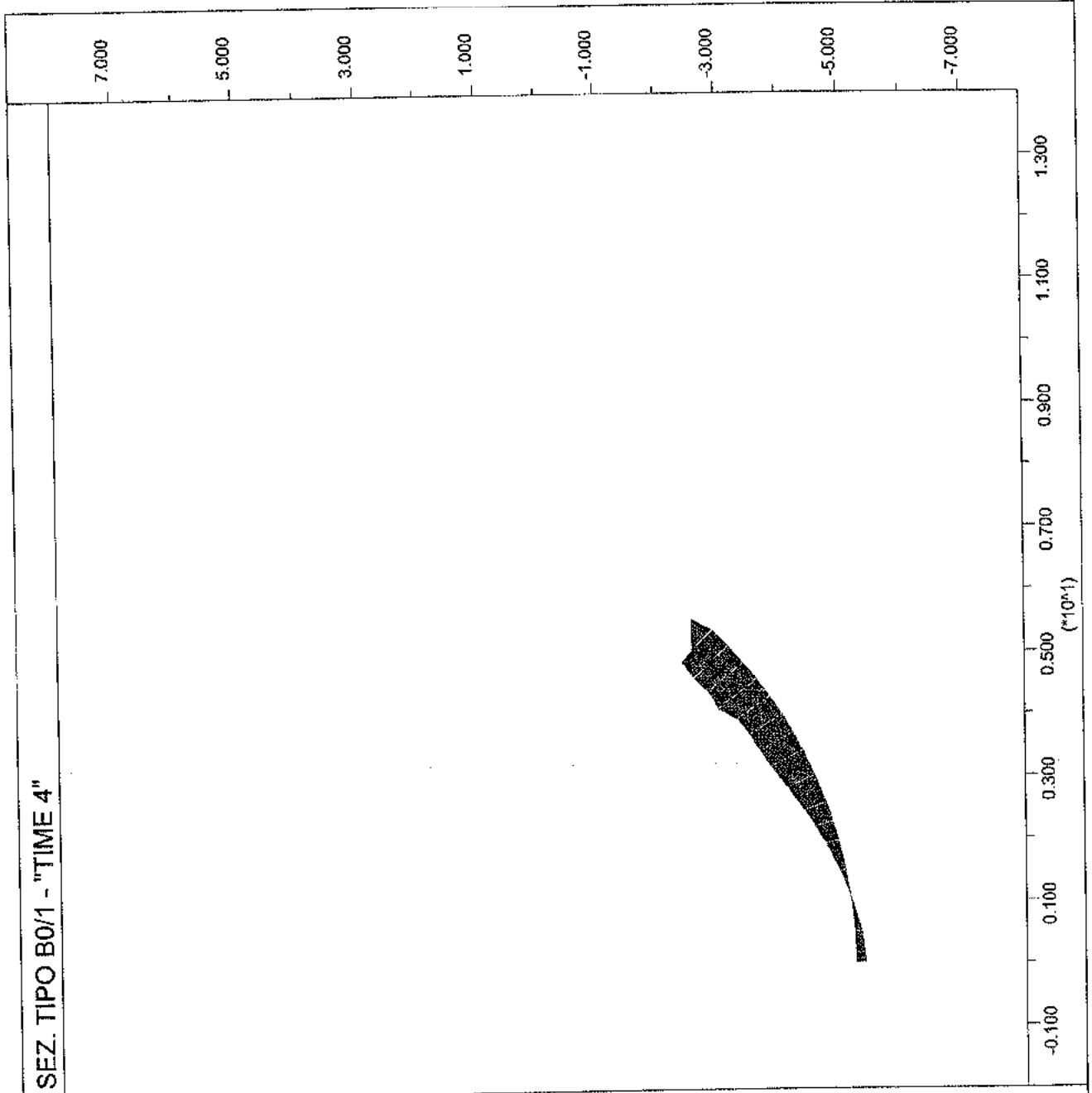
-2.000E+00 <x< 1.400E+01  
-8.000E+00 <y< 8.000E+00

A.R. Momento flettente [N\*m/m]

 Moment on

Structure Max. Value

# 2 (Beam) -1.096E+05



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/1 - "TIME 5"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

18-Feb-04 16:24

step 22716

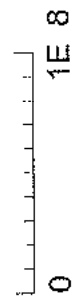
-2.000E+00 <x< 2.400E+01

-1.200E+01 <y< 1.400E+01

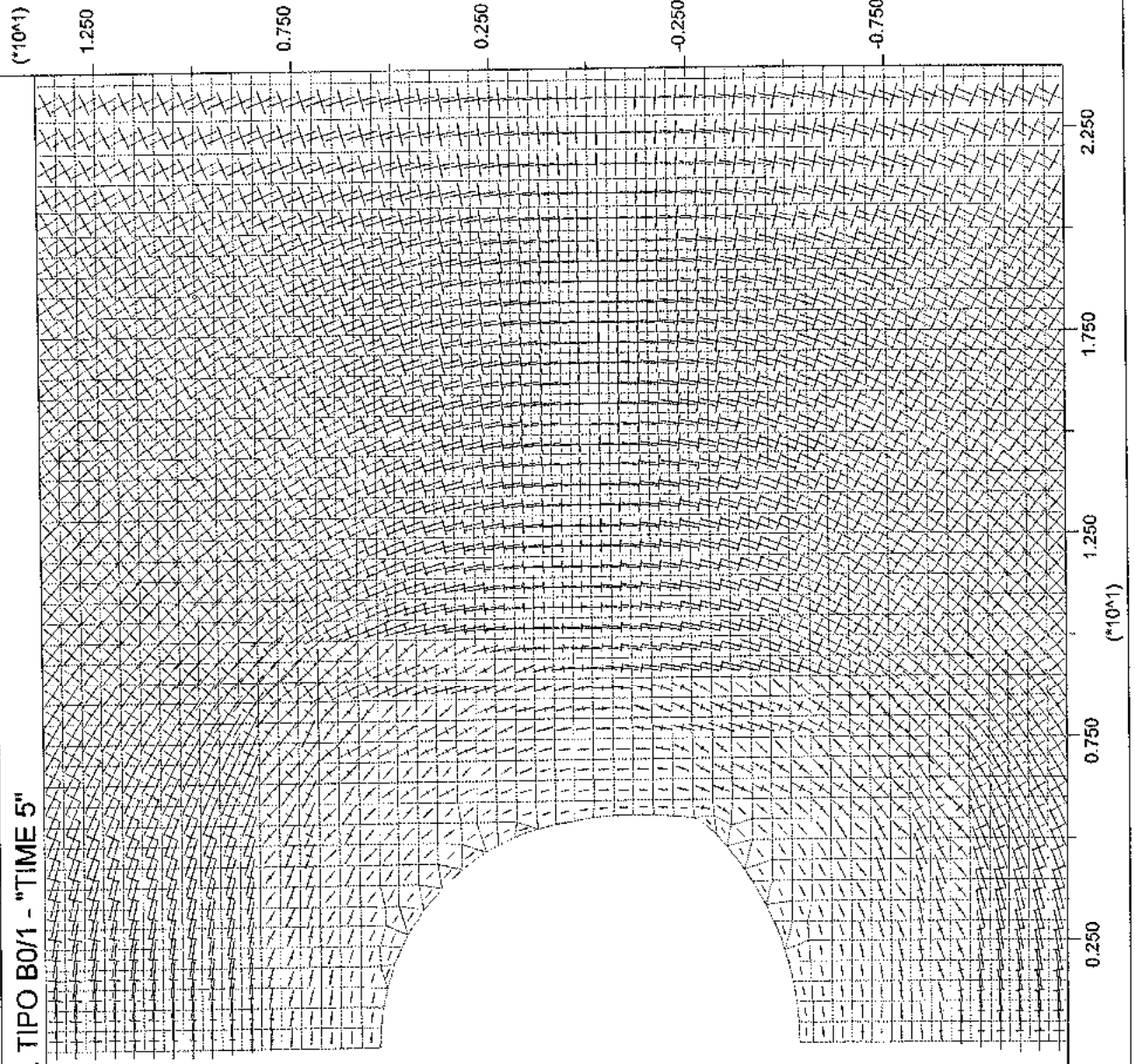
Principal stresses

Max. Value = -4.853E+04

Min. Value = -2.501E+07



Tensioni principali : Pa



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

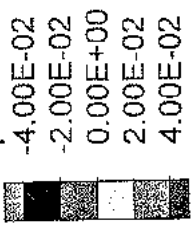
JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/1 - "TIME 5"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

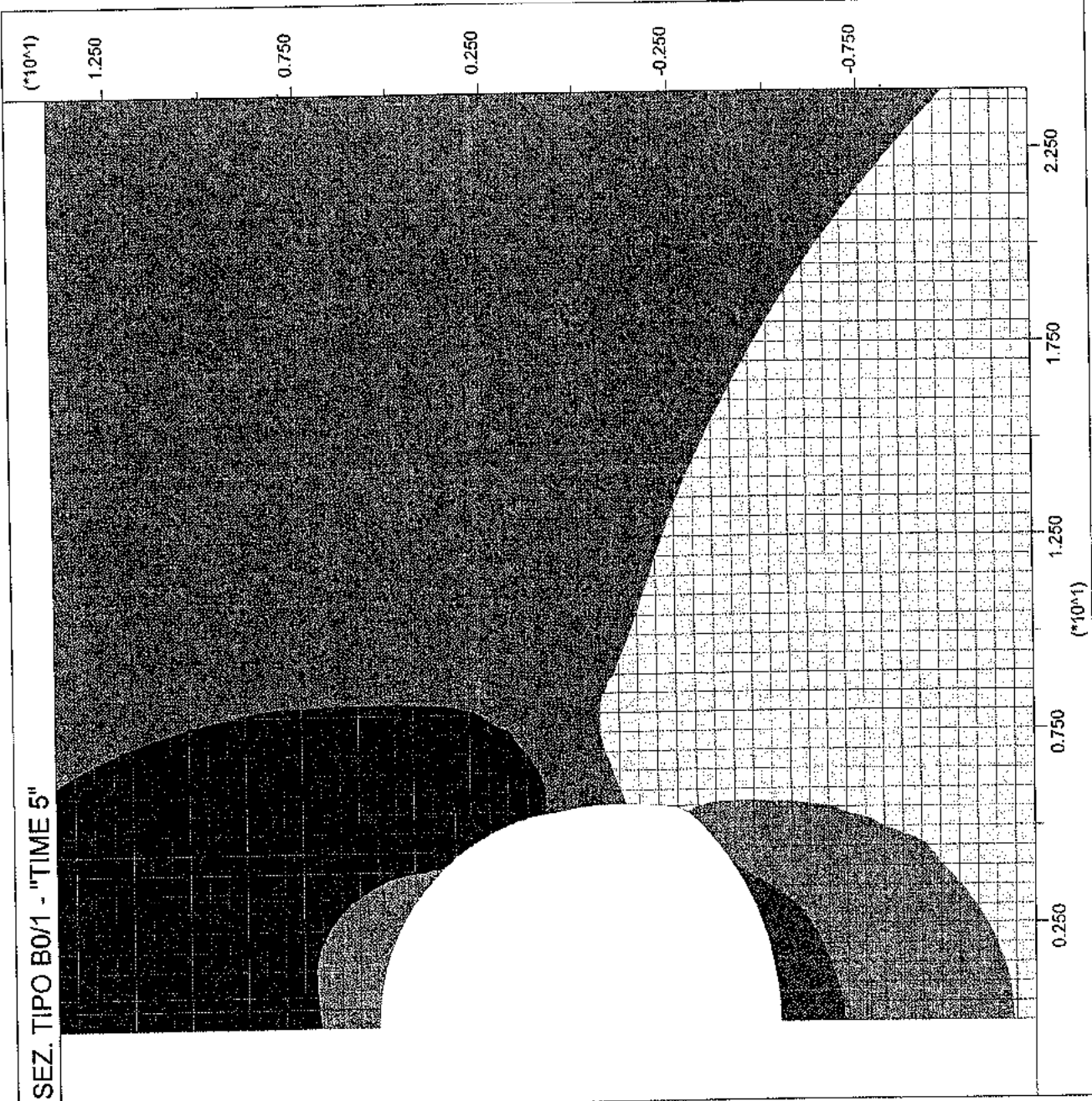
18-Feb-04 16:24  
step 22716  
-2.000E+00 <x< 2.400E+01  
-1.200E+01 <y< 1.400E+01

Y-displacement contours



Contour interval= 2.00E-02

Spostamenti verticali



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/1 - "TIME 5"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

18-Feb-04 16:24

step 22716

-2.000E+00 <x< 2.400E+01

-1.200E+01 <y< 1.400E+01

X-displacement contours

-6.00E-02

-5.00E-02

-4.00E-02

-3.00E-02

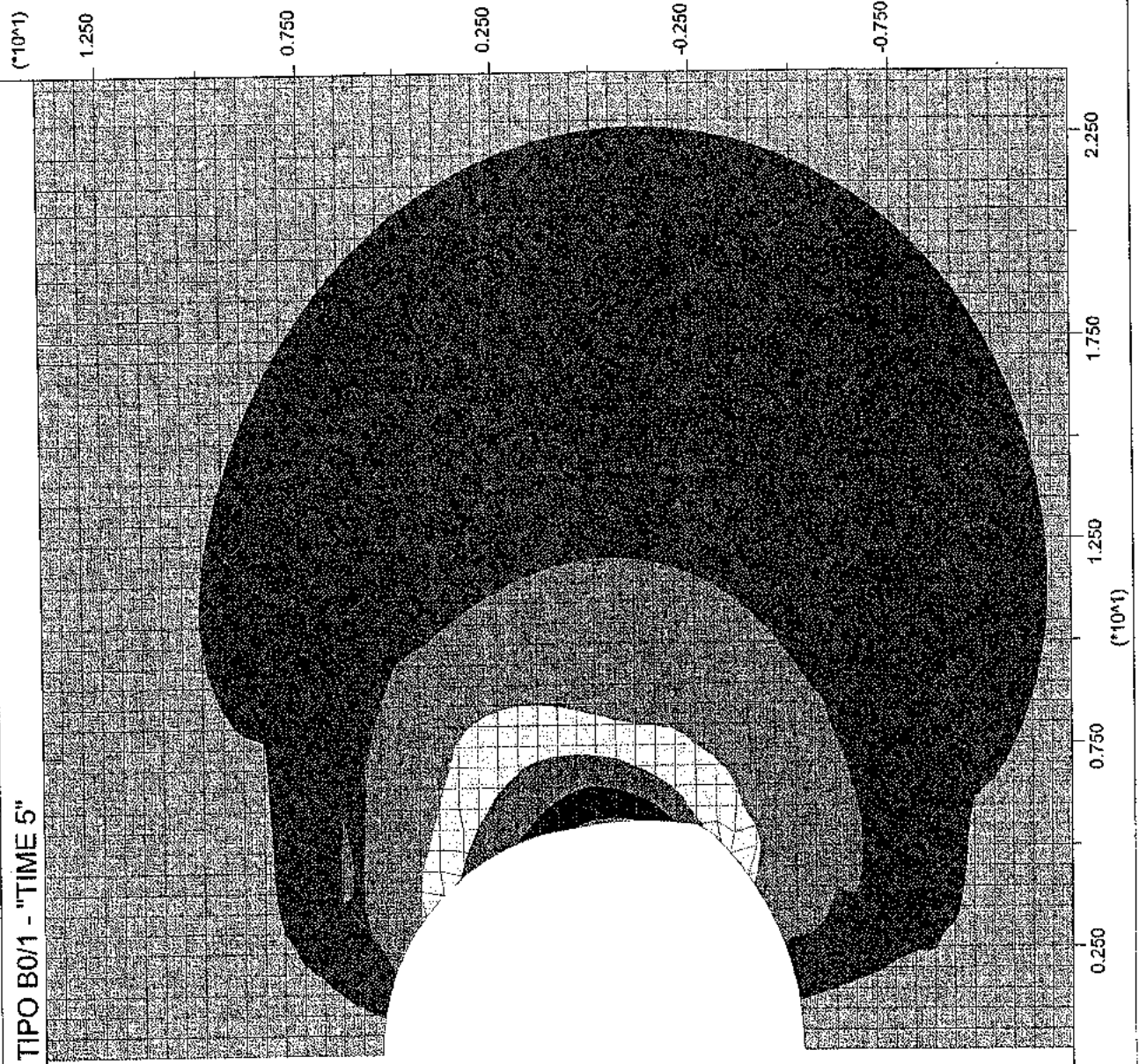
-2.00E-02

-1.00E-02

0.00E+00

Contour interval= 1.00E-02

Spostamenti orizzontali



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

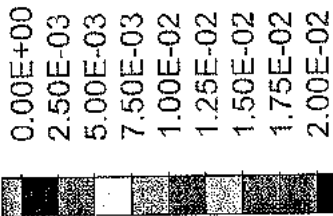
JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/1 - "TIME 5"

### FLAC (Version 4.00)

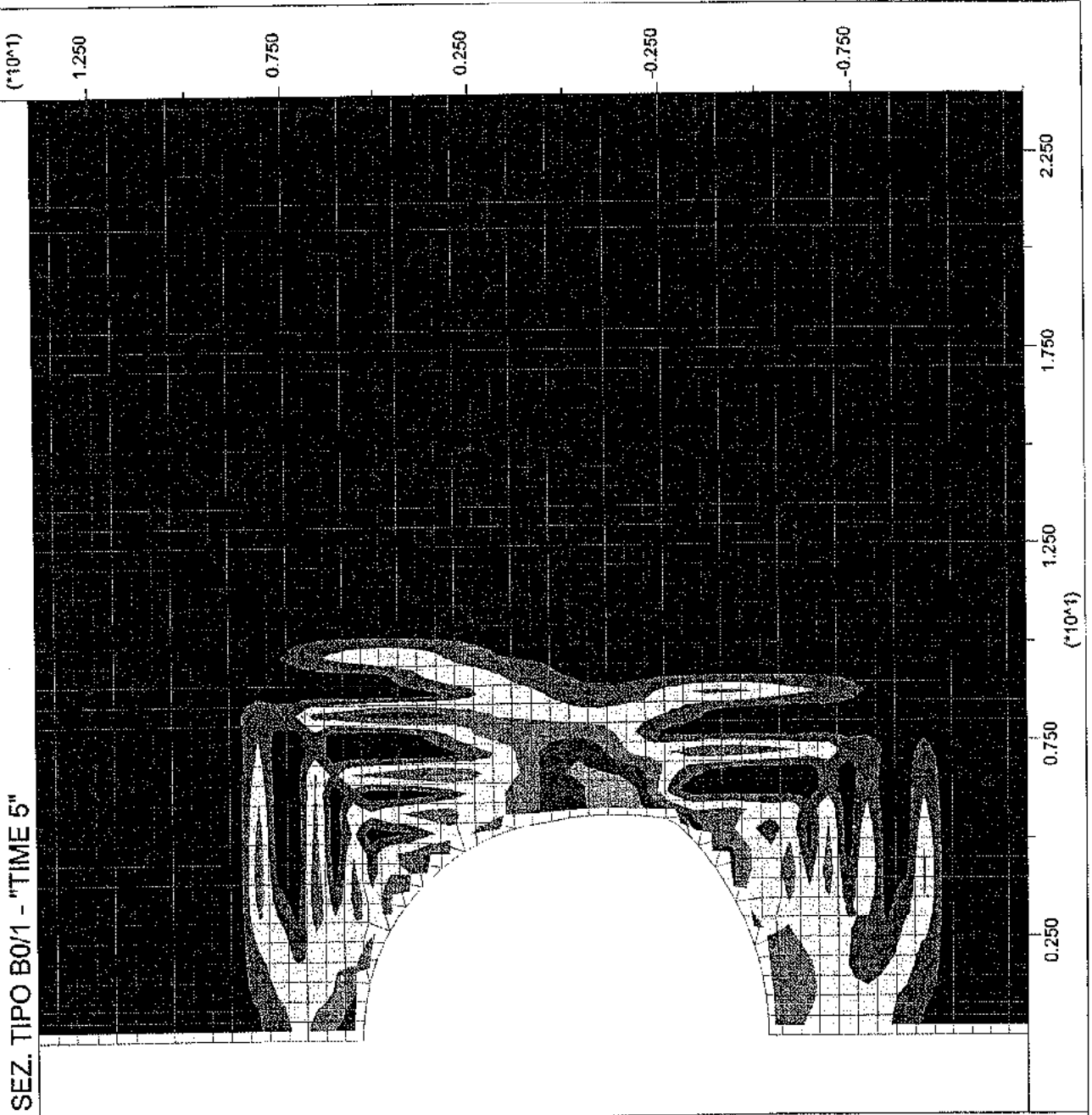
#### LEGEND

18-Feb-04 16:24  
step 22716  
-2.000E+00 <x< 2.400E+01  
-1.200E+01 <y< 1.400E+01

Max. shear strain increment



Contour interval= 2.50E-03  
Deformazioni plastiche per taglio



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/1 - "TIME 5"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

18-Feb-04 16:24

step 22716

-2.000E+00 <x< 1.400E+01

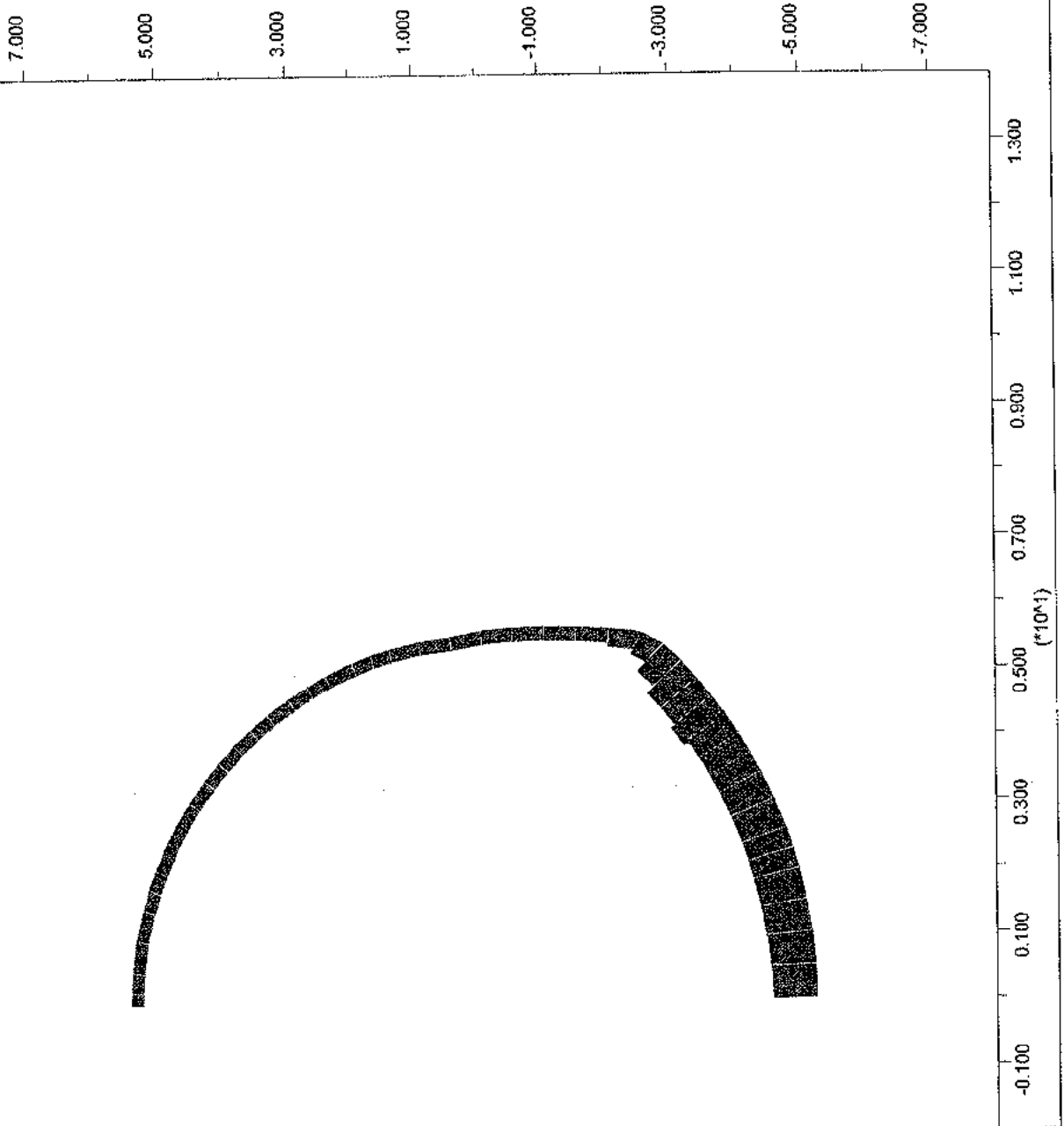
-8.000E+00 <y< 8.000E+00

Riv. def. - Sforzo normale [N/m]

■ Axial Force on

Structure Max. Value

# 2 (Beam ) 1.381E+06



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/1 - "TIME 5"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

18-Feb-04 16:24

step 22716

-2.000E+00 <x< 1.400E+01

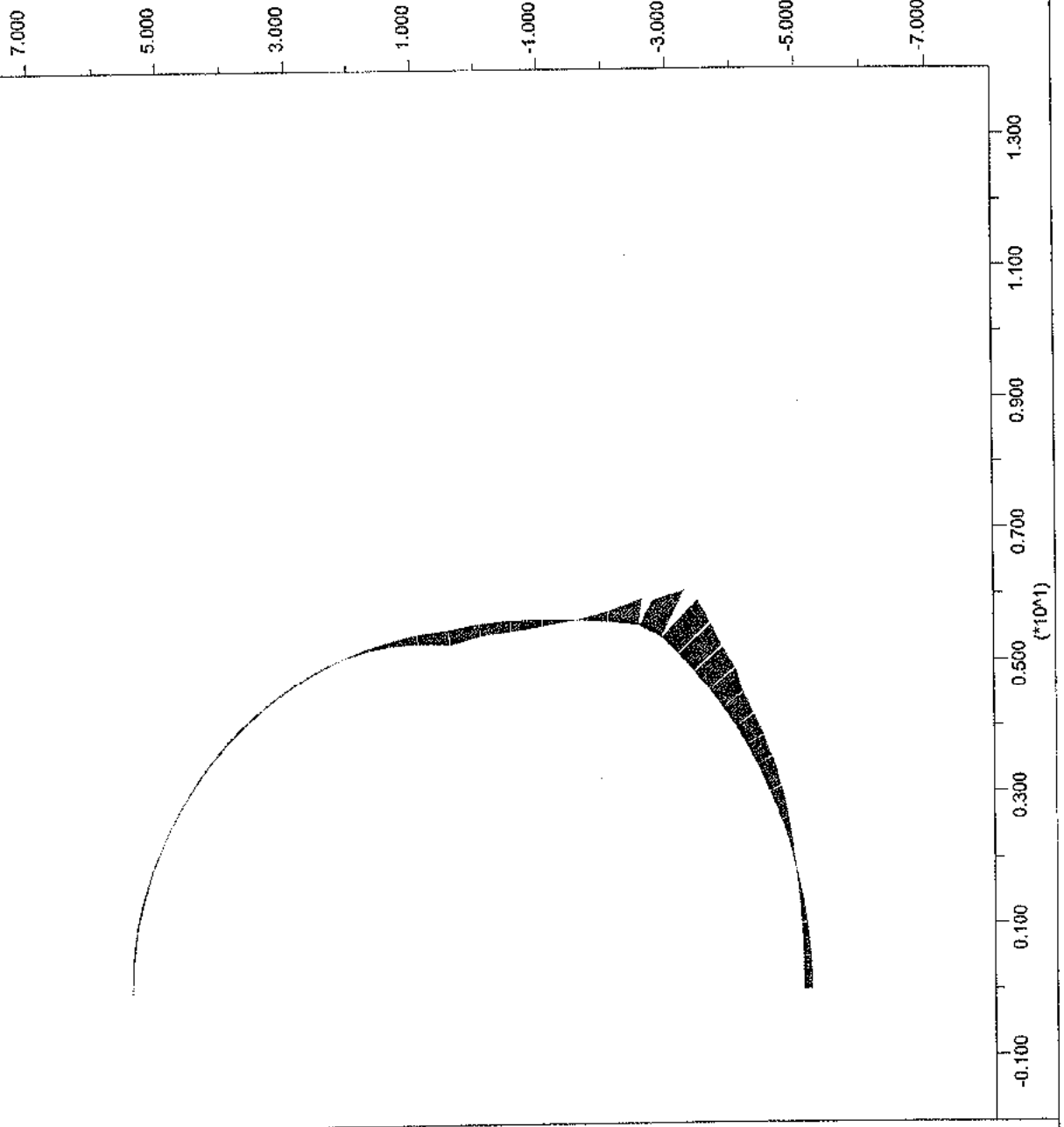
-8.000E+00 <y< 8.000E+00

Riv. def. - Momento flettente [N\*m/m]

■ Moment on

Structure Max. Value

# 2 (Beam ) -2.057E+05



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA



JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/1 - "TIME 6"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

18-Feb-04 16:24

step 23570

-2.000E+00 <x< 2.400E+01

-1.200E+01 <y< 1.400E+01

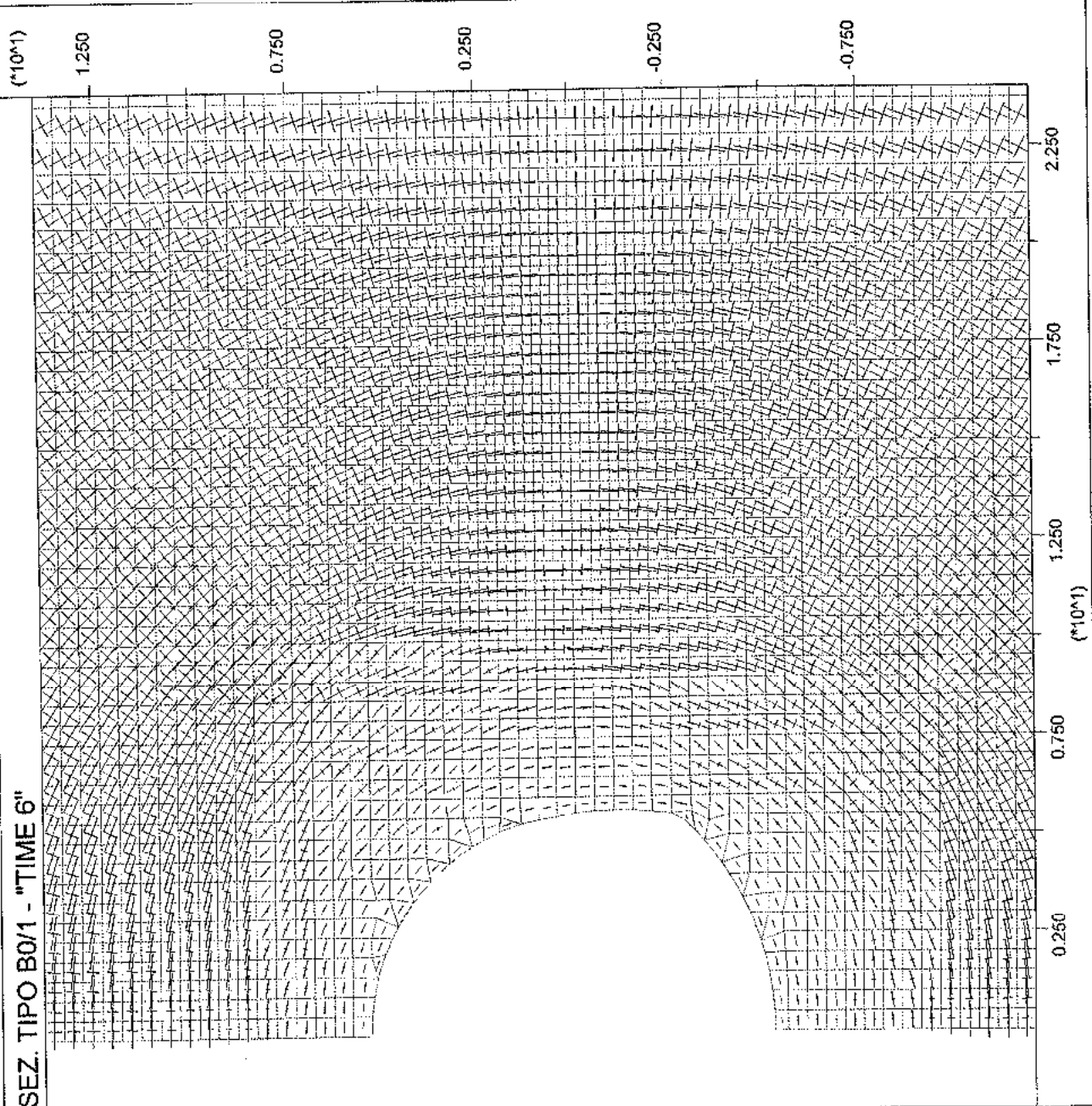
Principal stresses

Max. Value = -1.147E+05

Min. Value = -2.506E+07



Tensioni principali : Pa



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/1 - "TIME 6"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

18-Feb-04 16:24

step 23570

-2.000E+00 <x< 2.400E+01

-1.200E+01 <y< 1.400E+01

Y-displacement contours

-4.00E-02

-2.00E-02

0.00E+00

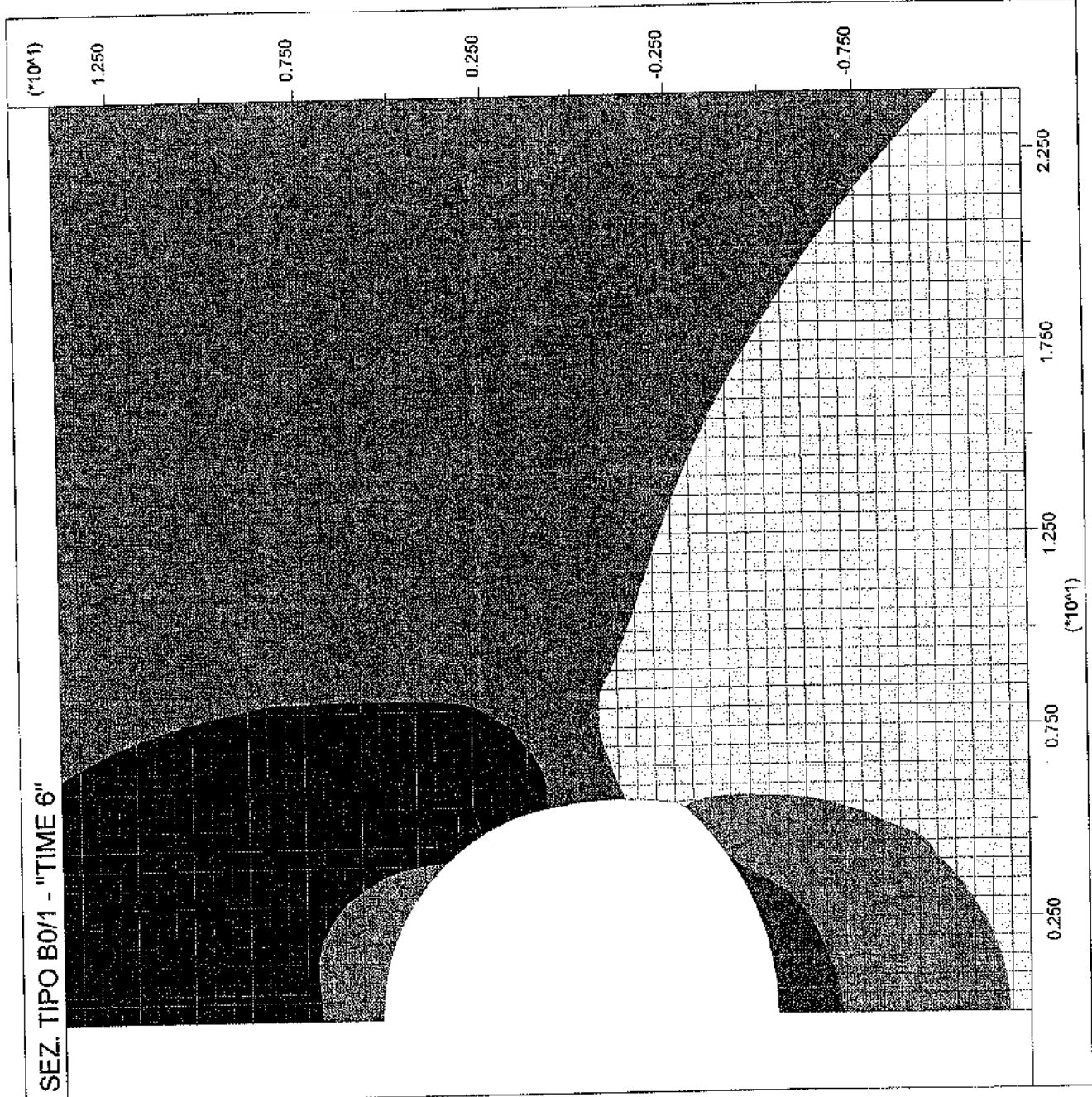
2.00E-02

4.00E-02



Contour interval= 2.00E-02

Spostamenti verticali



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/1 - "TIME 6"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

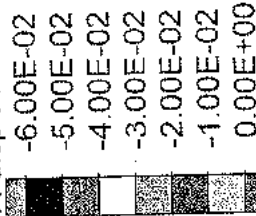
18-Feb-04 16:24

step 23570

-2.000E+00 <x< 2.400E+01

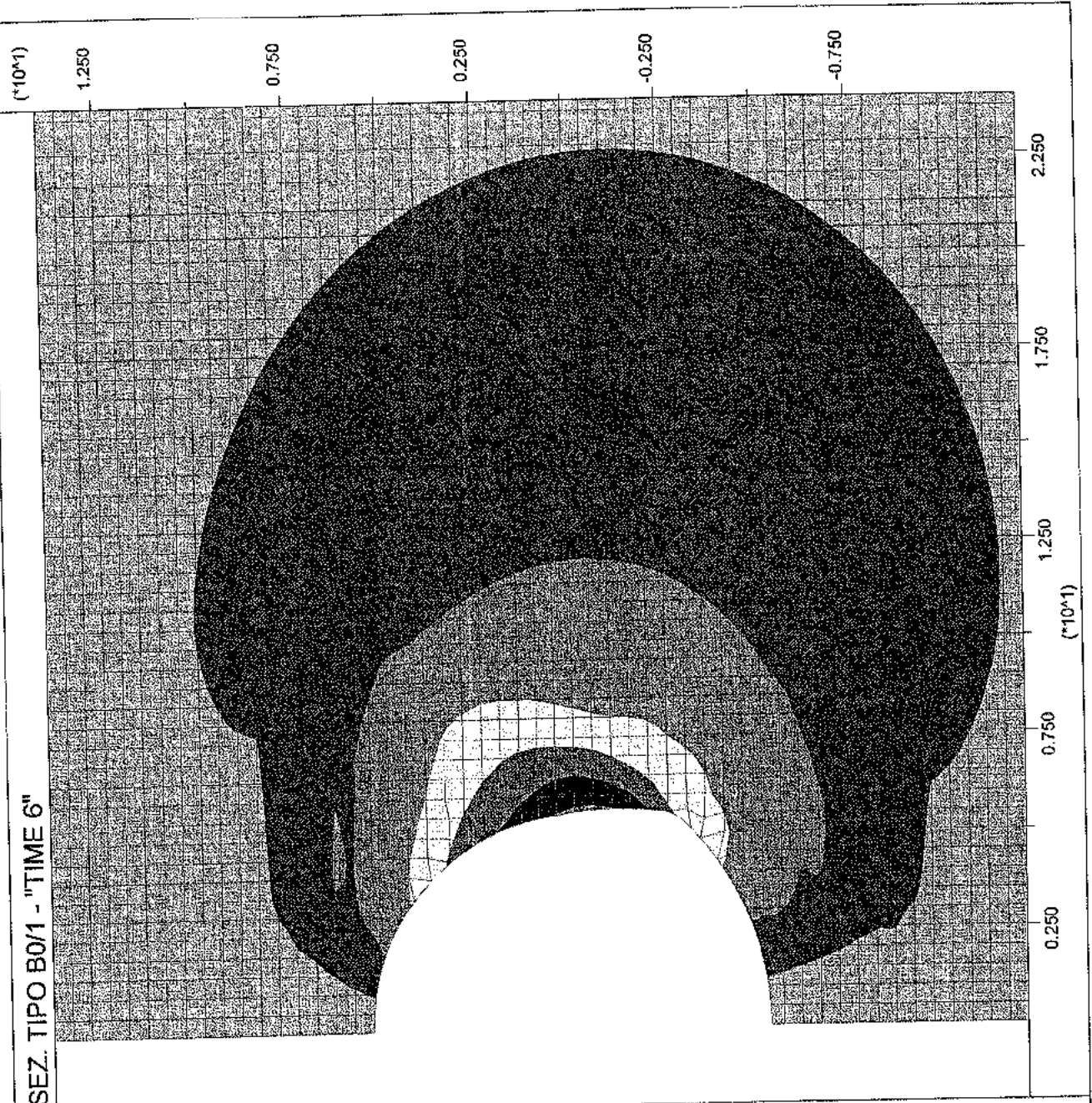
-1.200E+01 <y< 1.400E+01

X-displacement contours



Contour interval= 1.00E-02

Spostamenti orizzontali



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/1 - "TIME 6"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

18-Feb-04 16:24

step 23570

-2.000E+00 <x< 2.400E+01

-1.200E+01 <y< 1.400E+01

Max. shear strain increment

0.00E+00

2.50E-03

5.00E-03

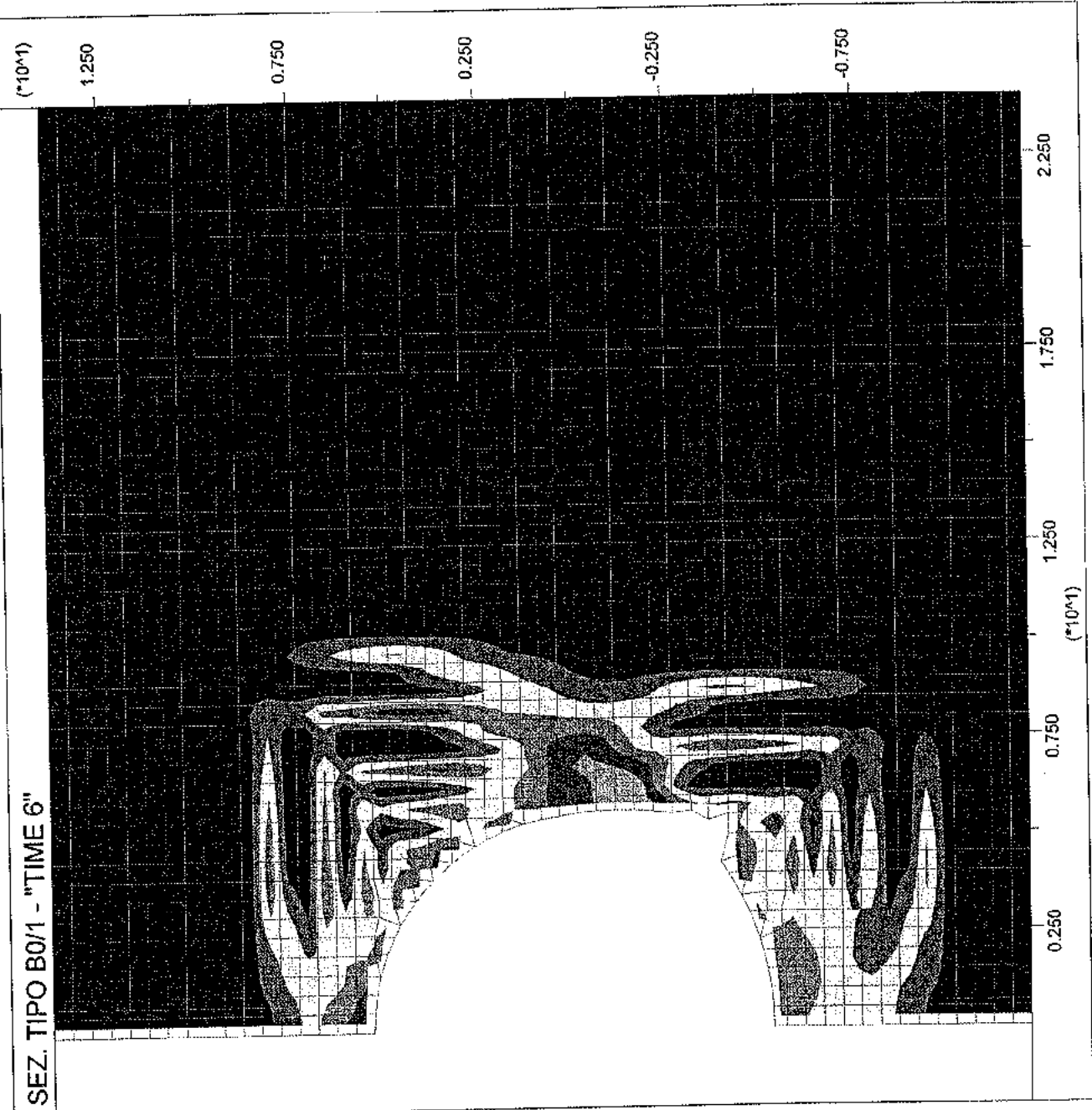
7.50E-03

1.00E-02

1.25E-02

Contour interval= 2.50E-03

Deformazioni plastiche per taglio



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/1 - "TIME 6"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

18-Feb-04 16:24

step 23570

-2.000E+00 <x< 1.400E+01

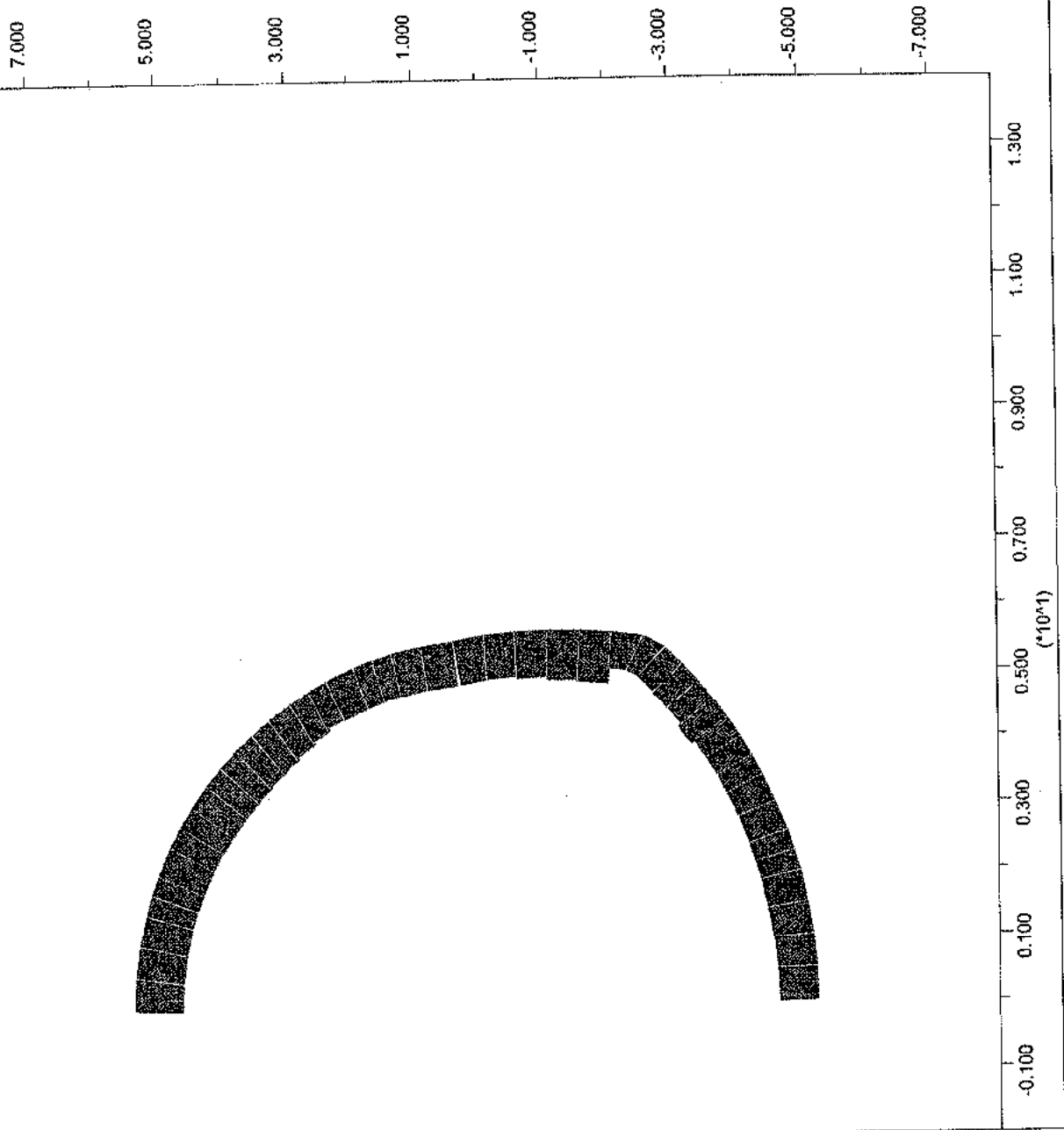
-8.000E+00 <y< 8.000E+00

Riv. def. - Sforzo normale [N/m]

■ Axial Force on

Structure Max. Value

# 1 (Beam) 1.750E+06



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/1 - "TIME 6"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND


18-Feb-04 16:24

step 23570

-2.000E+00 <x< 1.400E+01

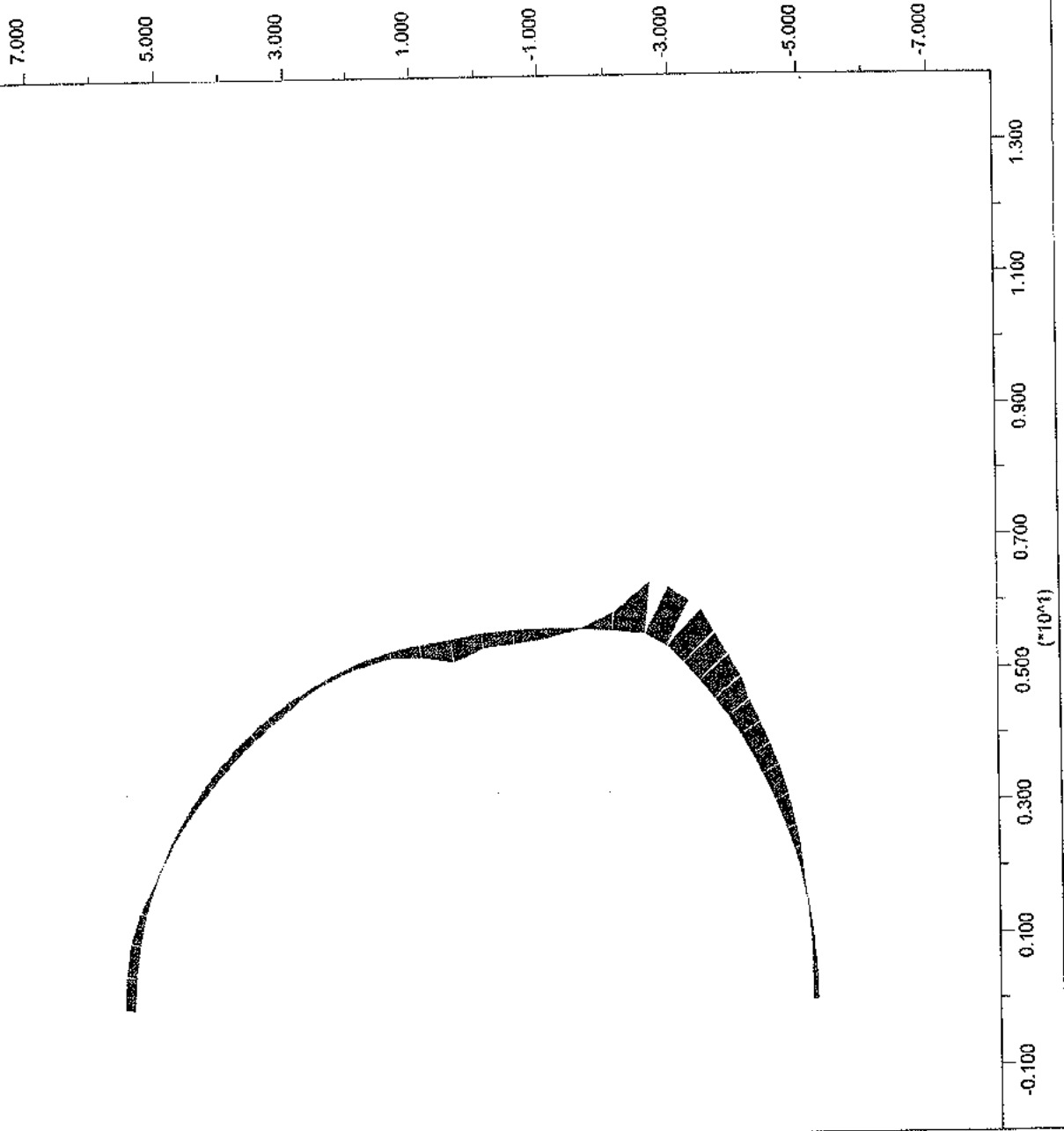
-8.000E+00 <y< 8.000E+00

Riv. def. - Momento flettente [N\*m/m]

 Moment on

Structure Max. Value

# 1 (Beam ) -2.124E+05



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

## **Calcolo FLAC – Sezione tipo B0/2**

# ANALISI FLAC

## Sezione tipo B0/2 - Ap gruppo 1

### Input Analisi alle Differenze Finite FLAC

Geometria	
Copertura (m)	600.00
Altezza falda statica (m)	0.00
Coefficiente efficienza drenaggio	0.20
Altezza falda dinamica (m)	0.00
Raggio scavo (m)	3.50

Parametri geomeccanici	1° strato		2° strato	
	Picco	Residuo	Picco	Residuo
Valori di picco e residuo	27	27		
Peso di volume (kN/m <sup>3</sup> )	36	30		
Angolo attrito (°)	1.60	1.2		
Coeficiente di Poisson	5.35	5.35		
Modulo di Poisson	0.30	0.30		
Modulo di deformazione volumetrica (Bulk modulus) (GPa)	4.46	4.46		
Modulo elastico tangenziale (Shear modulus) (GPa)	2.06	2.06		
Modello costitutivo	Sloan-Sorrening			

Materiali					
Spritz-beton	f <sub>cm</sub> (MPa)	g (m)	E <sub>spz</sub> (MPa)	E <sub>spz</sub> (MPa)	h <sub>t</sub> (cm)
	25	0.30	28500	28500	2.25E+03
Centine	Tipo	p (m)	A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> )	h (cm)	J <sub>ax</sub> (cm <sup>4</sup> )
	HEB200	1.00	78.1	20.00	5898.0
Rivestimenti	R <sub>cs</sub> (MPa)	S (m)	E <sub>spz</sub> (MPa)	Armato	Ø
A.R.	25	1.00	28500		Ø
Calotta	25	0.80	28500		Ø

### LEGENDA SIMBOLI

- f<sub>cm</sub> - resistenza media cilindrica a compressione dello spritz-beton
- g - spessore dello spritz-beton
- E<sub>spz</sub> - moduli elastici intermedi dello spritz-beton
- E<sub>spz</sub> - modulo elastico finale dello spritz-beton
- h<sub>t</sub> - momento di inerzia dello spritz-beton
- p - passo centine
- A<sub>s</sub> - area del profilo della singola centina
- h - altezza del profilo centina
- J<sub>ax</sub> - momento di inerzia del profilo delle singole centine
- R<sub>cs</sub> - resistenza caratteristica cubica a compressione del cls
- S - spessore del rivestimento dell'itico
- E<sub>spz</sub> - modulo elastico del cls matricato
- Ø - Distanza di grata tra rivestimenti definiti a fronte (multiplo del diametro della galiera)
- E<sub>pr</sub> - modulo elastico del pretrattamento

Fasi di calcolo (TIME)	x (m)	x/R	R/Panet	RDEM	E <sub>pr</sub> (MPa)	E <sub>ca</sub> (MPa)
TIME 1 - Geostatico	∞	∞	0.000	0.000	-	-
TIME 2 - Taratura e scavo	0.00	0.000	0.260	0.680	-	-
TIME 3 - Posca centine e SB	1.20	0.218	0.545	0.937	34200	-
TIME 4 - Gatto Muretto e A.R.	30.00	5.455	0.967	0.994	34200	28500
TIME 5 - Gatto calotta	∞	∞	1.000	1.000	-	28500
TIME 6 - Decadimento ammasso e pretrattamento	∞	∞	1.000	1.000	-	28500

### Relazione per il calcolo di R/Panet, RDEM:

$$R = u_0 + (u_{\infty} - u_0) \cdot \left[ 1 - \left( \frac{1}{1 + \frac{x}{0.84 \cdot Rp}} \right)^2 \right]$$

- R = Convergenza radiale ad una distanza di x metri dal fronte espressa come % di u<sub>0</sub>
- u<sub>0</sub> = Convergenza radiale in corrispondenza del fronte espressa come % di u<sub>0</sub>
- u<sub>∞</sub> = Convergenza radiale ad una distanza infinita dal fronte
- Rp = Raggio plastico
- R = Raggio della galiera
- x = distanza tra il fronte e la sezione di calcolo

### TIMES DI CALCOLO

TIME 1 - Geostatico	Viene applicato il peso proprio del terreno accumulato in termini di tensioni ipostatiche la situazione preesistente lo scavo della galiera.
TIME 2 - Taratura e scavo	Viene annullato l'arrivo al fronte di scavo
TIME 3 - Posca centine e SB	Viene simulata la posa in opera delle centine e dello spritz-beton.
TIME 4 - Gatto Muretto e A.R.	Viene simulato il getto delle murate e gettato rovescio e l'avanzamento dello scavo.
TIME 5 - Gatto calotta	Si simula il getto del rivestimento dell'itico di calotta
TIME 6 - Decadimento ammasso e pretrattamento	Si applica un decadimento delle caratteristiche meccaniche del pretrattamento e dell'ammasso



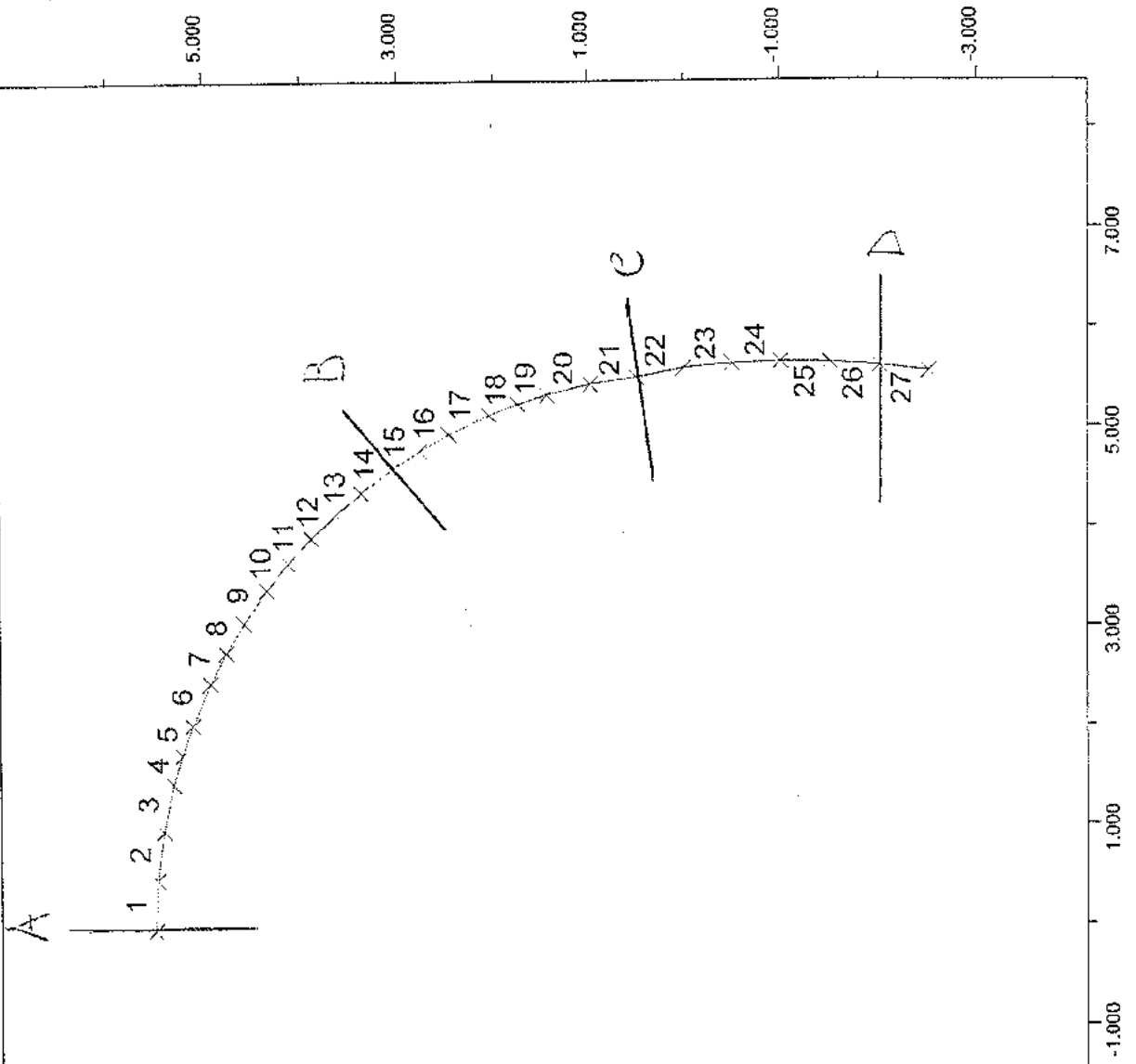
JOB TITLE : Sezioni di verifica - Prerivestimento

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

17-Feb-04 9:22  
step 18699  
-2.807E+00 <x< 8.457E+00  
-4.124E+00 <y< 7.140E+00

Beam Plot  
Beam Plot  
Beam Plot  
Structural Element Numbers



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

## Sezione tipo B0/2 - Ap gruppo 1

### Verifica del priverivimento

#### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E MECCANICHE

MATERIALI	Tipo	$\sigma_{lim}$ (MPa)	H (cm)	Passo (m)	$n^\circ$	A (cm <sup>2</sup> )	I (cm <sup>4</sup> )
Spritz-beton	Fcm 25	19.20	30	-	-	3000.0	2250.0
Centine	HEB200	210	20.00	1.20	1.00	78.1	5595.0
Sezione omogeneizzata						3911.2	86175.7

Coefficiente omogeneizzazione m	15	
Baricentro centina d (cm)	10.00	dall'estradosso
Baricentro sezione omogeneiz. Yg (cm)	13.84	dall'estradosso
$e^*_{lim,e} = I^*/(A^*Yg)$ (cm)	1.59	dimensione nocciolo d'inertza estradosso
$e^*_{lim,i} = I^*/(A^*(H-Yg))$ (cm)	1.36	dimensione nocciolo d'inertza intradosso
$e = M/N$		eccentricità

Formule impiegate	Tensioni positive se di compressione
$\sigma_{sb,i} = N/A^* + (M(H-Yg))/I^*$	$\sigma_{sb,e} = N/A^* - (MYg)/I^*$
$\sigma_{s,i} = m(N/A^* + M(d+H_f/2-Yg)/I^*)$	
$\sigma_{s,e} = m(N/A^* - M(d-H_f/2-Yg)/I^*)$	

Sezione	Elemento	Altezza (m)	N (KN/m)	M (KN*m/m)	e (m)	$\sigma_{sb,i}$ (Mpa)	$\sigma_{sb,e}$ (Mpa)	$\sigma_{s,i}$ (Mpa)	$\sigma_{s,e}$ (Mpa)	
CHIAVE CALOTTA	1	0.30	1033	1.5	0.00	2.92	2.40	41.23	36.01	TIME 3
RENI	14	0.30	1116	7.3	0.01	4.22	1.68	50.63	25.22	
P.C.	22	0.30	878	-33.8	-0.04	-4.10	7.67	-2.60	115.07	
PIEDE	27	0.30	416	-6.00	-0.01	-0.06	2.03	9.52	30.40	
CHIAVE CALOTTA	1	0.30	1571	1.9	0.00	4.37	3.71	62.29	55.68	TIME 4
RENI	14	0.30	1694	14.2	0.01	6.99	2.05	80.21	30.77	
P.C.	22	0.30	1559	-58.8	-0.04	-7.04	13.43	-3.31	201.39	
PIEDE	27	0.30	946	-22	-0.02	-1.71	5.95	12.67	89.26	

JOB TITLE : Sezioni di verifica - Riv. definitivo

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

17-Feb-04 9:37

step 22571

-4.668E+00 <x< 1.032E+01

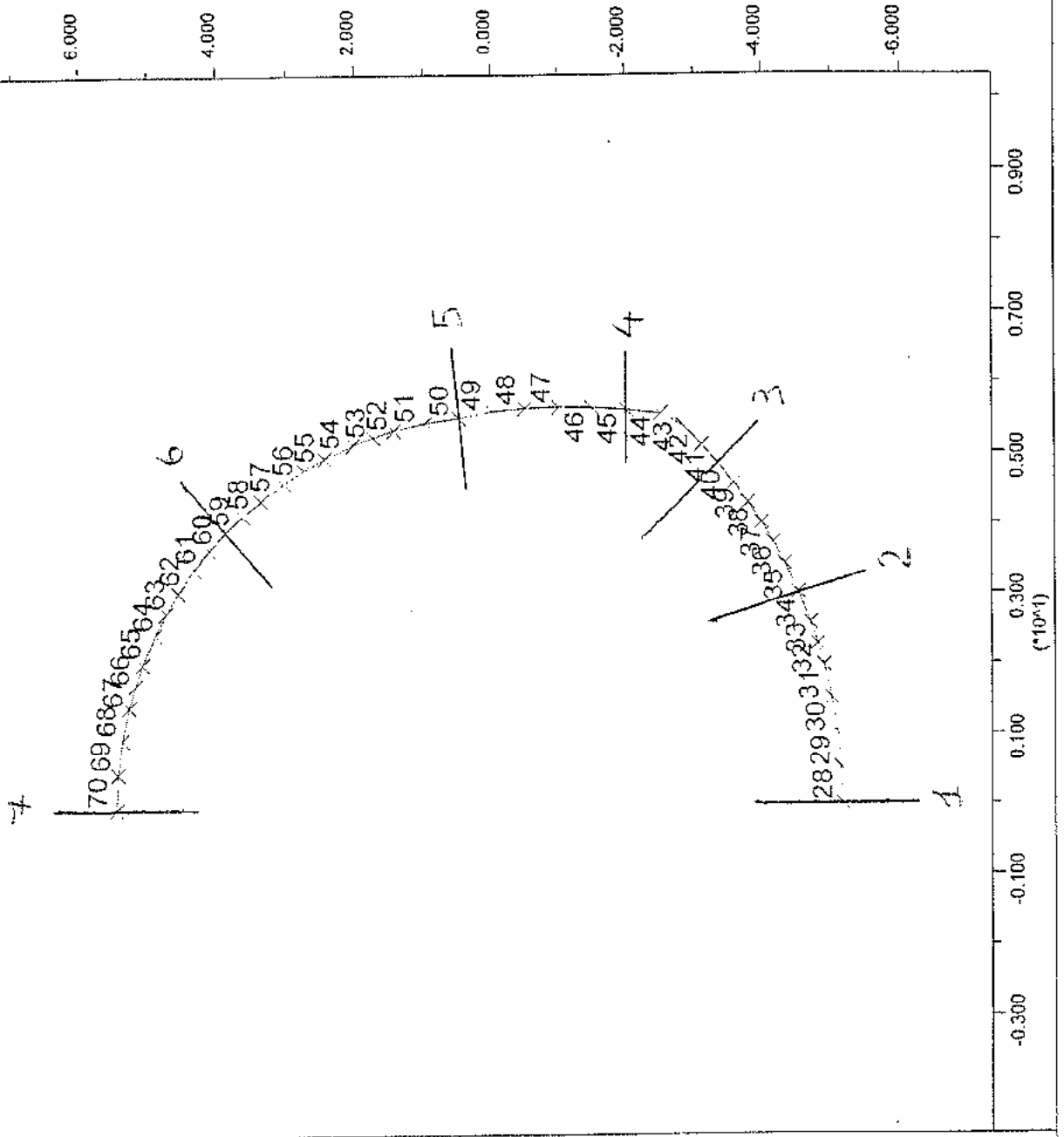
-7.312E+00 <y< 7.674E+00

Beam Plot

Beam Plot

Beam Plot

Structural Element Numbers



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

Sezione tipo B0/2 - Ap gruppo 1  
Verifica del rivestimento definitivo

TIME 4 - Getto Murette e A.R.

Sezione	Elemento	Altezza (m)	N (kN/m)	M (kNm/m)	e (m)	$\sigma_c$ (MPa)
CHIAVE A.R.	28	1.00	840	-38.9	-0.04	1.1
SEZIONE INTERMEDIA A.R.	34	1.00	928	59.4	0.08	1.3
ATTACCO A.R. - MURETTA	40	1.00	1108	116.0	0.10	1.8

TIME 5 - Getto calotta

Sezione	Elemento	Altezza (m)	N (kN/m)	M (kNm/m)	e (m)	$\sigma_c$ (MPa)
CHIAVE A.R.	28	1.00	1277	60.0	0.05	1.6
SEZIONE INTERMEDIA A.R.	34	1.00	1445	-40.2	-0.03	1.7
ATTACCO A.R. - MURETTA	40	1.00	1635	-166.4	-0.10	2.7
ATTACCO CAL. - MURETTA	45	0.80	428	-49.0	-0.11	1.0
PIANO DEI CENTRI	49	0.80	398	72.5	0.18	1.2
RENI	59	0.80	371	-21.1	-0.06	0.7
CHIAVE CALOTTA	70	0.80	350	0.6	0.00	0.6

TIME 6 - Decadimento ammasso e prinvestimento

Sezione	Elemento	Altezza (m)	N (kN/m)	M (kNm/m)	e (m)	$\sigma_c$ (MPa)
CHIAVE A.R.	28	1.00	1423	50.3	0.04	1.7
SEZIONE INTERMEDIA A.R.	34	1.00	1591	-56.7	-0.04	1.9
ATTACCO A.R. - MURETTA	40	1.00	1778	-200.0	-0.11	3.0
ATTACCO CAL. - MURETTA	45	0.80	1744	-91.6	-0.05	2.5
PIANO DEI CENTRI	49	0.80	1856	182.0	0.10	2.8
RENI	59	0.80	1938	-40.2	-0.02	4.0
CHIAVE CALOTTA	70	0.80	1862	17.7	0.01	3.0

## Sezione tipo B0/2 - Ap gruppo 1

### Output Analisi alle Differenze Finite FLAC

TIME	Riduzione forze di scavo [%]	Spostamento y in chiave calotta [cm]	Spostamento x sul piano dei centri [cm]	Spostamento y in chiave A.R. [cm]	Tensioni previv.		Tensioni Rtv. def.
					$\sigma_{SB,max}$ [MPa]	$\sigma_{s,max}$ [MPa]	
TIME 1 - Geostatico	0.0	Nodo i=1 j=68	Nodo j=12 j=57	Nodo i=1 j=47	-	-	-
TIME 2 - Taratura e scavo	98.0	5.5	5.6	5.0	-	-	-
TIME 3 - Posa centina e SB	98.7	5.6	5.8	5.2	7.67	115.07	-
TIME 4 - Getto Murette e A.R.	99.4	5.7	5.9	5.3	13.43	201.39	1.8
TIME 5 - Getto calotta	100.0	5.7	5.9	5.3	-	-	2.7
TIME 6 - Decadimento ammasso e prinvestimento	100.0	5.7	5.9	5.3	-	-	4.0

Materiale	Tipo	Tensioni ammissibili [MPa]		
Spritz-beton	fcm	$\sigma_{SB,amm}$		19.20
Centina	Fe	$\sigma_{S,amm}$		210
Calcestruzzo	Rck	$\sigma_{cls,amm}$		6.25

Tensioni positive nel cls : compressione

Tensioni positive nell'acciaio : trazione

Spostamenti x positivi verso destra, spostamenti y positivi verso l'alto

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola (Ap gruppo 1) - SEZ. TIPO B0/2

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

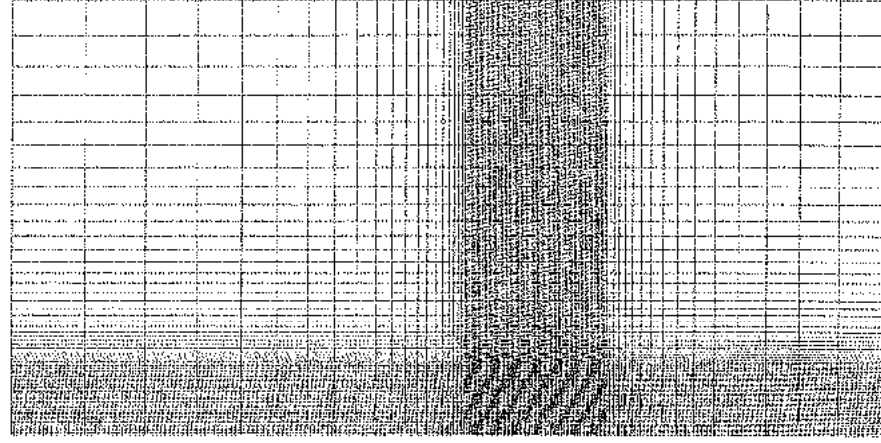
18-Feb-04 18:24

step 9624

-1.067E+02 <x< 2.267E+02

-1.417E+02 <y< 1.917E+02

MESH DI CALCOLO



(\*10^2)

1.500

1.000

0.500

0.000

-0.500

-1.000

-0.750

-0.250

0.250

0.750

1.250

1.750

(\*10^2)

Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola (Ap gruppo 1) - SEZ. TIPO B0/2

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

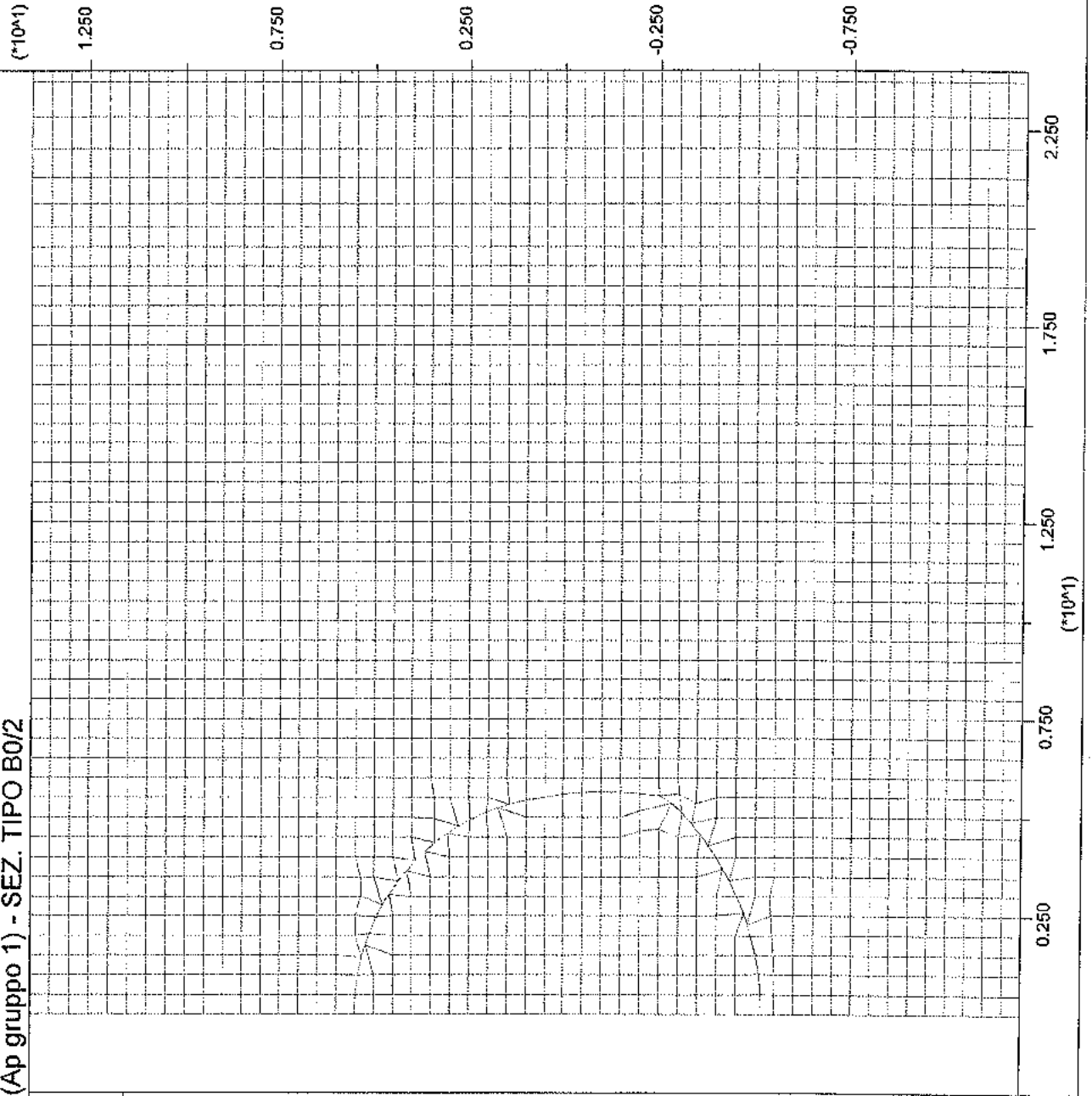
18-Feb-04 18:24

step 9624

-2.000E+00 <x< 2.400E+01

-1.200E+01 <y< 1.400E+01

MESH DI CALCOLO



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/2 - "TIME 1"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

18-Feb-04 18:24

step 9624

-1.067E+02 <x< 2.267E+02

-1.417E+02 <y< 1.917E+02

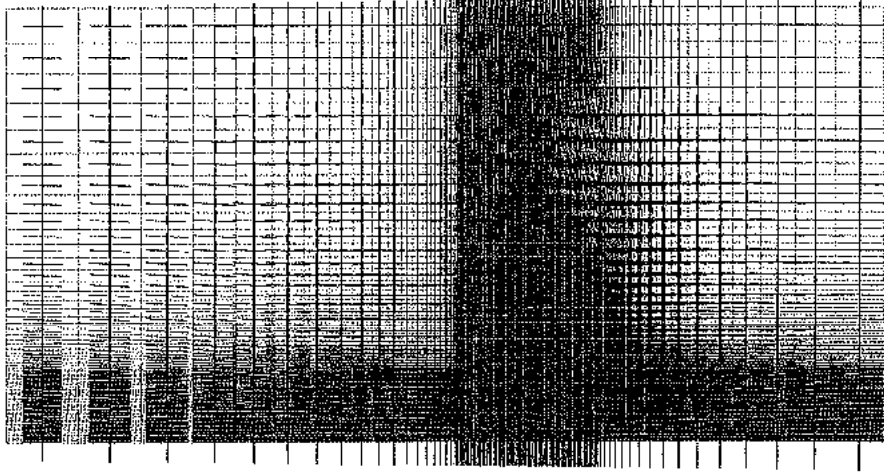
Principal stresses

Max. Value = -1.230E+07

Min. Value = -1.852E+07



Tensioni principali : Pa



(\*10<sup>2</sup>)

1.500

1.000

0.500

0.000

-0.500

-1.000

1.750

1.250

0.750

0.250

-0.250

-0.750

(\*10<sup>2</sup>)

Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA



JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/2 - "TIME 1"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

18-Feb-04 18:24

step 9624

-2.000E+00 <x< 2.400E+01

-1.200E+01 <y< 1.400E+01

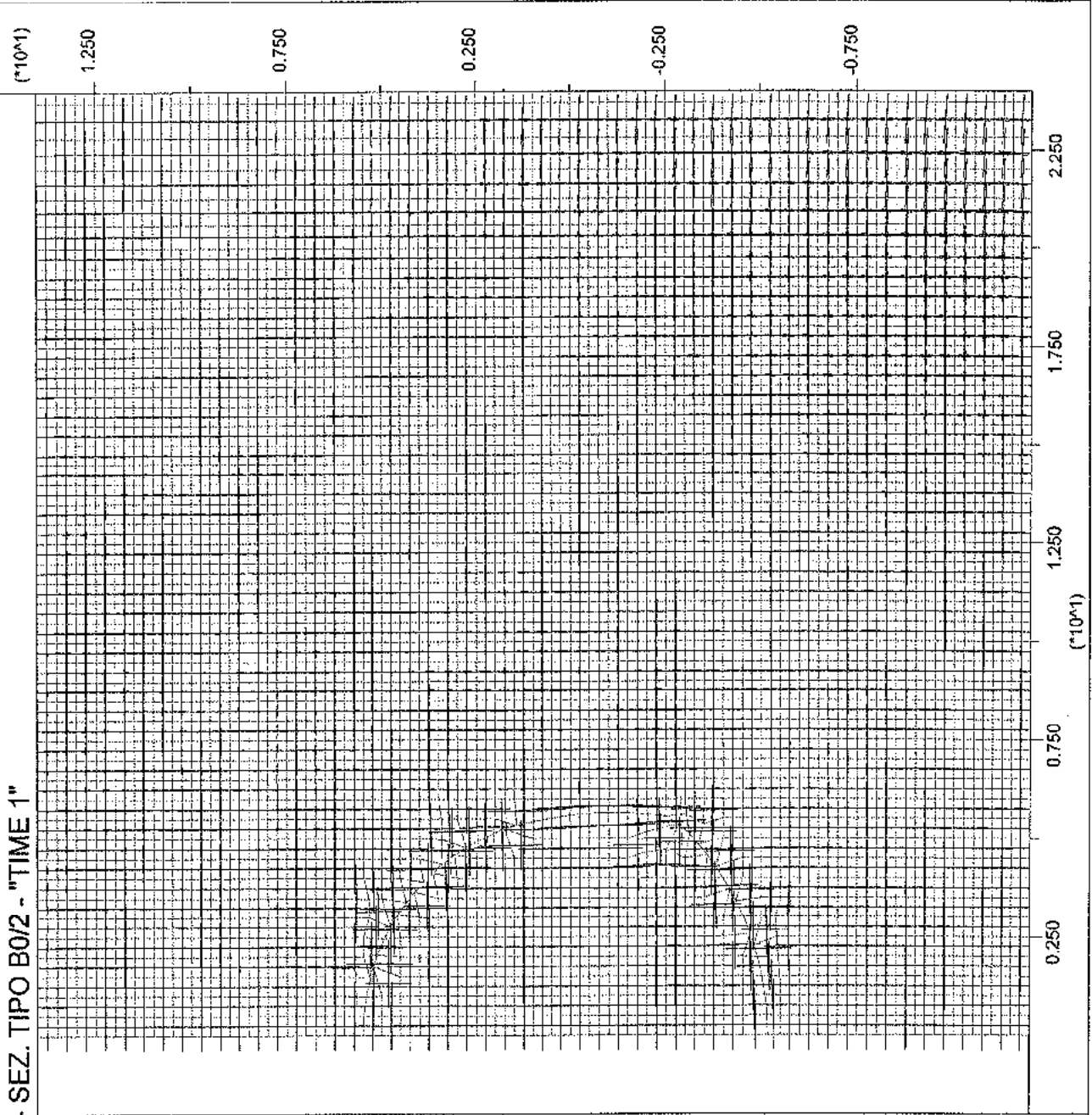
Principal stresses

Max. Value = -1.559E+07

Min. Value = -1.639E+07



Tensioni principali : Pa



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/2 - "TIME 2"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

17-Feb-04 9:22

step 17297

-2.000E+00 <x< 2.400E+01

-1.200E+01 <y< 1.400E+01

Principal stresses

Max. Value = -2.847E+05

Min. Value = -3.069E+07



0 1E 8

Tensioni principali : Pa



0 5E 0

(\*10^1)

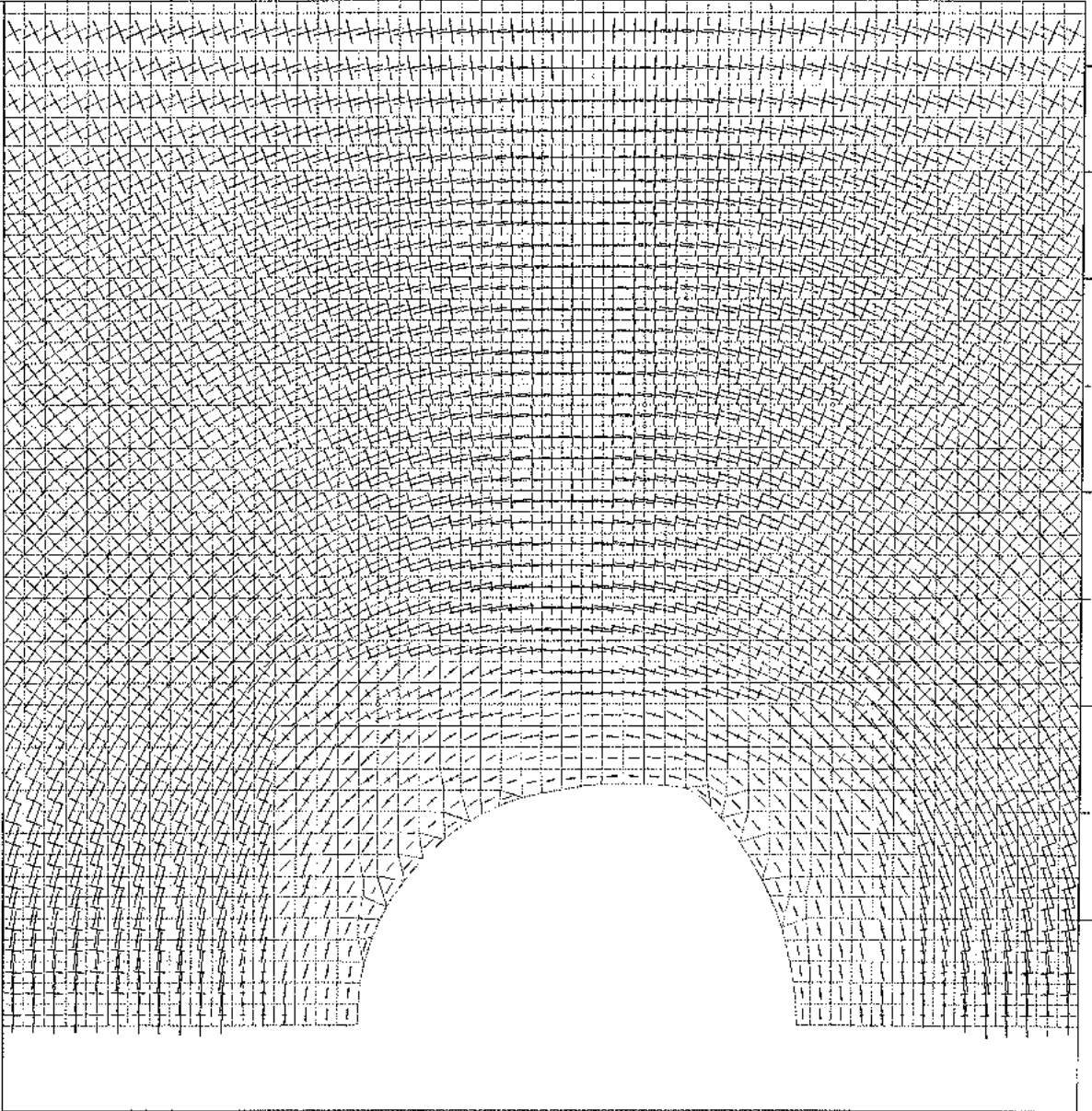
1.250

0.750

0.250

-0.250

-0.750



2.250

1.750

1.250

0.750

0.250

(\*10^1)

Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/2 - "TIME 2"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

17-Feb-04 9:22

step 17297

-2.000E+00 <x< 2.400E+01

-1.200E+01 <y< 1.400E+01

X-displacement contours

-5.00E-02

-4.00E-02

-3.00E-02

-2.00E-02

-1.00E-02

0.00E+00

Contour interval= 1.00E-02

Spostamenti orizzontali

0 5E 0

(\*10^4)

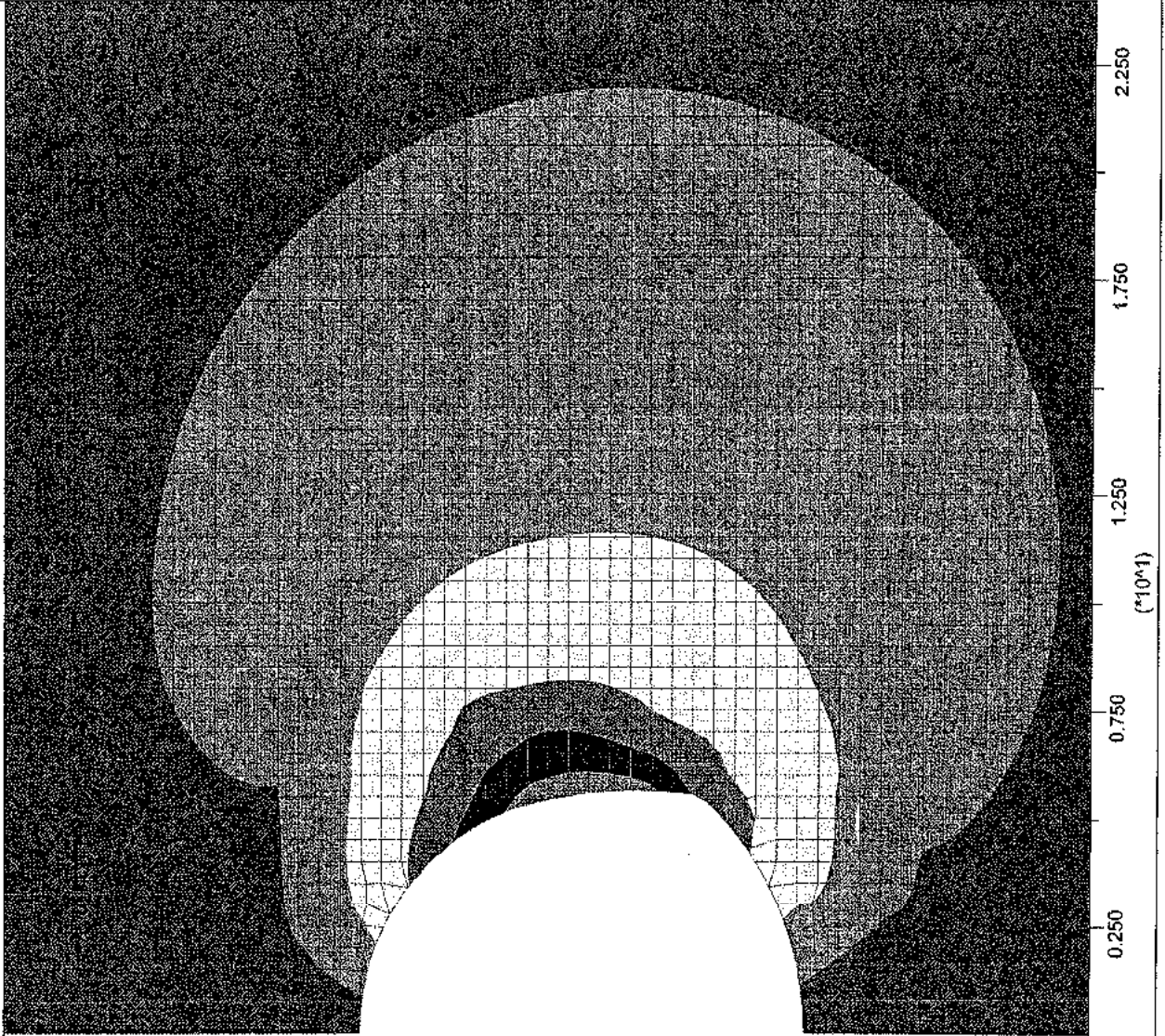
1.250

0.750

0.250

-0.250

-0.750



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/2 - "TIME 2"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

17-Feb-04 9:22

step 17297

-2.000E+00 <x< 2.400E+01

-1.200E+01 <y< 1.400E+01

Y-displacement contours

-4.00E-02

-2.00E-02

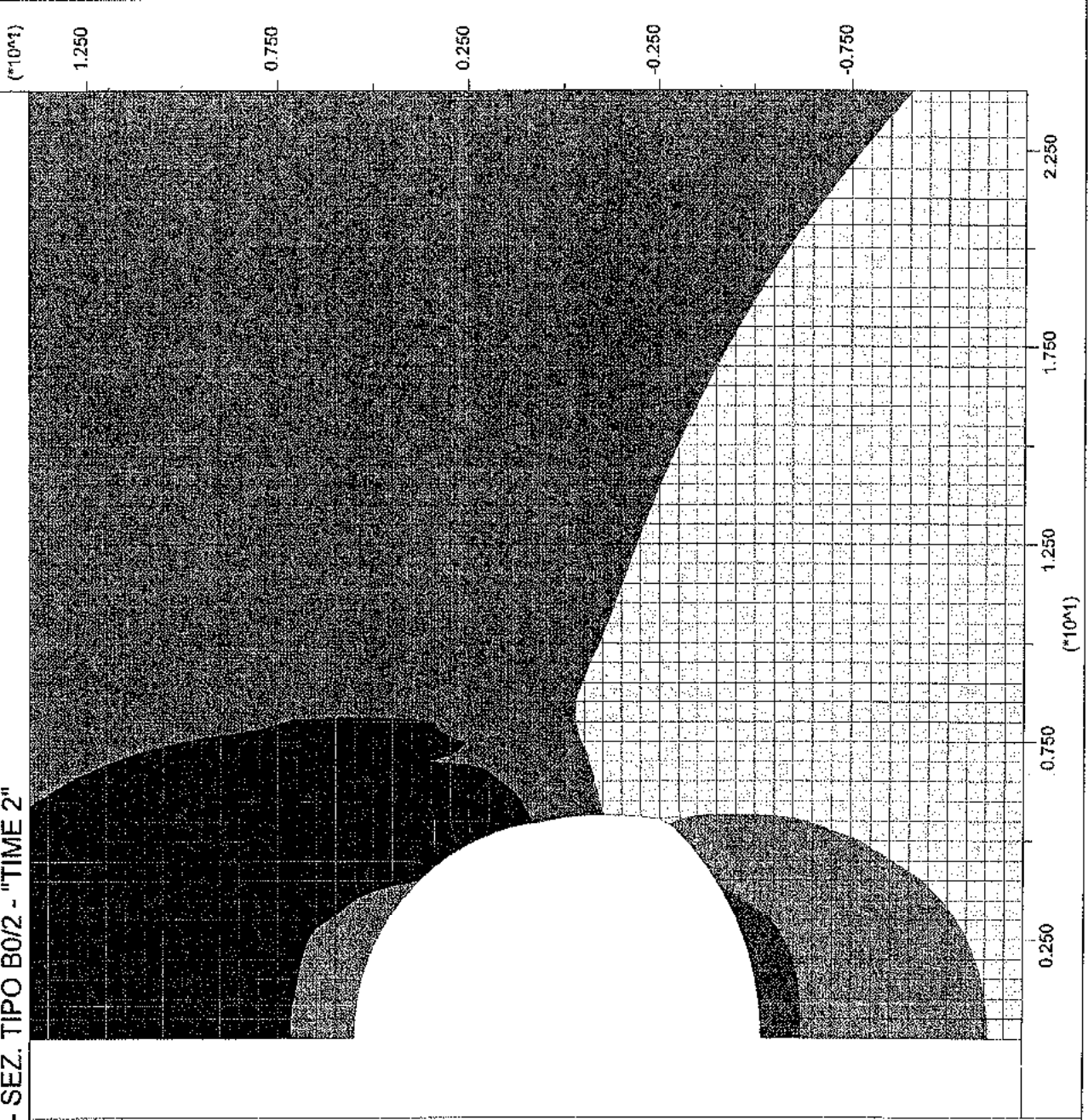
0.00E+00

2.00E-02

4.00E-02

Contour interval= 2.00E-02

Spostamenti verticali



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/2 - "TIME 2"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

17-Feb-04 9:22

step 17297

-2.000E+00 <x< 2.400E+01

-1.200E+01 <y< 1.400E+01

Max. shear strain increment

0.00E+00

2.50E-03

5.00E-03

7.50E-03

1.00E-02

1.25E-02

1.50E-02

1.75E-02

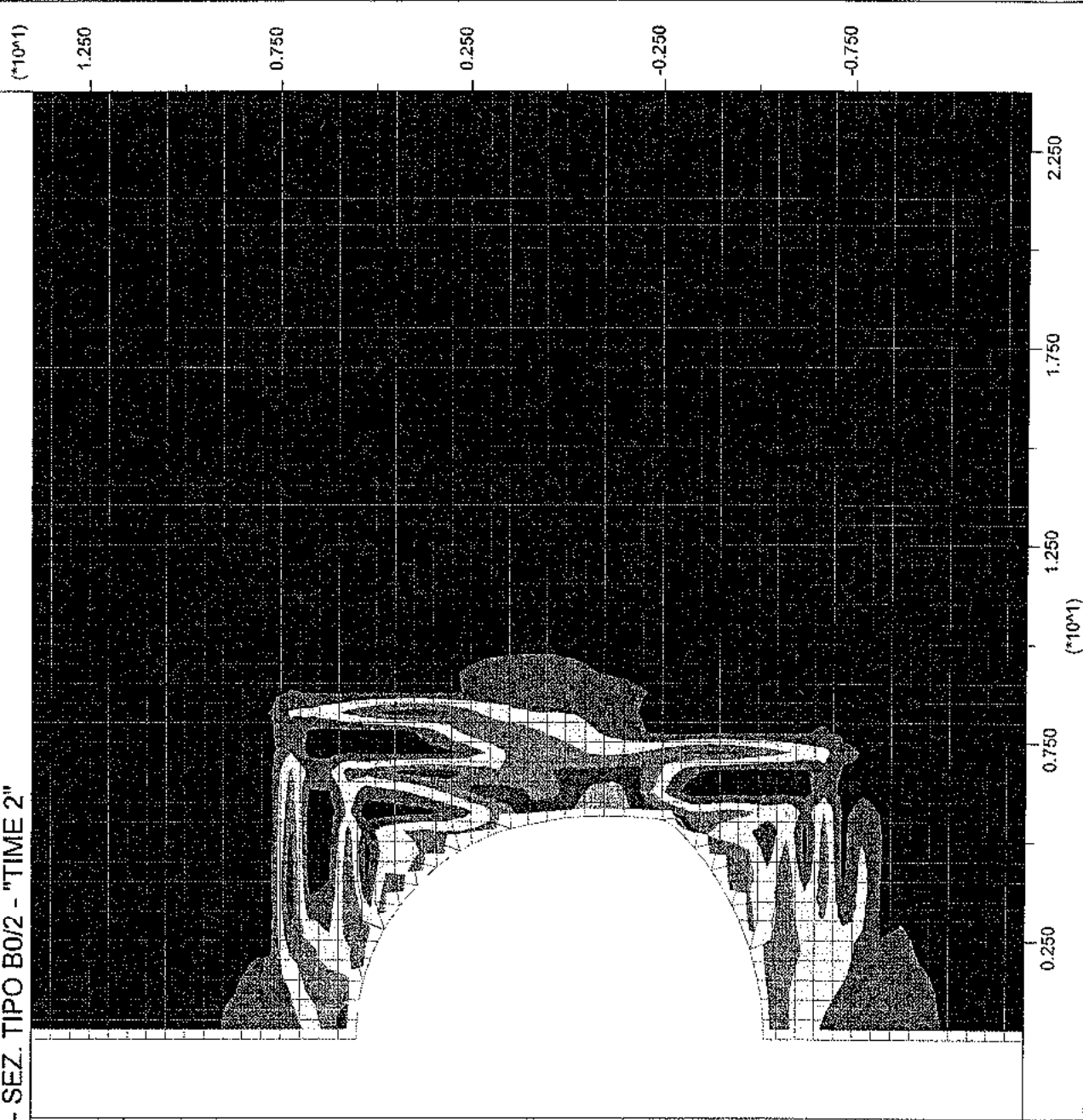


Contour interval= 2.50E-03

Deformazioni plastiche per taglio

0

5E 0



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA



JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/2 - "TIME 3"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

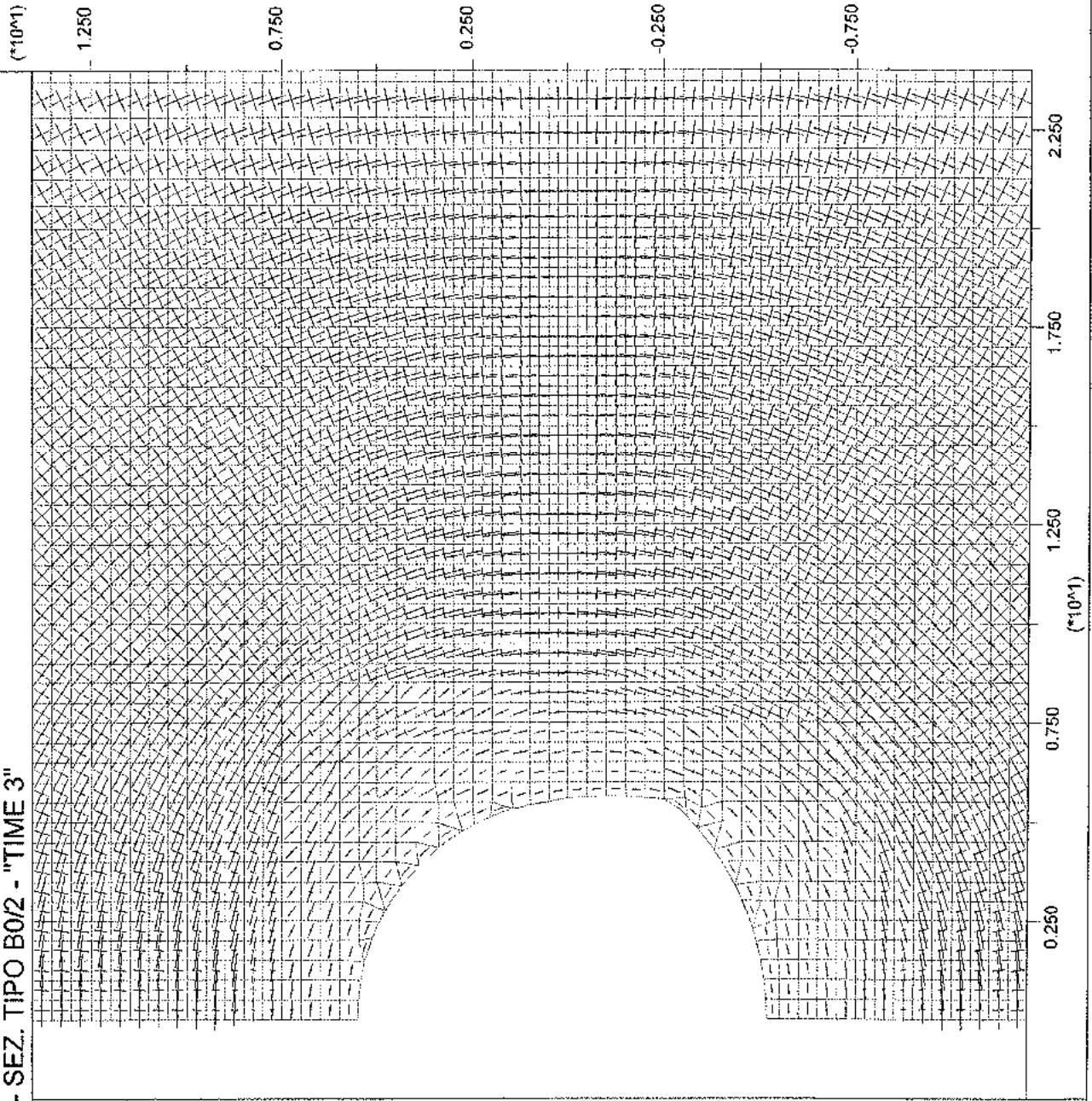
17-Feb-04 9:22  
step 18699  
-2.000E+00 <x< 2.400E+01  
-1.200E+01 <y< 1.400E+01

Principal stresses

Max. Value = -3.058E+05  
Min. Value = -3.110E+07



Tensioni principali : Pa



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/2 - "TIME 3"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

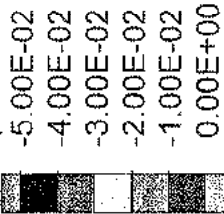
17-Feb-04 9:22

step 18699

-2.000E+00 <x< 2.400E+01

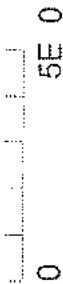
-1.200E+01 <y< 1.400E+01

X-displacement contours



Contour interval= 1.00E-02

Spostamenti orizzontali



(\*10^1)

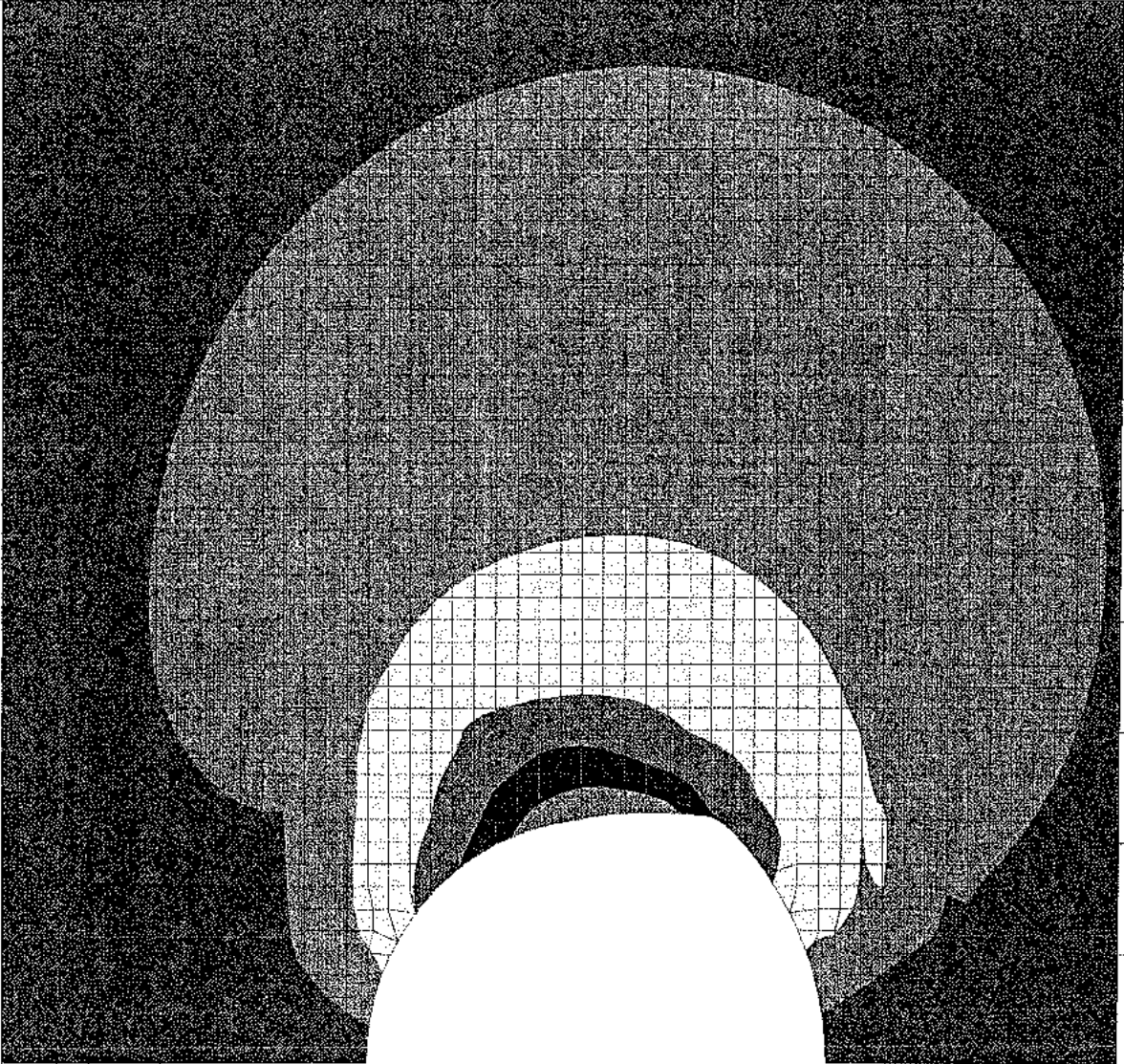
1.250

0.750

0.250

-0.250

-0.750



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/2 - "TIME 3"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

17-Feb-04 9:22

step 18699

-2.000E+00 <x< 2.400E+01

-1.200E+01 <y< 1.400E+01

Y-displacement contours

-4.00E-02

-2.00E-02

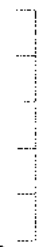
0.00E+00

2.00E-02

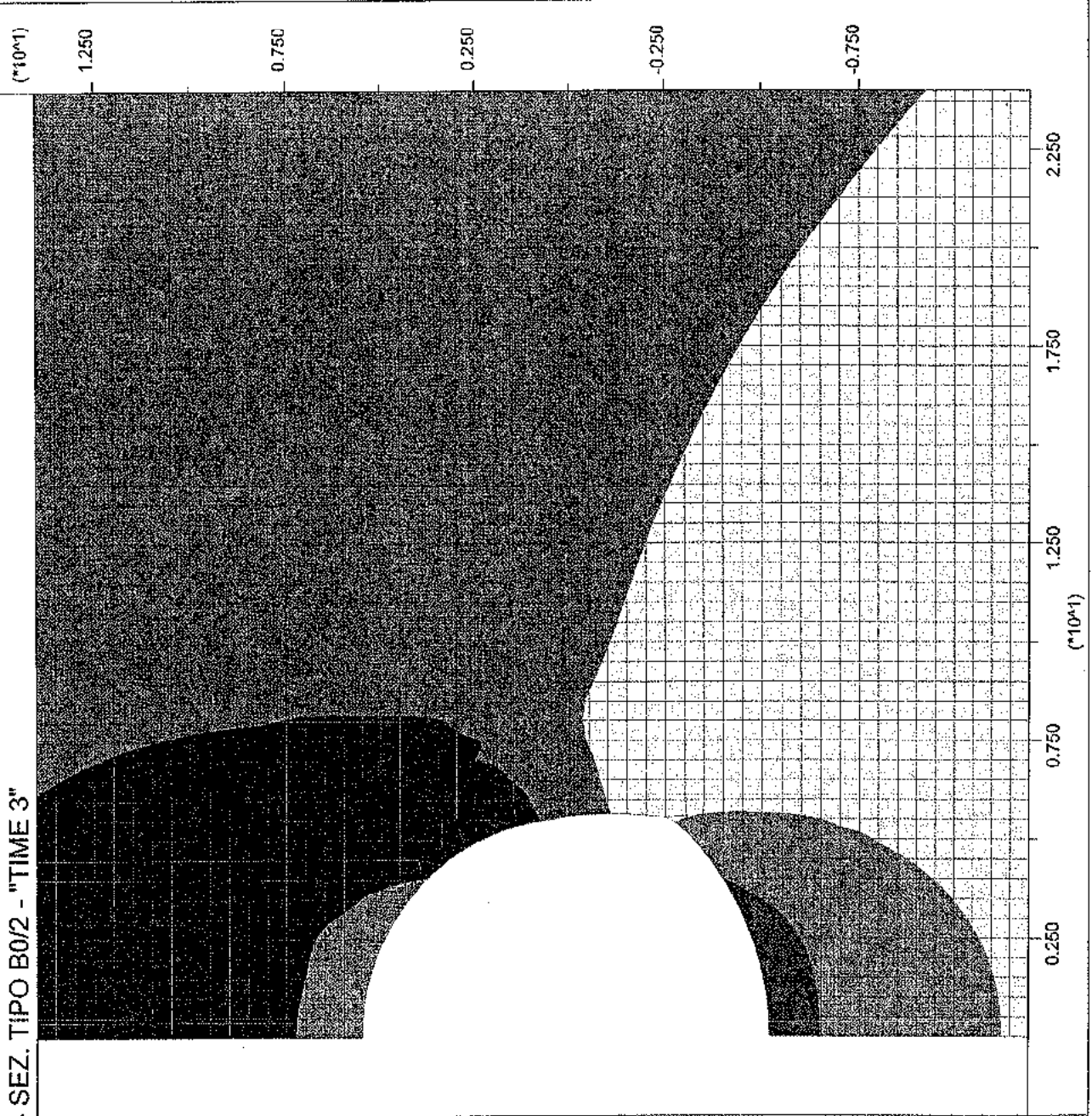
4.00E-02

Contour interval= 2.00E-02

Spostamenti verticali



0 5E 0



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA



JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/2 - "TIME 3"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

17-Feb-04 9:22

step 18699

-2.000E+00 <x< 2.400E+01

-1.200E+01 <y< 1.400E+01

Max. shear strain increment

0.00E+00

2.50E-03

5.00E-03

7.50E-03

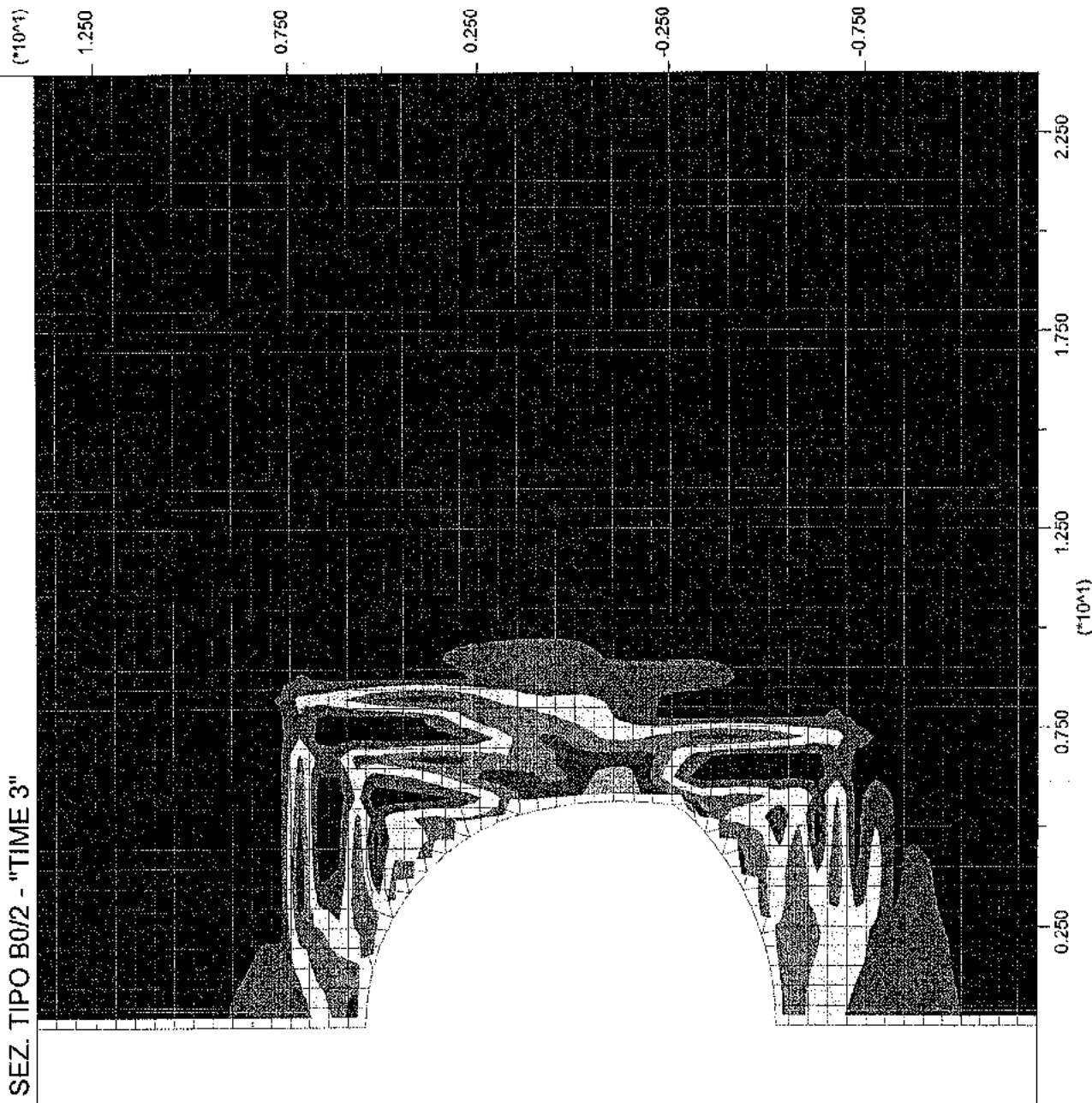
1.00E-02

1.25E-02

1.50E-02

1.75E-02

Contour interval= 2.50E-03  
Deformazioni plastiche per taglio



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/2 - "TIME 3"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

17-Feb-04 9:22

step 18699

-2.000E+00 <x< 1.400E+01

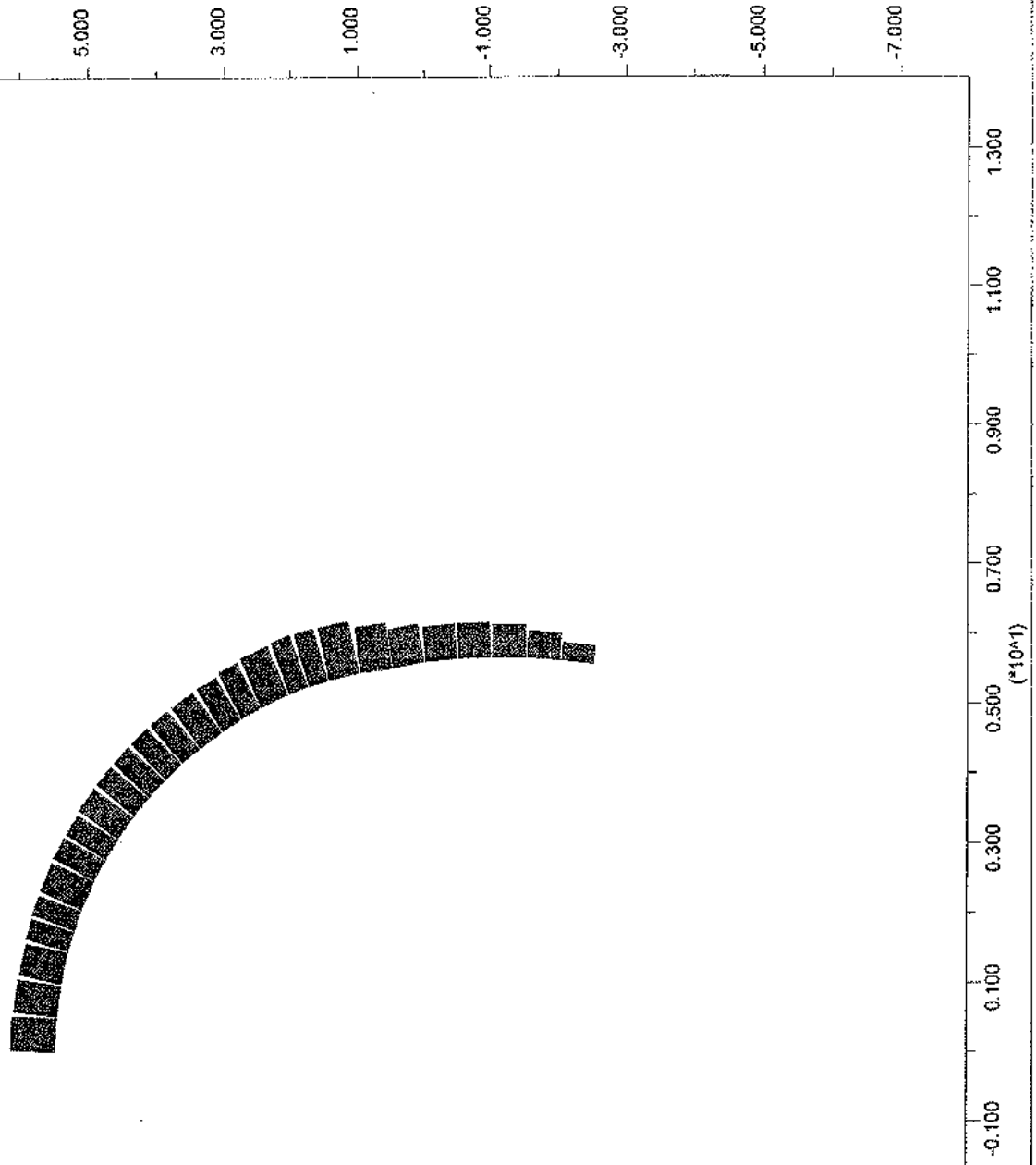
-8.000E+00 <y< 8.000E+00

Preriv. Sforzo normale [N/m]

■ Axial Force on

Structure Max. Value

# 1 (Beam ) 1.241E+06



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/2 - "TIME 3"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND


17-Feb-04 9:22

step 18699

-2.000E+00 <x< 1.400E+01

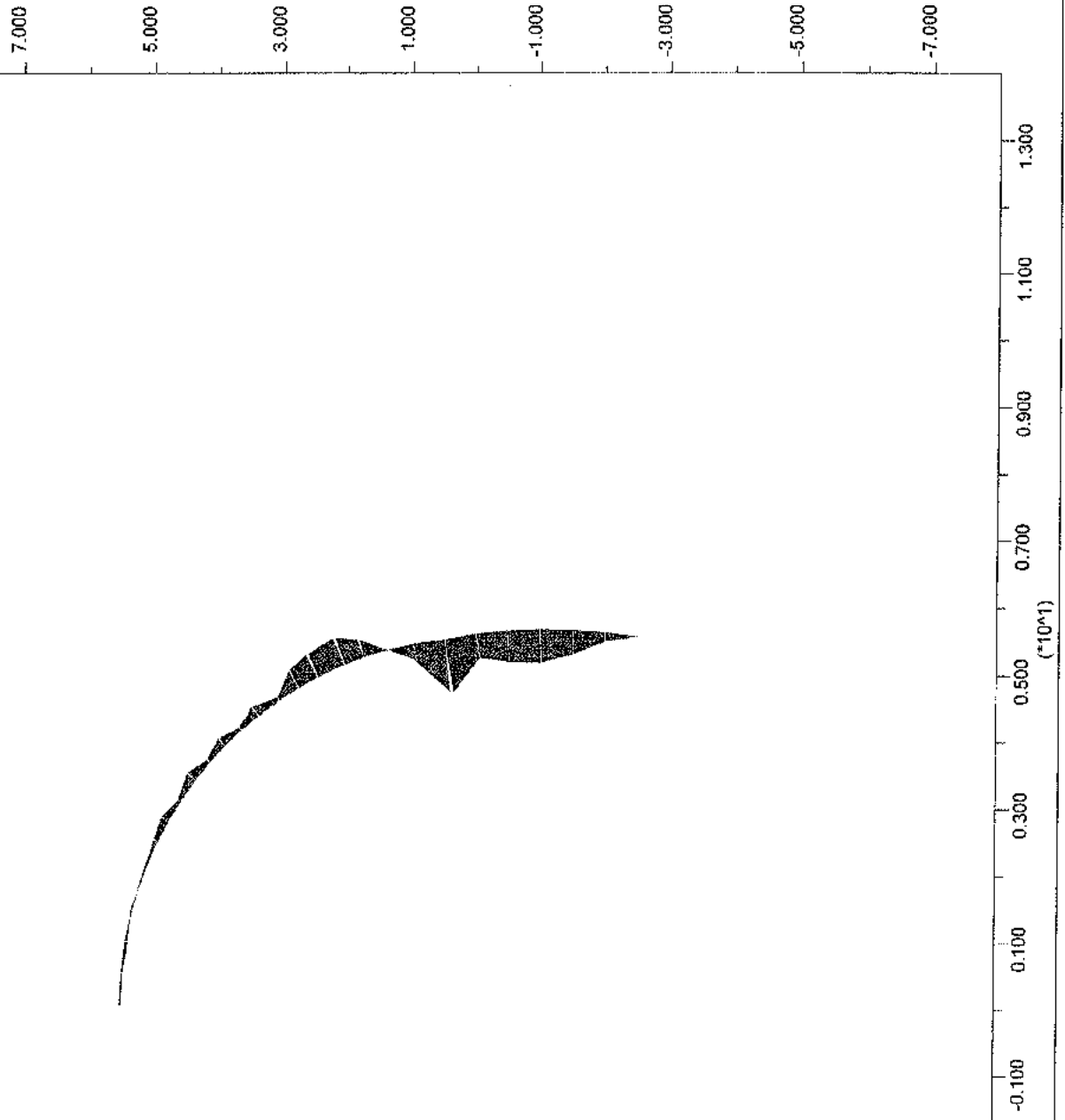
-8.000E+00 <y< 8.000E+00

Preriv. Momento flettente [N\*m/m]

 Moment on

Structure Max. Value

# 1 (Beam) -3.381E+04



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/2 - "TIME 4"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

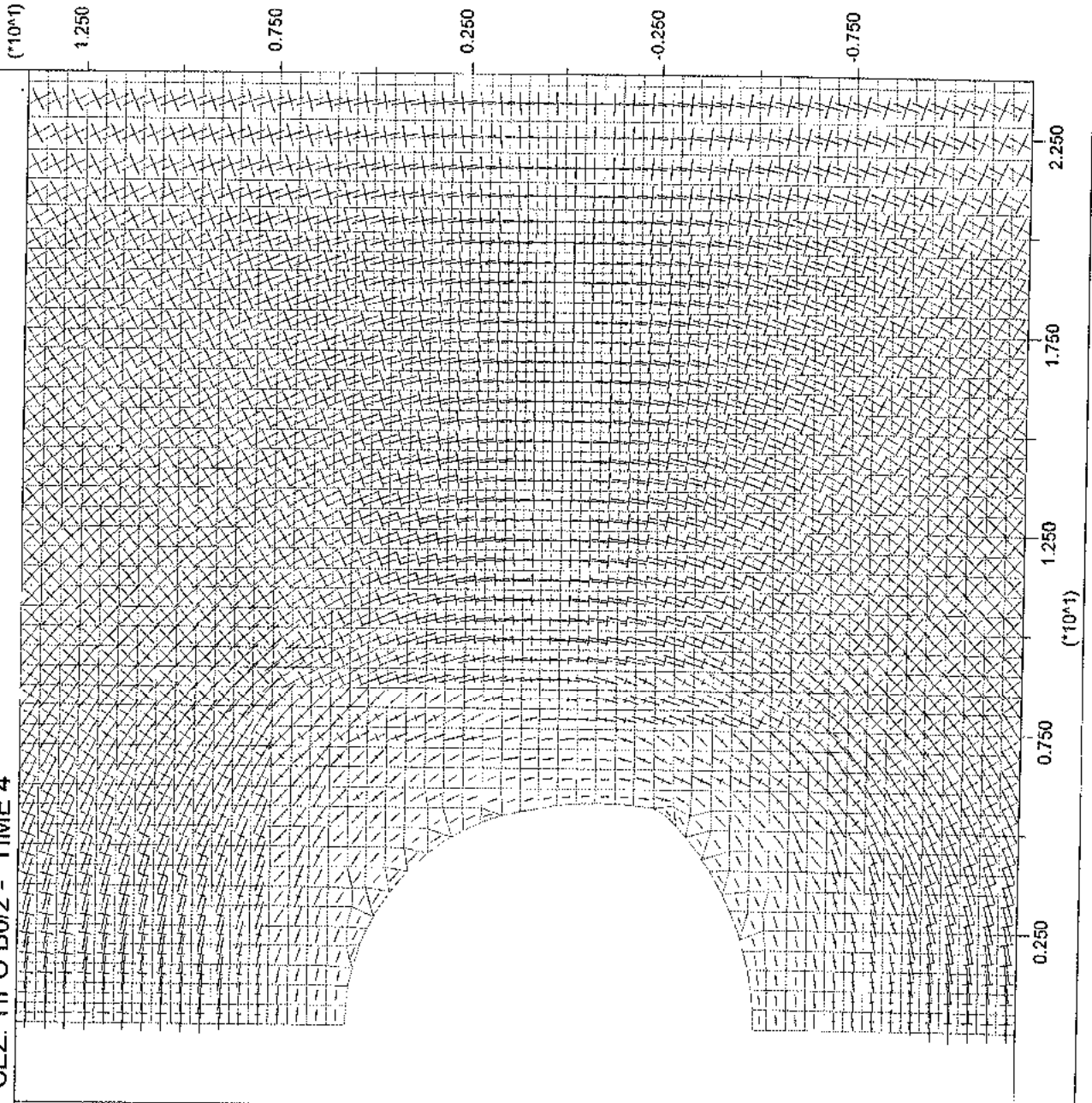
17-Feb-04 9:23  
step 21039  
-2.000E+00 <x< 2.400E+01  
-1.200E+01 <y< 1.400E+01

Principal stresses

Max. Value = -1.766E+04  
Min. Value = -3.147E+07



Tensioni principali : Pa



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/2 - "TIME 4"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

17-Feb-04 9:23

step 21039

-2.000E+00 <x< 2.400E+01

-1.200E+01 <y< 1.400E+01

X-displacement contours

-5.00E-02

-4.00E-02

-3.00E-02

-2.00E-02

-1.00E-02

0.00E+00

Contour interval= 1.00E-02

Spostamenti orizzontali

0 5E 0

(\*10^1)

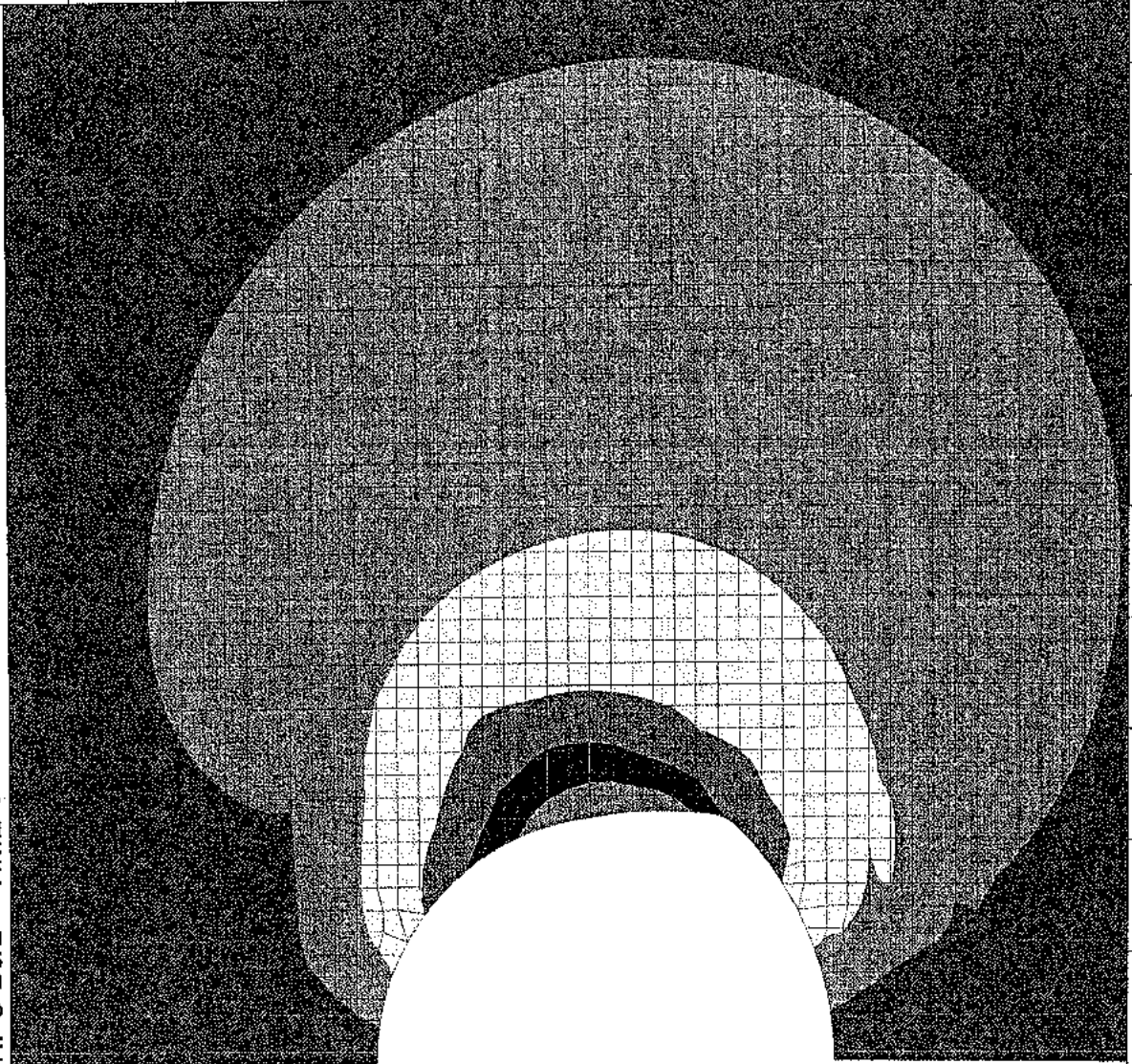
1.250

0.750

0.250

-0.250

-0.750



2.250

1.750

1.250

0.750

0.250

(\*10^1)

Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/2 - "TIME 4"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

17-Feb-04 9:23

step 21039

-2.000E+00 <x< 2.400E+01

-1.200E+01 <y< 1.400E+01

Y-displacement contours

-4.00E-02

-2.00E-02

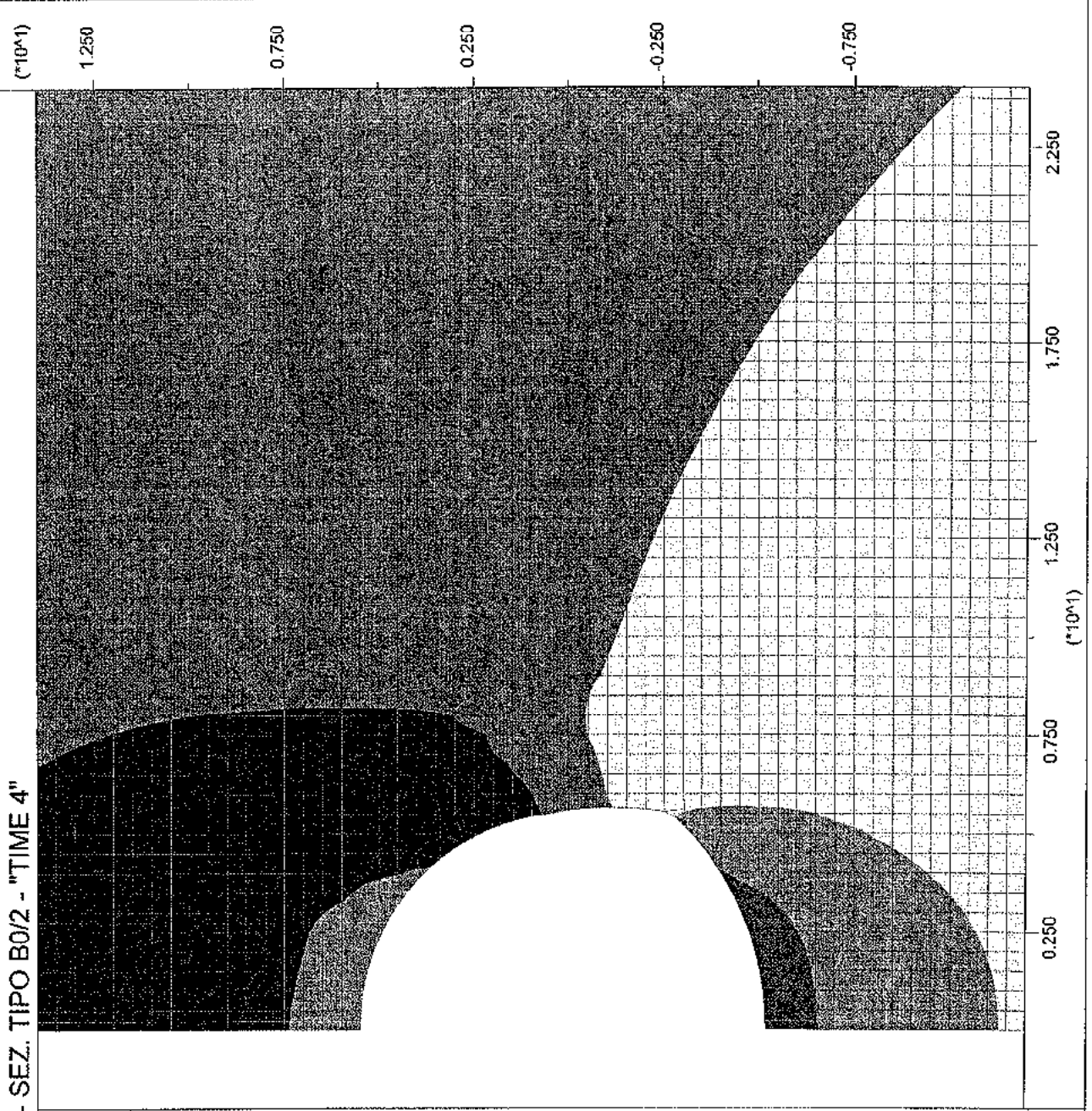
0.00E+00

2.00E-02

4.00E-02

Contour interval= 2.00E-02

Spostamenti verticali



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/2 - "TIME 4"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

17-Feb-04 9:23

step 21039

-2.000E+00 <x< 2.400E+01

-1.200E+01 <y< 1.400E+01

Max. shear strain increment

0.00E+00

2.50E-03

5.00E-03

7.50E-03

1.00E-02

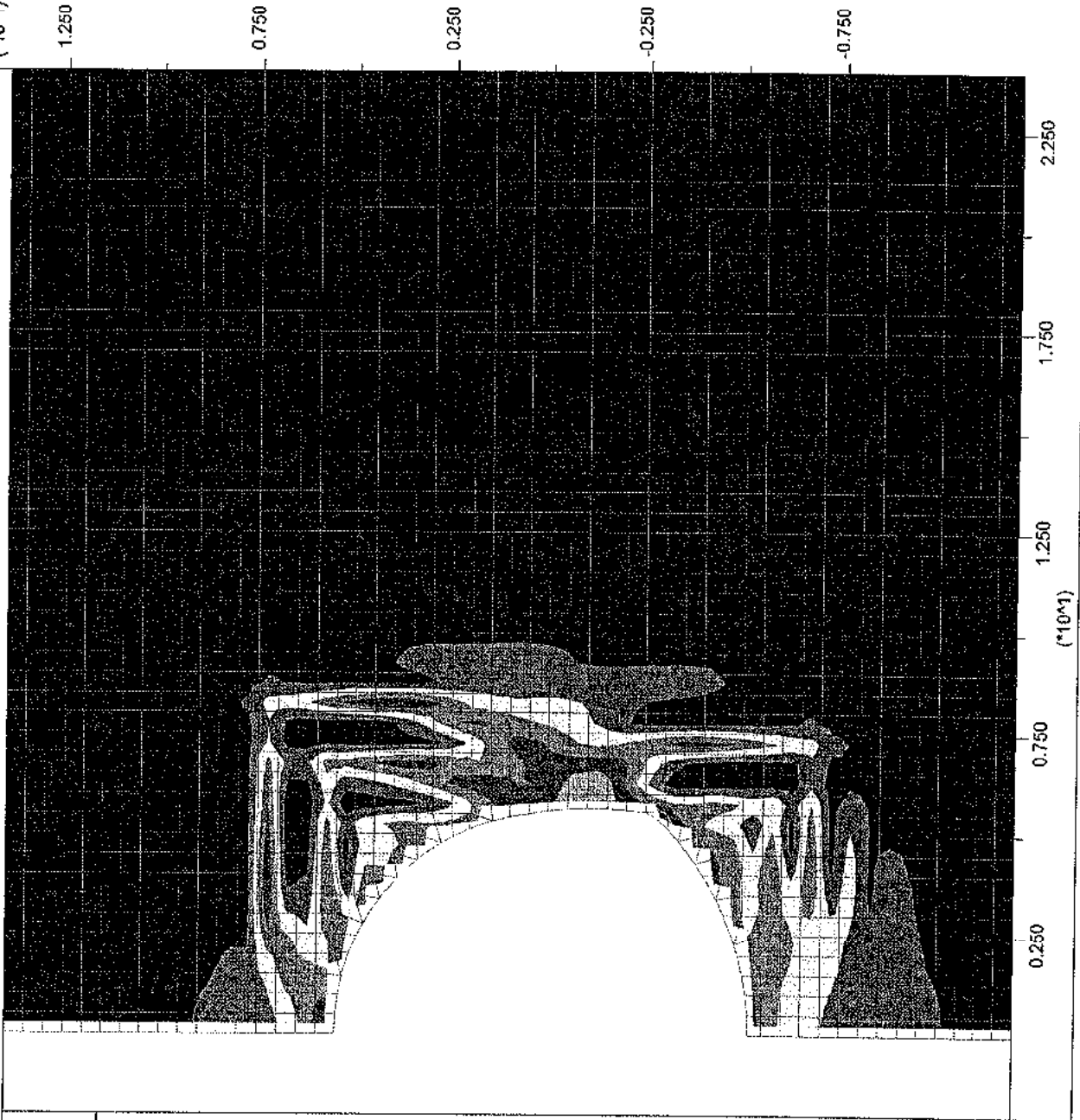
1.25E-02

1.50E-02

1.75E-02

2.00E-02

Contour interval= 2.50E-03  
Deformazioni plastiche per taglio



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/2 - "TIME 4"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

17-Feb-04 9:23

step 21039

-2.000E+00 <x< 1.400E+01

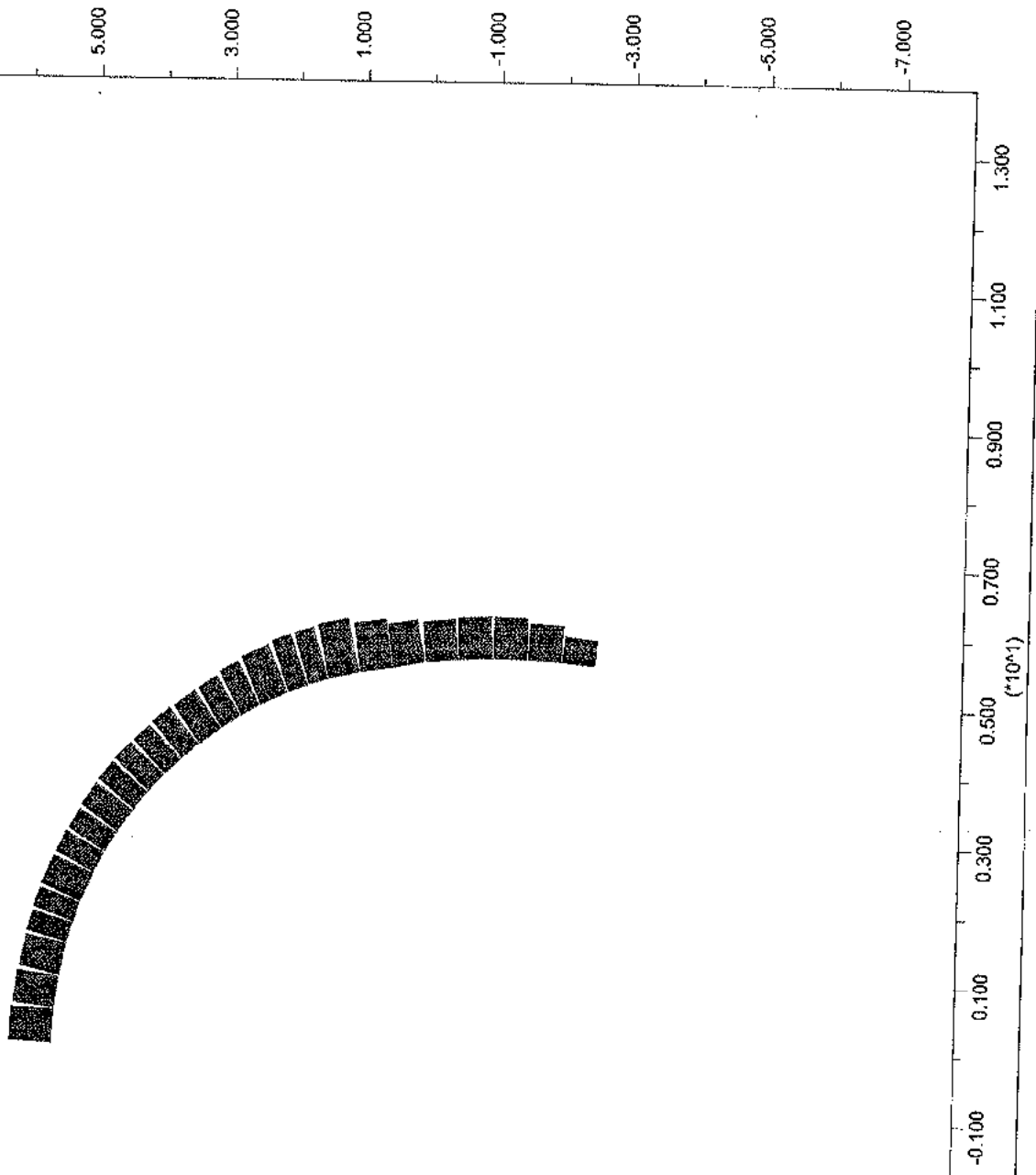
-8.000E+00 <y< 8.000E+00

Priv. Sforzo normale [N/m]

■ Axial Force on

Structure Max. Value

# 1 (Beam ) 1.981E+06



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA



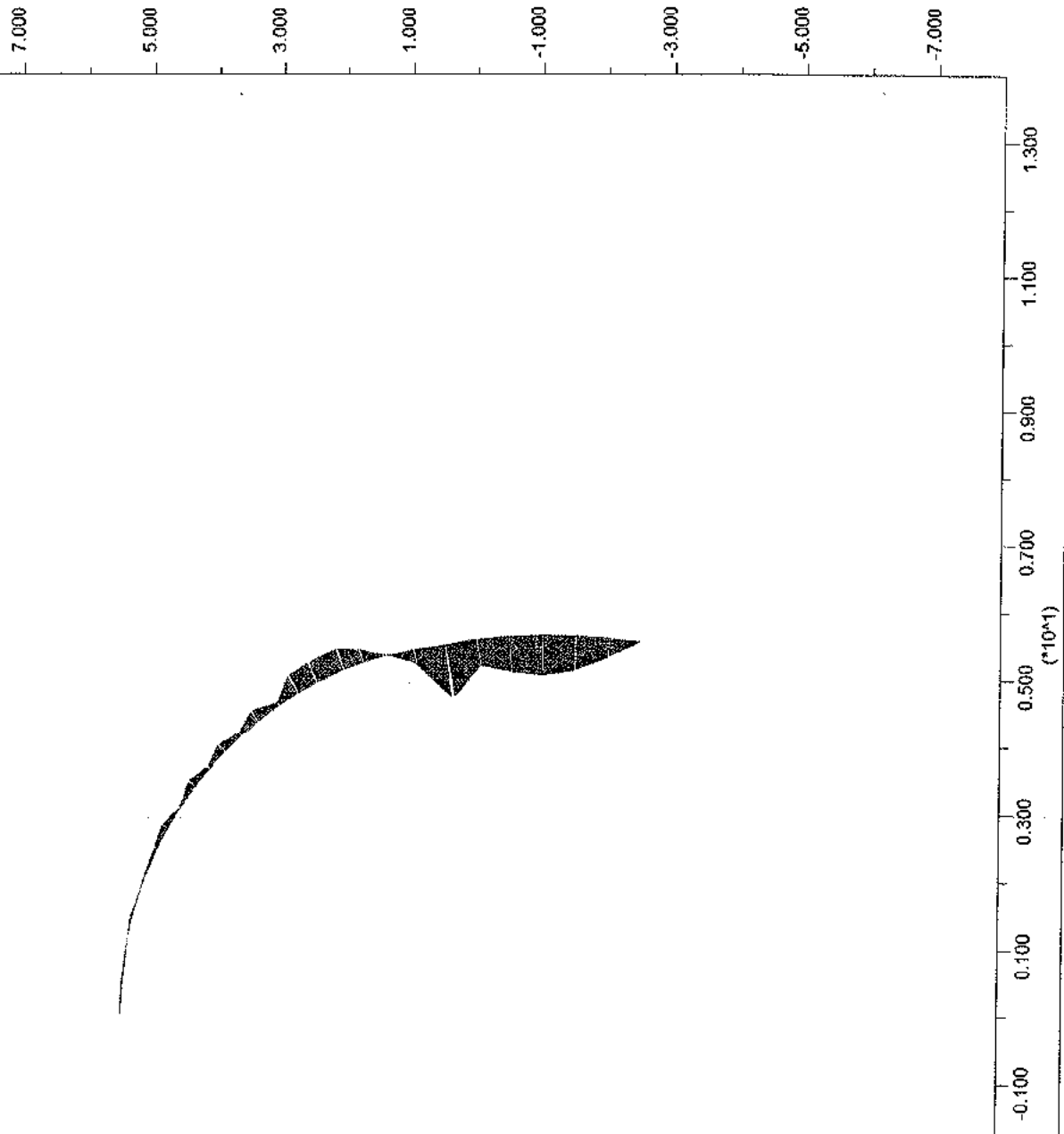
JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/2 - "TIME 4"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

17-Feb-04 9:23  
step 21039  
-2.000E+00 <x< 1.400E+01  
-8.000E+00 <y< 8.000E+00

Preriv. Momento flettente [N\*m/m]  
Moment on  
Structure Max. Value  
# 1 (Beam ) -5.882E+04



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/2 - "TIME 4"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

17-Feb-04 9:23  
step 21039

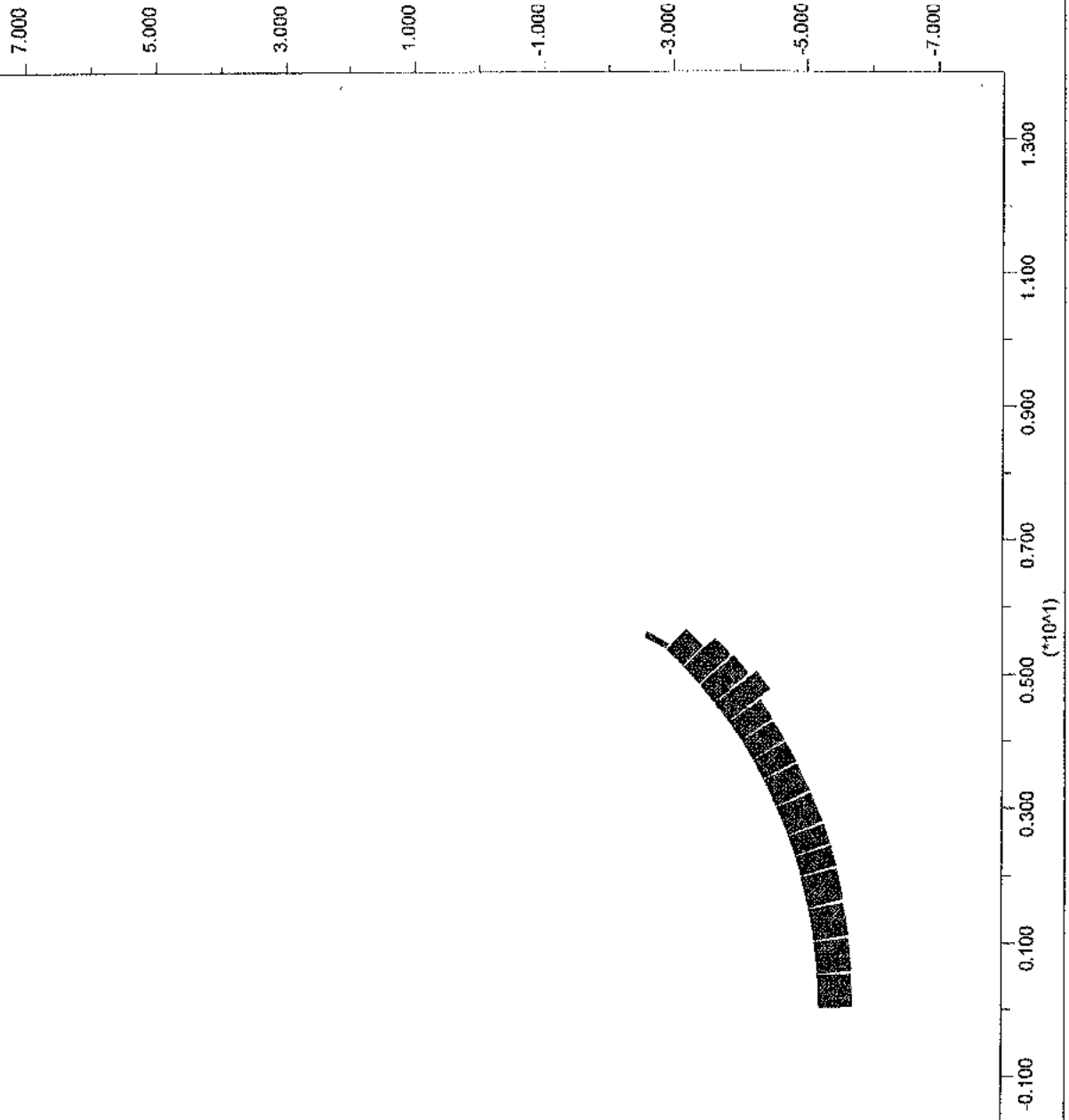
-2.000E+00 <x< 1.400E+01  
-8.000E+00 <y< 8.000E+00

A.R. Sforzo normale [N/m]

■ Axial Force on

Structure Max. Value

# 2 (Beam ) 1.302E+06



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/2 - "TIME 4"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND


17-Feb-04 9:23

step 21039

-2.000E+00 <x< 1.400E+01

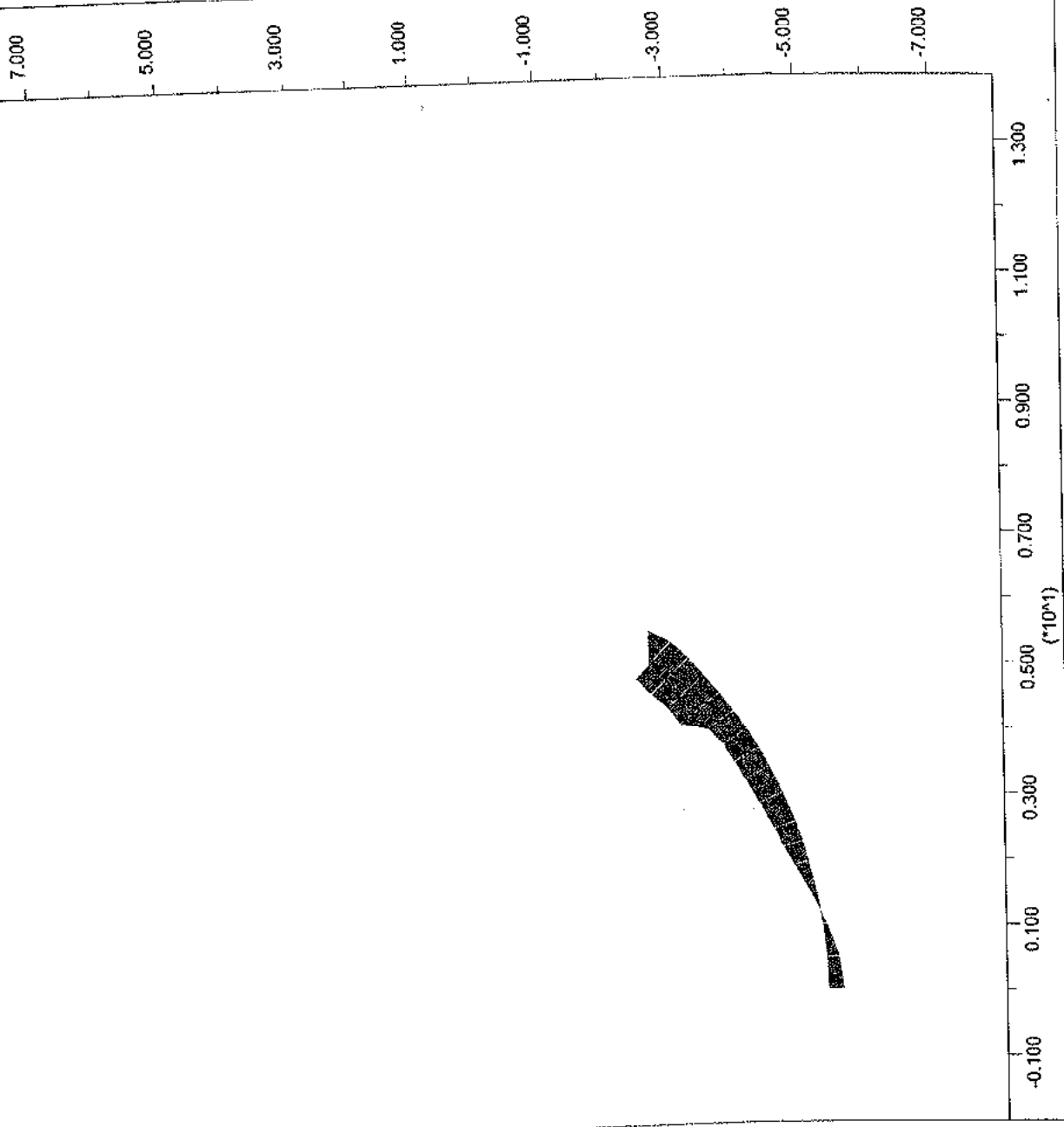
-8.000E+00 <y< 8.000E+00

A.R. Momento flettente [N\*m/m]

 Moment on

Structure Max. Value

# 2 (Beam) -1.192E+05



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/2 - "TIME 5"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

17-Feb-04 9:23

step 21777

-2.000E+00 <x< 2.400E+01

-1.200E+01 <y< 1.400E+01

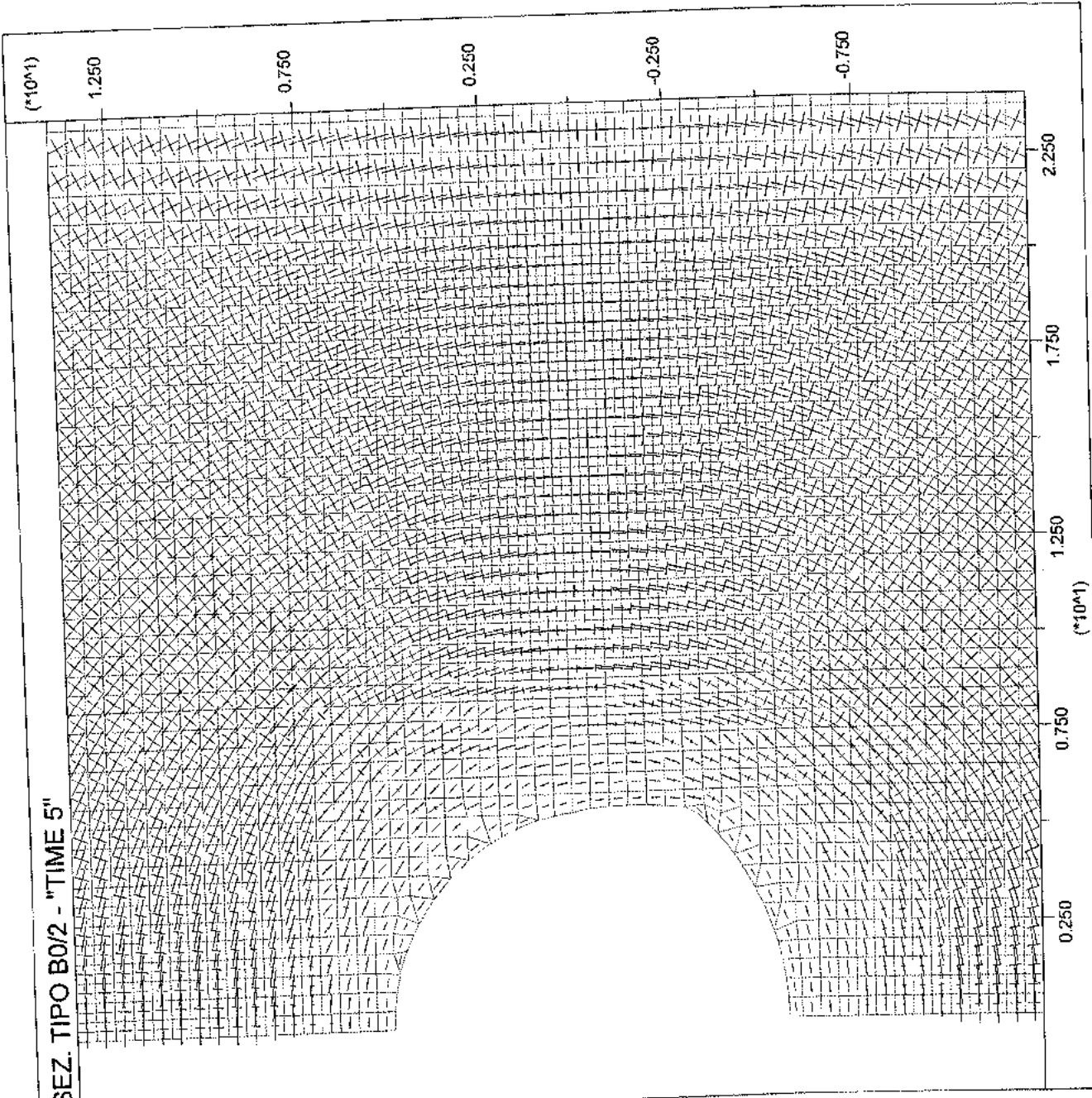
Principal stresses

Max. Value = -5.777E+04

Min. Value = -3.149E+07



Tensioni principali : Pa



JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/2 - "TIME 5"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

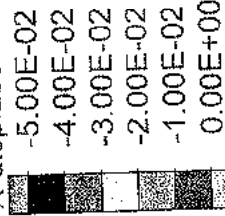
17-Feb-04 9:23

step 21777

-2.000E+00 <x< 2.400E+01

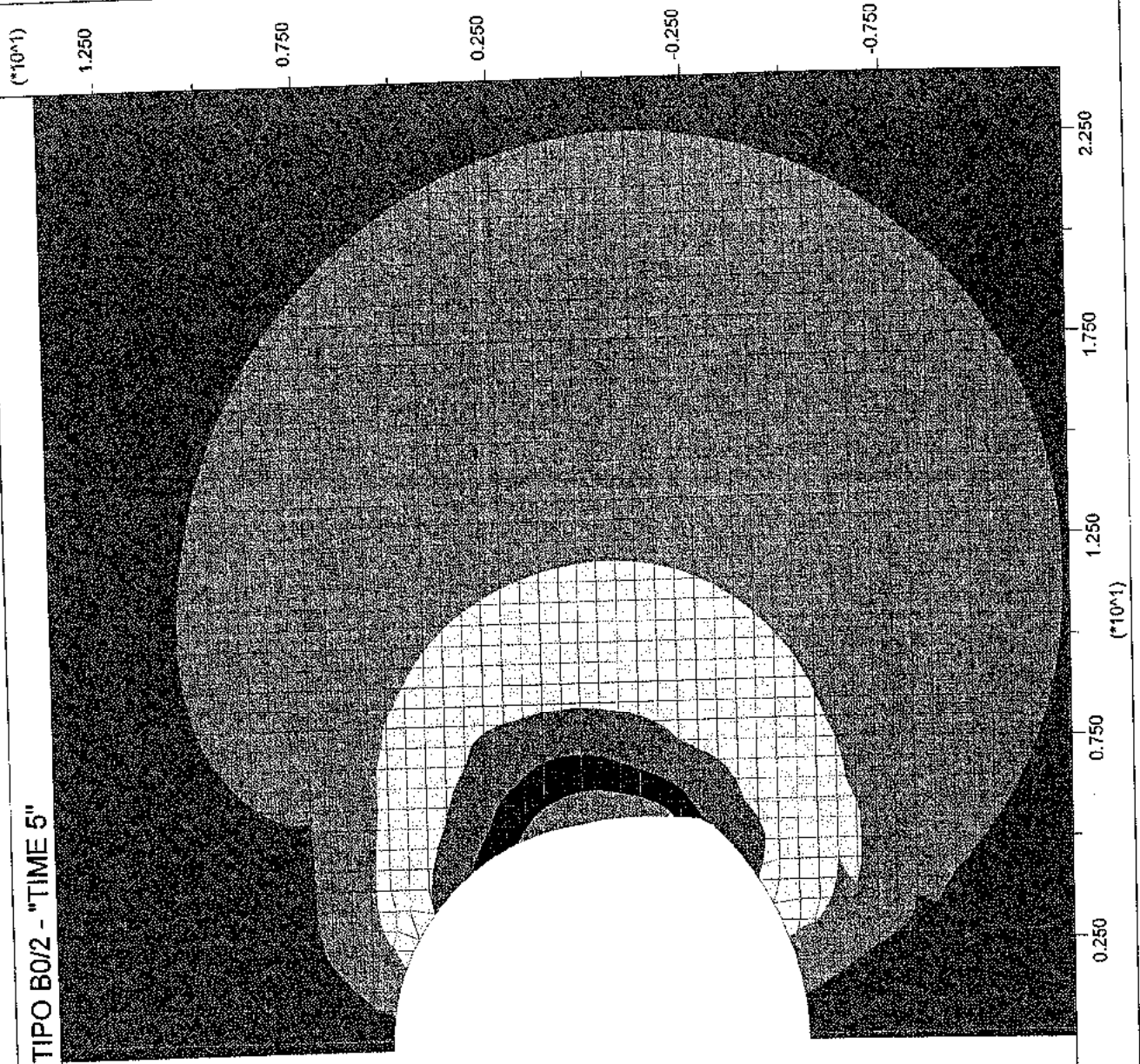
-1.200E+01 <y< 1.400E+01

X-displacement contours



Contour interval= 1.00E-02

Spostamenti orizzontali



JOB TITLE: Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/2 - "TIME 5"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

17-Feb-04 9:23

step 21777

-2.000E+00 <x< 2.400E+01

-1.200E+01 <y< 1.400E+01

Y-displacement contours

-4.00E-02

-2.00E-02

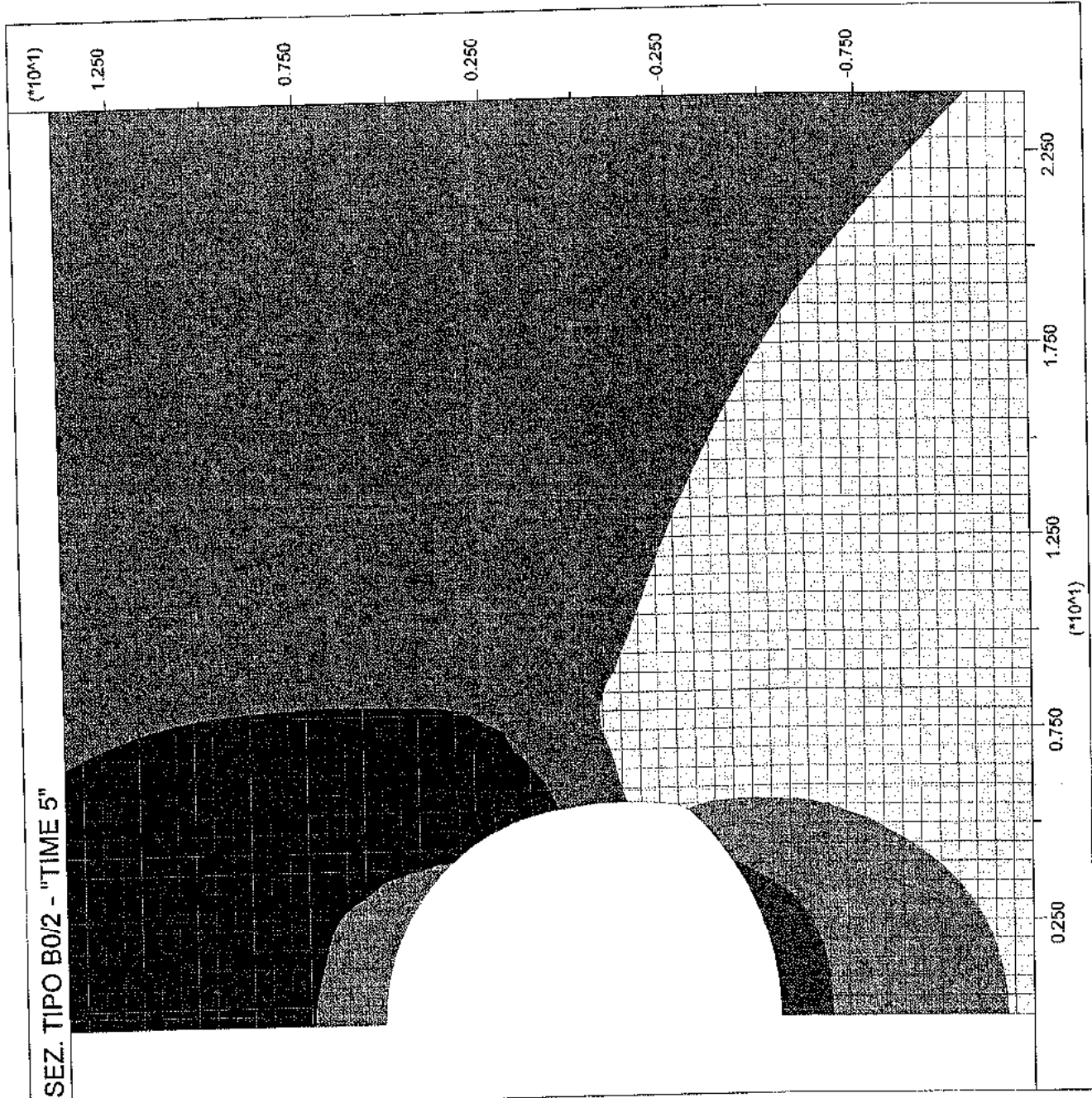
0.00E+00

2.00E-02

4.00E-02

Contour interval= 2.00E-02

Spostamenti verticali



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/2 - "TIME 5"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

17-Feb-04 9:23

step 21777

-2.000E+00 <x< 2.400E+01

-1.200E+01 <y< 1.400E+01

Max. shear strain increment

0.00E+00

2.50E-03

5.00E-03

7.50E-03

1.00E-02

1.25E-02

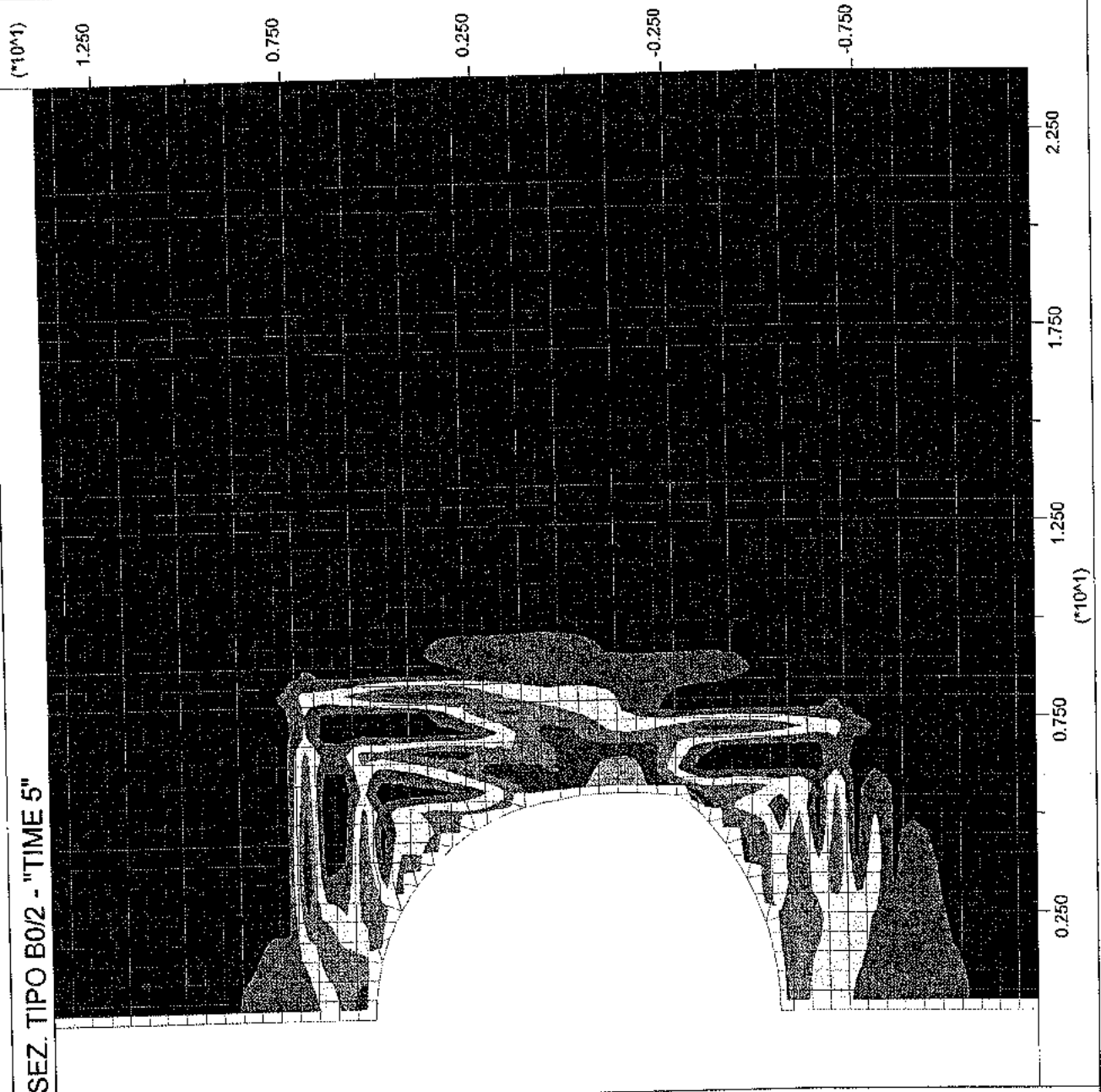
1.50E-02

1.75E-02

2.00E-02

Contour interval= 2.50E-03

Deformazioni plastiche per taglio



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

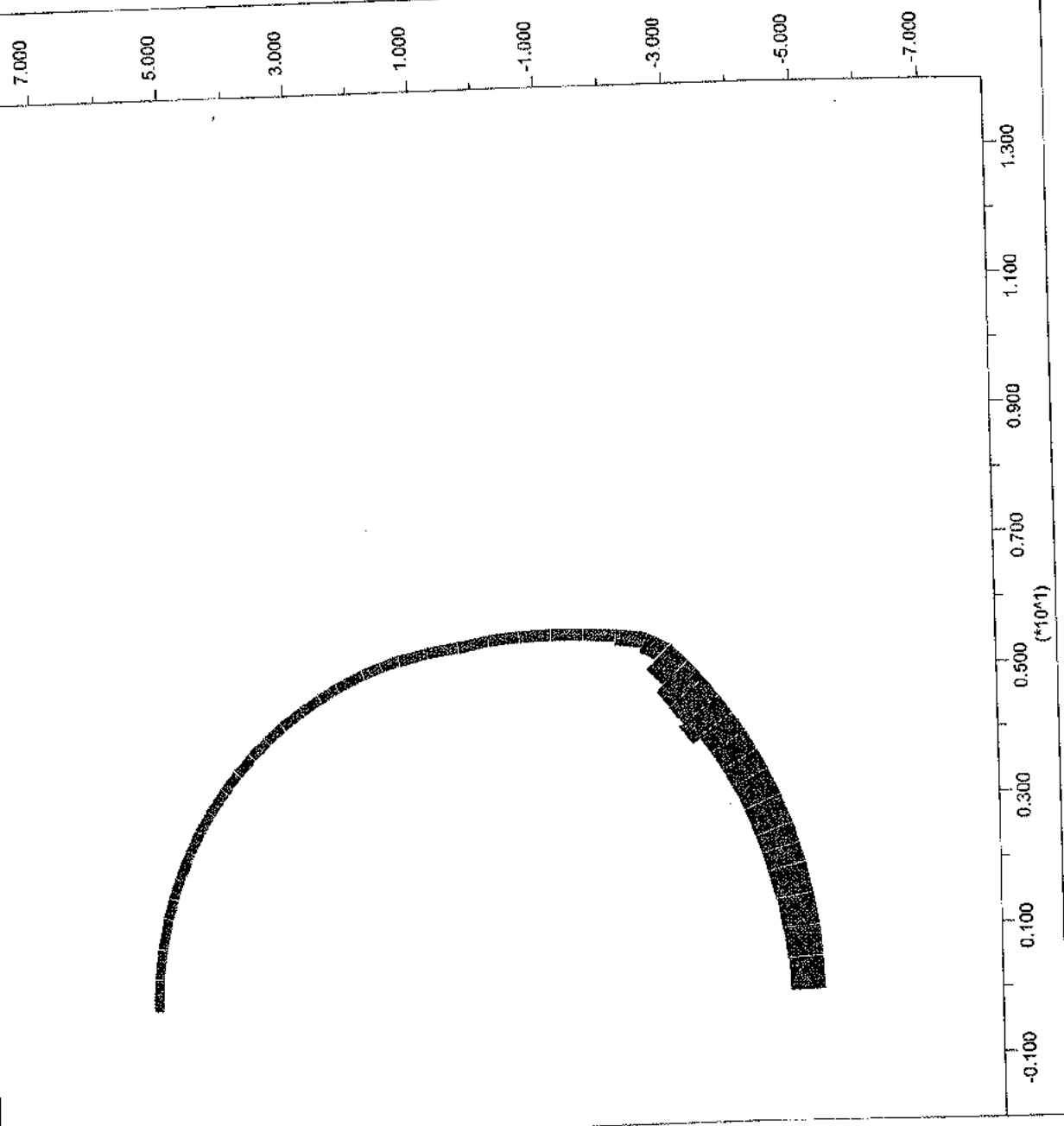
JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/2 - "TIME 5"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

17-Feb-04 9:23  
step 21777  
-2.000E+00 <x< 1.400E+01  
-8.000E+00 <y< 8.000E+00

Riv. def. - Sforzo normale [N/m]  
■ Axial Force on  
Structure Max. Value  
# 2 (Beam ) 1.811E+06



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA



JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/2 - "TIME 5"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

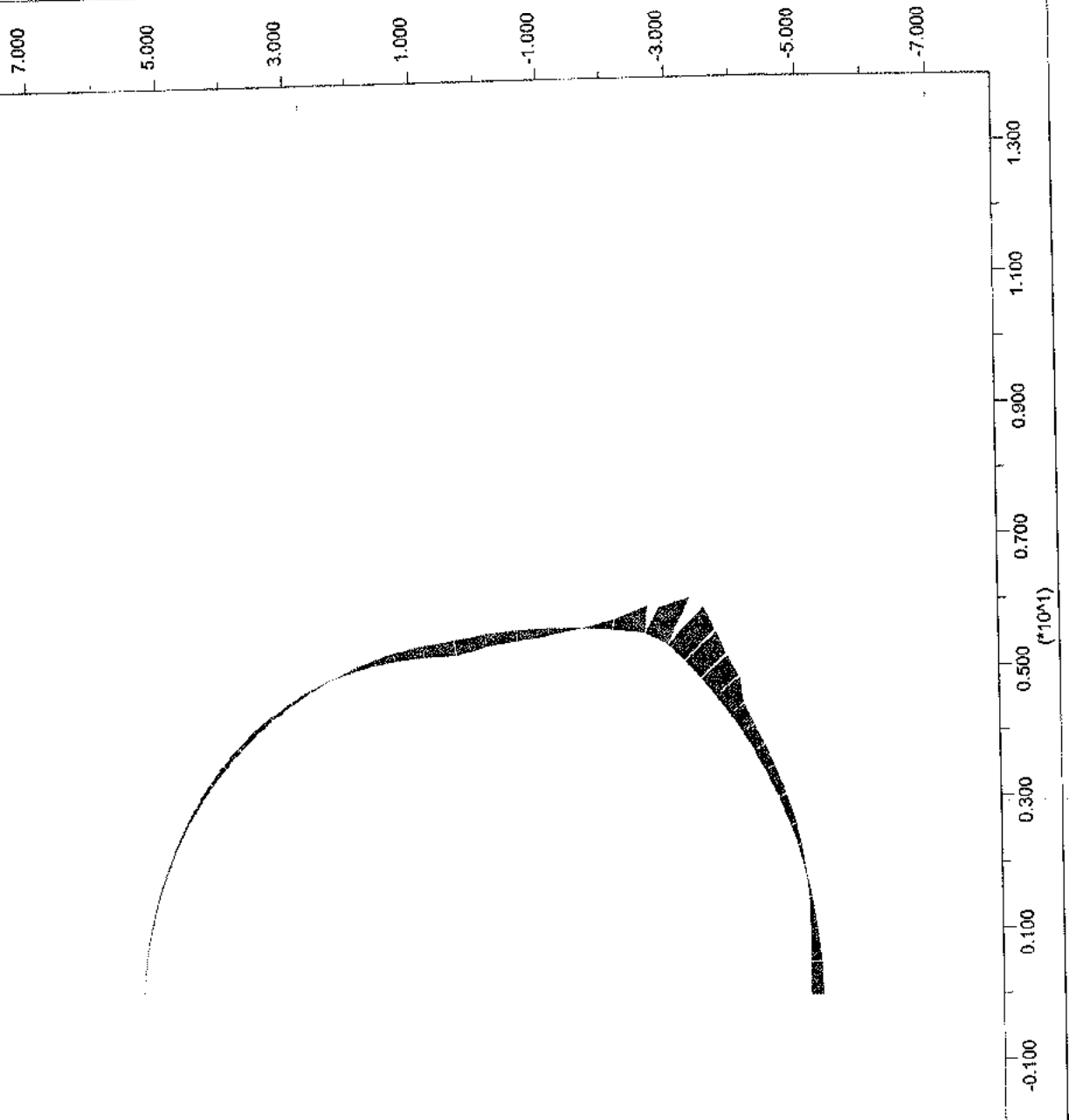
17-Feb-04 9:23  
step 21777  
-2.000E+00 <x< 1.400E+01  
-8.000E+00 <y< 8.000E+00

Riv. def. - Momento flettente [N\*m/m]

■ Moment On

Structure Max. Value

# 2 (Beam) -2.454E+05



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/2 - "TIME 6"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

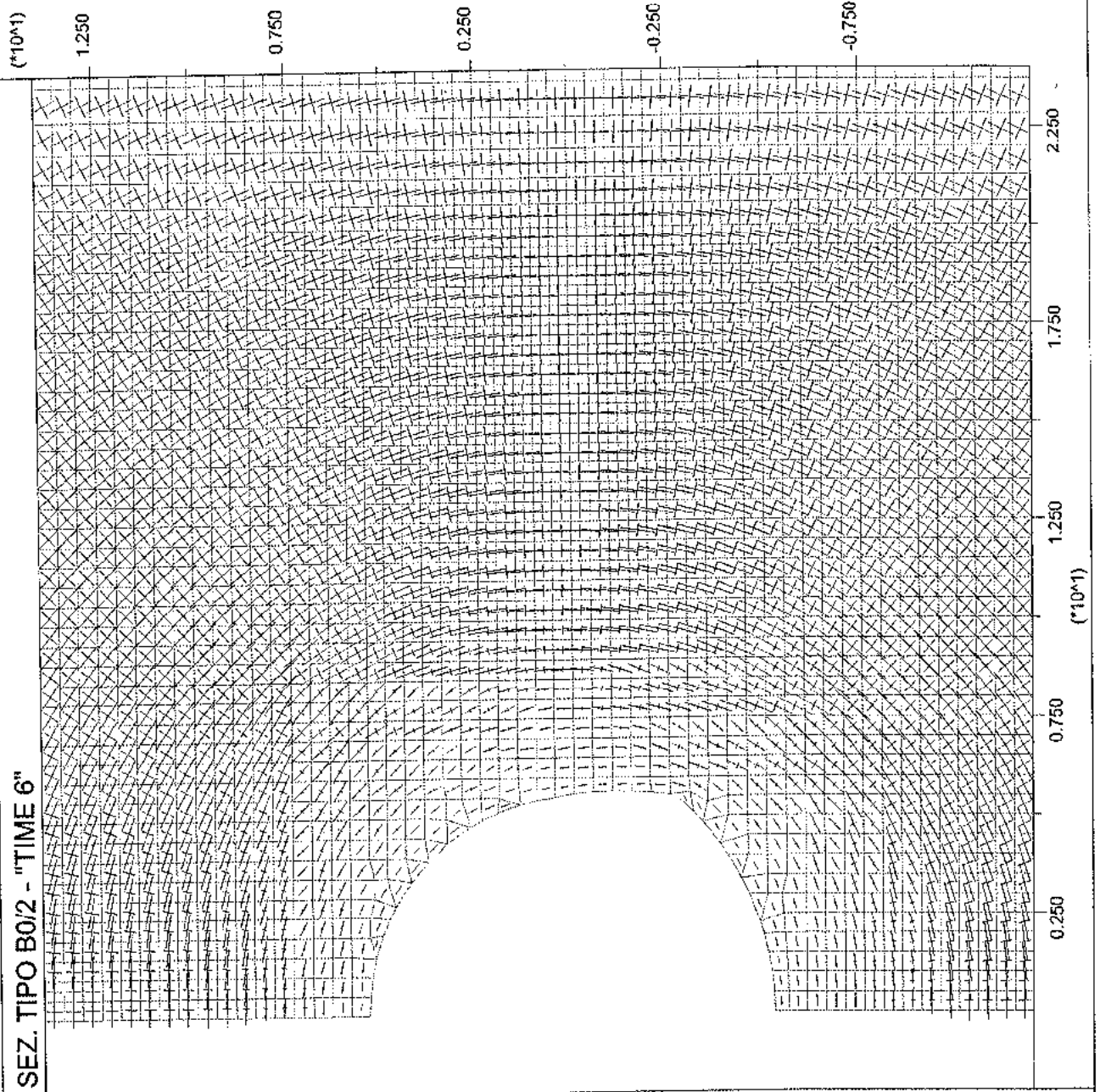
17-Feb-04 9:37  
step 22571  
-2.000E+00 <x< 2.400E+01  
-1.200E+01 <y< 1.400E+01

Principal stresses

Max. Value = -9.506E+04  
Min. Value = -3.164E+07



Tensioni principali : Pa



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/2 - "TIME 6"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

17-Feb-04 9:37

step 22571

-2.000E+00 <x< 2.400E+01

-1.200E+01 <y< 1.400E+01

X-displacement contours

-5.00E-02

-4.00E-02

-3.00E-02

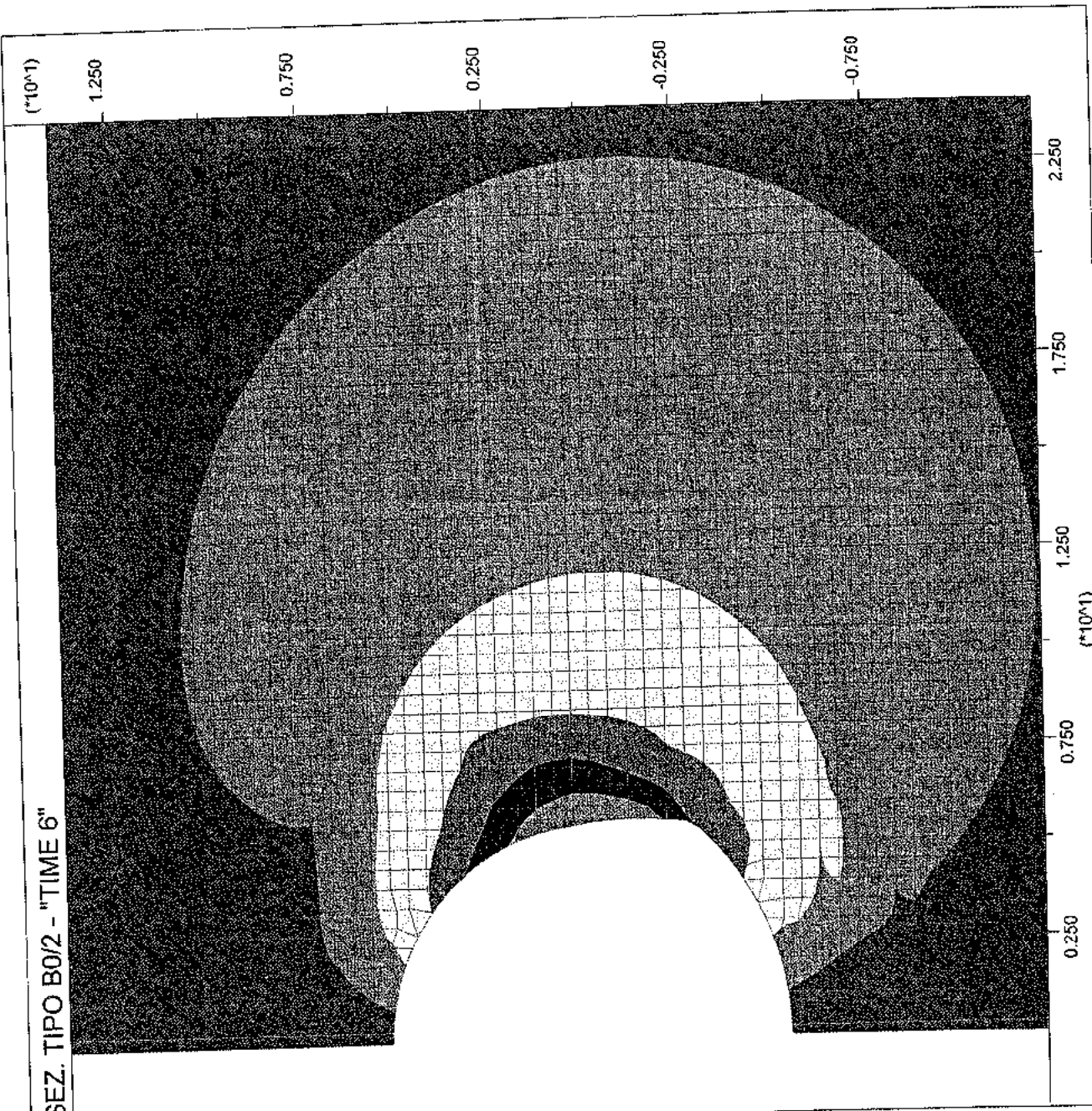
-2.00E-02

-1.00E-02

0.00E+00

Contour interval= 1.00E-02

Spostamenti orizzontali



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

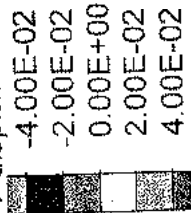
JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/2 - "TIME 6"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

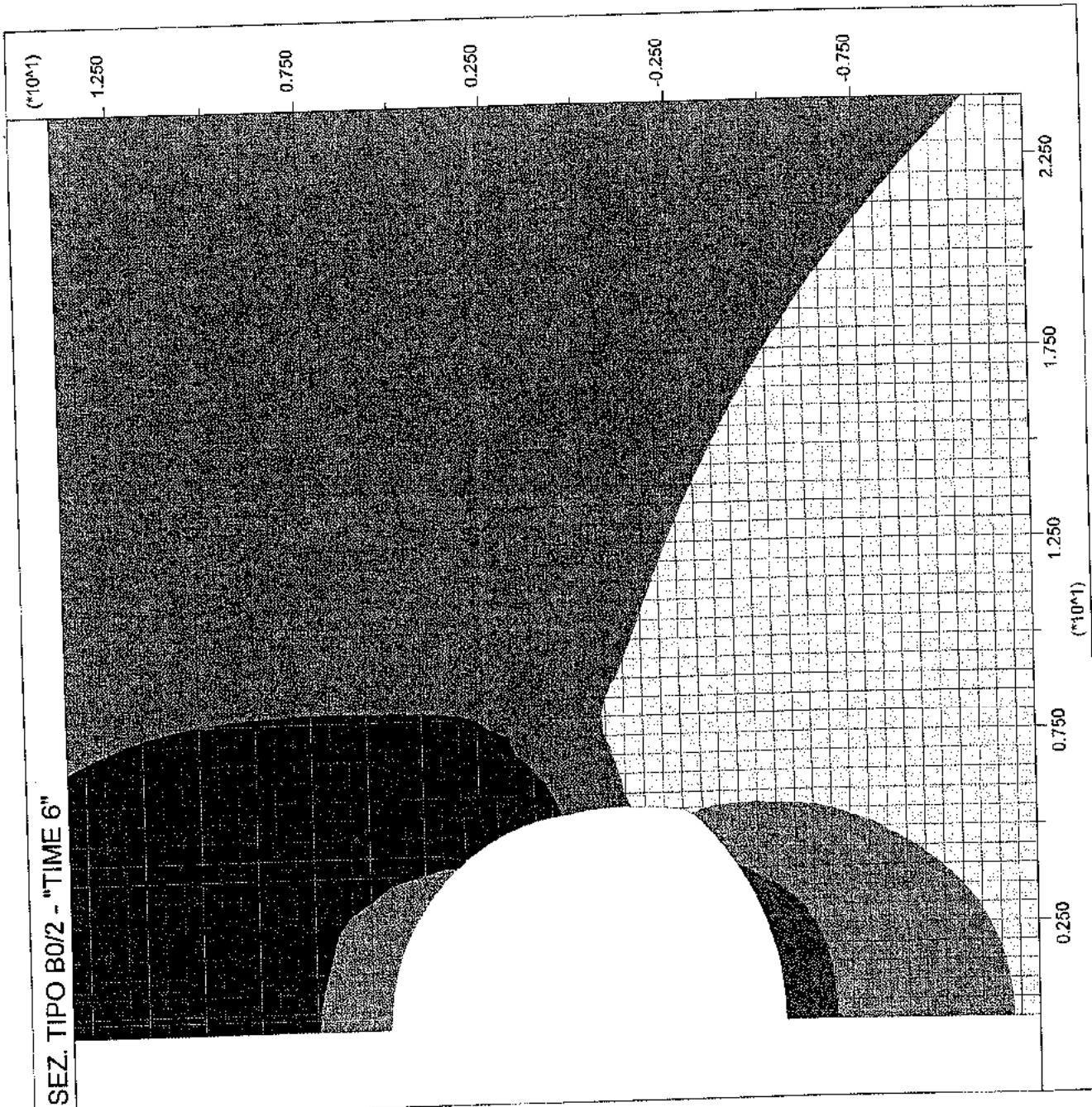
17-Feb-04 9:37  
step 22571  
-2.000E+00 <x< 2.400E+01  
-1.200E+01 <y< 1.400E+01

Y-displacement contours



Contour interval= 2.00E-02

Spostamenti verticali



JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/2 - "TIME 6"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

17-Feb-04 9:37

step 22571

-2.000E+00 <x< 2.400E+01

-1.200E+01 <y< 1.400E+01

Max. shear strain increment

0.00E+00

2.50E-03

5.00E-03

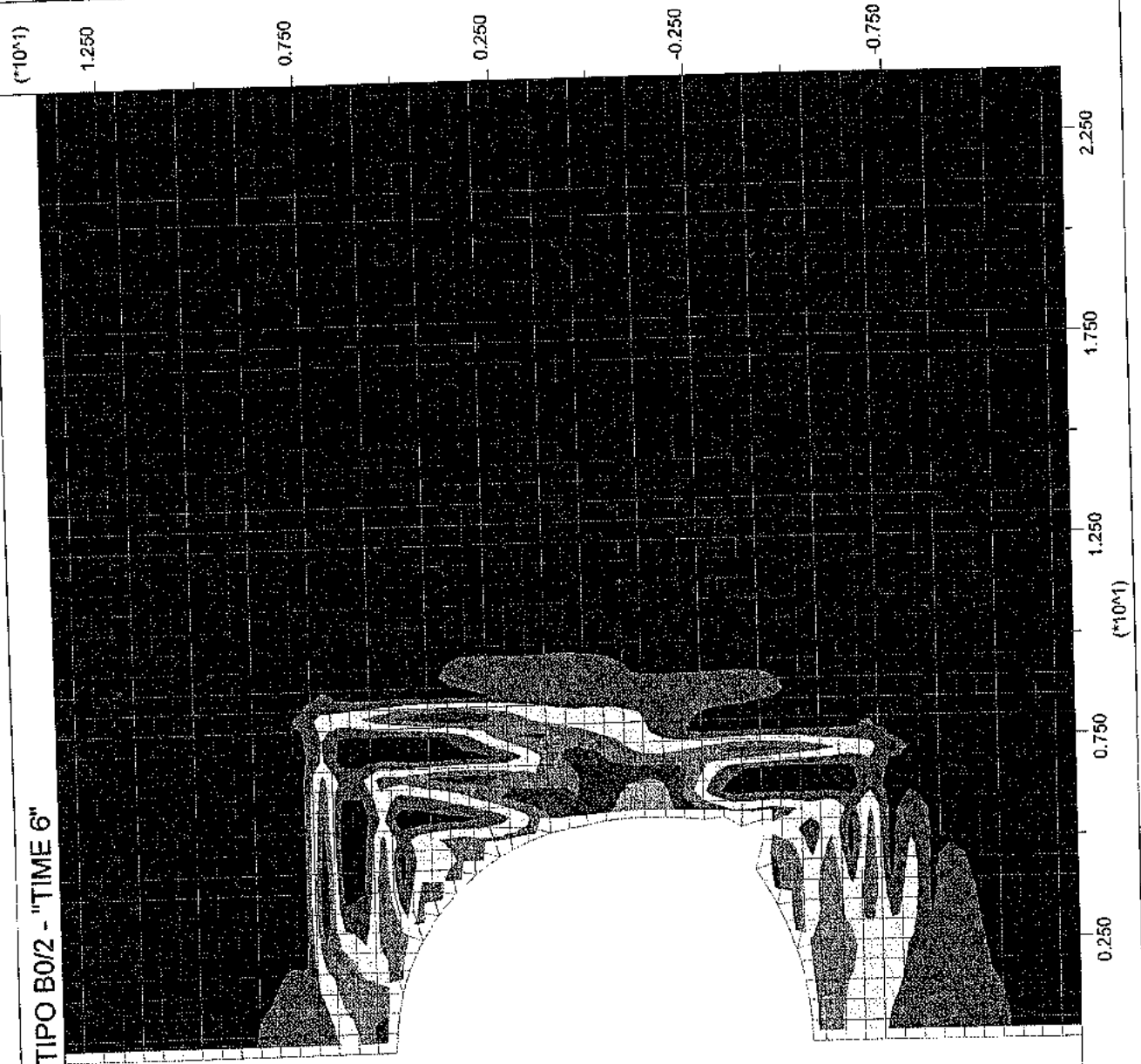
7.50E-03

1.00E-02

1.25E-02

Contour interval= 2.50E-03

Deformazioni plastiche per taglio



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/2 - "TIME 6"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

17-Feb-04 9:37

step 22571

-2.000E+00 <x< 1.400E+01

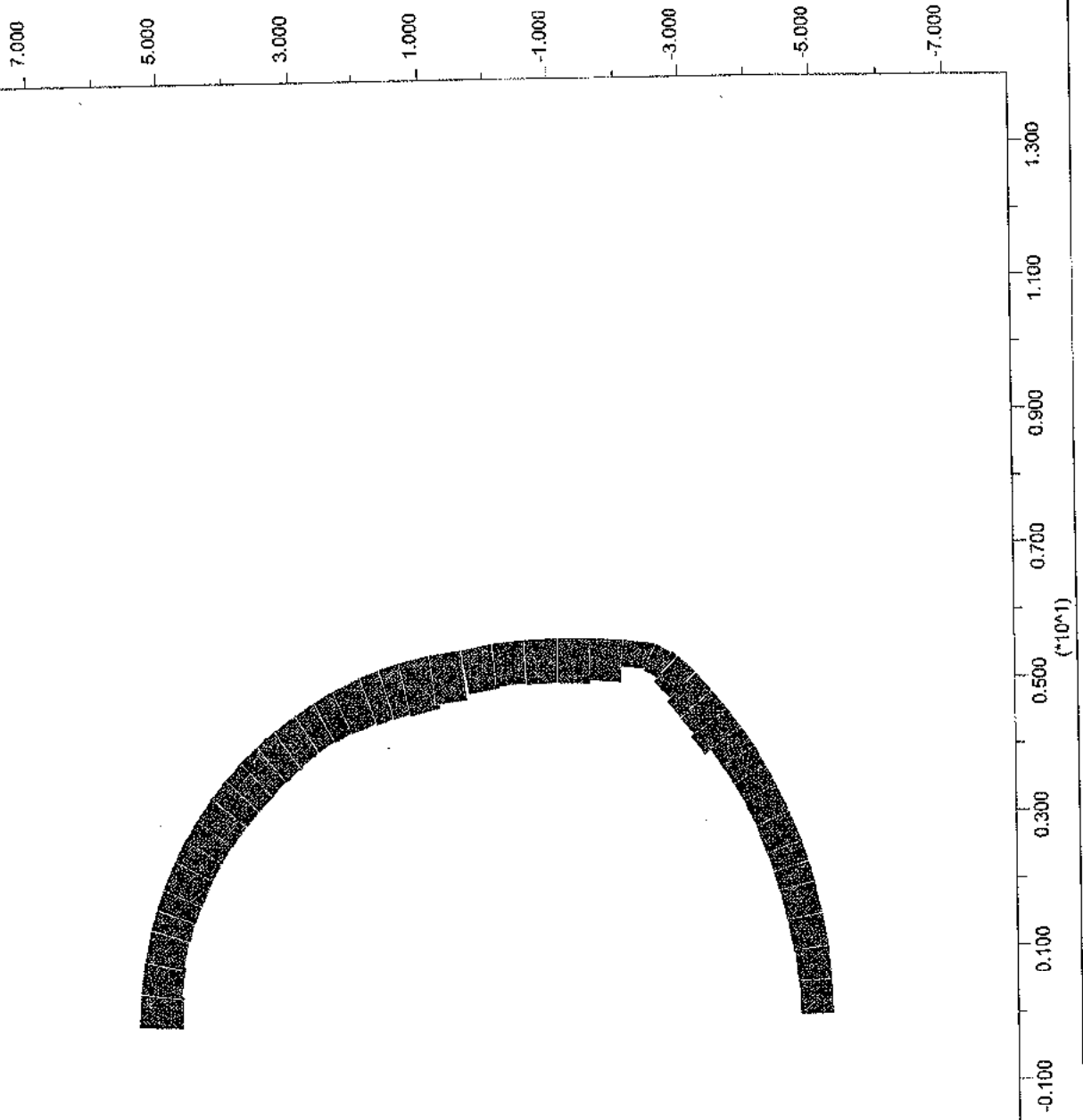
-8.000E+00 <y< 8.000E+00

Riv. def. - Sforzo normale [N/m]

■ Axial Force on

Structure Max. Value

# 1 (Beam ) 2.242E+06



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B0/2 - "TIME 6"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

17-Feb-04 9:37

step 22571

-2.000E+00 <x< 1.400E+01

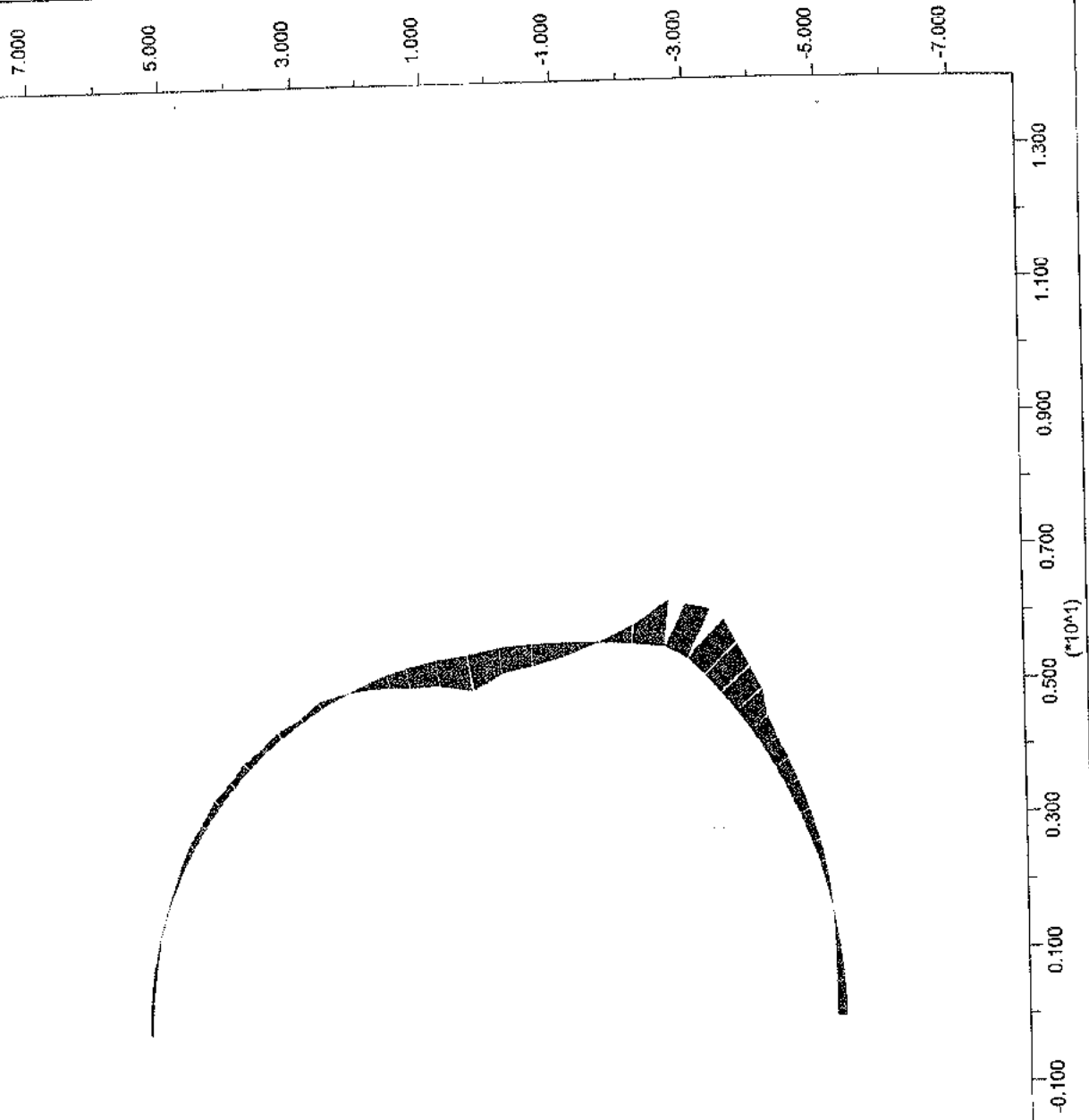
-8.000E+00 <y< 8.000E+00

Riv. def. - Momento flettente [N\*m/m]

■ Moment on

Structure Max. Value

# 1 (Beam ) -2.746E+05



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

## **Calcolo FLAC – Sezione tipo B1**



# ANALISI FLAC

## Sezione tipo B1 - Ap gruppo 2

### Input Analisi alle Differenze Finite FLAC

Geometria	
Copertura (m)	6.00
Altezza falda statica (m)	0.00
Coefficiente efficienza drenaggio	0.20
Altezza falda dinamica (m)	0.00
Raggio scavo (m)	5.50

Parametri geomecanici	1° stato		2° stato	
	Picco	Residuo	Picco	Residuo
Valori di picco e residuo	2.7	2.7		
Peso di volume (KN/m <sup>3</sup> )	36	33		
Angolo attrito (°)	1.20	1.15		
Coesione (MPa)	2.10	1.20		
Modulo elastico (GPa)	0.30	0.30		
Modulo di Poisson	1.75	1.00		
Modulo di deformazione volumetrica (Bulk modulus)(GPa)	0.81	0.46		
Modulo elastico tangenziale (Shear modulus)(GPa)				Strain-Softening
Modello costitutivo				

Materiali					
Spritz-beton	f <sub>m</sub> (MPa)	s (m)	E <sub>spz</sub> (MPa)	E <sub>sb</sub> (MPa)	h <sub>s</sub> (cm)
	25	0.30	14000	28500	2.25E+03
Cementine	Tipi	n	A <sub>i</sub> (cm <sup>2</sup> )	h (cm)	h <sub>0x</sub> (cm <sup>2</sup> )
	IPN220	2.00	39.5	22.00	3055.0
Rivestimenti	R <sub>pr</sub> (MPa)	S (m)	E <sub>pr</sub> (MPa)	Armaturo	D
A.R.	25	1.00	28500		5.0
Calaia	23	0.50	28500		5.0

### LEGENDA SIMBOLI

- f<sub>m</sub> - resistenza media cilindrica a compressione dello spritz-beton
- s - spessore dello spritz-beton
- E<sub>spz</sub> - moduli elastici inermi dello spritz-beton
- E<sub>sb</sub> - modulo elastico lineare dello spritz-beton
- h<sub>s</sub> - momento di inerzia dello spritz-beton
- n - numero di centine per gruppo
- p - passo centine
- A<sub>i</sub> - area del profilo della singola centina
- h - altezza del profilo centina
- h<sub>0x</sub> - momento di inerzia del profilo della singola centina
- R<sub>pr</sub> - resistenza caratteristica cubica a compressione del c/c
- S - spessore del rivestimento definitivo
- E<sub>pr</sub> - modulo elastico del c/c maturato
- D - Distanza di getto fra rivestimenti definitivi e fronte (multiplo del diametro della galleria)
- E<sub>pr</sub> - modulo elastico del preinvestimento

Fasi di calcolo (TIME)	x (m)	x/R	R/R <sub>net</sub>	RDEM	E <sub>pr</sub> (MPa)	E <sub>sb</sub> (MPa)
TIME 1 - Geostatico	∞	∞	0.000	0.000	-	-
TIME 2 - Taratura e scavo	0.00	0.000	0.280	0.970	-	-
TIME 3 - Posa centine e pre-spritz	1.00	0.182	0.513	0.974	14000	-
TIME 4 - Installazione bulloni e completamento spritz	6.00	1.091	0.964	0.980	14000	-
TIME 5 - Getto Murate e A.R. maturazione SB	20.00	3.636	0.975	0.980	32500	28500
TIME 6 - Getto calotta	40.00	7.273	0.992	1.000	-	28500
TIME 7 - Decadimento ammasso e preinvestimento	∞	∞	1.000	1.000	-	28500

### Relazione per il calcolo di R<sub>pr,net</sub>, RDEM:

$$K = u_0 + (u_{\infty} - u_0) \cdot \left[ 1 - \frac{1}{1 + 0.84 \cdot R_p} \right]^2$$

- R<sub>pr</sub> = Convergenza radiale ad una distanza di x metri dal fronte espressa come % di u<sub>0</sub>
- u<sub>0</sub> = Convergenza radiale in corrispondenza del fronte espressa come % di u<sub>∞</sub>
- u<sub>∞</sub> = Convergenza radiale ad una distanza infinita dal fronte
- R<sub>p</sub> = Raggio plastico
- R = Raggio della galleria
- x = distanza tra il fronte e la sezione di calcolo

### TIMES DI CALCOLO

TIME 1 - Geostatico	Viene applicato il peso proprio del terreno, modellando in termini di tensioni l'installazione preesistente lo scavo della galleria.
TIME 2 - Taratura e scavo	Viene simulato l'arrivo del fronte di scavo liberando in conto il contobulo dei consolidamenti
TIME 3 - Posa centine e pre-spritz	Viene simulata la posa in opera delle centine e dello strato di 5 cm di spritz-beton
TIME 4 - Installazione bulloni e completamento spritz	Viene simulata la posa in opera dei bulloni ed il completamento dello spritz-beton
TIME 5 - Getto Murate e A.R. maturazione SB	Viene simulato il getto della murata e dell'arco rovescio, la maturazione dello spritz e l'avanzamento dello scavo.
TIME 6 - Getto calotta	Si simula il getto del rivestimento definitivo di calotta
TIME 7 - Decadimento ammasso e preinvestimento	Si applica un decadimento delle caratteristiche meccaniche del preinvestimento e dell'ammasso

JOB TITLE : Sezioni di verifica - Prerivestimento

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

19-Feb-04 9:42

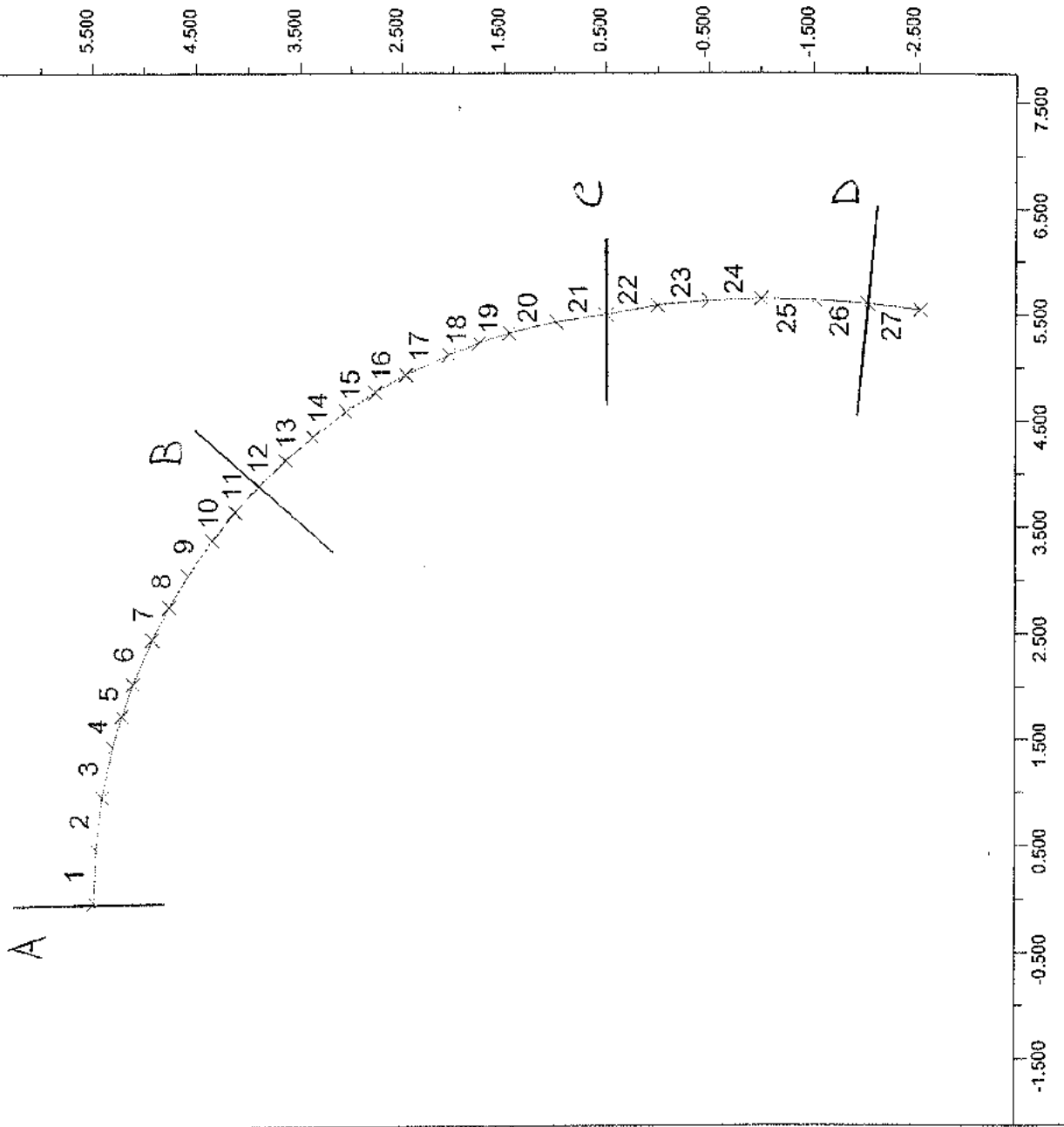
step 20395

-2.121E+00 <x< 7.770E+00

-3.438E+00 <y< 6.454E+00

Beam Plot

Structural Element Numbers



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

Sezione tipo B1 - Ap gruppo 2  
Verifica del rivestimento definitivo

TIME 5 - Getto Murette e A.R., maturazione SB

Sezione	Elemento	Altezza (m)	N (kN/m)	M (kNm/m)	e (m)	$\sigma_c$ (MPa)
CHIAVE A.R.	112	1.00	1175	-138.3	-0.12	2.0
SEZIONE INTERMEDIA A.R.	118	1.00	1004	-108.4	-0.11	1.7
ATTACCO A.R. - MURETTA	124	1.00	885	-46.4	-0.05	1.2

TIME 6 - Getto calotta

Sezione	Elemento	Altezza (m)	N (kN/m)	M (kNm/m)	e (m)	$\sigma_c$ (MPa)
CHIAVE A.R.	112	1.00	1875	-51.4	-0.03	2.2
SEZIONE INTERMEDIA A.R.	118	1.00	1708	-64.2	-0.04	2.1
ATTACCO A.R. - MURETTA	124	1.00	1606	-153.0	-0.10	2.5
ATTACCO CAL. - MURETTA	129	0.80	573	-25.9	-0.05	1.0
PIANO DEI CENTRI	133	0.80	538	115.4	0.21	1.9
RENI	143	0.80	525	-15.0	-0.03	0.8
CHIAVE CALOTTA	154	0.80	515	-3.4	-0.01	0.7

TIME 7 - Decadimento ammasso e prr rivestimento

Sezione	Elemento	Altezza (m)	N (kN/m)	M (kNm/m)	e (m)	$\sigma_c$ (MPa)
CHIAVE A.R.	112	1.00	2177	-41.1	-0.02	2.4
SEZIONE INTERMEDIA A.R.	118	1.00	1989	-72.2	-0.04	2.4
ATTACCO A.R. - MURETTA	124	1.00	1923	-267.6	-0.14	3.5
ATTACCO CAL. - MURETTA	129	0.80	2061	-29.4	-0.01	2.9
PIANO DEI CENTRI	133	0.80	2360	313.4	0.13	5.9
RENI	143	0.80	2498	-52.2	-0.02	3.6
CHIAVE CALOTTA	154	0.80	2468	-7.0	0.00	3.1

JOB TITLE : Riv. definitivo - Sezioni di verifica

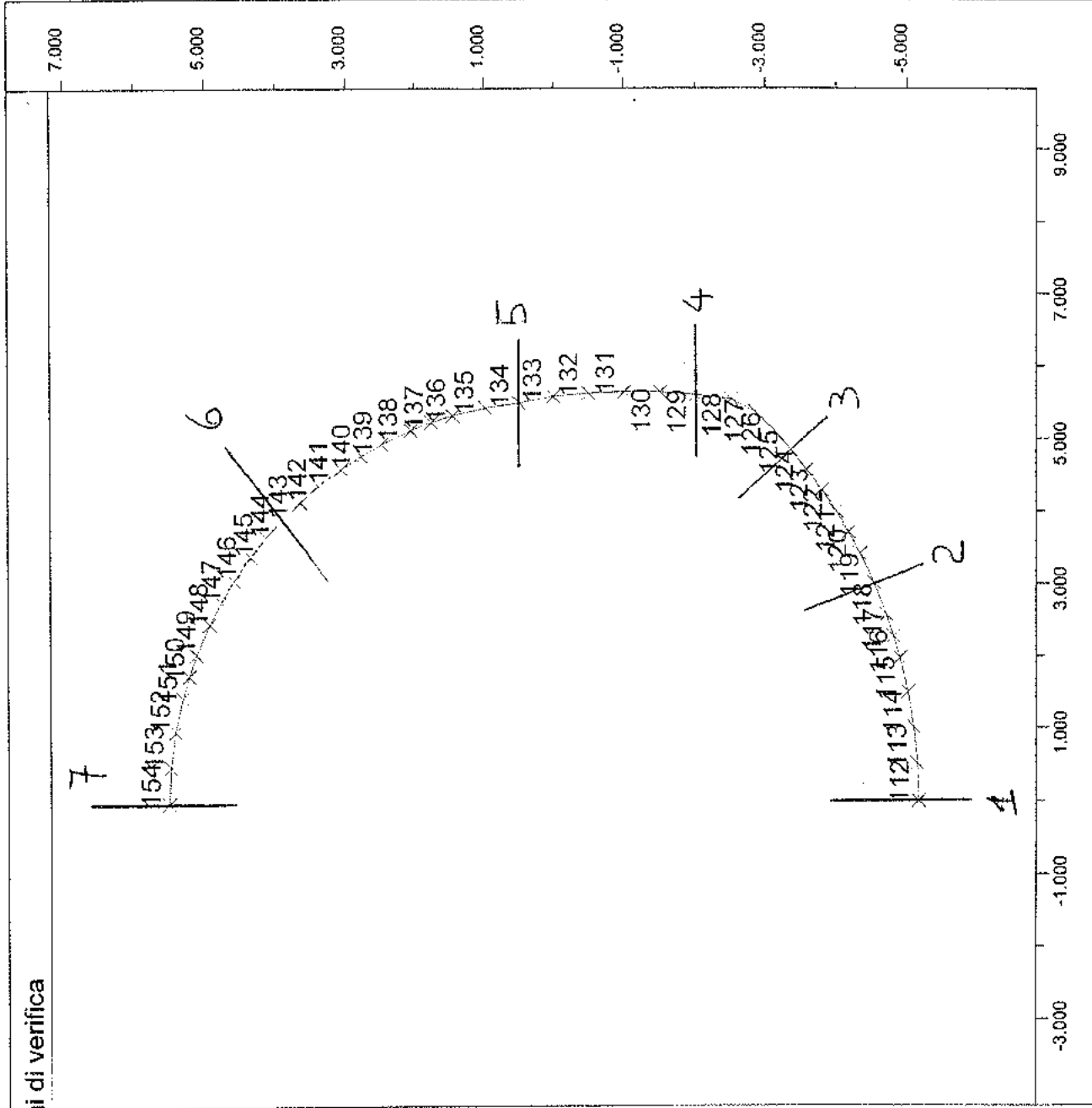
**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

20-Feb-04 10:51  
step 35019  
-4.181E+00 <x< 9.830E+00  
-6.824E+00 <y< 7.187E+00

Beam Plot  
Structural Element Numbers

Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA



## Sezione tipo B1 - Ap gruppo 2

### Verifica del prirvestimento

#### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E MECCANICHE

MATERIALI	Tipo	$\sigma_{max}$ (MPa)	H (cm)	Passo (m)	n°	A (cm <sup>2</sup> )	I (cm <sup>4</sup> )
Spritz-beton	Fcm 25	19.20	30	-	-	3000.0	2250.0
Centine	IPN220	210	22.00	1.20	2.00	39.5	3056.0
Sezione omogeneizzata						3921.7	84814.3

Coefficiente omogeneizzazione m	15	
Baricentro centina d (cm)	11.00	dall'estradosso
Baricentro sezione omogeneiz. Yg (cm)	14.06	dall'estradosso
e*lim,e = I*/(A*Yg) (cm)	1.54	dimensione nocciolo d'inerzia estradosso
e*lim,i = I*/(A*(H-Yg)) (cm)	1.36	dimensione nocciolo d'inerzia intradosso

e = M/N eccentricità

#### Formule impiegate

$$\sigma_{ob,i} = N/A^* + (M(H-Yg))/I^* \quad \sigma_{ob,e} = N/A^* - (MYg)/I^*$$

$$\sigma_{e,i} = m(N/A^* + M(d+H_e/2-Yg)/I^*)$$

$$\sigma_{e,e} = m(N/A^* - M(d-H_e/2-Yg)/I^*)$$

Tensioni positive se di compressione

Sezione	Elemento	Altezza (m)	N (KN/m)	M (KN*m/m)	e (m)	$\sigma_{ob,i}$ (Mpa)	$\sigma_{ob,e}$ (Mpa)	$\sigma_{e,i}$ (Mpa)	$\sigma_{e,e}$ (Mpa)	
CHIAVE CALOTTA	1	0.30	935	0.6	0.00	2.50	2.28	36.61	34.27	TIME 4
RENI	11	0.30	857	2.7	0.00	2.69	1.74	36.57	26.07	
P.C.	22	0.30	711	-13.7	-0.02	-0.76	4.08	7.96	61.26	
PIEDE	27	0.30	358	-0.8	0.00	0.76	1.05	12.57	15.68	
CHIAVE CALOTTA	1	0.30	1714	3.8	0.00	5.05	3.77	70.61	66.61	TIME 5
RENI	11	0.30	1617	7.3	0.00	5.50	2.91	72.10	43.70	
P.C.	22	0.30	1496	-56.2	-0.04	-6.75	13.13	-21.70	196.97	
PIEDE	27	0.30	734	-18.8	-0.03	-1.66	4.99	1.67	74.82	

## Sezione tipo B1 - Ap gruppo 2

Output Analisi alle Differenze Finite FLAC

TIME	Riduzione forze di scavo [%]	Spostamento y in chiave calotta		Spostamento x sul piano dei centri		Spostamento y in chiave A.R.		Tensioni preriv.		Tensioni Riv. def.
		[cm]	Nodo i=1 j=68	[cm]	Nodo j=12 j=57	[cm]	Nodo i=1 j=47	$\sigma_{SB,max}$ [MPa]	$\sigma_{s,max}$ [MPa]	$\sigma_{ds,max}$ [MPa]
TIME 1 - Geostatico	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TIME 2 - Taratura e scavo	98.0	14.7	14.1	13.4	-	-	-	-	-	-
TIME 3 - Posa centina e pre-spritz	98.3	14.9	14.3	13.6	-	-	-	-	-	-
TIME 4 - Installazione bulloni e completamento spritz	98.6	15.1	14.5	13.9	4.08	61.26	-	-	-	-
TIME 5 - Getto Murette e A.R., maturazione SB	99.0	15.2	14.7	14.2	13.13	196.97	2	-	-	-
TIME 6 - Getto calotta	100.0	15.2	14.7	14.2	-	-	2.5	-	-	-
TIME 7 - Decadimento ammesso e prinvestimento	100.0	15.2	14.7	14.2	-	-	5.9	-	-	-

Materiale	Tipo	Tensioni ammissibili [MPa]
Spritz-beton	fcm	19.20
Centina	F <sub>yk</sub>	210
Calcestruzzo	Rck	6.25

Tensioni positive nel cis : compressione

Tensioni positive nell'acciaio : trazione

Spostamenti x positivi verso destra, spostamenti y positivi verso l'alto

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola (Ap gruppo 2) - SEZ. TIPO B1

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

20-Feb-04 12:09

step 9395

-1.067E+02 <x< 2.267E+02

-1.417E+02 <y< 1.917E+02

MESH DI CALCOLO



(\*10^2)

1.500

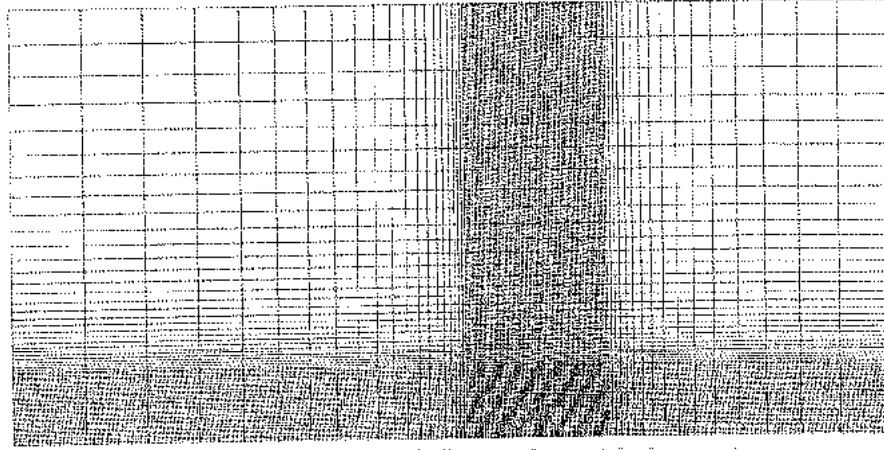
1.000

0.500

0.000

-0.500

-1.000



1.750

1.250

0.750

0.250

-0.250

-0.750

-1.250

-1.750

(\*10^2)

Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

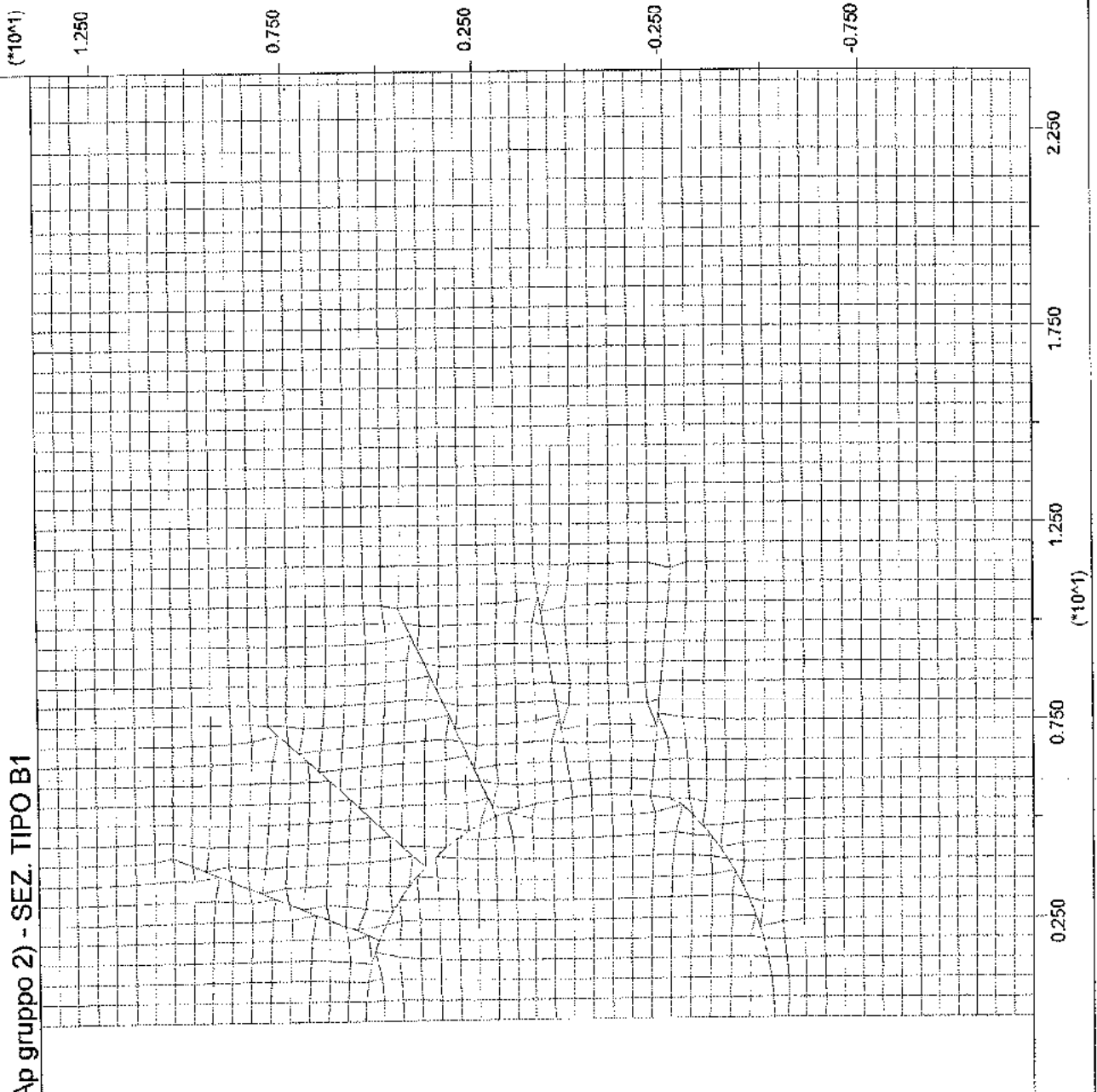
JOB TITLE : Cunicolo Castagnola (Ap gruppo 2) - SEZ. TIPO B1

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

20-Feb-04 12:09  
step 9395  
-2.000E+00 <x< 2.400E+01  
-1.200E+01 <y< 1.400E+01

MESH DI CALCOLO



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA



JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B1 - "TIME 1"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

20-Feb-04 12:09

step 9395

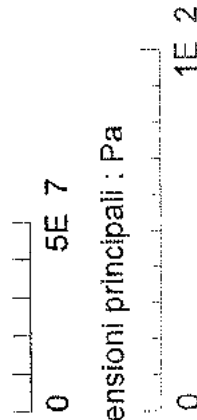
-1.067E+02 <x< 2.267E+02

-1.417E+02 <y< 1.917E+02

Principal stresses

Max. Value = -9.617E+06

Min. Value = -1.583E+07



Tensioni principali : Pa



(\*10^2)

1.500

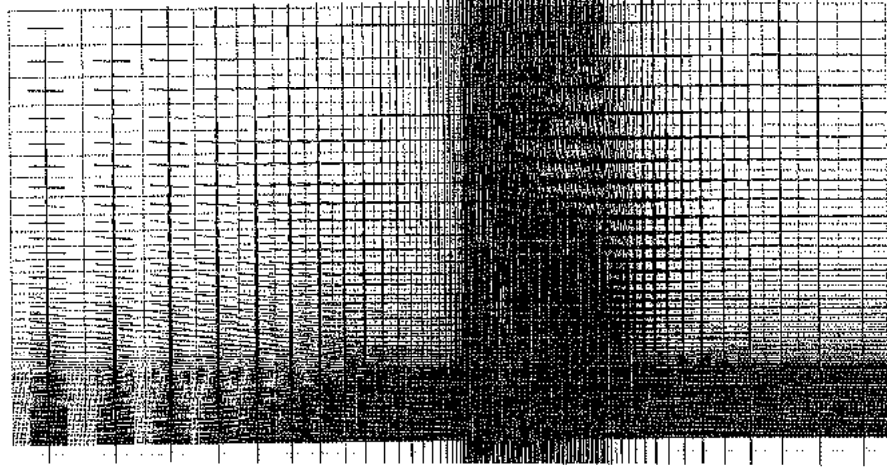
1.000

0.500

0.000

-0.500

-1.000



1.750

1.250

0.750

0.250

-0.250

-0.750

-1.250

-1.750

(\*10^2)

Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B1 - "TIME 1"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

20-Feb-04 12:09

step 9395

-2.000E+00 <x< 2.400E+01

-1.200E+01 <y< 1.400E+01

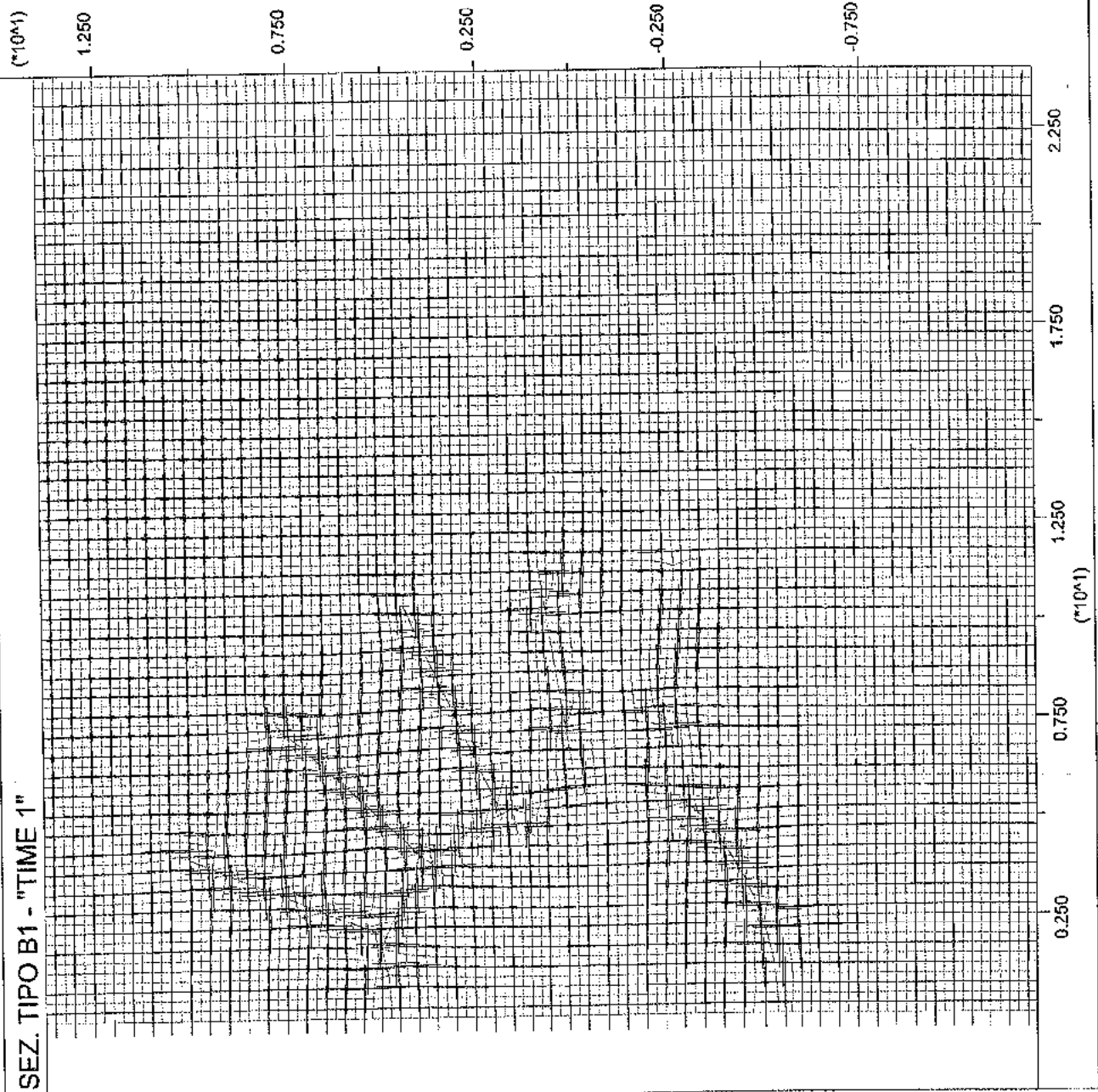
Principal stresses

Max. Value = -1.290E+07

Min. Value = -1.369E+07



Tensioni principali : Pa



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnoia - SEZ. TIPO B1 - "TIME 2"

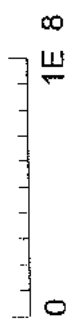
**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

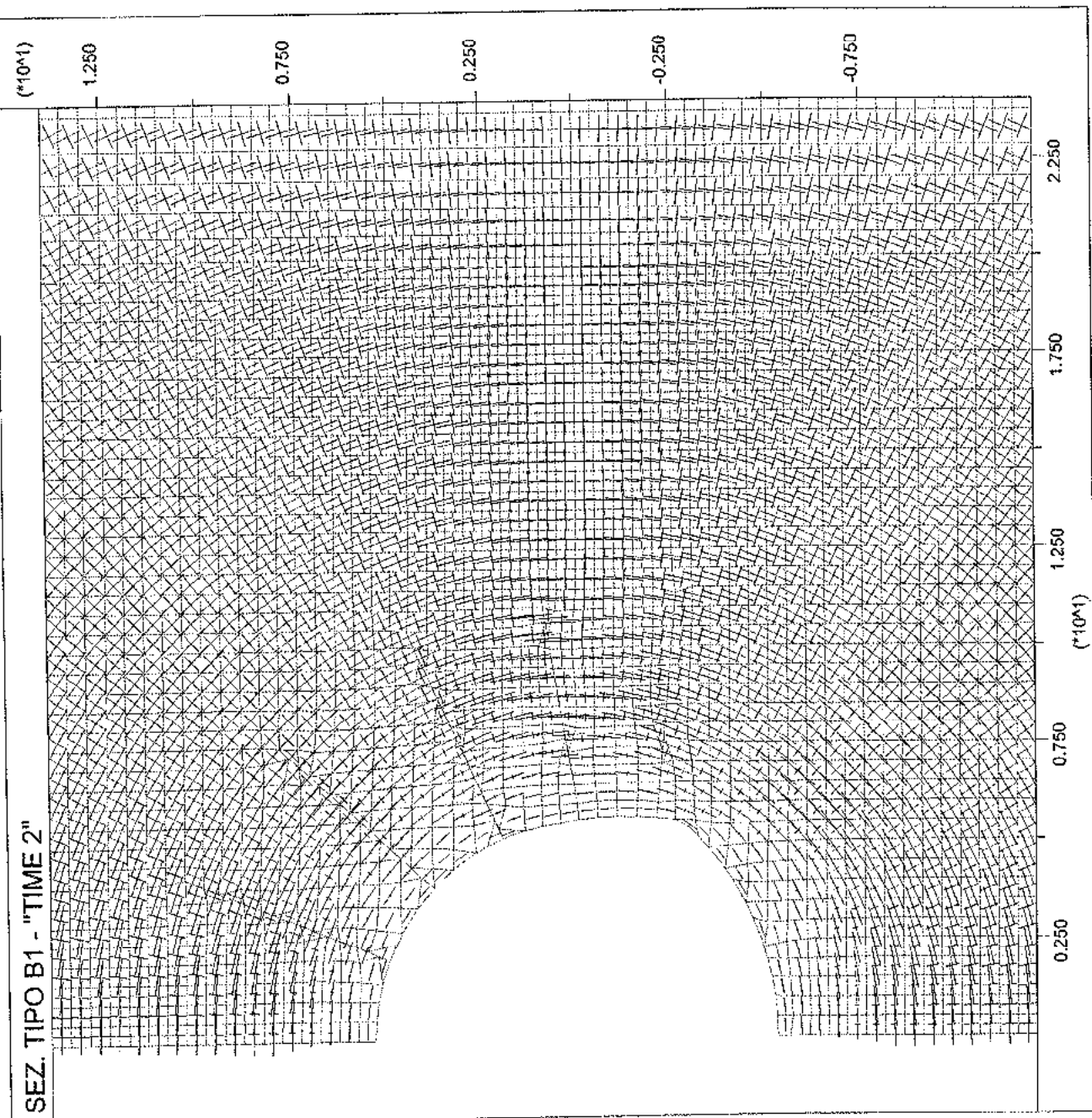
20-Feb-04 12:12  
step 19358  
-2.000E+00 <x< 2.400E+01  
-1.200E+01 <y< 1.400E+01

Principal stresses

Max. Value = -4.111E+05  
Min. Value = -2.326E+07



Tensioni principali : Pa



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

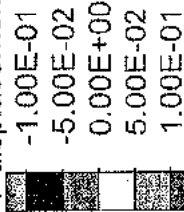
JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B1 - "TIME 2"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

20-Feb-04 12:12  
step 19358  
-2.000E+00 <x< 2.400E+01  
-1.200E+01 <y< 1.400E+01

Y-displacement contours



Contour interval= 5.00E-02

Spostamenti verticali



(\*10^1)

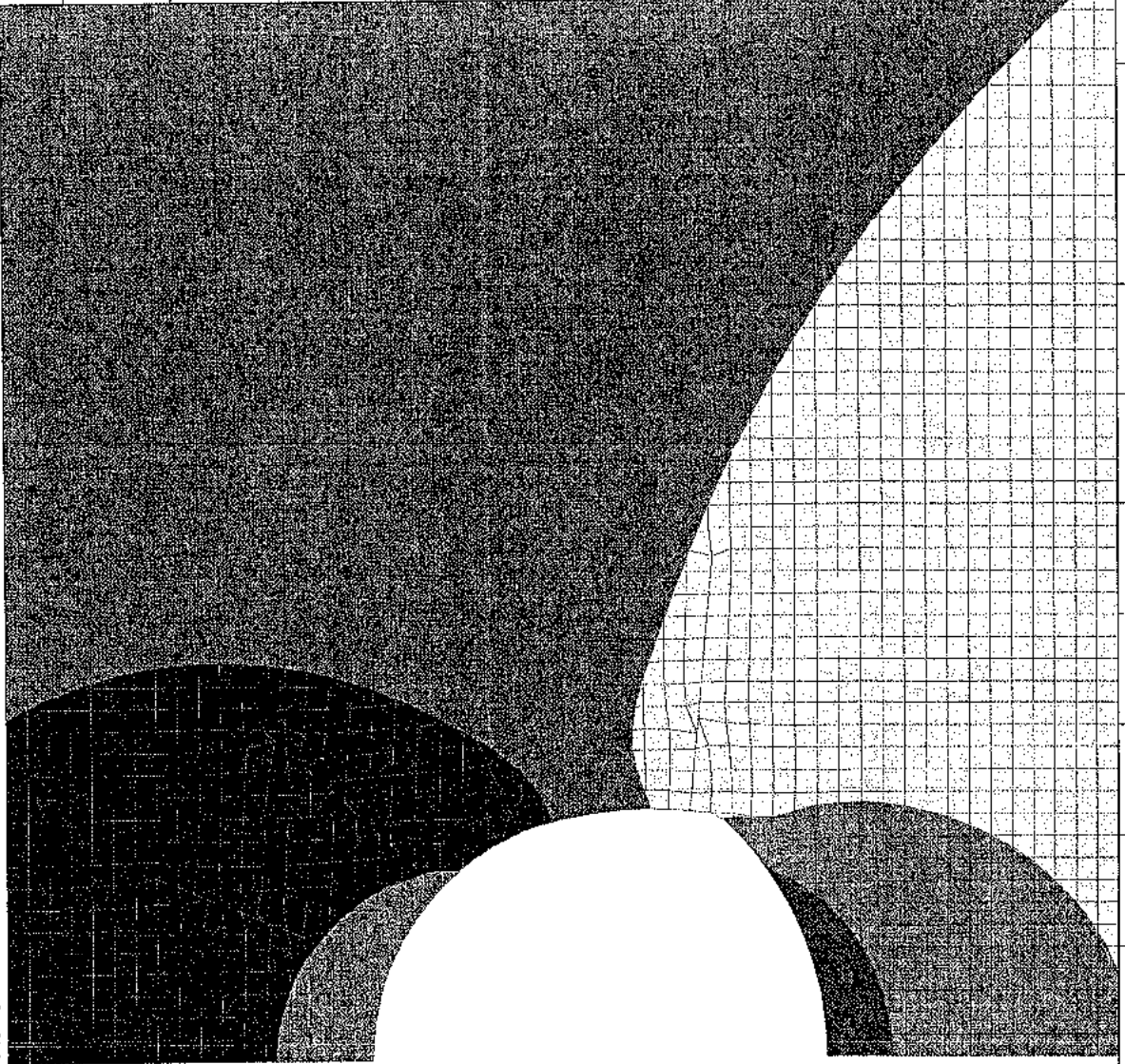
1.250

0.750

0.250

-0.250

-0.750



2.250

1.750

1.250

0.750

0.250

(\*10^1)

Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B1 - "TIME 2"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

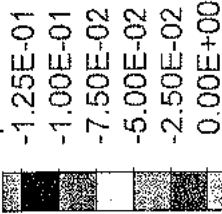
20-Feb-04 12:12

step 19358

-2.000E+00 <x< 2.400E+01

-1.200E+01 <y< 1.400E+01

X-displacement contours



Contour interval= 2.50E-02

Spostamenti orizzontali



(\*10^1)

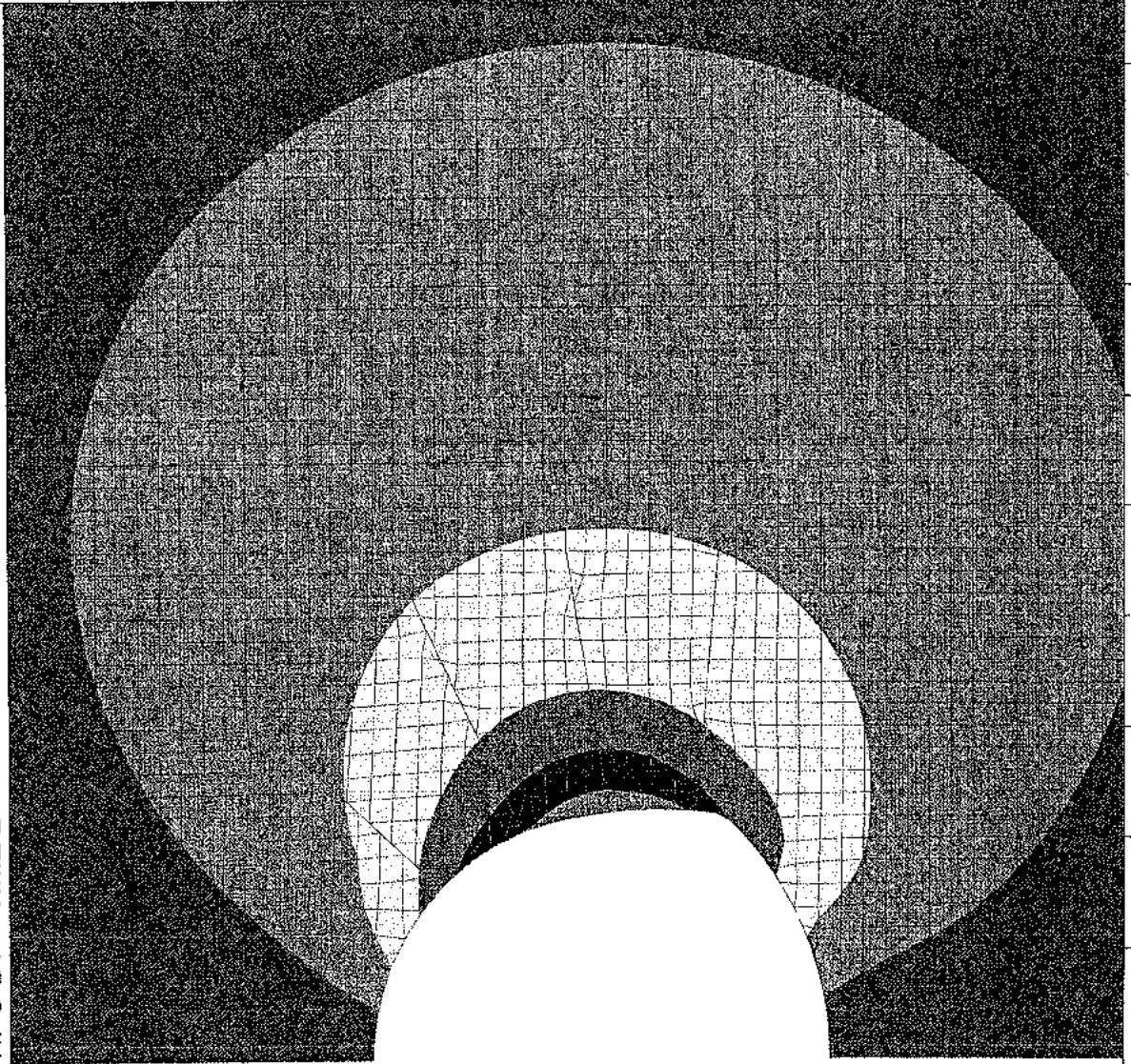
1.250

0.750

0.250

-0.250

-0.750



2.250

1.750

1.250

0.750

0.250

(\*10^1)

Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B1 - "TIME 2"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

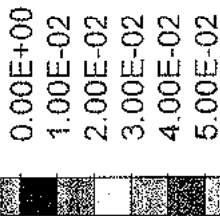
20-Feb-04 12:12

step 19358

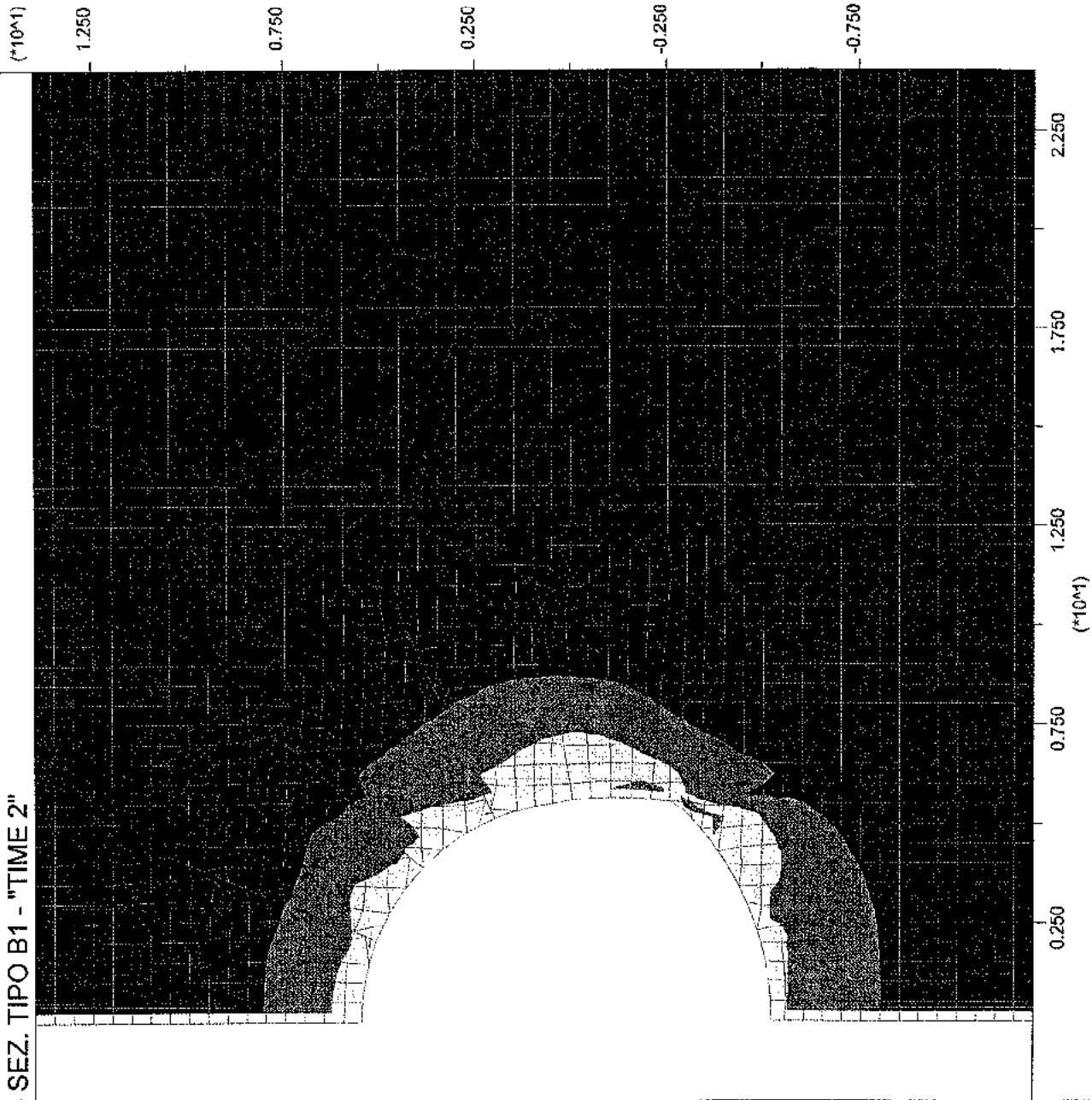
-2.000E+00 <x< 2.400E+01

-1.200E+01 <y< 1.400E+01

Max. shear strain increment



Contour interval= 1.00E-02  
Deformazioni plastiche per taglio



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA



JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B1 - "TIME 3"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

20-Feb-04 12:12

step 20782

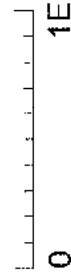
-2.000E+00 <x< 2.400E+01

-1.200E+01 <y< 1.400E+01

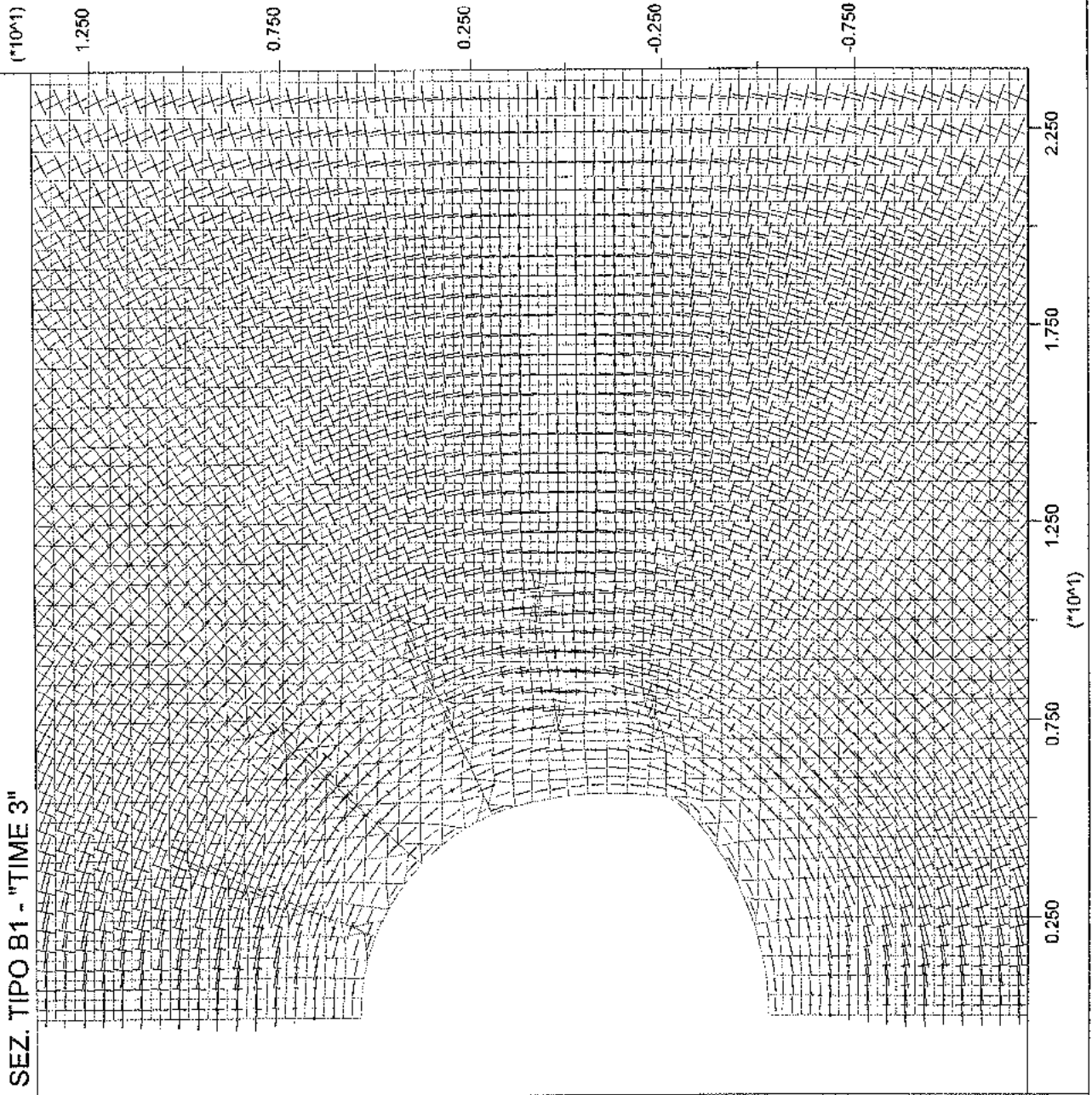
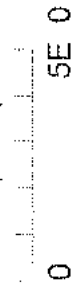
Principal stresses

Max. Value = -3.518E+05

Min. Value = -2.328E+07



Tensioni principali : Pa



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

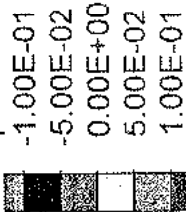
JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B1 - "TIME 3"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

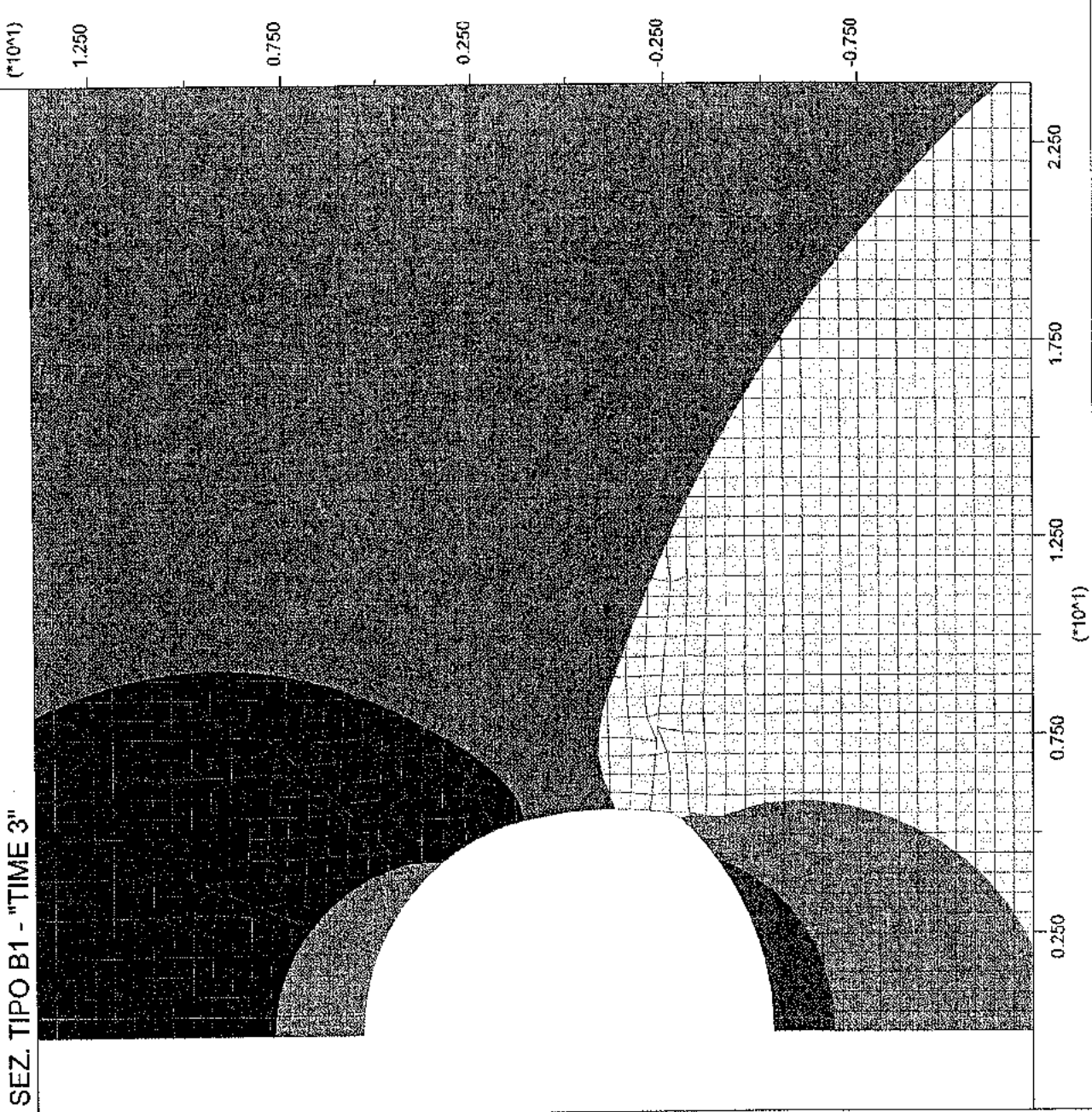
20-Feb-04 12:12  
step 20782  
-2.000E+00 <x< 2.400E+01  
-1.200E+01 <y< 1.400E+01

Y-displacement contours



Contour interval= 5.00E-02

Spostamenti verticali



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA



JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B1 - "TIME 3"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

20-Feb-04 12:12

step 20782

-2.000E+00 <x< 2.400E+01

-1.200E+01 <y< 1.400E+01

X-displacement contours

-1.25E-01

-1.00E-01

-7.50E-02

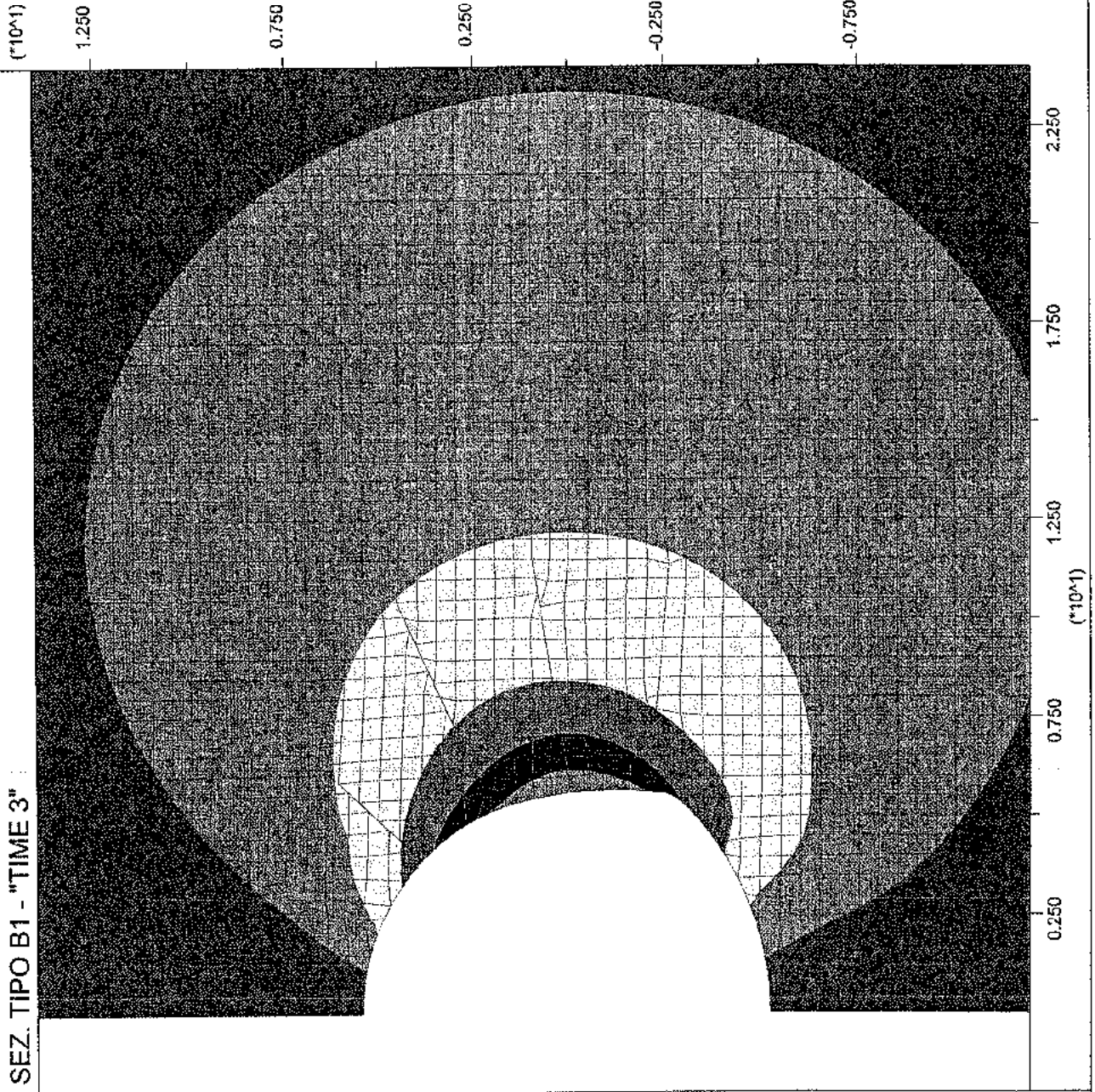
-5.00E-02

-2.50E-02

0.00E+00

Contour interval= 2.50E-02

Spostamenti orizzontali



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B1 - "TIME 3"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

20-Feb-04 12:12

step 20782

-2.000E+00 <x< 2.400E+01

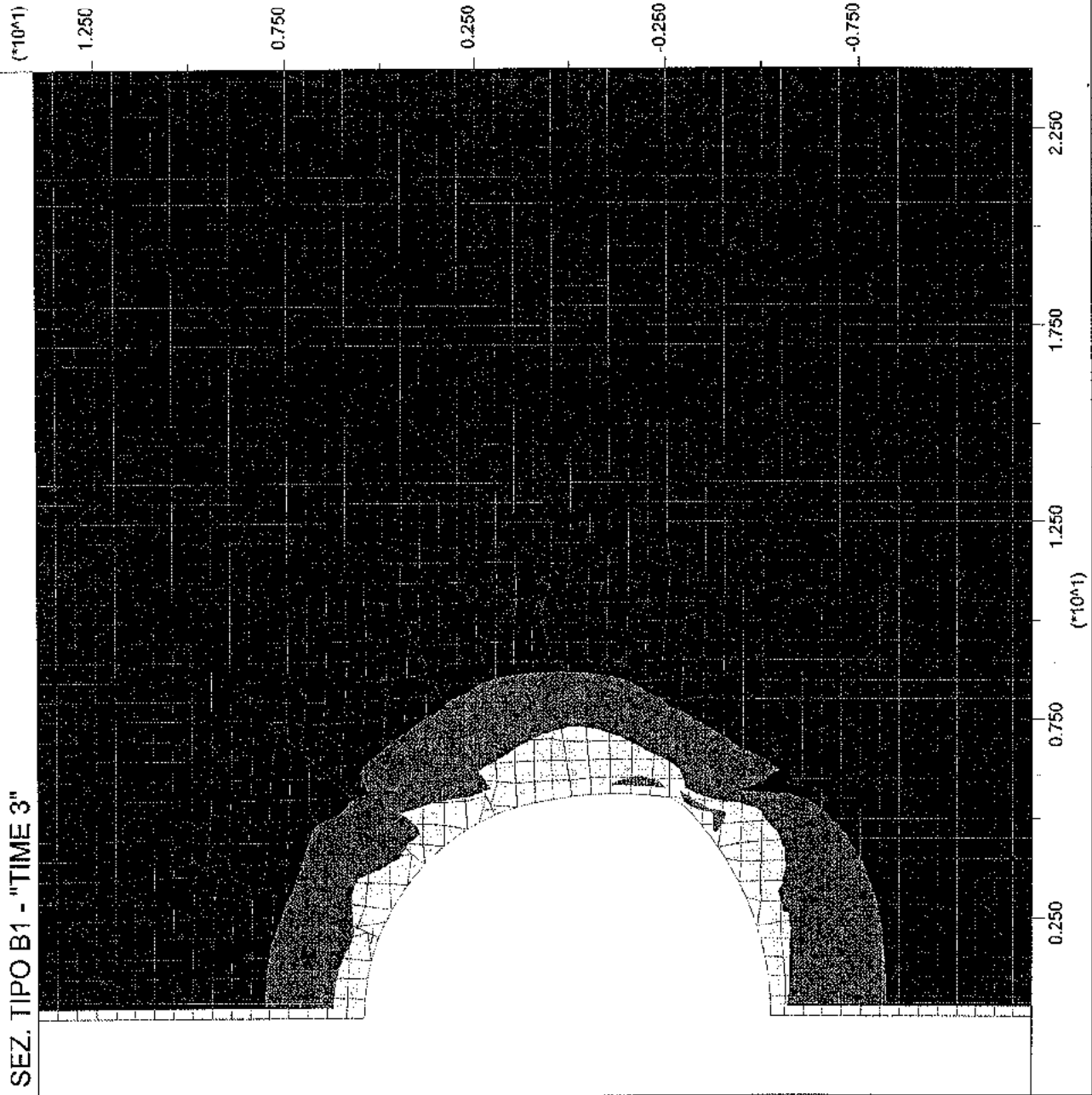
-1.200E+01 <y< 1.400E+01

Max. shear strain increment



Contour interval= 1.00E-02

Deformazioni plastiche per taglio



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B1 - "TIME 3"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

20-Feb-04 12:12  
step 20782

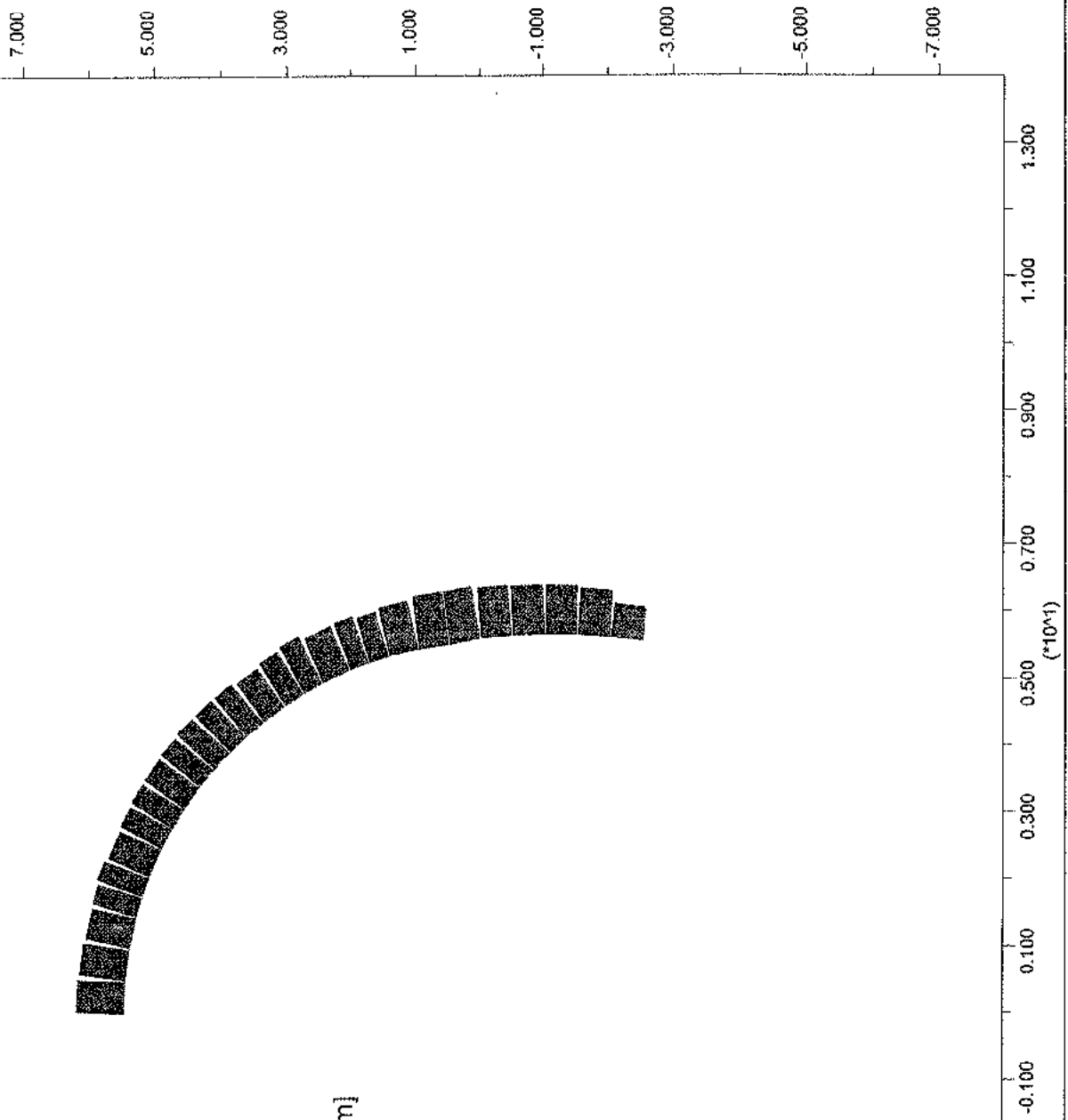
-2.000E+00 <x< 1.400E+01  
-8.000E+00 <y< 8.000E+00

Preriv. (primo strato) Sforzo normale [N/m]

■ Axial Force on

Structure Max. Value

# 1 (Beam ) 2.162E+05



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B1 - "TIME 3"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

20-Feb-04 12:12

step 20782

-2.000E+00 <x< 1.400E+01

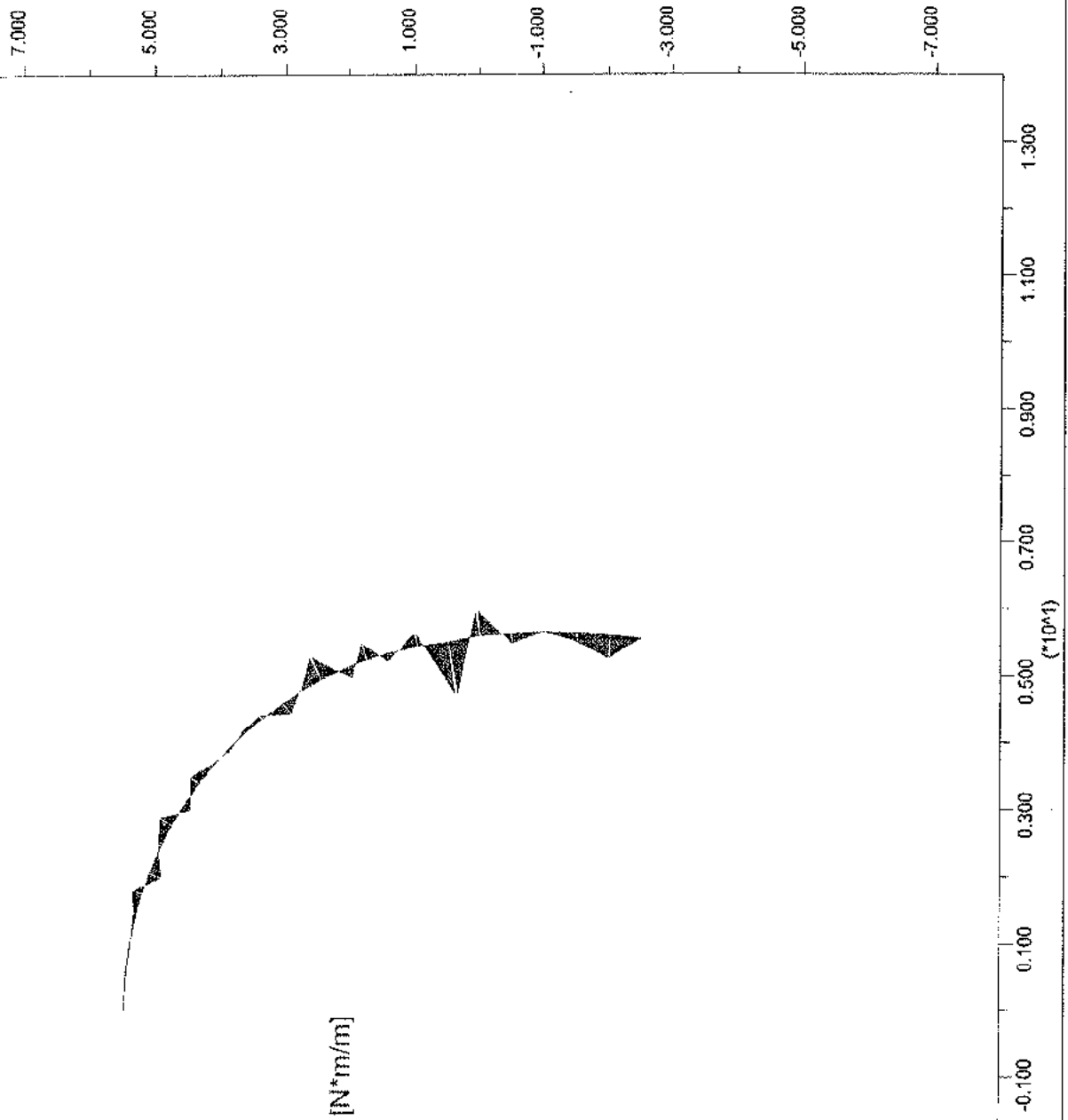
-8.000E+00 <y< 8.000E+00

Preriv. (primo strato) Momento flettente [N\*m/m]

■ Moment on

Structure Max. Value

# 1 (Beam) -1.817E+02



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B1 - "TIME 4"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

20-Feb-04 12:14

step 25068

-2.000E+00 <x< 2.400E+01

-1.200E+01 <y< 1.400E+01

Principal stresses

Max. Value = -2.588E+05

Min. Value = -2.327E+07



Tensioni principali : Pa



(\*10^4)

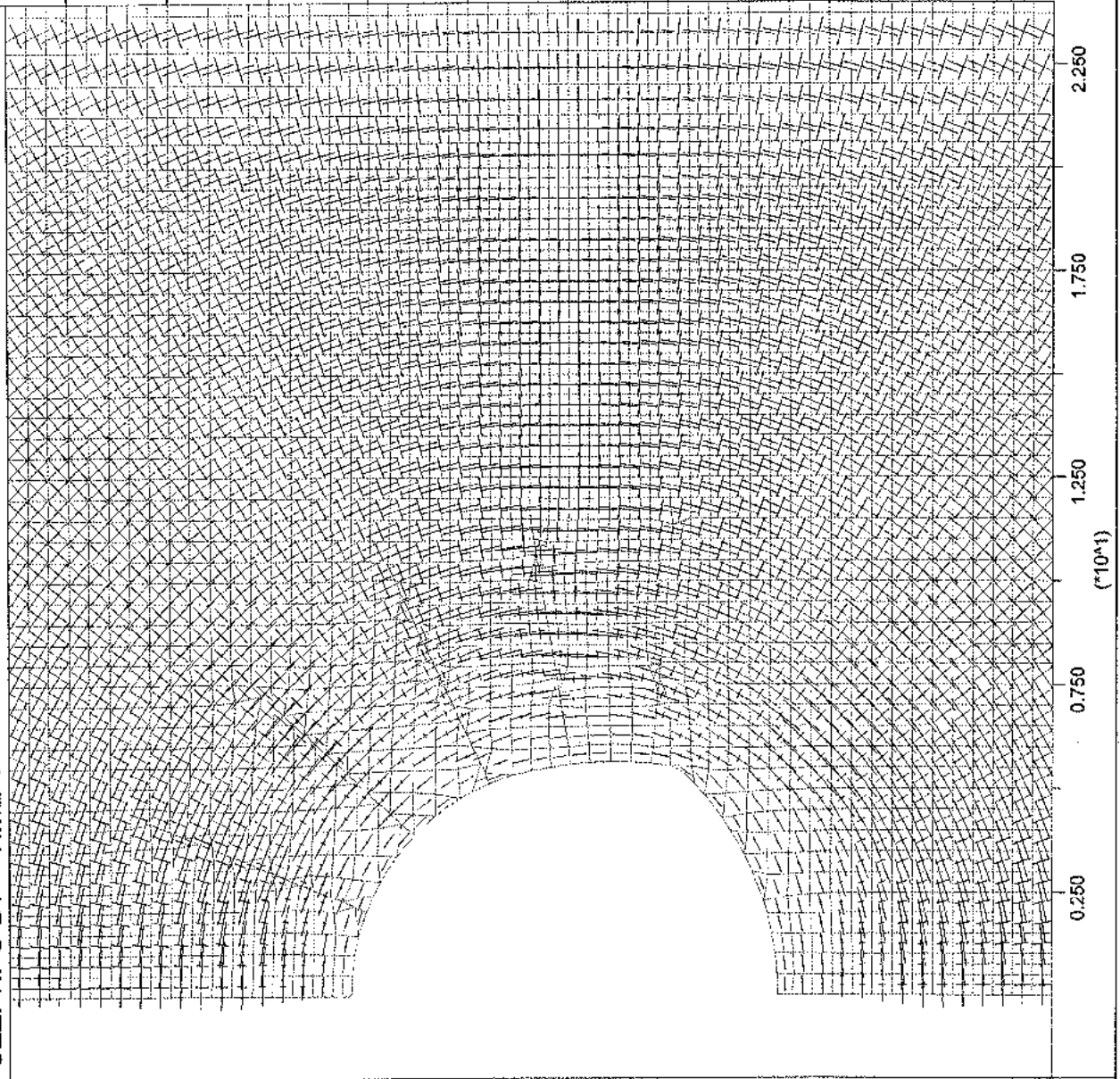
1.250

0.750

0.250

-0.250

-0.750



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B1 - "TIME 4"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

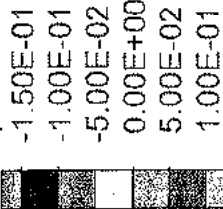
20-Feb-04 12:14

step 25068

-2.000E+00 <x< 2.400E+01

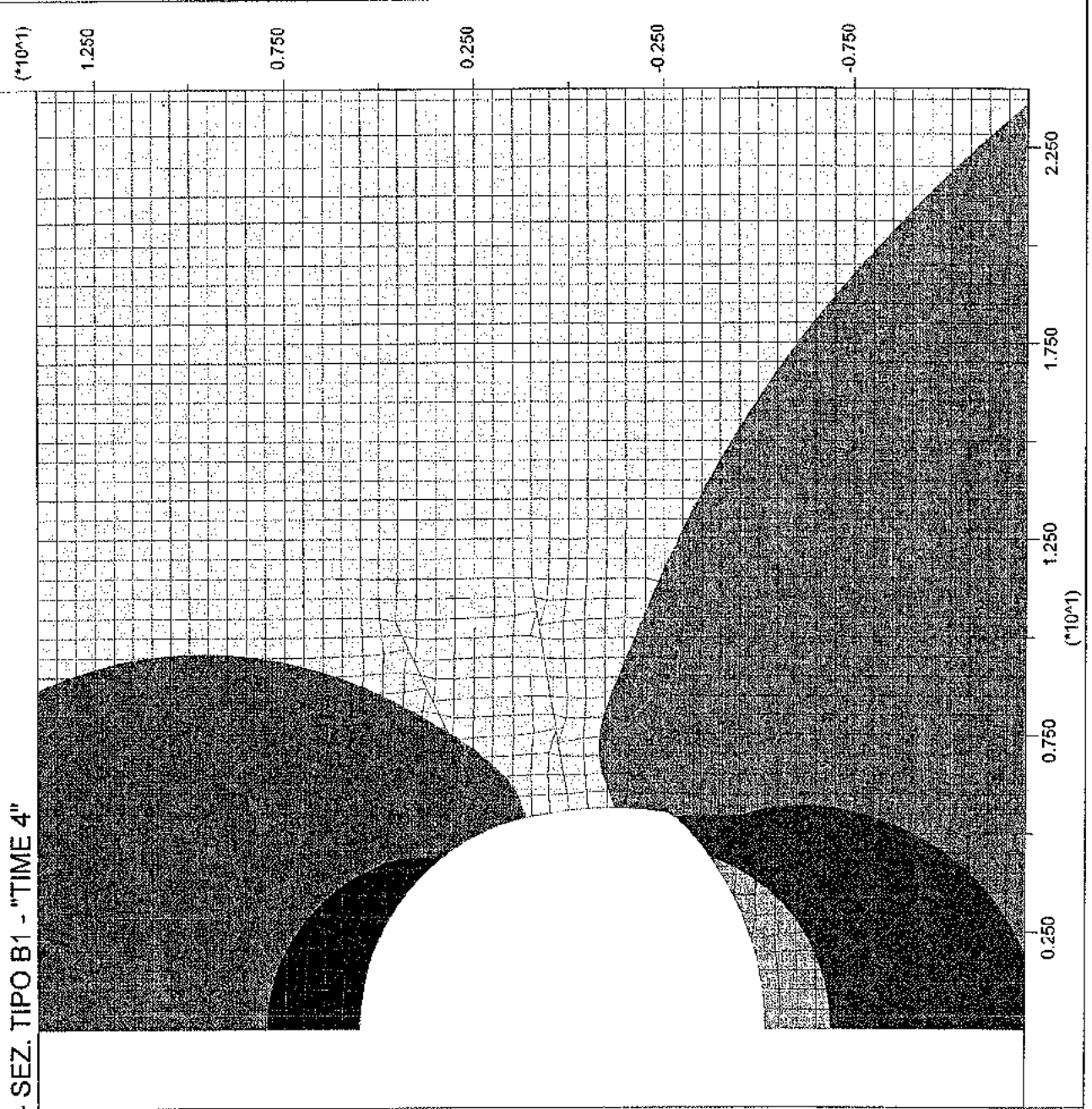
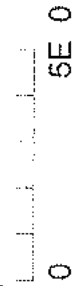
-1.200E+01 <y< 1.400E+01

Y-displacement contours



Contour interval= 5.00E-02

Spostamenti verticali



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA



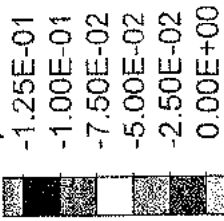
JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B1 - "TIME 4"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

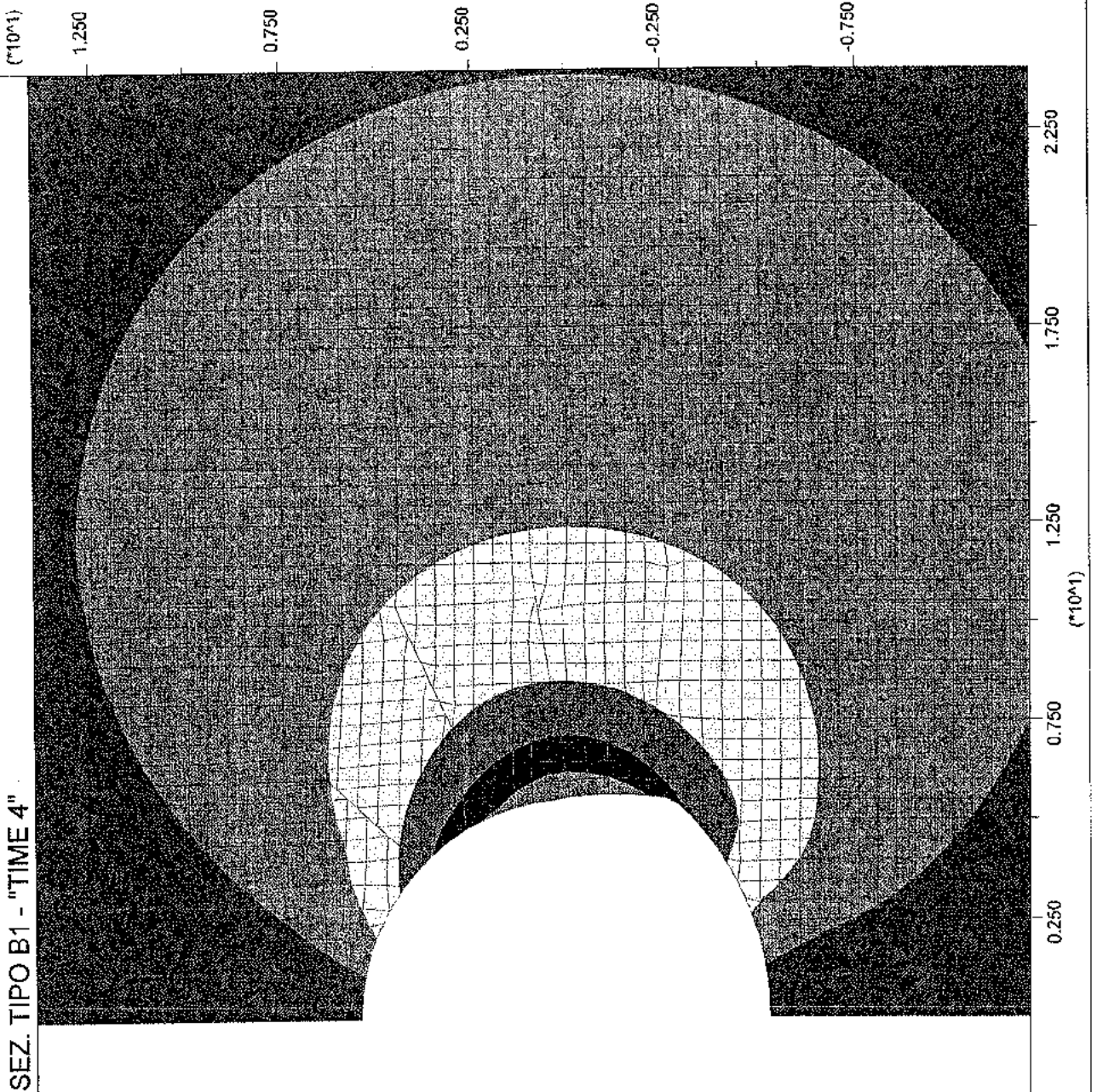
20-Feb-04 12:14  
step 25068  
-2.000E+00 <x< 2.400E+01  
-1.200E+01 <y< 1.400E+01

X-displacement contours



Contour interval= 2.50E-02

Spostamenti orizzontali



JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B1 - "TIME 4"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

20-Feb-04 12:14

step 25068

-2.000E+00 <x< 2.400E+01

-1.200E+01 <y< 1.400E+01

Max. shear strain increment

0.00E+00

1.00E-02

2.00E-02

3.00E-02

4.00E-02

5.00E-02

Contour interval= 1.00E-02

Deformazioni plastiche per taglio

0 5E 0

(\*10^1)

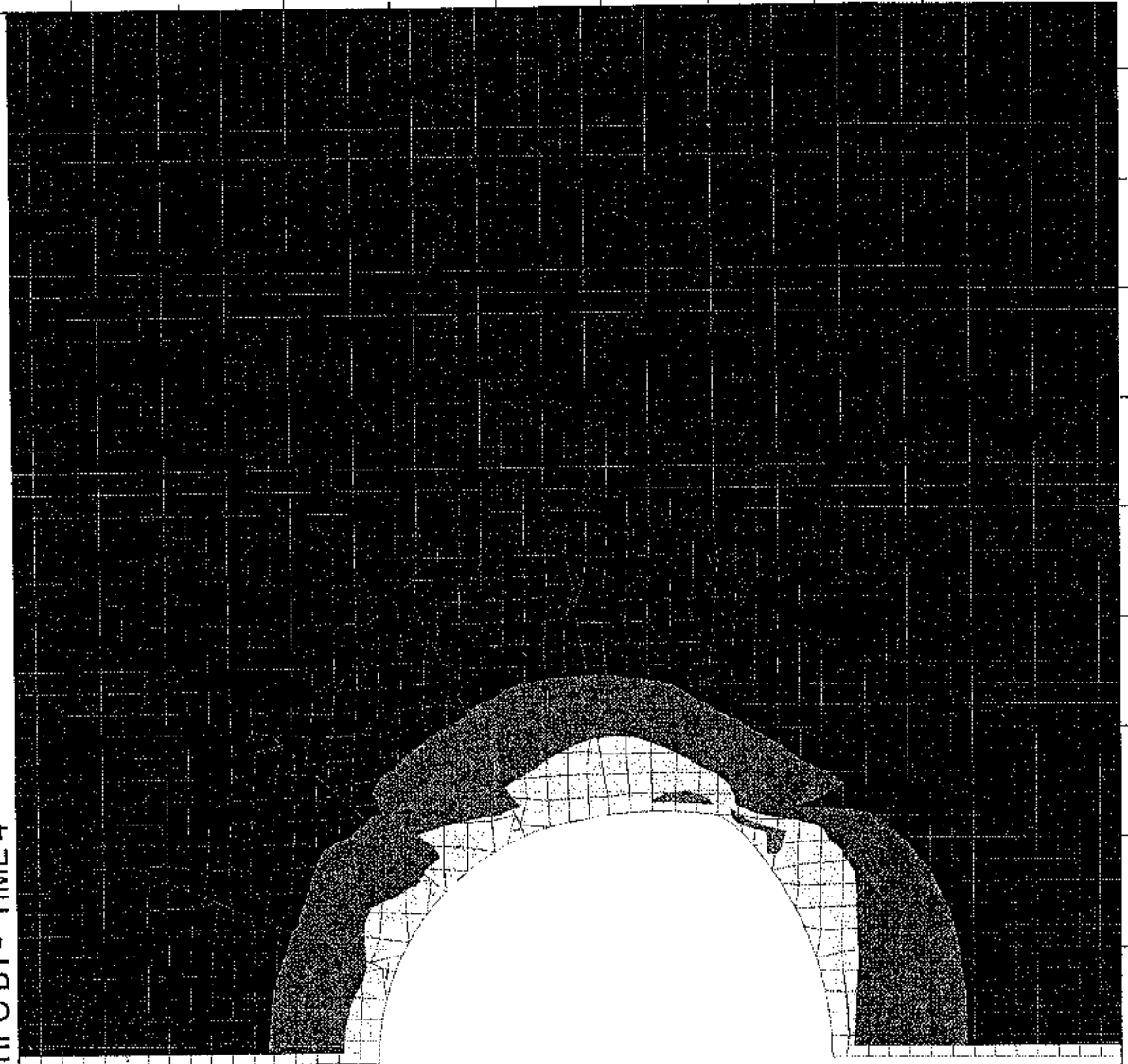
1.250

0.750

0.250

-0.250

-0.750



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA



JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B1 - "TIME 4"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

20-Feb-04 12:14

step 25068

-2.000E+00 <x< 1.400E+01

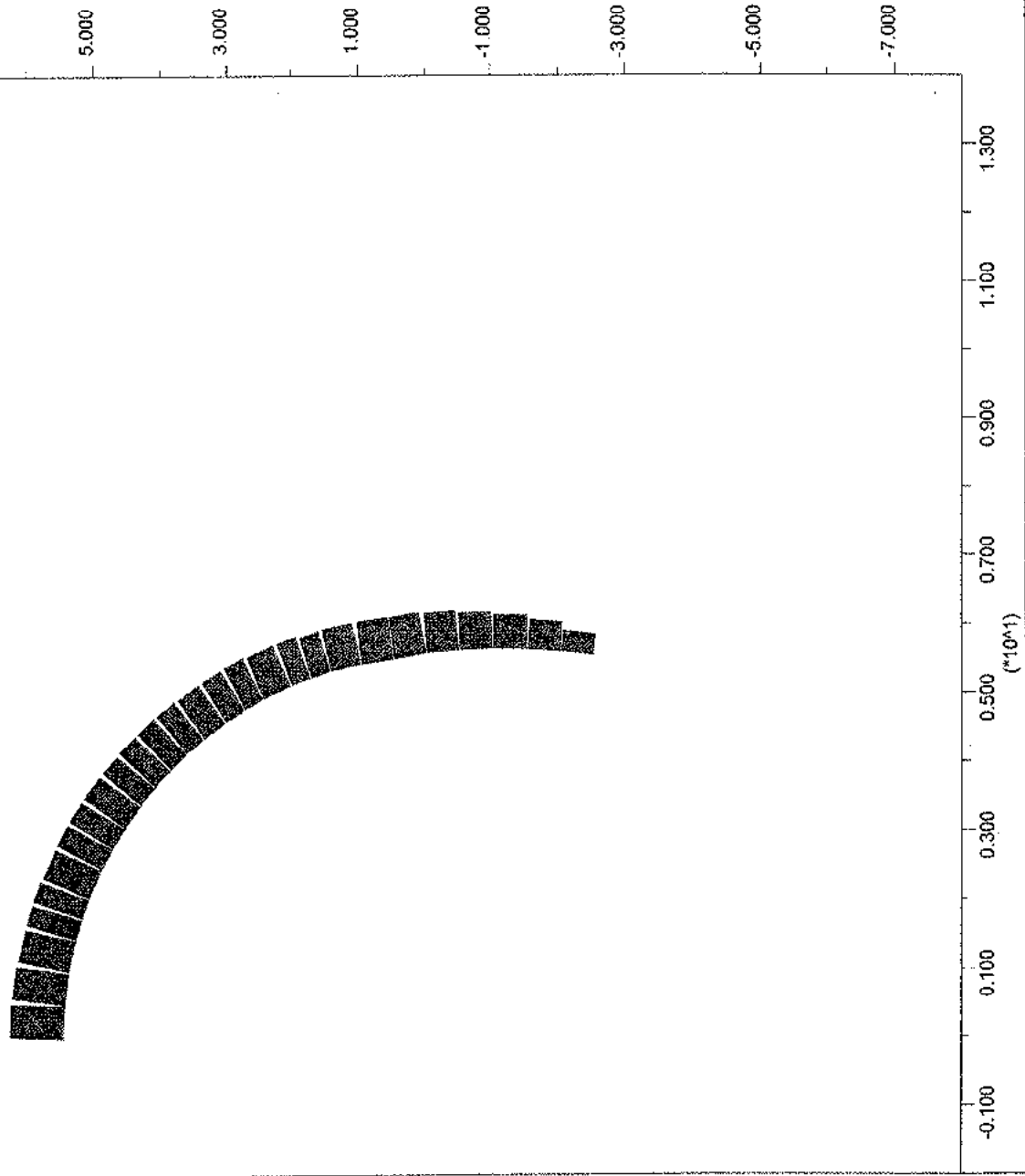
-8.000E+00 <y< 8.000E+00

Pririv. Sforzo normale [N/m]

■ Axial Force on

Structure Max. Value

# 1 (Beam) 9.352E+05



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B1 - "TIME 4"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

20-Feb-04 12:14

step 25068

-2.000E+00 <x< 1.400E+01

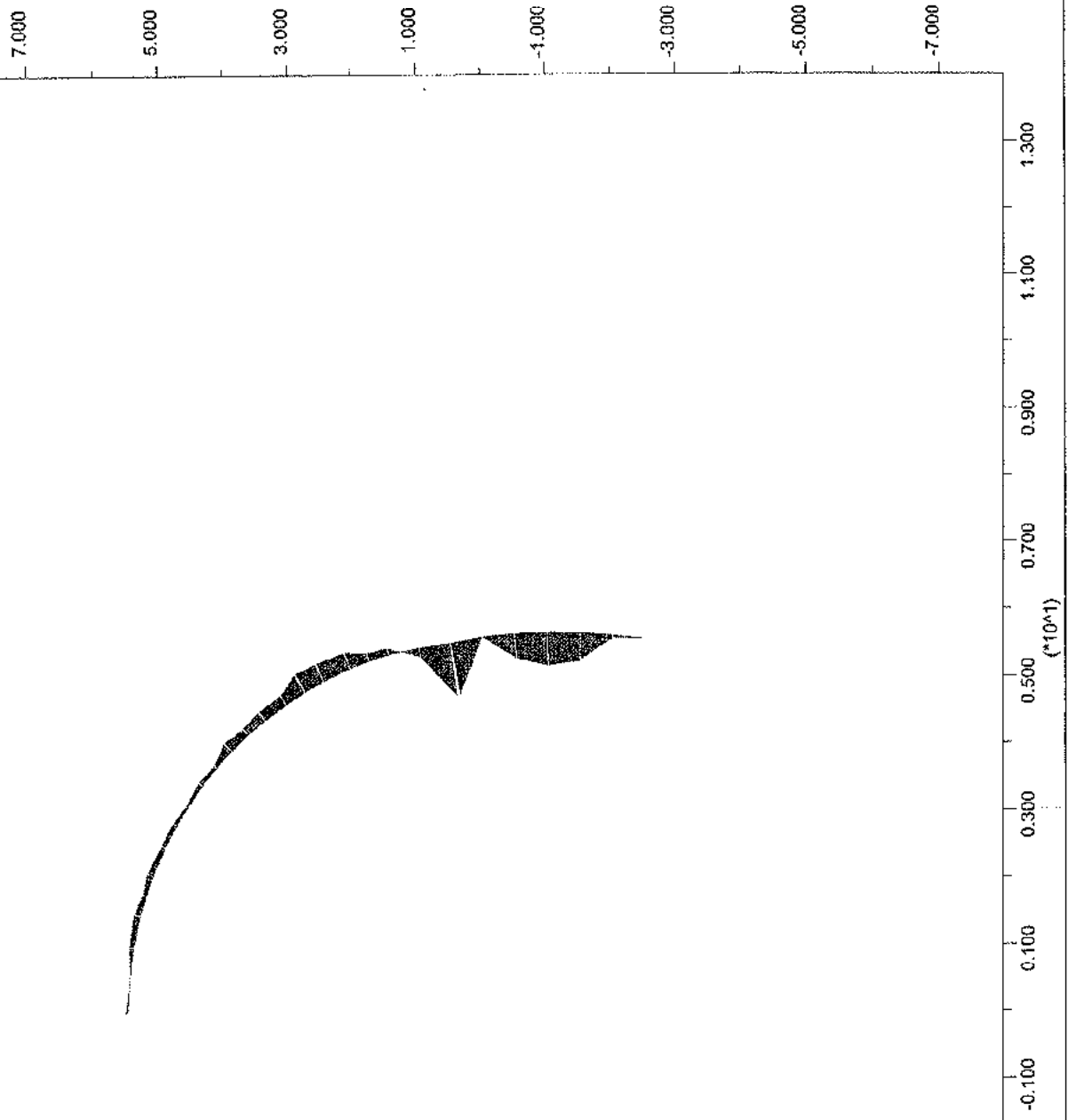
-8.000E+00 <y< 8.000E+00

Preriv. Momento flettente [N\*m/m]

■ Moment on

Structure Max. Value

# 1 (Beam ) -1.371E+04



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B1 - "TIME 4"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

20-Feb-04 12:14  
 step 25068  
 -2.000E+00 <x< 2.000E+01  
 -1.000E+01 <y< 1.200E+01

Beam plot  
 Cable Plot  
 Ax. F-Y Rat on

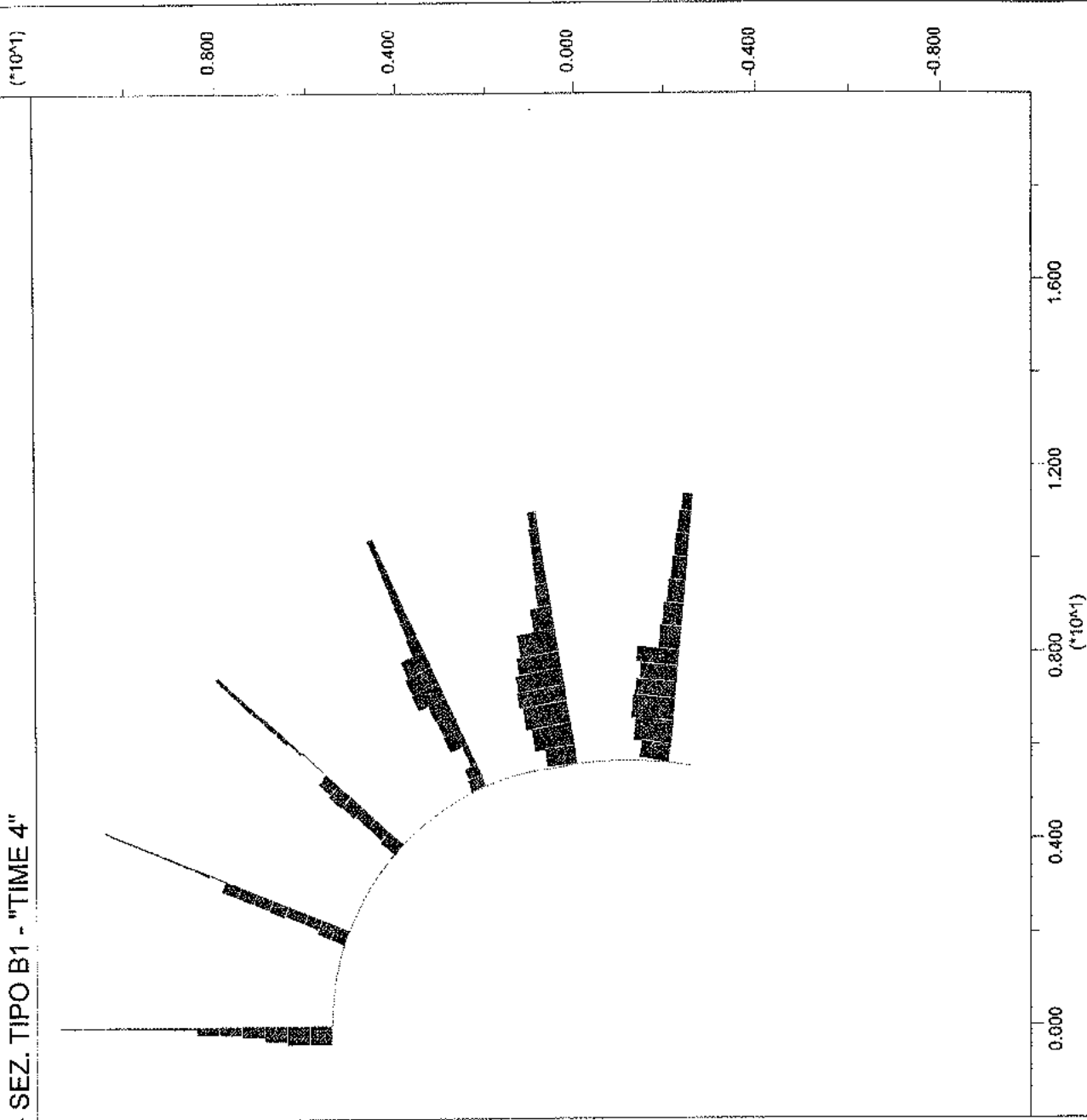
Structure	Max. Value
# 2 (Cable)	6.488E-02
# 3 (Cable)	5.327E-02
# 4 (Cable)	5.312E-02
# 5 (Cable)	1.100E-01
# 6 (Cable)	1.804E-01
# 7 (Cable)	1.511E-01

Bulloni - Sforzo assiale [N]

Axial Force on

Structure	Max. Value
# 2 (Cable)	-1.259E+04
# 3 (Cable)	-1.033E+04
# 4 (Cable)	-1.031E+04
# 5 (Cable)	-2.135E+04
# 6 (Cable)	-3.500E+04
# 7 (Cable)	-2.931E+04

Itasca Consulting Group, Inc.  
 Minneapolis, Minnesota USA



JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B1 - "TIME 5"

**FLAC (Version 4.00)**

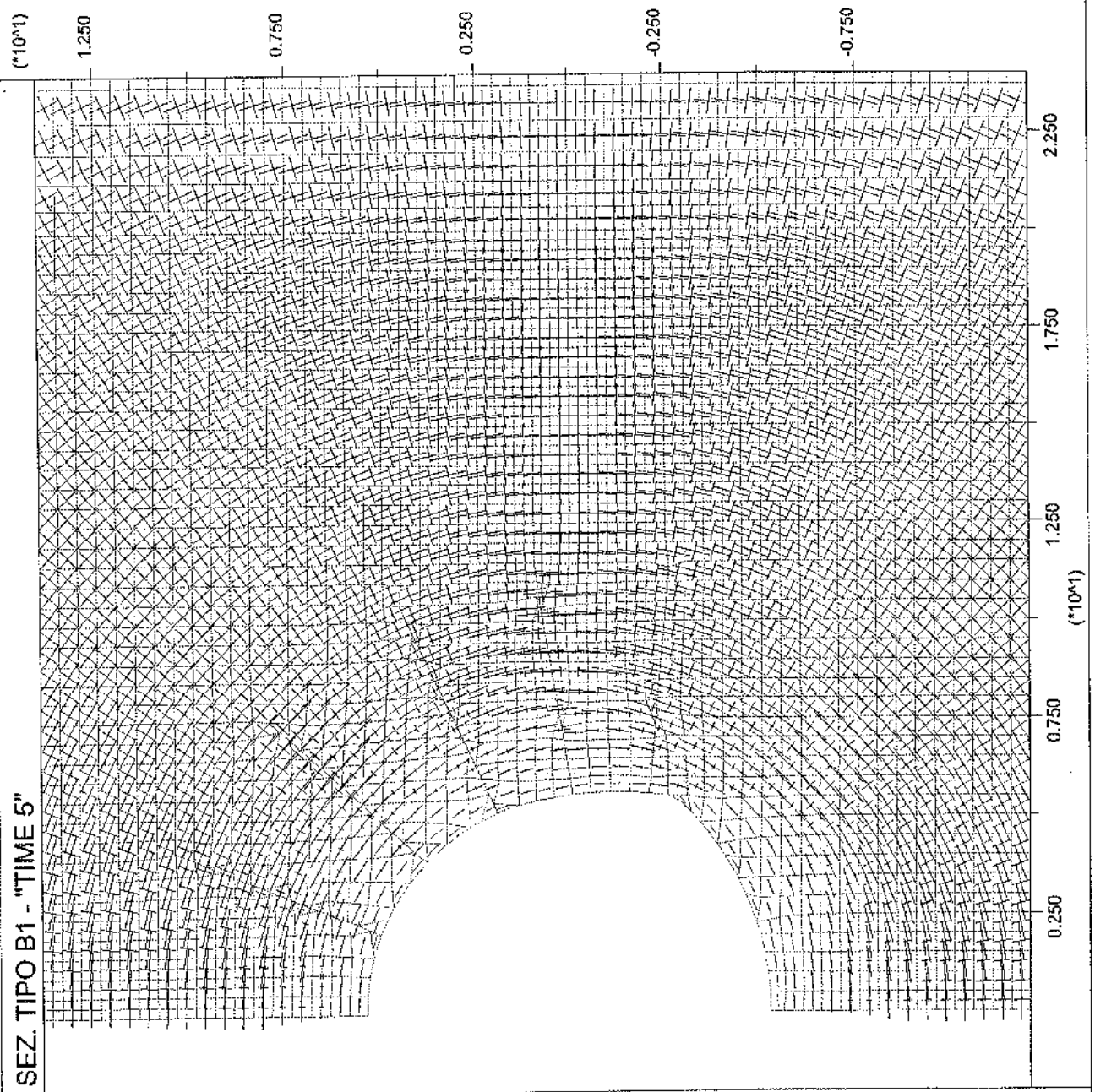
LEGEND

20-Feb-04 12:15  
step 29329  
-2.000E+00 <x< 2.400E+01  
-1.200E+01 <y< 1.400E+01

Principal stresses  
Max. Value = -1.910E+04  
Min. Value = -2.332E+07



Tensioni principali : Pa



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B1 - "TIME 5"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

20-Feb-04 12:15

step 29329

-2.000E+00 <x< 2.400E+01

-1.200E+01 <y< 1.400E+01

Y-displacement contours

-1.50E-01

-1.00E-01

-5.00E-02

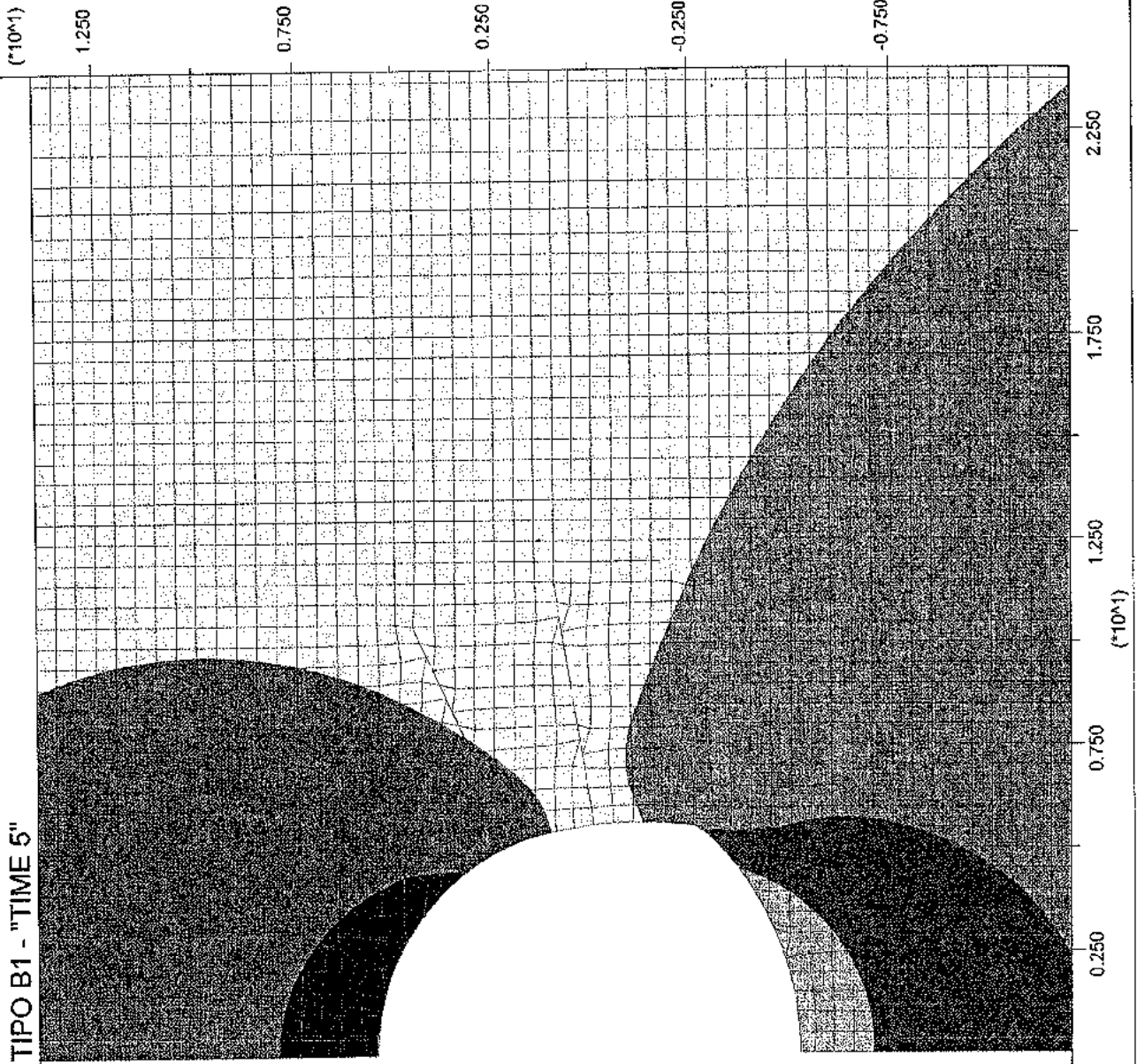
0.00E+00

5.00E-02

1.00E-01

Contour interval= 5.00E-02

Spostamenti verticali



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B1 - "TIME 5"

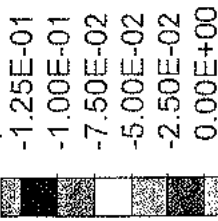
**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

20-Feb-04 12:15  
step 29329

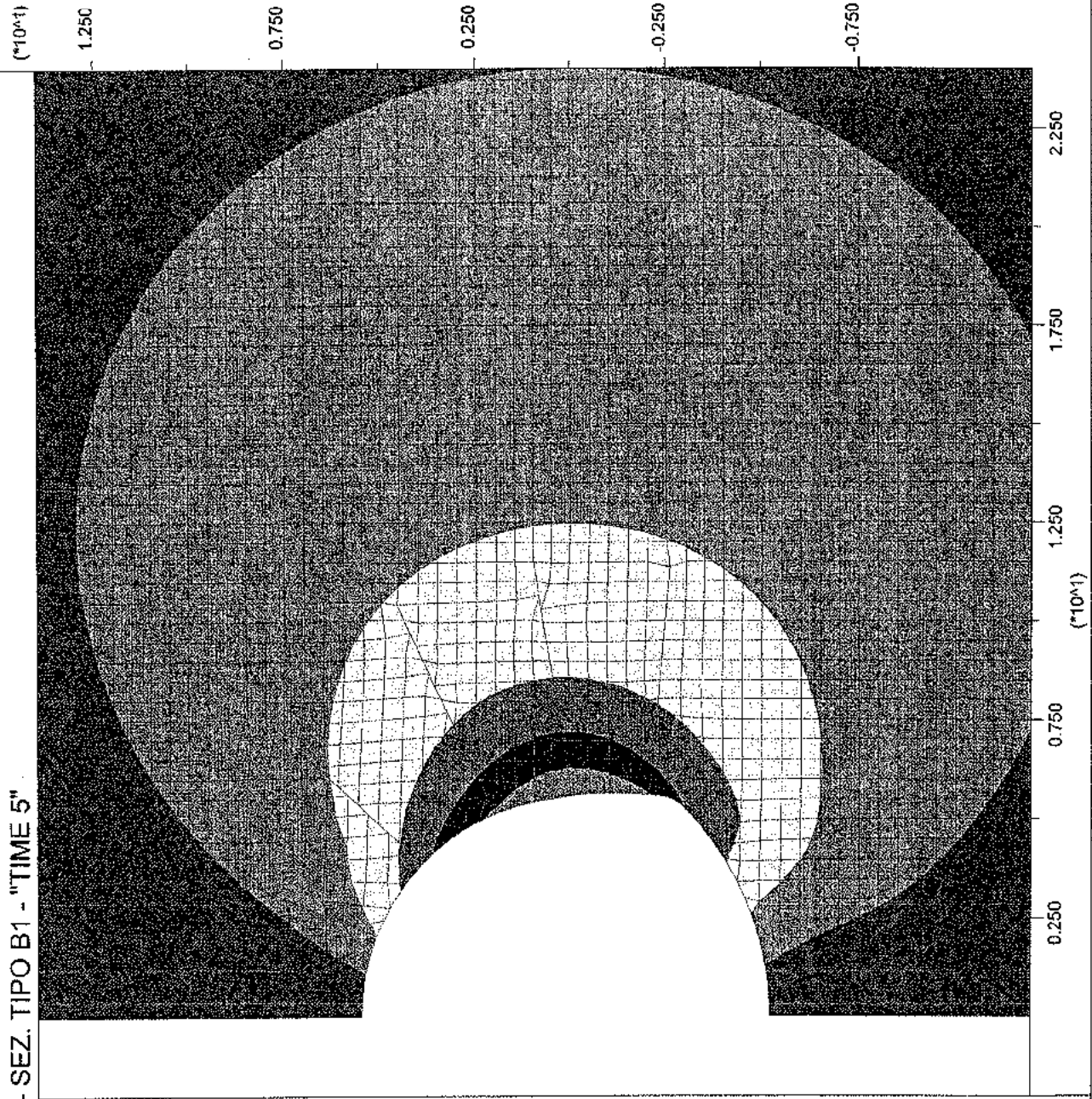
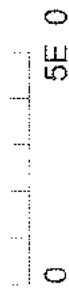
-2.000E+00 <x< 2.400E+01  
-1.200E+01 <y< 1.400E+01

X-displacement contours



Contour interval= 2.50E-02

Spostamenti orizzontali



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B1 - "TIME 5"

### FLAC (Version 4.00)

#### LEGEND

20-Feb-04 12:15

step 29329

-2.000E+00 <x< 2.400E+01

-1.200E+01 <y< 1.400E+01

Max. shear strain increment

0.00E+00

1.00E-02

2.00E-02

3.00E-02

4.00E-02

5.00E-02

6.00E-02

Contour interval= 1.00E-02

Deformazioni plastiche per taglio



(\*10^1)

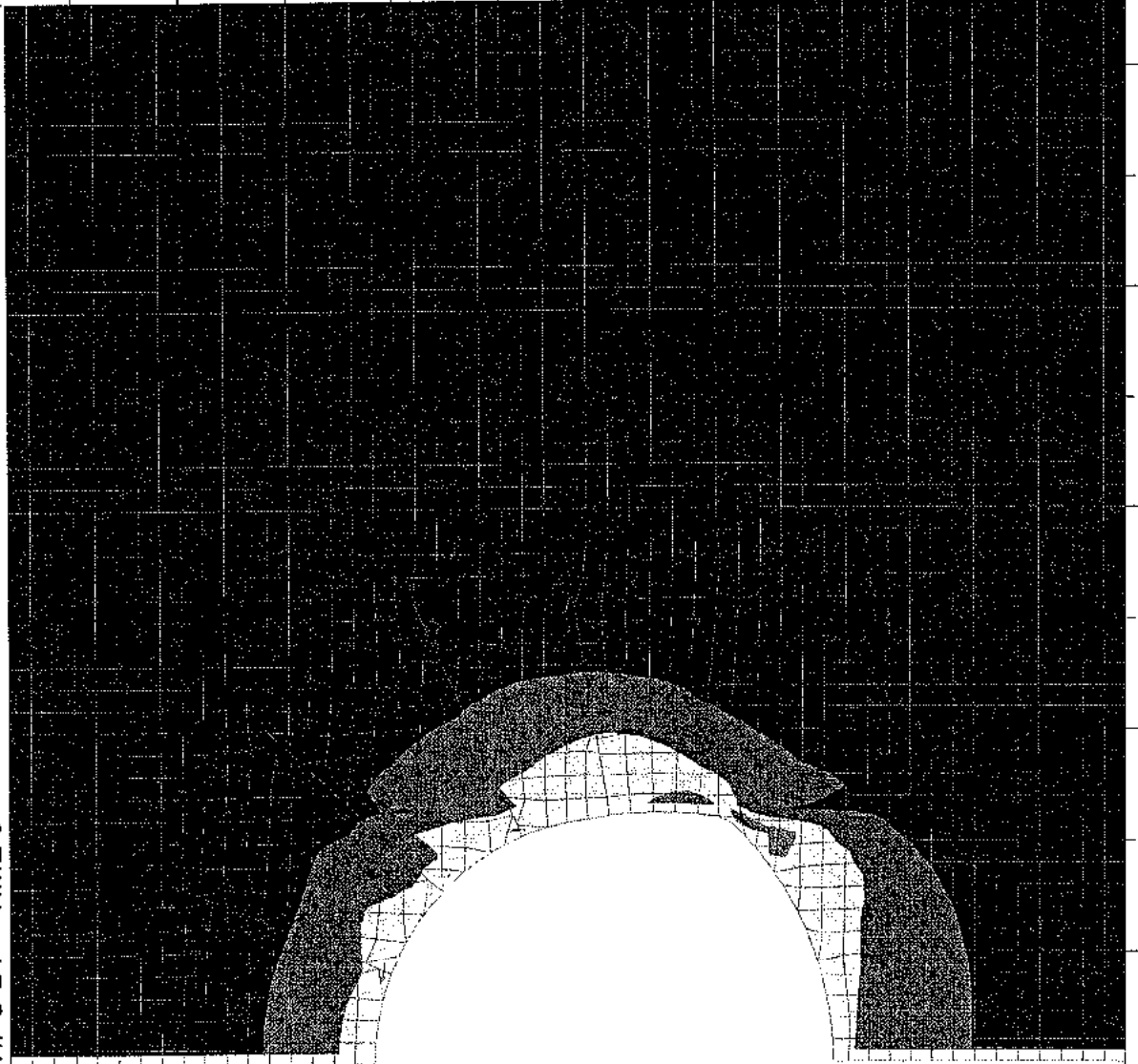
1.250

0.750

0.250

-0.250

-0.750



2.250

1.750

1.250

0.750

0.250

(\*10^-1)

Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

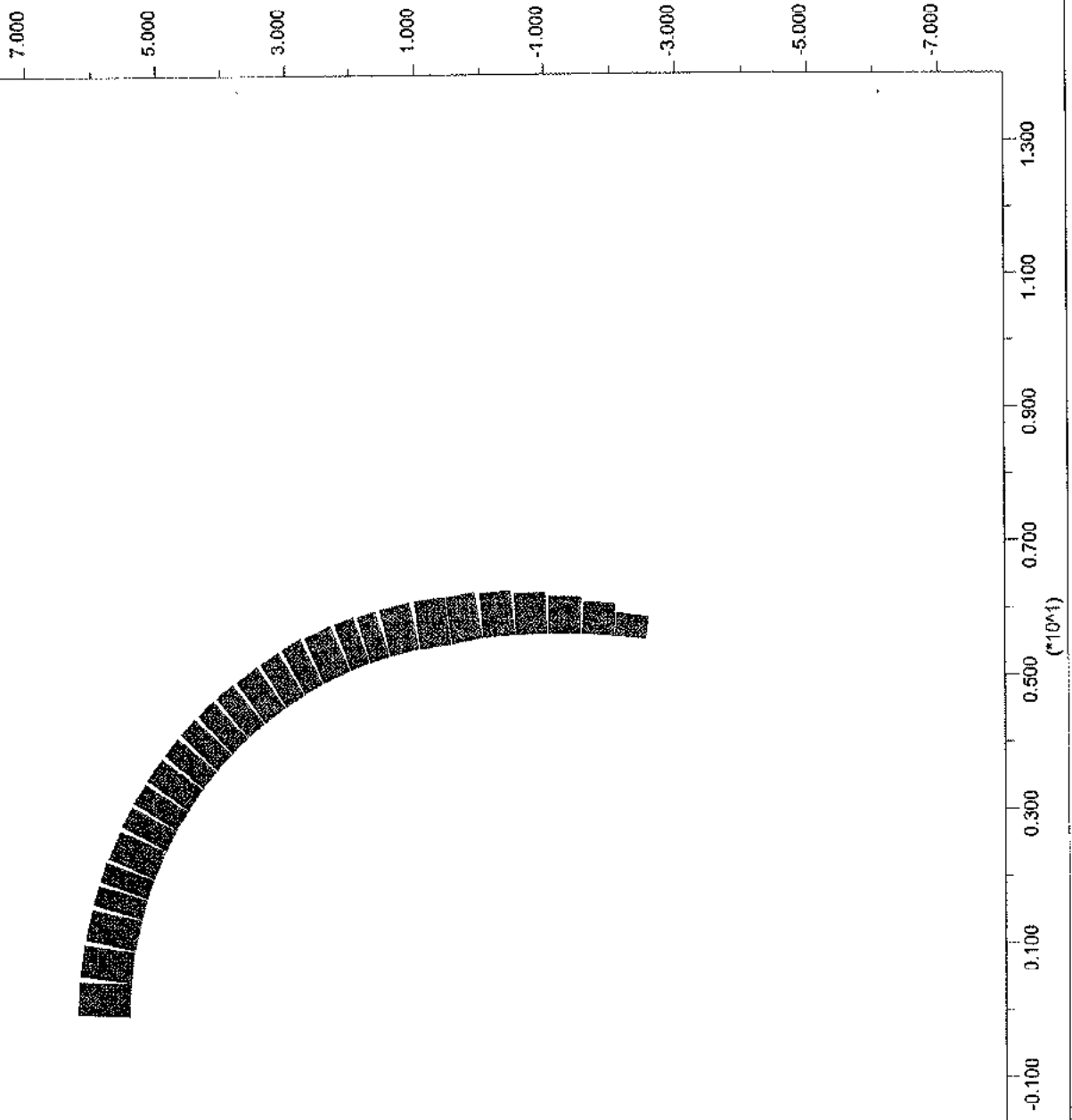
JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B1 - "TIME 5"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

20-Feb-04 12:15  
step 29329  
-2.000E+00 <x< 1.400E+01  
-8.000E+00 <y< 8.000E+00

Preriv. Sforzo normale [N/m]  
■ Axial Force on  
Structure Max. Value  
# 1 (Beam ) 1.714E+06



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA



JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B1 - "TIME 5"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

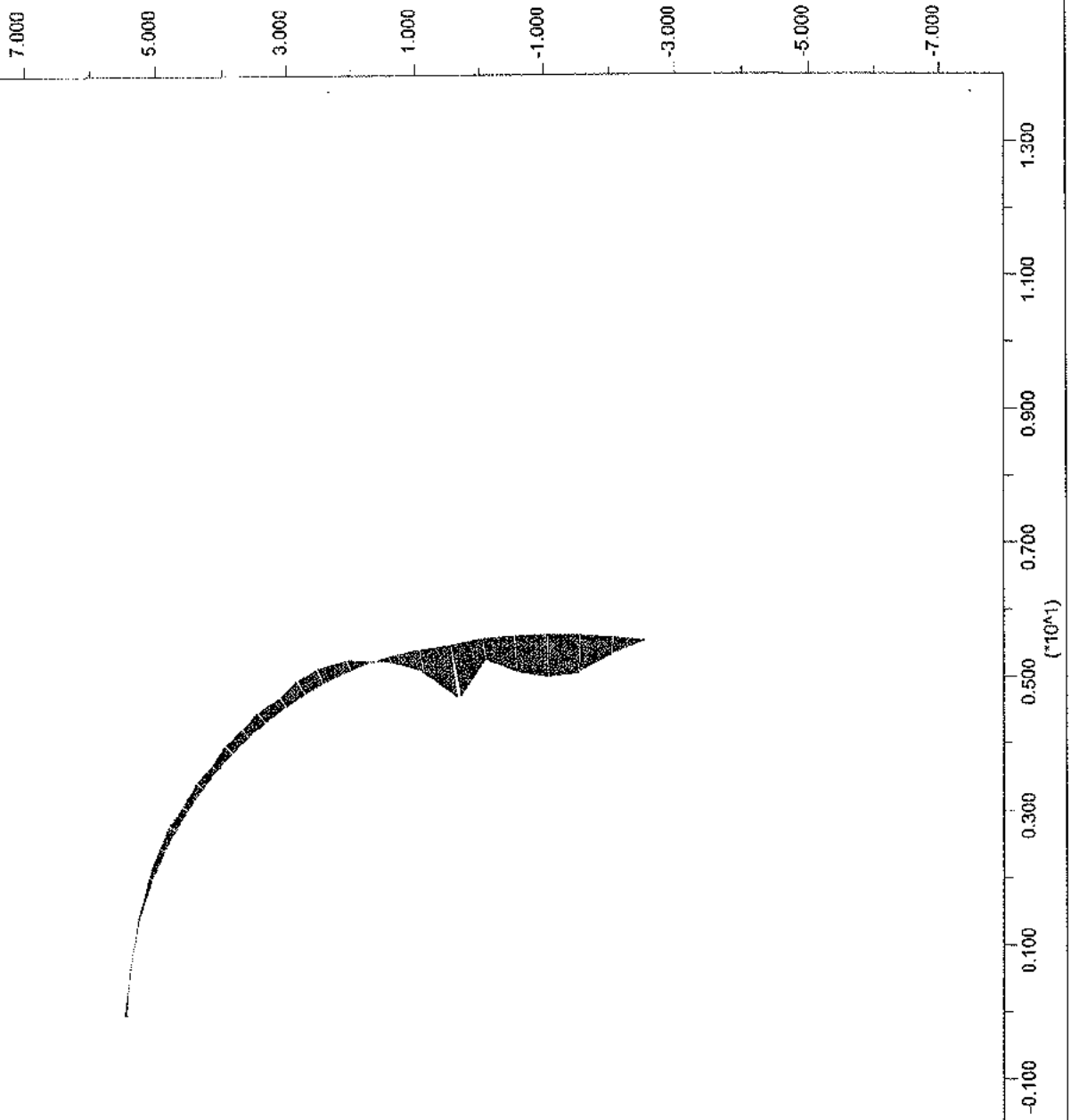
20-Feb-04 12:15  
step 29329  
-2.000E+00 <x< 1.400E+01  
-8.000E+00 <y< 8.000E+00

Preriv. Momento flettente [N\*m/m]

■ Moment on

Structure Max. Value

# 1 (Beam) -5.622E+04



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B1 - "TIME 5"

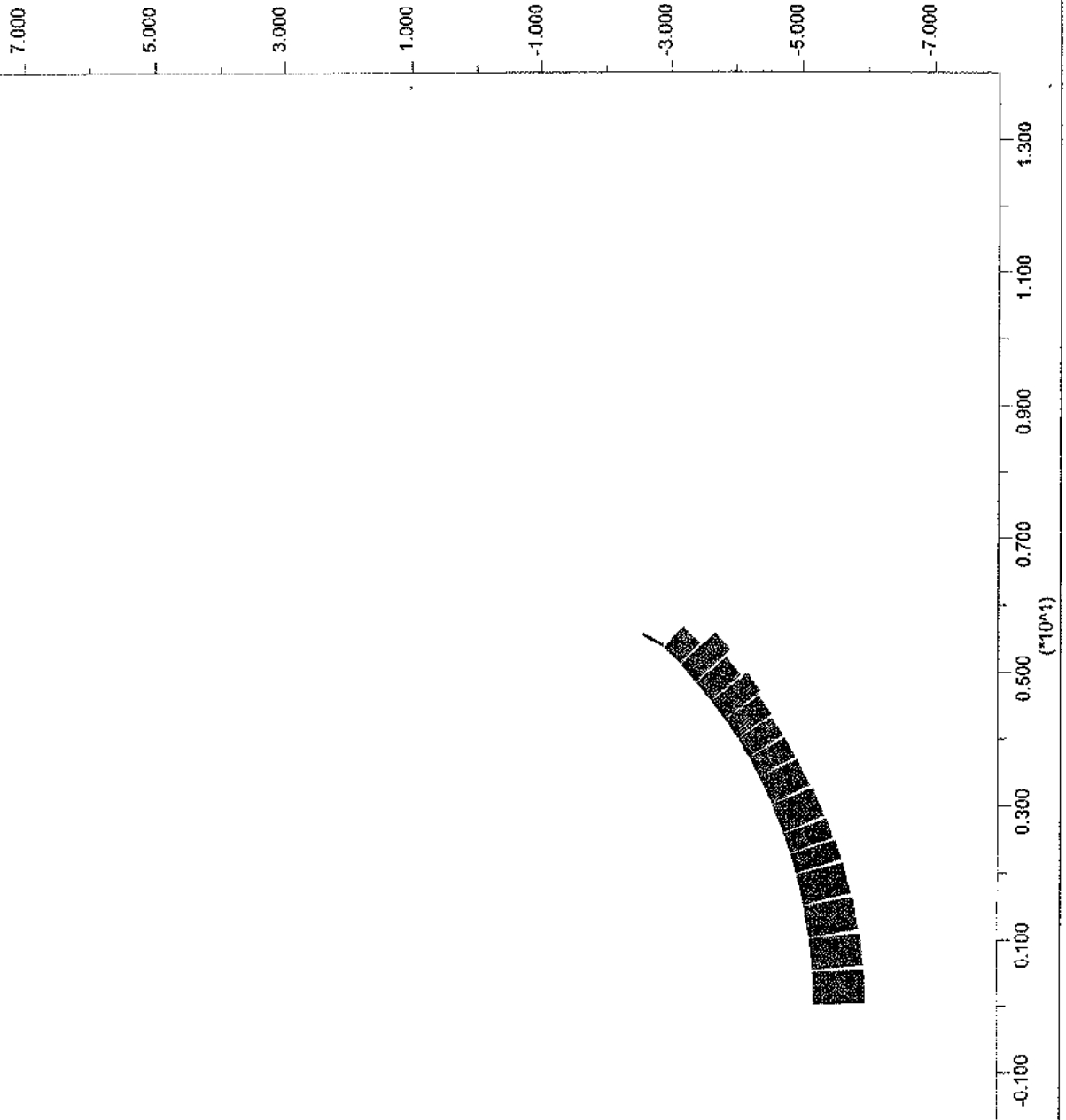
**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

20-Feb-04 12:15  
step 29329  
-2.000E+00 <x< 1.400E+01  
-8.000E+00 <y< 8.000E+00

A.R. Sforzo normale [N/m]  
■ Axial Force on  
Structure Max. Value  
# 8 (Beam ) 1.175E+06

Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA



JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B1 - "TIME 5"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

20-Feb-04 12:15

step 29329

-2.000E+00 <x< 1.400E+01

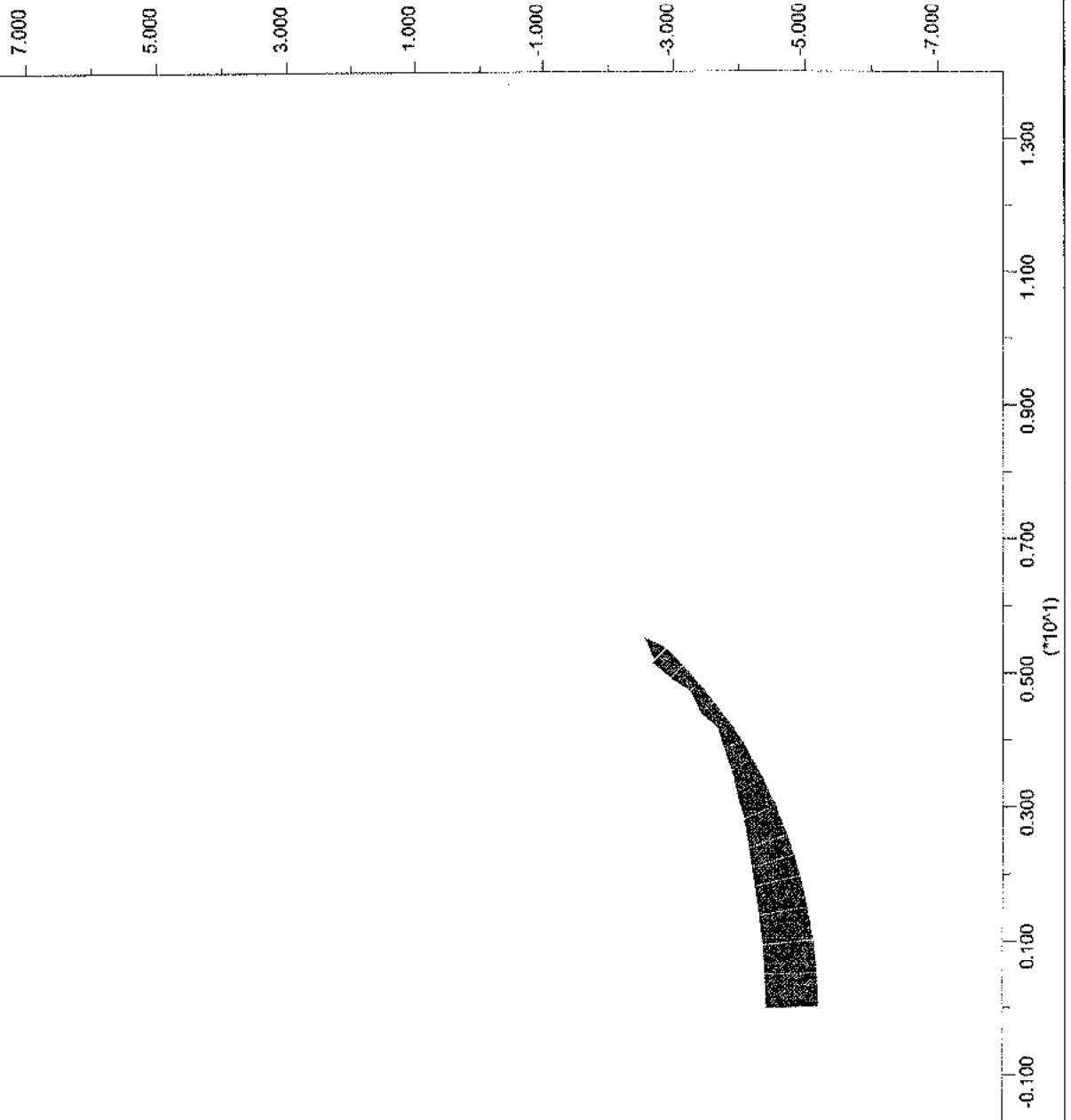
-8.000E+00 <y< 8.000E+00

A.R. Momento flettente [N\*m/m]

█ Moment on

Structure Max. Value

# 8 (Beam) -1.383E+05



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B1 - "TIME 5"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

20-Feb-04 12:15

step 29329

-2.000E+00 <x< 2.000E+01

-1.000E+01 <y< 1.200E+01

Beam plot  
Cable Plot

■ Ax. F-Y Rat on

Structure Max. Value

# 2 (Cable) 9.583E-02

# 3 (Cable) 8.791E-02

# 4 (Cable) 8.500E-02

# 5 (Cable) 3.009E-01

# 6 (Cable) 4.771E-01

# 7 (Cable) 2.871E-01

Bulloni - Sforzo assiale [N]

■ Axial Force on

Structure Max. Value

# 2 (Cable) -1.859E+04

# 3 (Cable) -1.705E+04

# 4 (Cable) -1.649E+04

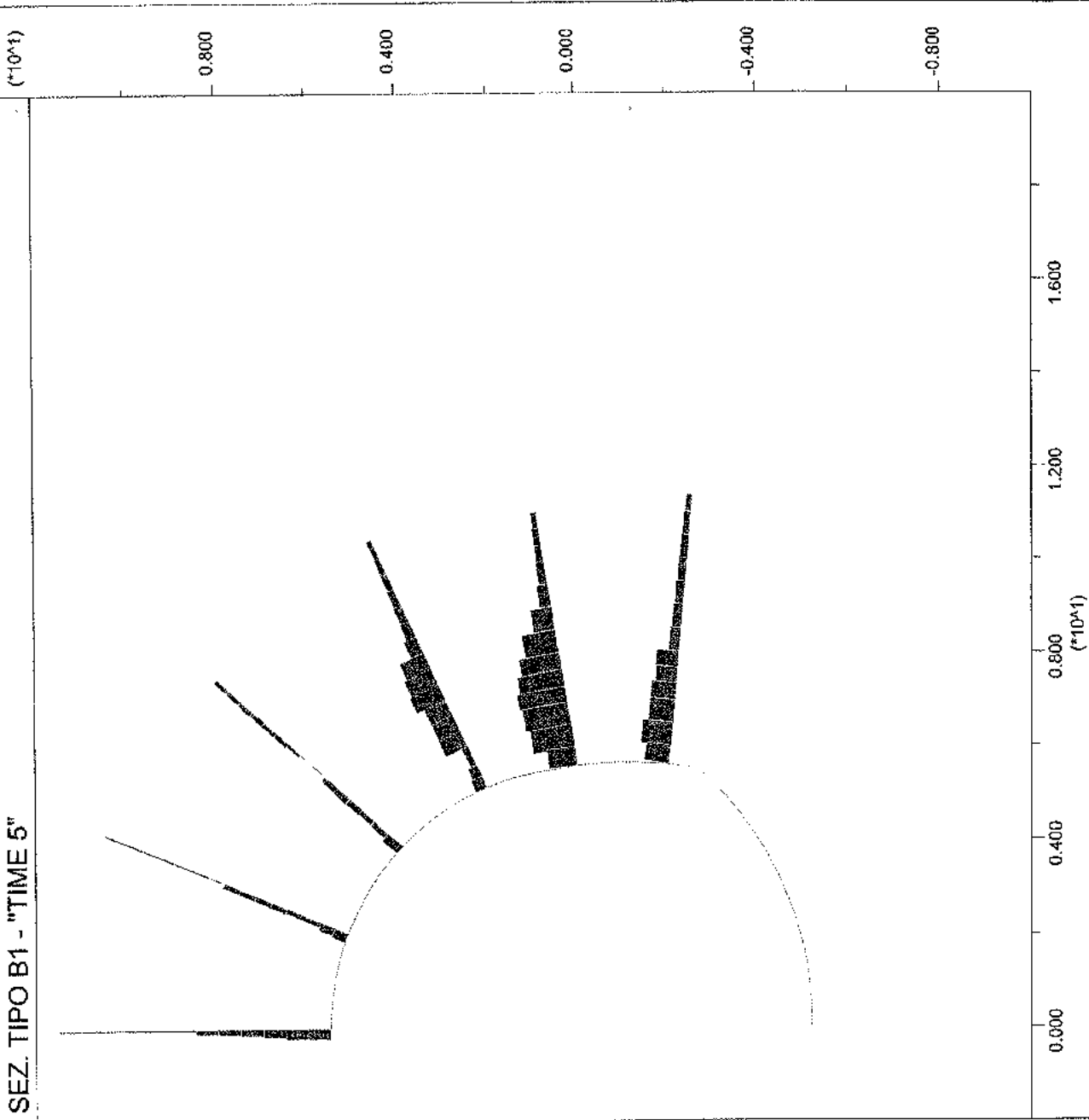
# 5 (Cable) -5.837E+04

# 6 (Cable) -9.255E+04

# 7 (Cable) -5.570E+04

Itasca Consulting Group, Inc.

Minneapolis, Minnesota USA



JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B1 - "TIME 5"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

20-Feb-04 12:15

step 29329


-2.000E+00 <x< 2.000E+01

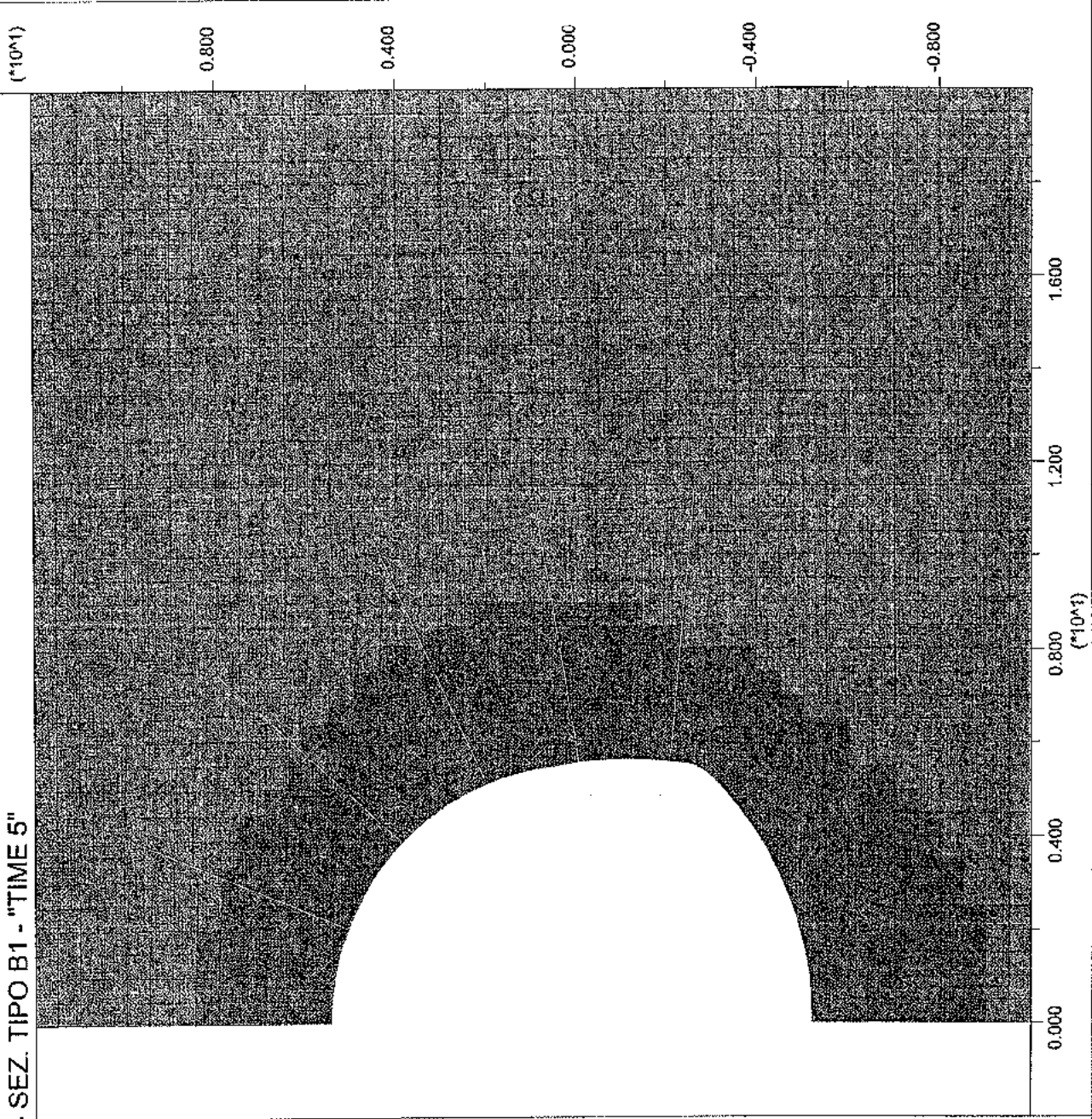
-1.000E+01 <y< 1.200E+01

state

 Elastic

 Elastic, Yield in Past

 Grid plot



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Curricolo Castagnola - SEZ. TIPO B1 - "TIME 6"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

20-Feb-04 12:15

step 30738

-2.000E+00 <x< 2.400E+01

-1.200E+01 <y< 1.400E+01

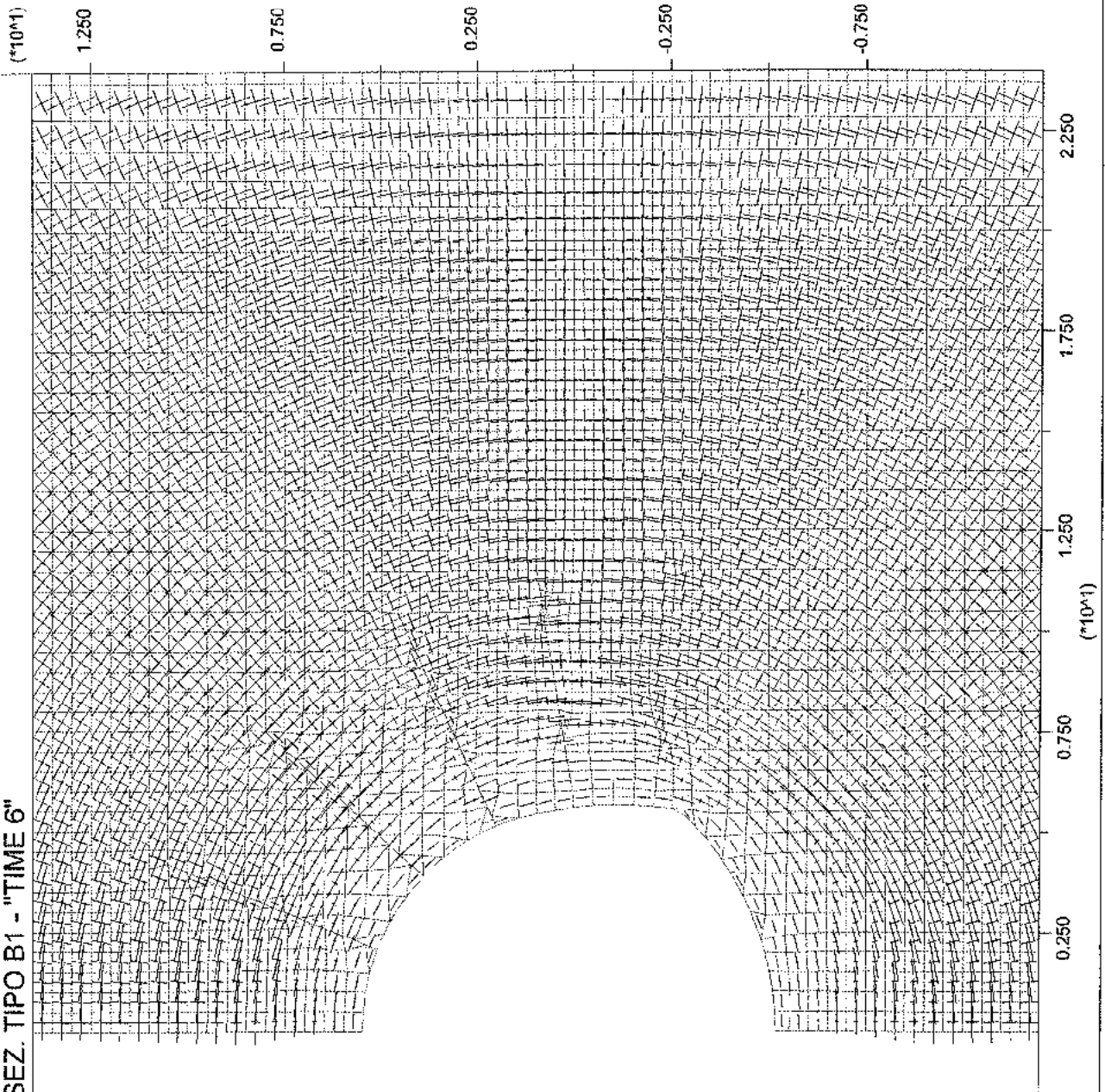
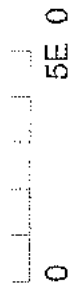
Principal stresses

Max. Value = -4.240E+04

Min. Value = -2.332E+07



Tensioni principali : Pa



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B1 - "TIME 6"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

20-Feb-04 12:15

step 30738

-2.000E+00 <x< 2.400E+01

-1.200E+01 <y< 1.400E+01

Y-displacement contours

-1.50E-01

-1.00E-01

-5.00E-02

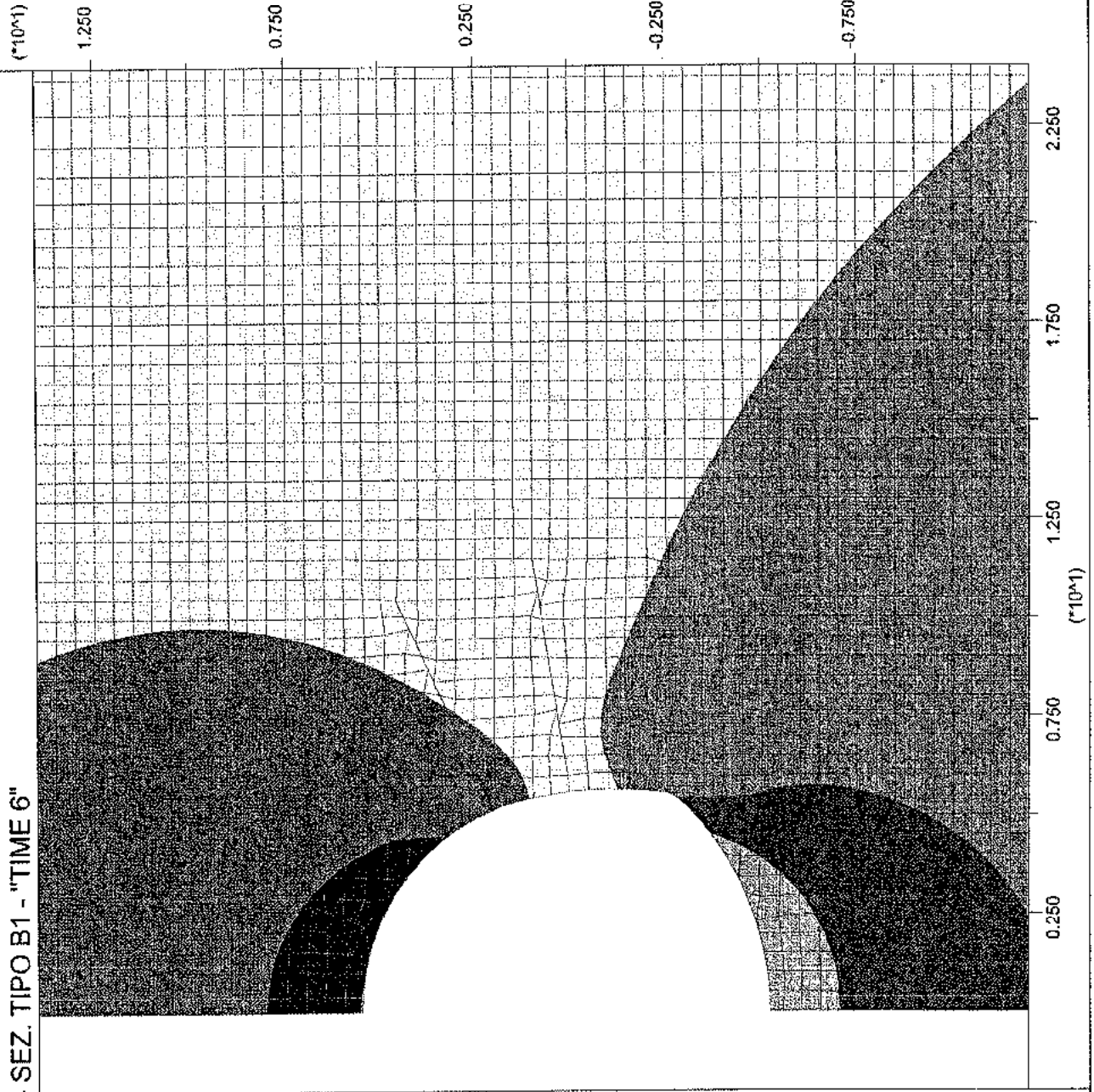
0.00E+00

5.00E-02

1.00E-01

Contour interval= 5.00E-02

Spostamenti verticali



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA



JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B1 - "TIME 6"

**FLAC (Version 4.00)**

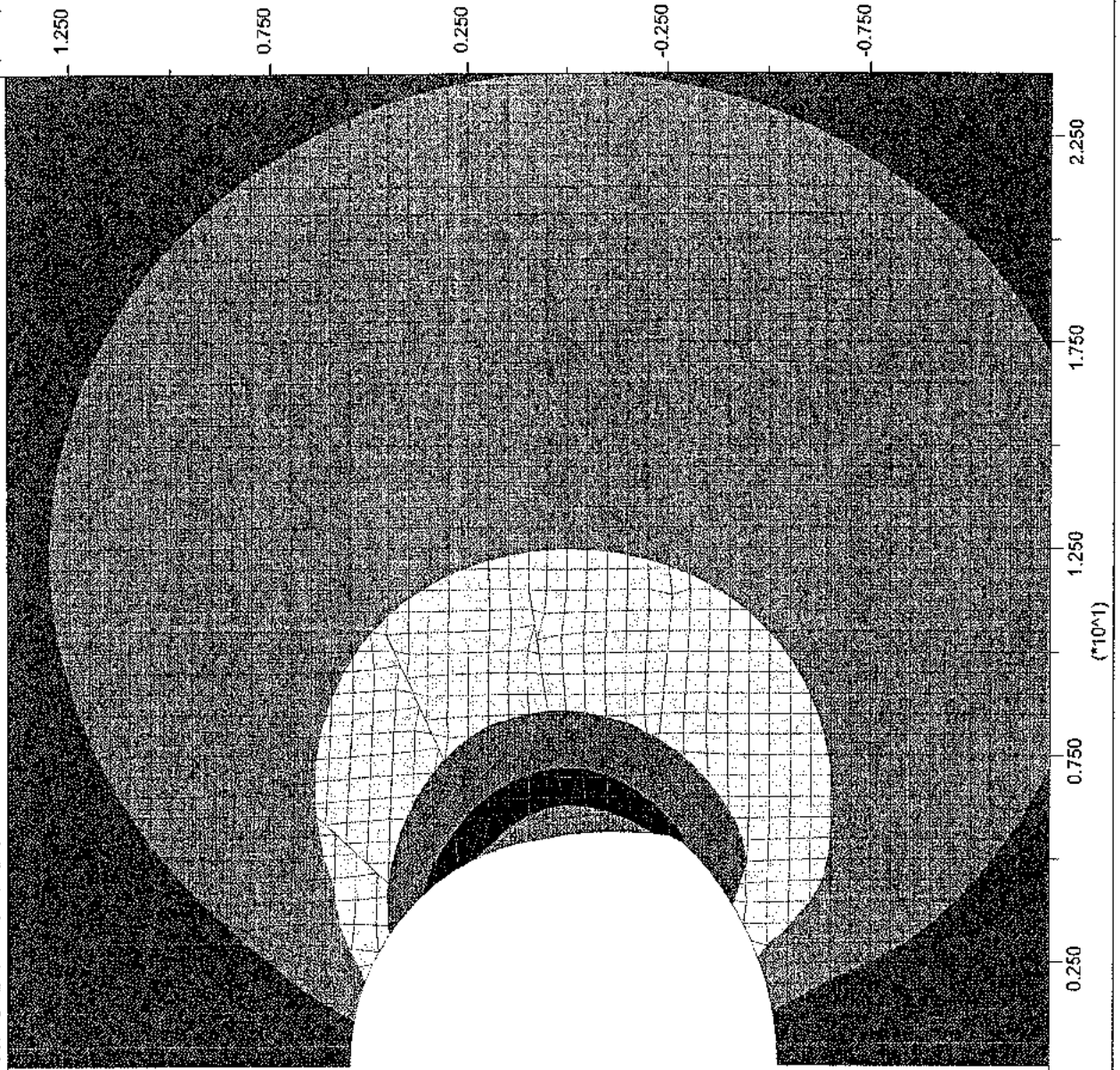
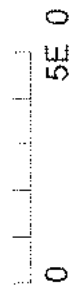
LEGEND

20-Feb-04 12:15  
step 30738  
-2.000E+00 <x< 2.400E+01  
-1.200E+01 <y< 1.400E+01

X-displacement contours



Contour interval= 2.50E-02  
Spostamenti orizzontali



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA



JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B1 - "TIME 6"

### FLAC (Version 4.00)

#### LEGEND

20-Feb-04 12:15

step 30738

-2.000E+00 <x< 2.400E+01

-1.200E+01 <y< 1.400E+01

Max. shear strain increment

0.00E+00

1.00E-02

2.00E-02

3.00E-02

4.00E-02

5.00E-02

6.00E-02

Contour interval= 1.00E-02

Deformazioni plastiche per taglio



(\*10^1)

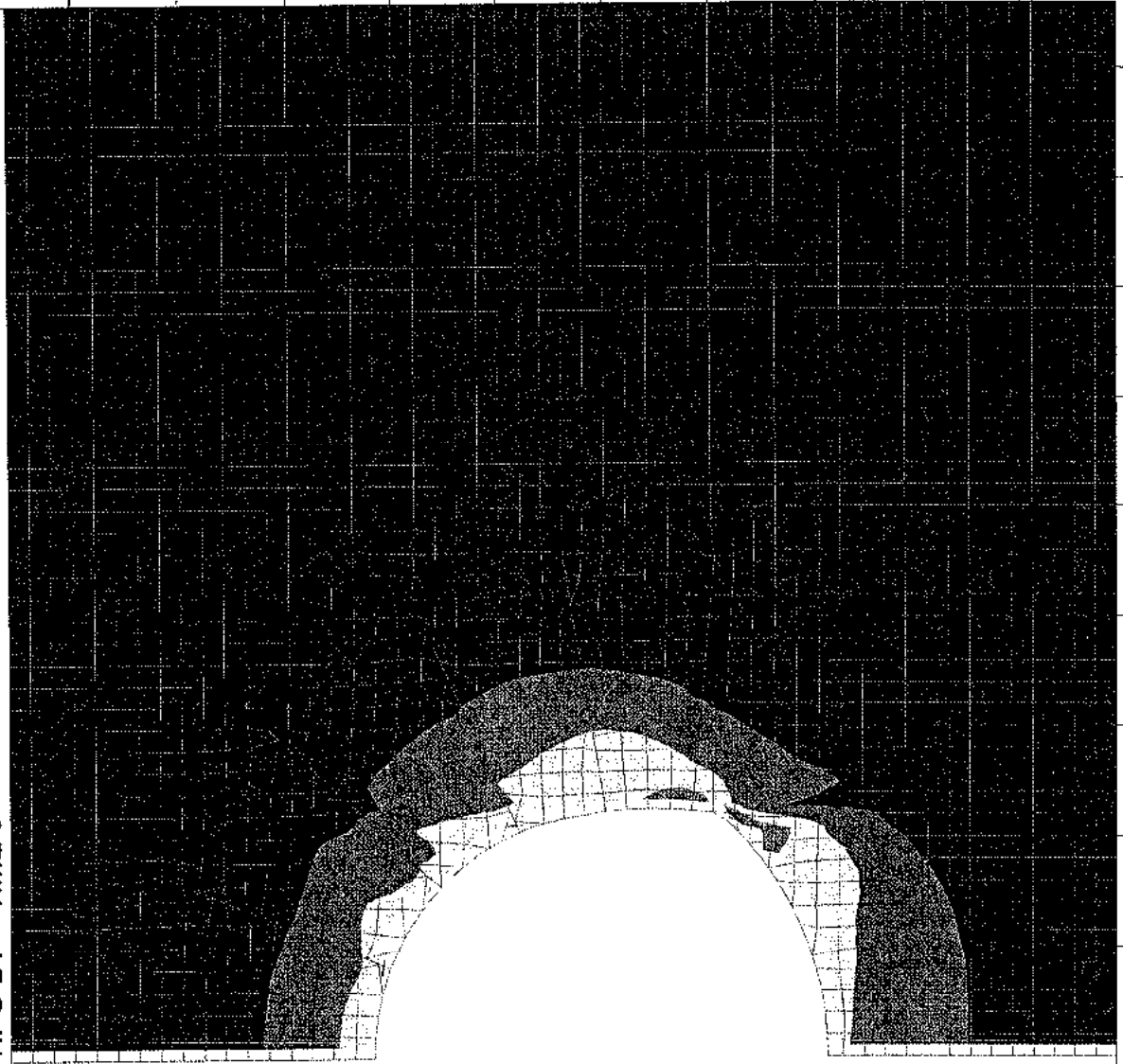
1.250

0.750

0.250

-0.250

-0.750



2.250

1.750

1.250

0.750

0.250

(\*10^1)

Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B1 - "TIME 6"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

20-Feb-04 12:15

step 30738

-2.000E+00 <x< 1.400E+01

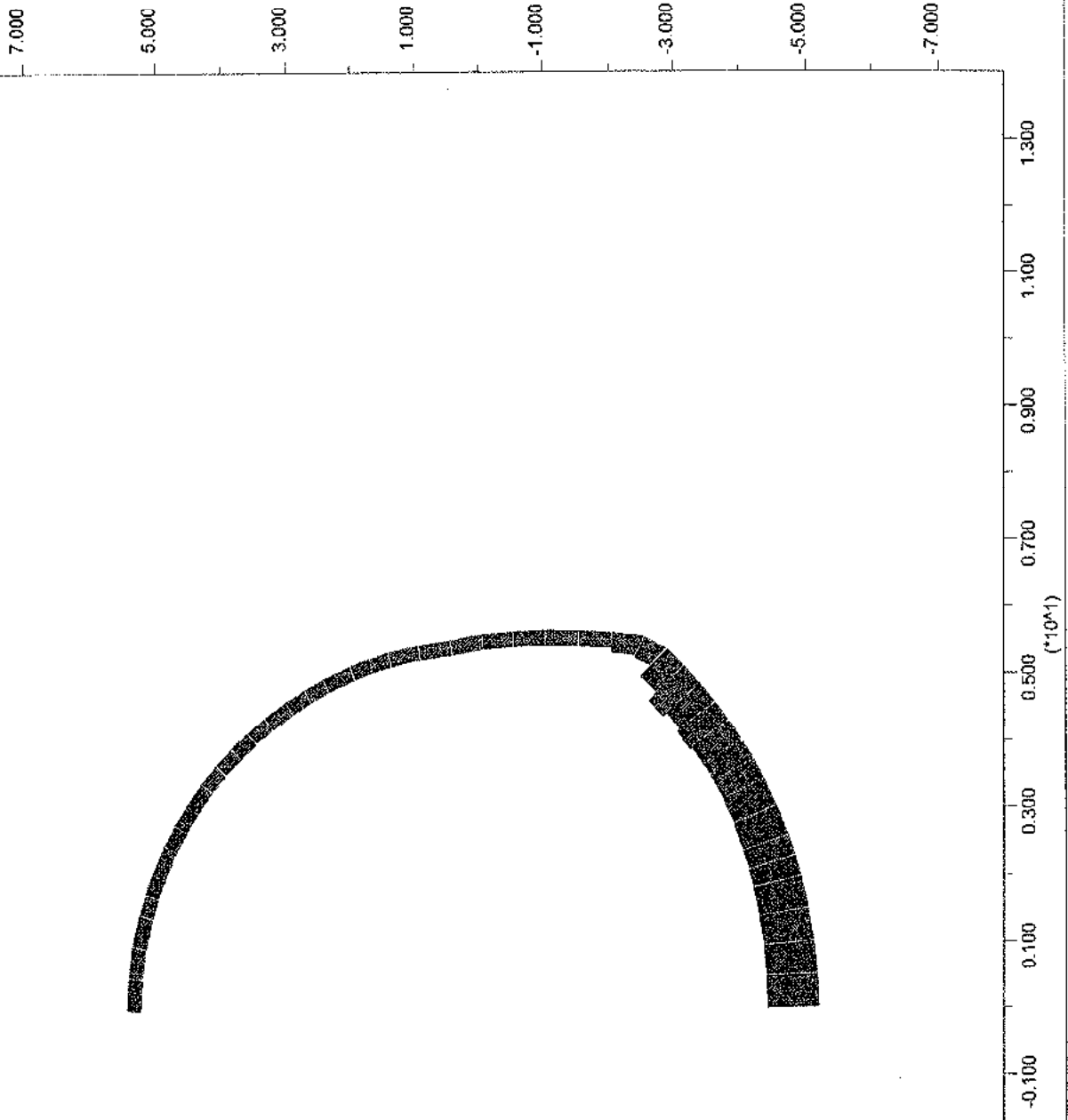
-8.000E+00 <y< 8.000E+00

Riv. def. - Sforzo normale [N/m]

■ Axial Force on

Structure Max. Value

# 8 (Beam ) 1.875E+06



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B1 - "TIME 6"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

20-Feb-04 12:15

step 30738

-2.000E+00 <x< 1.400E+01

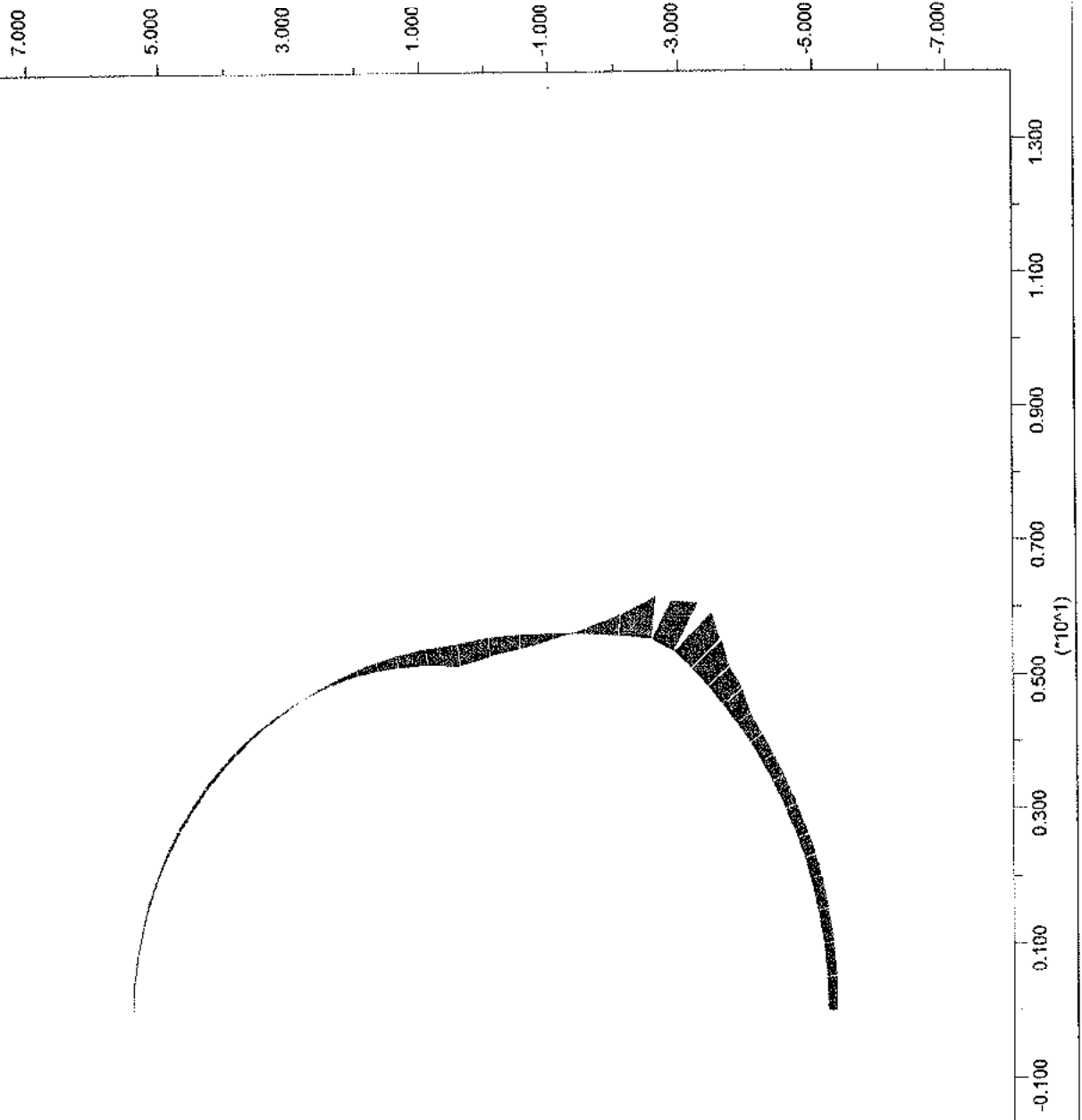
-8.000E+00 <y< 8.000E+00

Riv. def. - Momento flettente [N\*m/m]

■ Moment on

Structure Max. Value

# 8 (Beam ) -2.768E+05



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B1 - "TIME 7"

**FLAC (Version 4.00)**

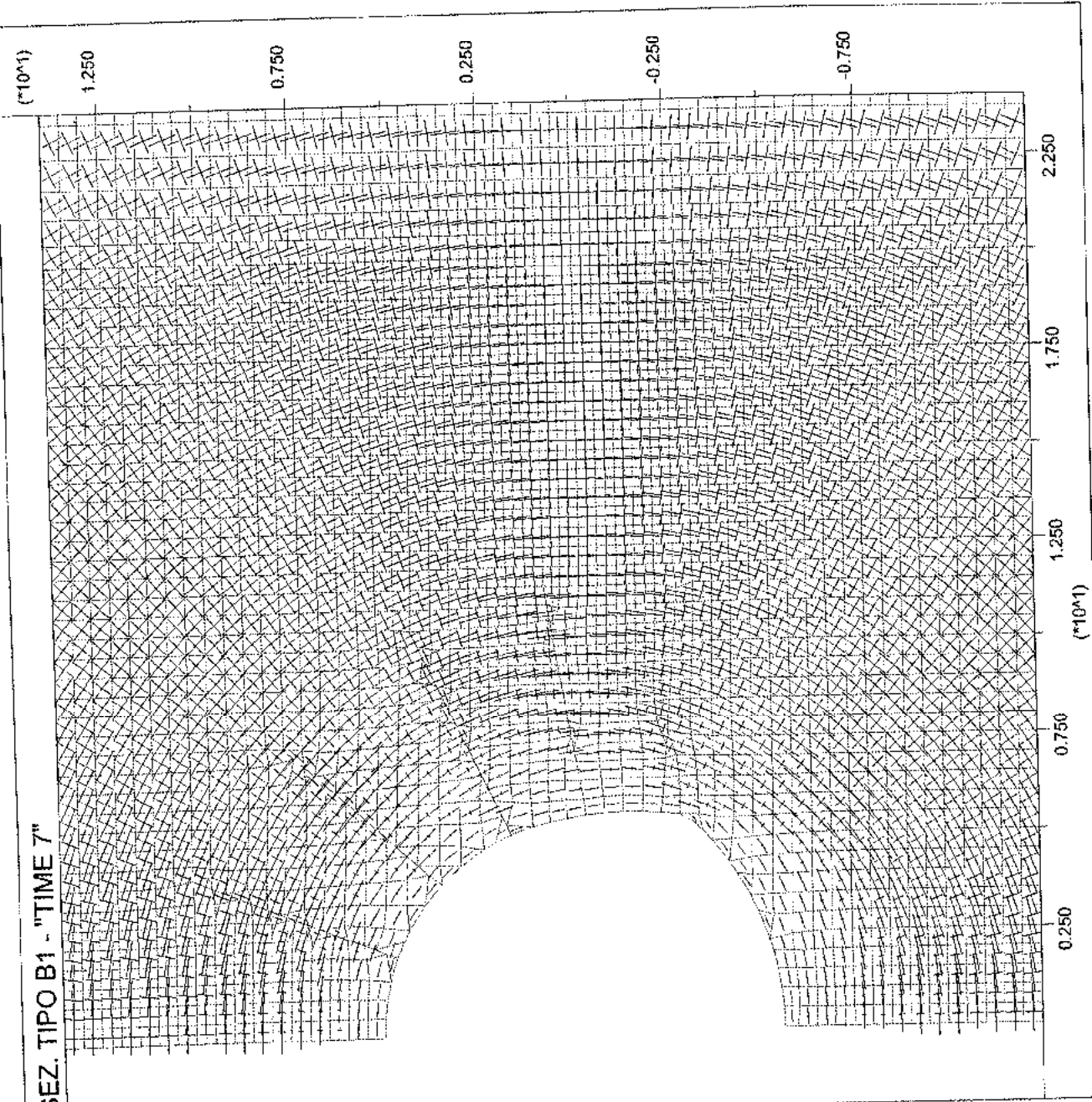
LEGEND

20-Feb-04 12:40  
step 31720  
-2.000E+00 <x< 2.400E+01  
-1.200E+01 <y< 1.400E+01

Principal stresses  
Max. Value = -1.082E+05  
Min. Value = -2.332E+07



Tensioni principali : Pa



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

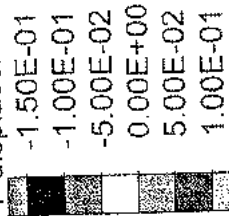
JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B1 - "TIME 7"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

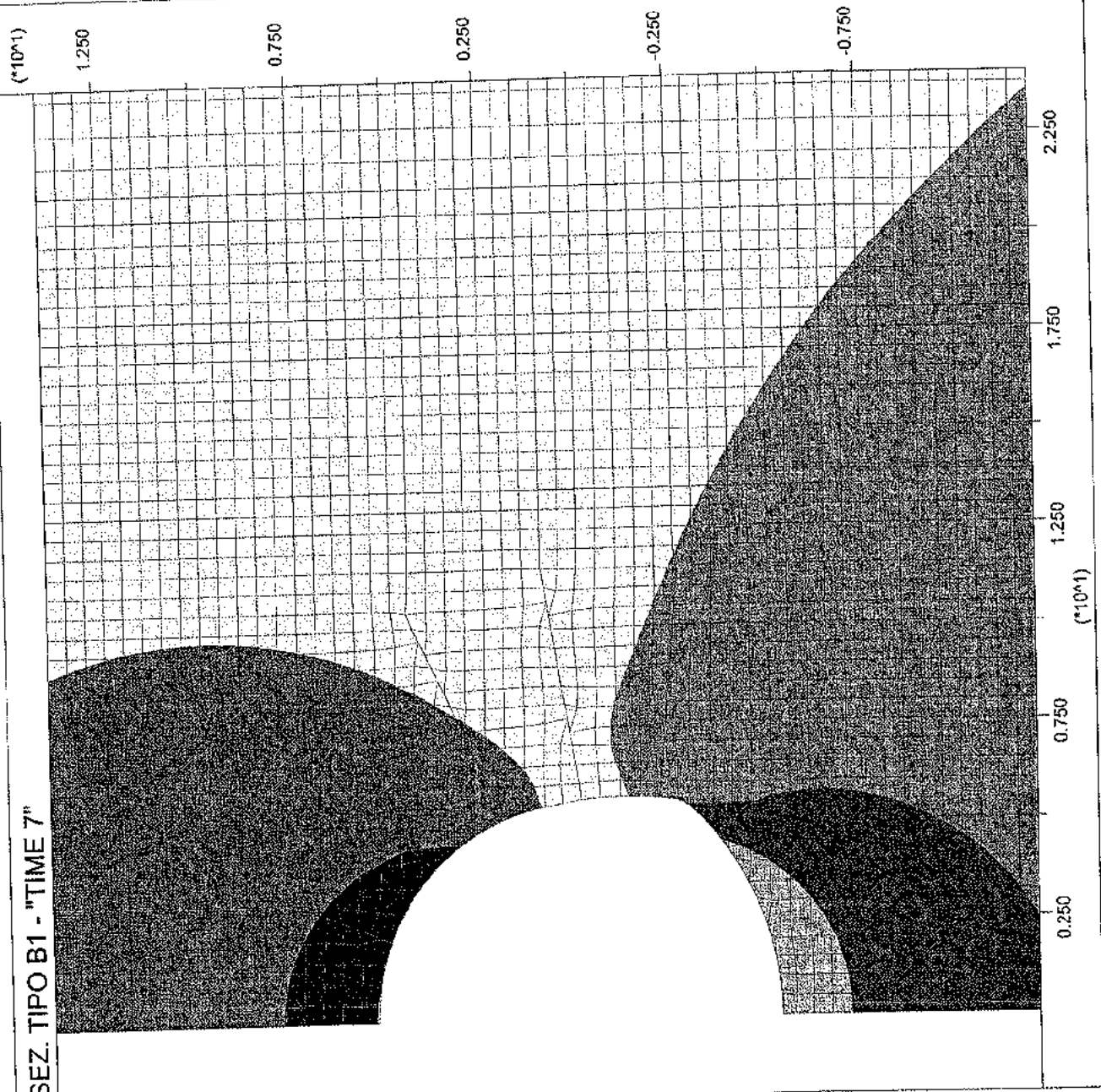
20-Feb-04 12:40  
step 31720  
-2.000E+00 <x< 2.400E+01  
-1.200E+01 <y< 1.400E+01

Y-displacement contours



Contour interval= 5.00E-02

Spostamenti verticali



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

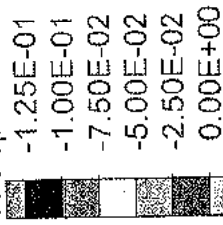
JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B1 - "TIME 7"

**FLAC (Version 4.00)**

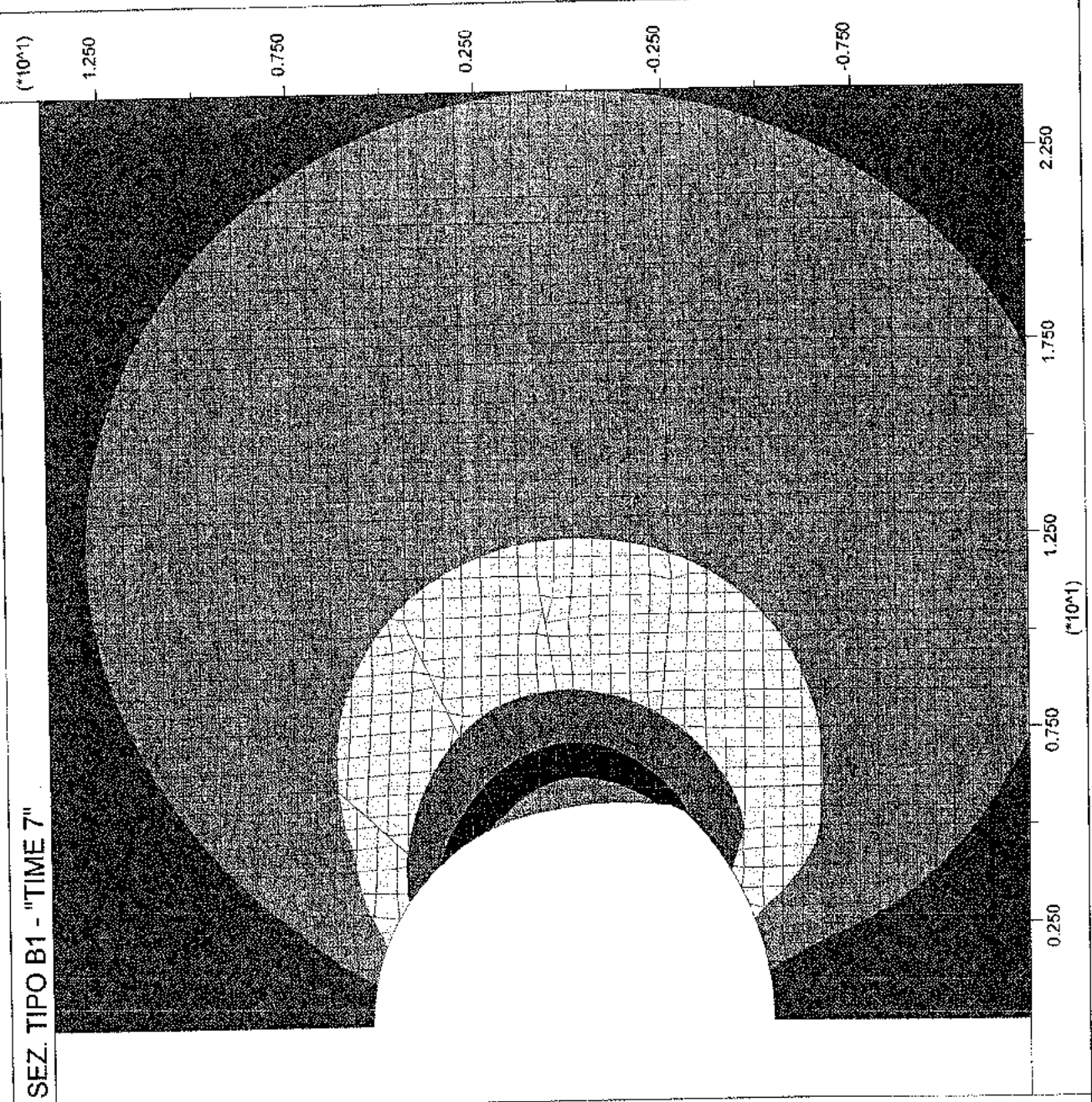
LEGEND

20-Feb-04 12:40  
step 31720  
-2.000E+00 <x< 2.400E+01  
-1.200E+01 <y< 1.400E+01

X-displacement contours



Contour interval= 2.50E-02  
Spostamenti orizzontali



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B1 - "TIME 7"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

20-Feb-04 12:40

step 31720

-2.000E+00 <x< 2.400E+01

-1.200E+01 <y< 1.400E+01

Max. shear strain increment

0.00E+00

1.00E-02

2.00E-02

3.00E-02

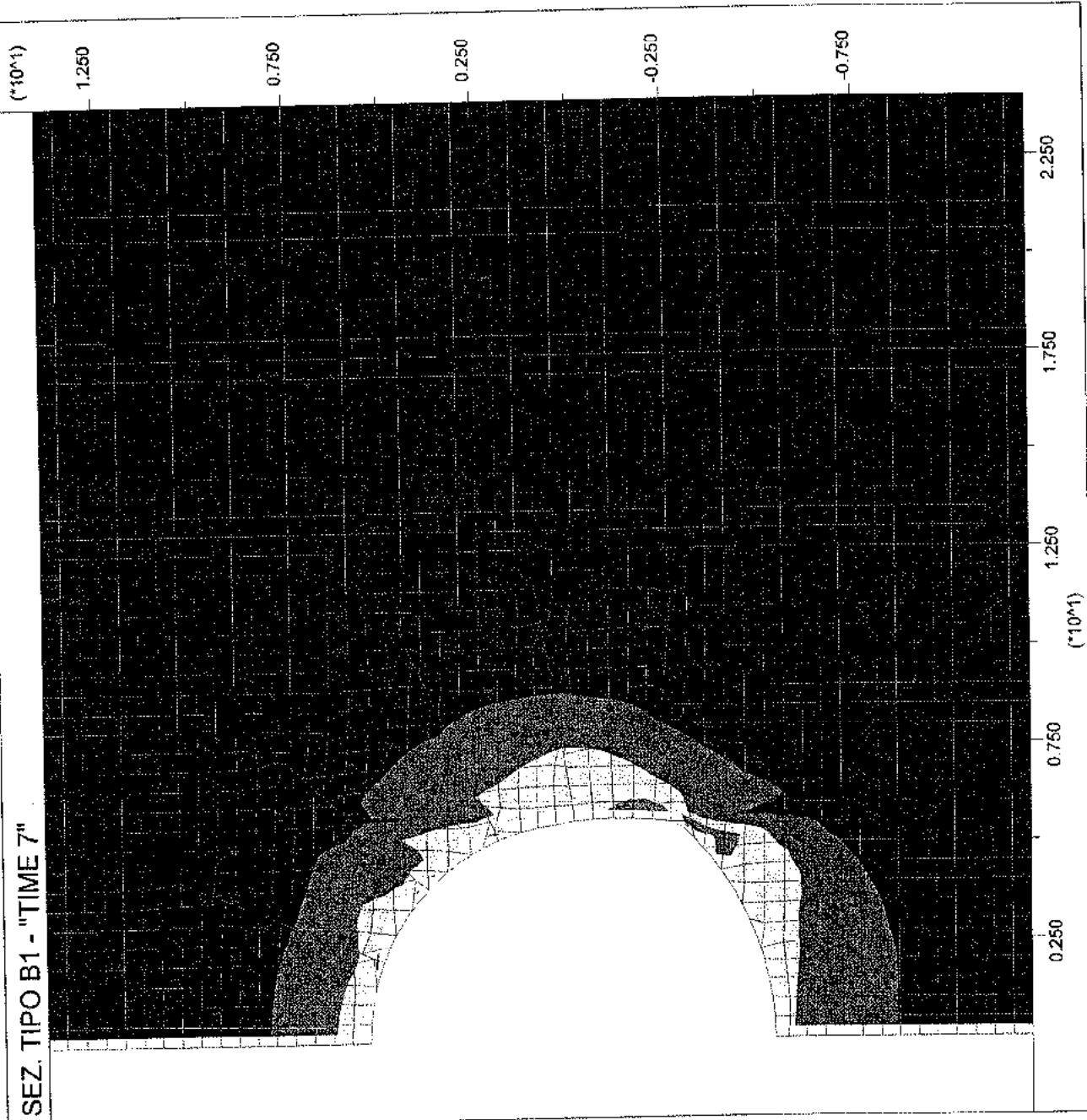
4.00E-02

5.00E-02

6.00E-02

Contour interval= 1.00E-02

Deformazioni plastiche per taglio



Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

JOB TITLE : Cunicolo Castagnola - SEZ. TIPO B1 - "TIME 7"

**FLAC (Version 4.00)**

LEGEND

20-Feb-04 12:40  
step 31720  
-2.000E+00 <x< 1.400E+01  
-8.000E+00 <y< 8.000E+00

Riv. def. - Sforzo normale [N/m]

■ Axial Force on

Structure Max. Value  
# 1 (Beam ) 2.525E+06

Itasca Consulting Group, Inc.  
Minneapolis, Minnesota USA

