

DIREZIONE CENTRALE PROGRAMMAZIONE PROGETTAZIONE

PA 12/09

CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO - NORD EUROPA

ITINERARIO AGRIGENTO - CALTANISSETTA - A19

S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE"

AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001

Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19

PROGETTO ESECUTIVO

Contraente Generale:



OPERE D'ARTE MAGGIORI  
GALLERIE NATURALI

GALLERIA NATURALE CALTANISSETTA

Relazione Geomeccanica e di calcolo della Galleria Naturale

Codice Unico Progetto (CUP) : F91B09000070001

Codice Elaborato:

PA12\_09 - E 1 2 5 GN 2 0 4 GN 0 2 Z R H 0 0 1 C

Scala:

-----

F						
E						
D						
C	Ottobre 2011	Rif. Istruttoria prot. CDG-0141142-P del 19/10/11	M. PAPA	R. CAPOCCHI	M. LITI	P. PAGLINI
B	Luglio 2011	Revisione a seguito di incontri con il Committente	M. PAPA	R. CAPOCCHI	M. LITI	P. PAGLINI
A	Aprile 2011	EMISSIONE	M. PAPA	A. TURSO	M. LITI	P. PAGLINI
REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	AUTORIZZATO
Responsabile del procedimento: Ing. MAURIZIO PARAMINI						

Il Progettista:



Il Consulente Specialista:



Geologo:



Il Coordinatore per la sicurezza  
in fase di progetto:



Il Direttore dei lavori:



## INDICE

1	INTRODUZIONE .....	4
2	CARATTERISTICHE DEI CONCI PREFABBRICATI .....	5
2.1	Riempimento a tergo dei conci .....	6
3	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	7
3.1	Normativa .....	7
3.2	Riferimenti bibliografici.....	8
3.3	Software utilizzato.....	8
4	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....	9
4.1	Coefficienti di sicurezza sulla resistenza dei materiali .....	9
5	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOTECNICO.....	11
5.1	Premessa .....	11
5.2	Descrizione delle indagini in sito ed in laboratorio .....	13
5.2.1	Indagini condotte nelle precedenti fasi progettuali.....	13
5.2.2	Indagini integrative del progetto esecutivo - fase 1 del 2010.....	16
5.2.3	Indagini integrative di fase 2 del 2010 .....	21
5.3	DETERMINAZIONE DELLE UNITÀ GEOTECNICHE E ATTRIBUZIONE DEI PARAMETRI CARATTERISTICI.....	22
5.4	Modellazione geotecnica .....	26
5.5	Idrogeologia.....	43
5.6	Prove di laboratorio per la verifica delle possibilità di condizionamento del terreno attraversato dalla Galleria Caltanissetta.....	47
6	VALUTAZIONE DELLA PRESSIONE DA APPLICARE AL FRONTE DI SCAVO .....	56
6.1	Premessa .....	56
6.2	Verifica per le argille plioceniche non drenate .....	56
6.3	Verifiche drenate.....	60
7	ANALISI CON IL METODO DELLE LINEE CARATTERISTICHE .....	67
7.1	Sintesi delle problematiche .....	74
8	ANALISI ALLE DIFFERENZE FINITE .....	76
8.1	Il codice di calcolo FLAC 6.0 .....	76
8.2	Criteri di verifica .....	80

<i>Cod. elab</i> GN02-Z-RH 001_C.00	<i>Titolo:</i> Galleria naturale Caltanissetta	<i>Data:</i> 20/11/2011
<i>Nome file:</i> 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	<i>Pagina</i> 2 di 119

---

8.3	Analisi numeriche .....	83
8.3.1	Fasi di modellazione.....	85
8.3.2	Risultati e verifiche .....	92
ALLEGATI DI CALCOLO .....		99
OUTPUT SOLLECITAZIONI .....		99
FASE 2		99
FASE 3		102
FASE 4		106
FASE 5		112

<i>Cod. elab</i> GN02-Z-RH 001_C.00	<i>Titolo:</i> Galleria naturale Caltanissetta	<i>Data:</i> 20/11/2011
<i>Nome file:</i> 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	<i>Pagina</i> 3 di 119

## 1 INTRODUZIONE

La galleria Caltanissetta a doppia canna è tra le principali opere d'arte dell'itinerario Agrigento-Caltanissetta-A19; presenta sezione circolare avente diametro di scavo pari circa 13.40 m. Le due canne hanno interasse compreso tra circa 35 e 80 m e si sviluppano per una lunghezza di circa 4 km, per buona parte dei quali al di sotto della città di Caltanissetta. L'altezza di copertura per la quasi totalità del tracciato sarà compresa tra circa 80 e 110 mt, tranne che nelle zone di imbocco dove sarà limitata ad alcune decine di metri.

Le gallerie verranno realizzate a piena sezione mediante scavo meccanizzato con fresa. In funzione delle caratteristiche geomeccaniche delle formazioni attraversate dalla galleria Caltanissetta, verranno nel seguito affrontate le problematiche connesse alla realizzazione dello scavo e alla verifica del rivestimento definitivo.

Verranno successivamente illustrate le analisi svolte mediante i metodi delle linee caratteristiche e delle differenze finite e i risultati ottenuti per lo studio in esame.

In particolare le analisi mostrate nel seguito sono focalizzate nelle tratte tettonizzate attraversate dal tracciato della galleria e non rinvenute in sede di progettazione definitiva; (si rimanda alla relazione geologica per quanto riguarda il dettaglio della ricostruzione del modello che prevede la presenza di suddette discontinuità). I parametri geomeccanici di calcolo da assumere nelle suddette zone sono stati desunti dalle campagne indagini integrative condotte in sede di progettazione esecutiva correlando i risultati delle prove di laboratorio con i dati già a disposizione dalle fasi di progettazione precedenti.

Le analisi riportate nel prosieguo della presente sono state svolte preliminarmente con il metodo delle Linee Caratteristiche, per essere poi approfondite mediante il metodo alle Differenze Finite in grado di determinare oltre che le sollecitazioni agenti sul rivestimento anche lo stato tenso-deformativo dell'ammasso di scavo e gli eventuali fenomeni d'interazione tra lo scavo delle due canne.

Le verifiche contenute nel presente studio sono state effettuate seguendo un approccio agli stati limite ultimi e di esercizio, in accordo con le prescrizioni sulle tipologie e relative resistenze dei materiali e con le modalità di verifica previste all'interno delle vigenti "Norme Tecniche per le Costruzioni" (D.M.14/01/2008).

<i>Cod. elab</i> GN02-Z-RH 001_C.00	<i>Titolo:</i> Galleria naturale Caltanissetta	<i>Data:</i> 20/11/2011
<i>Nome file:</i> 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	<i>Pagina</i> 4 di 119

## 2 CARATTERISTICHE DEI CONCI PREFABBRICATI

La tipologia del rivestimento definitivo ipotizzato è stata modificata rispetto a quanto previsto nel progetto a base di gara. Questo è composto da un anello formato da 8 conci, 7 più il concio cosiddetto "di chiave". Lo spessore dei conci è di 0.60 m.

Le caratteristiche geometriche principali di tale anello sono le seguenti:

diametro esterno:	13.20 m
diametro interno:	12.00 m
spessore:	0.60 m
lunghezza media:	1.40 m
numero di conci:	8 (7 + 1 concio di chiave)

I conci saranno opportunamente armati sia in senso circonferenziale che longitudinale e sulle facce sulle quali si esercitano i carichi concentrati dei martinetti di spinta della fresa. In aggiunta alle armatura di cui sopra sarà posizionata una specifica armatura in corrispondenza dei giunti tra concio e concio.

Sulle facce laterali di ogni concio saranno disposti opportune tasche per l'inserimento dei bulloni.

Ogni concio sarà dotato di fori troncoconici radiali predisposti per l'inserimento del perno temporaneo per il supporto del passaggio del back-up. Alcuni di questi fori verranno impiegati per l'iniezione del riempimento a tergo del rivestimento.

Sulle quattro facce di giunto sarà presente una scanalatura per il posizionamento della guarnizione. Si prevede, infatti, di munire i conci di apposite guarnizioni al fine di garantirne la tenuta idraulica.

I conci non saranno dotati di spigoli "vivi" ma di smussi che renderanno tali zone meno soggette a fratture e lesioni locali durante le fasi di movimentazione e montaggio inoltre permetteranno la scasseratura dei conci stessi.

La precisa geometria del sistema di conci così come le caratteristiche degli inserti e delle guarnizioni saranno definiti nel dettaglio nelle successive fasi progettuali.

<i>Cod. elab</i> GN02-Z-RH 001_C.00	<i>Titolo:</i> Galleria naturale Caltanissetta	<i>Data:</i> 20/11/2011
<i>Nome file:</i> 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	<i>Pagina</i> 5 di 119

## **2.1 Riempimento a tergo dei conci**

Si prevede che una volta completato il montaggio dell'anello di conci prefabbricati si provvederà al riempimento dell'intercapedine presente tra il profilo di scavo e l'estradosso del rivestimento mediante una apposita malta al fine di assicurare l'inghisaggio dei conci al terreno.

La malta al momento dell'inserimento sarà mantenuta in pressione grazie alla presenza di un cassero di testata in modo da contrastare la tendenza del terreno ad assestarsi attorno al rivestimento prefabbricato.

Al fine di minimizzare le deformazioni del cavo ed i conseguenti cedimenti superficiali l'inghisaggio sarà effettuato fin dal primo anello posizionato immediatamente a tergo dello scudo.

Sarà, inoltre, previsto un letto di malta cementizia al momento dell'uscita dei conci dalla coda dello scudo in modo da ridurre l'affondamento dell'anello.

Una volta inghisato il rivestimento al terreno sarà possibile rimuovere i bulloni posti in opera al momento del montaggio di ogni singolo anello.

Sarà comunque garantito in ogni caso, anche in presenza di eventuali extrascavi, il completo riempimento dell'intercapedine presente tra il profilo di scavo e l'estradosso del rivestimento.

Le specifiche dei materiali e la precisa metodologia con cui si prevede di realizzare l'intasamento saranno definiti nel dettaglio nelle successive fasi progettuali.

<i>Cod. elab</i> GN02-Z-RH 001_C.00	<i>Titolo:</i> Galleria naturale Caltanissetta	<i>Data:</i> 20/11/2011
<i>Nome file:</i> 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	<i>Pagina</i> 6 di 119

## 3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 3.1 Normativa

La presente relazione è stata redatta nel rispetto della Normativa in vigore e di alcune Raccomandazioni.

I principali riferimenti normativi sono i seguenti:

- Ministero delle Infrastrutture - D.M. 14/01/2008: "Nuove norme tecniche per le costruzioni";
- Circ.Min. n°617 del 02/02/2009: "Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008";
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici STC, "Linee guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale e per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo indurito mediante prove non distruttive", febbraio 2008.
- Legge 5.11.1971, n.1086, "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica".
- AFTES "Recommendations for the DESIGN OF SPRAYED CONCRETE FOR UNDERGROUND SUPPORT" – 09/11/2000
- CNR 10012: "Istruzioni per la valutazione delle azioni sulle costruzioni".
- CNR 10024: "Analisi di strutture mediante elaboratore. Impostazione e redazione delle relazioni di calcolo".
- UNI EN 197-1: "Cemento - Composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni.
- UNI EN 206-1: "Calcestruzzo - Specificazioni, prestazioni, produzione e conformità".
- UNI 11104/2004: "Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità – Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1".

<i>Cod. elab</i> GN02-Z-RH 001_C.00	<i>Titolo:</i> Galleria naturale Caltanissetta	<i>Data:</i> 20/11/2011
<i>Nome file:</i> 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	<i>Pagina</i> 7 di 119

### 3.2 Riferimenti bibliografici

- Hoek, E., Carranza-Torres, C.T. e Corkum, B. (2002). Hoek-Brown failure criterion – 2002 edition. Proc. North American Rock Mechanics Society meeting in Toronto in July 2002.
- Tanzini, M. (2006). Gallerie. Aspetti geotecnici nella progettazione e costruzione. Seconda Edizione. Dario Flaccovio Editore. Palermo
- Lunardi P. (1982). Problemi geomeccanici nella realizzazione delle grandi cavità. Dagli atti del convegno sul tema "Lo spazio in sotterraneo come nuovo utilizzo del territorio". Bolzano, Settembre 1982.
- Lunardi P., Bindi R., Focaracci A. (1993). Technical and financial planning of underground works: the ADECO-RS method, VI Forum Europeo di Ingegneria Economica –Università Bocconi. Milano 13-14 Maggio 1993.
- Lunardi P. (1994-1996). Progetto e costruzione di gallerie secondo l'approccio basato sull'analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli. Quarry and Construction, Marzo 1994, Marzo 1995, Aprile 1996.
- Lunardi P. (1997-1999). Conception et execution des tunnels d'après l'analyse des déformations contrôlées dans les roches et dans les sols. Revue Francaise de Geotechnique, n. 80, 84,86.
- Lunardi P. (2000). Design & constructing tunnels – ADECO-RS approach. T&T International special supplement, Maggio 2000.
- Lunardi P. (2001). Progetto e costruzione di gallerie – Approccio ADECO-RS. Supplemento a Quarry and Construction. Maggio 2001.
- Lunardi P. (2001). Attendibilità della progettazione. Strade & Autostrade, n. 5.

### 3.3 Software utilizzato

FLAC 6.0. Programma alle differenze finite per l'analisi geotecnica e delle gallerie.  
ITASCA.

Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	Pagina 8 di 119

## 4 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Per quanto riguarda le caratteristiche dei materiali utilizzati è stato considerato:

### CALCESTRUZZO:

classe di esposizione:	XD3
classe di lavorabilità:	S3-S4
classe (resistenza caratteristica cubica):	Rck 55 MPa
resistenza caratteristica cilindrica:	$f_{ck}=0.83 \times R_{ck} = 45.65 \text{ MPa}$
resistenza cilindrica media:	$f_{cm}=f_{ck}+8=53.65 \text{ MPa}$
modulo elastico:	$E_{cm}=22000(f_{cm}/10)^{0.3} = 36416 \text{ MPa}$
massima deformazione di accorciamento:	$\xi_c = 3.5 \text{ ‰}$

### ACCIAIO PER ARMATURA:

tipo:	B450C
tensione caratteristica di snervamento:	$f_{yk} = 450 \text{ MPa}$
modulo elastico:	$E_s = 210000 \text{ MPa}$
massima deformazione di allungamento:	$\xi_a = 10 \text{ ‰}$

### 4.1 Coefficienti di sicurezza sulla resistenza dei materiali

#### STATO LIMITE ULTIMO

Per il calcolo delle azioni resistenti della sezione sono stati utilizzati i seguenti coefficienti di sicurezza (a dividere i valori di resistenza dei materiali):

per la resistenza a compressione del cls.:	$\gamma_c=1.5$
per la resistenza dell'acciaio:	$\gamma_s=1.15$

Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	Pagina 9 di 119

Per tenere conto della diminuzione della resistenza del calcestruzzo sottoposto a carichi di lunga durata, nelle verifiche in fase definitiva la resistenza caratteristica cilindrica ( $f_{ck}$ ) viene opportunamente ridotta di un ulteriore coefficiente pari a 0.85.

I valori di calcolo delle resistenze del calcestruzzo e dell'acciaio risultano quindi:

$$f_{cd1} = 0.85 \times f_{ck} / \gamma_c = 25.86 \text{ MPa} \quad (\text{carichi di lunga durata})$$

$$f_{cd2} = f_{ck} / \gamma_c = 30.43 \text{ MPa} \quad (\text{carichi di breve durata})$$

$$f_{ctd} = 0.7 \times 0.30 \times f_{ck}^{(2/3)} / \gamma_c = 1.79 \text{ MPa} \quad (\text{resistenza a trazione})$$

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 391.3 \text{ MPa} \quad (\text{resistenza di calcolo dell'acciaio})$$

## STATO LIMITE DI ESERCIZIO

Le verifiche delle tensioni in esercizio sono state effettuate considerando le seguenti tensioni ammissibili:

$$\sigma_{amm,c} = 0.45 \times f_{ck} = 20.54 \text{ MPa} \quad (\text{calcestruzzo})$$

$$\sigma_{amm,s} = 0.80 \times f_{yk} = 360 \text{ MPa} \quad (\text{acciaio})$$

<i>Cod. elab</i> GN02-Z-RH 001_C.00	<i>Titolo:</i> Galleria naturale Caltanissetta	<i>Data:</i> 20/11/2011
<i>Nome file:</i> 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	<i>Pagina</i> 10 di 119

## 5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOTECNICO

### 5.1 Premessa

La presente relazione è relativa allo studio geotecnico a supporto del progetto esecutivo di ammodernamento ed adeguamento alla Cat. B D.M. 5/11/2001 della S.S. 640 Agrigento – Caltanissetta tratto dal Km 44+1000 allo svincolo con l'autostrada A19, ed è redatta in ottemperanza al D.M. 14/01/2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni" ed alla Circolare 02/02/2009 n. 617 C.S.LL.PP. "Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 14/01/2008" nel rispetto dei contenuti previsti dal punto 4.9 dell'Allegato NG15 - A.N.A.S. "Capitolato d'Oneri – Prescrizioni per la redazione del progetto esecutivo"

Lo studio è stato condotto sulla scorta del progetto definitivo nonché dei risultati delle indagini dirette e indirette effettuate nella campagna integrativa svolta nel 2010.

La presente relazione è finalizzata alla definizione delle unità geotecniche presenti caratterizzate sia per tipologia che per spessori e successione stratigrafica, ed all'assegnazione dei relativi parametri.

Ciò è stato eseguito a partire dall'esame delle unità geologico-tecniche descritte nella relazione geologica, con l'ausilio ed elaborazione delle risultanze dei sondaggi, delle prove geotecniche in sito ed in laboratorio. Tale trattazione prevede la descrizione di tutte le indagini in sito ed in laboratorio effettuate nel corso dei tre livelli di progettazione.

In coerenza a quanto riportato negli studi specialistici del Progetto esecutivo, nella presente relazione si farà riferimento alla suddivisione in tratti e sottotratti così come di seguito riportato:

<i>Cod. elab</i> GN02-Z-RH 001_C.00	<i>Titolo:</i> Galleria naturale Caltanissetta	<i>Data:</i> 20/11/2011
<i>Nome file:</i> 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	<i>Pagina</i> 11 di 119

Tratto	Sottotratto	Denominazione	Progressive
1	A	Grottarossa	0+000 ÷ 4+500
1	B	Grotta d'Acqua - Favarella	4+500 ÷ 9+500
1	C	Seconda variante	9+500 ÷ 12+140
2		Caltanissetta	12+140 ÷ 17+640
3	A	Busita	17+640 ÷ 19+500
3	B	Abbazia - Arenella	19+500 ÷ 26+600
3	C	Imera	26+600 – 28+080

In particolare, questa relazione è focalizzata sul tratto n. 2 "Caltanissetta" all'interno del quale è presente la Galleria naturale Caltanissetta di lunghezza pari a 4.059 m (Carreggiata SX) e 4.006 m (Carreggiata DX).

<i>Cod. elab</i> GN02-Z-RH 001_C.00	<i>Titolo:</i> Galleria naturale Caltanissetta	<i>Data:</i> 20/11/2011
<i>Nome file:</i> 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	<i>Pagina</i> 12 di 119

## 5.2 Descrizione delle indagini in sito ed in laboratorio

Si riporta di seguito la sintesi delle indagini svolte sia durante le precedenti fasi progettuali sia negli ultimi mesi ad integrazione di quanto sinora svolto (indagini integrative 2010 di fase I e di fase II).

### 5.2.1 Indagini condotte nelle precedenti fasi progettuali

#### Campagna di indagine ANAS eseguita nel 1988 (progetto preliminare).

In fase di redazione del progetto preliminare del raddoppio di carreggiata dell'intera S.S. 640 è stata eseguita una campagna di indagine direttamente a cura dell'ANAS, sviluppatasi lungo tutto il tracciato esistente della S.S. 640 da Agrigento a Caltanissetta. Sono stati effettuati n. 46 sondaggi a carotaggio continuo, di cui n. 2 ricadenti in corrispondenza della tratta cui fa riferimento la presente relazione (Tratto n.2 "Caltanissetta").

Dai sondaggi sono stati prelevati in totale 27 campioni indisturbati sottoposti a specifiche prove di laboratorio. In particolare, nel Tratto n.2, sono stati prelevati due campioni indisturbati (A37C1 e A38C1).

Tratta/Sottotratta denominazione progressiva	N°	Sondaggio	Profondità (m)	Campioni		
				N°	Denominazione	Profondità (m)
II Caltanissetta prog. 12.140 ÷ 17.640	16	A37	14,00	1	A37C1	9,00 – 9,60
	17	A38	25,00	1	A38C1	6,50 – 7,00

Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	Relazione Geomeccanica e di Calcolo	Pagina 13 di 119

## Campagna del Progetto Definitivo

Le indagini e prove geotecniche sono state programmate e suddivise in due distinte fasi.

**Fase 1**, eseguita nel periodo Febbraio ÷ Aprile 2006, finalizzata a ricostruire il modello geologico generale del territorio;

**Fase 2**, eseguita nel mese di Maggio 2006, ad infittimento delle indagini di prima fase, finalizzata alla definizione del modello geologico-tecnico del sottosuolo per il corretto dimensionamento di tutte le opere d'arte e manufatti interagenti con il terreno (viadotti, gallerie, rilevati opere di corredo, ecc.).

Complessivamente le indagini eseguite possono così riassumersi:

### Sondaggi meccanici:

Perforazioni a rotazione con carotaggio continuo e in parte a distruzione di nucleo, finalizzate alla determinazione dei profili stratigrafici e delle caratteristiche meccaniche dei vari livelli litologici. Le carote estratte nel corso delle perforazioni sono state raccolte, catalogate e fotografate nelle apposite cassette, per eseguire la ricostruzione delle stratigrafie.

Per ogni sondaggio sono stati prelevati in media da due a quattro campioni indisturbati, in relazione alla litologia riscontrata ed all'opera d'arte da realizzare, per condurre le analisi a prove geotecniche di laboratorio.

In particolare, per il Tratto n.2 i sondaggi eseguiti ed i campioni prelevati sono riassunti nella seguente tabella.

I sondaggi che indagano direttamente le zone attraversate dalla Galleria Caltanissetta sono 10 (dal sondaggio S49 al sondaggio S53) per un totale di 26 campioni prelevati per analisi di laboratorio.

### Prove pressiometriche

Sono state eseguite prove con pressiometro tipo "Menard" nei fori di sondaggio in corrispondenza della galleria Caltanissetta (sondaggi S25 – S26 – S27 - S29 – S50 – S51 – S52);

<i>Cod. elab</i> GN02-Z-RH 001_C.00	<i>Titolo:</i> Galleria naturale Caltanissetta	<i>Data:</i> 20/11/2011
<i>Nome file:</i> 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	<i>Pagina</i> 14 di 119

Tratta/Sottotratta denominazione progressiva	N°	Sondaggio	Profondità (m)	Campioni		
				N°	Denominazione	Profondità (m)
2 Caltanissetta Progr 12.140 + 17.640	27	S24	25,00	1	S24C1	11,80-12,30
				2	S24C2	19,50-20,00
	28	S47	25,00	1	S47C1	12,20-12,70
	29	S48	25,00	1	S48C1	6,00-6,50
				2	S48C2	17,50-18,00
	30	S49	25,00	1	S49C1	5,60-6,10
				2	S49C2	18,00-18,50
	31	S26	80,00 (di cui 50,00 a distr.)	1	S26C1	66,00-66,50
				2	S26C2	70,00-70,50
				3	S26C3	78,00-78,50
	32	S50	140,00 (di cui 110,00 a distr.)	1	S50C1	120,00-120,50
				2	S50C2	125,00-125,50
				3	S50C3	130,00-130,50
	33	S25	130,00 (di cui 60,00 a distr.)	1	S25C1	114,00-114,50
				2	S25C2	119,00-119,50
				3	S25C3	127,00-127,50
	34	S51	130,00 (di cui 110,00 a distr.)	1	S51C1	115,00-115,50
				2	S51C2	120,00-120,50
3				S51C3	125,00-125,50	
35	S27	130,00 (di cui 60,00 a distr.)	1	S27C1	115,00-115,50	
			2	S27C2	120,00-120,50	
			3	S27C3	125,00-125,50	
	36	S28	50,00 (di cui 50,00 a distr.)	-	-	-
	37	S52	80,00 (di cui 50,00 a distr.)	1	S52C1	55,00-55,50
				2	S52C2	65,00-65,50
				3	S52C3	75,00-75,50
	38	S29	55,00 (di cui 30,00 a distr.)	1	S29C1	42,00-42,50
				2	S29C2	49,50-50,00
				3	S29C3	54,50-55,00
	39	S53	30,00	1	S53C1	8,00-8,50
				2	S53C2	18,00-18,50
				3	S53C3	24,00-24,50
	40	S30	30,00	1	S30C1	10,00-10,50
				2	S30C2	17,00-17,50
				3	S30C3	25,00-25,50
	41	S31	35,00	1	S31C1	20,00-20,50
				2	S31C2	25,00-25,50
3				S31C3	30,00-30,50	

## 5.2.2 Indagini integrative del progetto esecutivo - fase 1 del 2010

La campagna integrativa di indagini è stata condotta tra luglio e settembre 2010, al fine di approfondire la conoscenza geologica e geotecnica, coerentemente con il nuovo quadro normativo di riferimento (N.T.C. 2008).

Le indagini integrative sono state costituite da:

### **Sondaggi meccanici**

Per il Tratto n. 2 "Caltanissetta" sono stati eseguiti n. 9 perforazioni a carotaggio continuo condotti con profondità comprese tra 30 e 150 m da p.c., localizzati opportunamente lungo il tracciato in progetto. Le profondità sono state scelte in funzione dell'opera d'arte interessata, pertanto, nel caso della galleria naturale Caltanissetta si è provveduto al raggiungimento di una quota sufficiente al superamento dell'opera intera: 3 sondaggi sono stati spinti sino a 150 m dal p.c., a carotaggio continuo per l'intero sondaggio. I campioni prelevati durante l'esecuzione dei sondaggi a carotaggio continuo, sono stati sottoposti alle seguenti prove di laboratorio, finalizzate alla definizione delle caratteristiche fisiche e meccaniche e chimiche dei litotipi riscontrati, in numero e tipologia stabiliti in relazione alla natura e qualità dei campioni prelevati:

- Classificazione della terra mediante: Analisi granulometrica e classificazione secondo la CNR-UNI 10006;
- Determinazione dei Limiti di Atterberg: consistenza liquido, plastico ed indice plastico;
- Peso specifico dei grani, peso specifico secco del contenuto in acqua ;
- Prove di taglio diretto
- Prove triassiali
- Prove edometriche ed determinazione del coefficiente Cv

Si è provveduto, inoltre, su alcuni campioni prelevati durante i sondaggi a diverse altezze, ad effettuare apposite determinazioni chimiche atte a verificare se i terreni risultano idonei al trattamento di bonifica a calce:

- Contenuto di Sostanze Organiche;

<i>Cod. elab</i> GN02-Z-RH 001_C.00	<i>Titolo:</i> Galleria naturale Caltanissetta	<i>Data:</i> 20/11/2011
<i>Nome file:</i> 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	<i>Pagina</i> 16 di 119

- Determinazione del valore di Blu di metilene VB;
- Contenuto di solfati, solfuri e nitrati;

Nelle seguenti tabelle è riportato il quadro delle indagini e prove in situ eseguite, per la tratta oggetto di relazione.

<i>Cod. elab</i> GN02-Z-RH 001_C.00	<i>Titolo:</i> Galleria naturale Caltanissetta	<i>Data:</i> 20/11/2011
<i>Nome file:</i> 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	<i>Pagina</i> 17 di 119

## PROGETTO ESECUTIVO

Tratta/Sottotratta denominazione progressiva	N°	Sondaggio	Tipologia	Note	Profondità (m)	Campioni		
						N°	Denominazione	Profondità (m)
2 Caltanissetta Progr 12.140 + 17.640	7	S7	Down Hole	Eseguite n. 4 prove presiometriche (prof. m. 10; 20; 30; 40)	40,00	1	C1	5,00-5,40
						2	C2	10,00-10,50
						3	C3	15,00-15,40
						4	C4	20,00-20,50
						5	C5	25,00-25,50
						6	C6	35,00-35,50
	8	S8	Piez. di Cas. (prof. m. 15 e m.130)	Eseguite n. 5 prove presiometriche (prof. m. 10; 20; 60; 100; 130)	150,00	1	C1	25,00-25,30
						2	C2	50,00-50,40
						3	C3	75,30-75,70
						4	C4	99,30-99,60
						5	C5	110,00-110,30
						6	C6	119,00-119,30
						7	C7	130,00-130,30
						8	C8	139,80-140,10
2 Caltanissetta Progr 12.140 + 17.640	9	S9	Piez. di Cas. (prof. m. 15 e m.130)	Eseguite n. 7 prove presiometriche (prof. m. 10; 30; 50; 70; 90; 110; 130)	150,00	1	C1	6,00-6,50
						2	C2	12,00-12,50
						3	C3	18,00-18,50
						4	C4	24,00-24,50
						5	C5	29,50-30,00
						6	C6	36,00-36,50
						7	C7	43,00-43,50
						8	C8	48,00-48,40
						9	C9	54,00-54,40
						10	C10	60,00-60,50
						11	C11	66,00-66,50
						12	C12	72,00-72,50
						13	C13	85,00-85,35
	14	C14	100,00-100,50					
	15	C15	110,00-110,50					
	16	C16	120,30-120,50					
	17	C17	130,00-130,50					
	18	C18	139,80-140,20					
	19	C19	149,50-150,00					
	10	S10	Piez. di Cas. (prof. m. 15 e m.130)	Eseguite n. 5 prove presiometriche (prof. m. 10; 30; 60; 100; 130)	150,00	1	C1	30,90-31,30
2						C2	50,00-50,40	
3						C3	88,50-89,00	
4						C4	99,20-99,60	
5						C5	109,40-109,70	
6						C6	120,70-121,00	
7						C7	129,60-130,00	

Tratta/Sottotratta denominazione progressiva	N°	Sondaggio	Tipologia	Note	Profondità (m)	Campioni		
						N°	Denominazione	Profondità (m)
	11	S11	Inclinometro/Down Hole	Eseguite n. 4 prove pressiometriche (prof. m. 10; 20; 30; 40)	40,00	8	C8	139,50-139,80
						9	C9	150,00-150,30
						1	C1	5,00-5,40
						2	C2	10,00-10,50
						3	C3	15,00-15,40
						4	C4	20,00-20,50
						5	C5	25,00-25,50
						12	S12bis	-
	2	C2	40,00-40,50					
	3	C3	45,00-45,50					
	4	C4	54,00-54,40					
	5	C5	55,60-66,00					
	6	C6	62,60-63,00					
	13	S13	-	-	20,00	1	C1	5,80-6,20
						2	C2	10,00-10,40
						3	C3	15,00-15,40
						4	C4	20,20,40
	14	S14	Inclinometro/Down Hole	-	35,00	1	C1	5,50-6,00
						2	C2	11,50-12,00
						3	C3	17,50-18,00
4						C4	23,50-24,00	
5						C5	29,50-30,00	
6						C6	34,50-35,00	
2 Caltanissetta Progr 12.140 + 17.640	15	S15	-	-	30,00	1	C1	6,00-6,50
						2	C2	11,50-12,00
						3	C3	17,50-18,00
						4	C4	23,50-24,00
						5	C5	29,50-30,00

### **Posa in opera di strumentazione geotecnica**

- **Inclinometri:** n° 1 inclinometro installato per l'intera lunghezza del sondaggio profondo 30 m (S11), in corrispondenza dell'imbocco lato A19 della Galleria Caltanissetta in una zona di versante particolarmente critica, con esecuzione di relativa campagna di monitoraggio con cadenza quadrimestrale;

Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	Pagina 19 di 119

- Piezometri con celle di Casagrande: n° 3 piezometri (S8, S9, S10) costituiti da 2 celle di casagrande per ogni sondaggio, attrezzati in altrettanti sondaggi a c.c, con esecuzione di relativa campagna di monitoraggio con cadenza trimestrale.

**Prospezioni geofisiche**

- Sismica in foro: prova tipo down-hole effettuate nel sondaggio S7 a c.c., opportunamente attrezzato oltre che in un inclinometro (S11), finalizzato alla determinazione del parametro VS30 per la caratterizzazione sismica dei litotipi di imposta delle fondazioni ai sensi del DM 14/01/2008.
- Sismica di superficie: n° 5 traverse di sismica a rifrazione con risoluzione tomografica, lunghe 80 m ciascuna, ubicate sulla galleria Caltanissetta in zone ove c'è necessità di una maggiore definizione; le traverse saranno utilizzate per la caratterizzazione dei sismostrati utili alla definizione del parametro VS30 in aggiunta alle prove down-hole in foro; in particolare, con sulla galleria Caltanissetta, le traverse sono state così suddivise:

Tratta/Sottotratta denominazione progressiva	stendimento	N° traverse	stendimento (m)
<p style="text-align: center;"><b>2</b> <b>Caltanissetta</b> <b>Progr</b> <b>12.140 + 17.640</b></p>	SS3	1	78
	SS4	1	78
	SS5	3	234

Una buona parte della Galleria Caltanissetta è stati coperti da indagini geofisiche/geoelettriche di tipo elettromagnetico (TDEM), finalizzate alla ricostruzione dei profili di resistività da tarare e correlare con le stratigrafie ottenute dai sondaggi geognostici. Inoltre in corrispondenza dell'imbocco della galleria "Caltanissetta" (lato A/19) sono state eseguite delle prove sismiche a risoluzione tomografica al fine di ricostruire sezioni sismo-stratigrafiche in corrispondenza di zone potenzialmente soggette a dissesti.

### 5.2.3 Indagini integrative di fase 2 del 2010

Ad integrazione ed approfondimento delle indagini svolte a supporto del progetto esecutivo, tra il mese di ottobre ed inizio dicembre 2010, è stato attuato un Piano d'indagini dirette ed indirette, prodotto nell'ottobre 2010 ed attuato.

In corrispondenza della Galleria naturale Caltanissetta le indagini sono consistite nell'esecuzione di un sondaggio a carotaggio continuo (SI26bis) profondo 90 m e lievemente spostato rispetto all'asse della galleria, per verificare l'assetto stratigrafico, e di altri 2 sondaggi a carotaggio continuo in testa alla galleria, profondi 50 m (SI26) e 150 m (SI27) con prelievo di campioni indisturbati in numero adeguato alla caratterizzazione geomeccanica dell'intera colonna stratigrafica. In corrispondenza dei fori di sondaggio sono state svolte delle prove sismiche passive di superficie di tipo Re.Mi., finalizzate alla definizione delle velocità delle onde VS. Il sondaggio SI27, inoltre, è stato attrezzato con tubo piezometrico aperto, al fine di monitorare e campionare l'acqua della falda contenuta nell'acquifero ritrovato tra 58 e 87 m di profondità.

Oltre ai sondaggi, in riferimento alle problematiche emerse, al fine di estendere ad un profilo bidimensionale i dati derivanti dalle perforazioni e dalle indagini geofisiche eseguite, sono state eseguite delle prove sismiche di superficie con tecnica a riflessione suddivise in n. 8 traverse di lunghezza compresa tra 46 e 132 m per una lunghezza totale di circa 716 m, distribuite in corrispondenza dell'asse longitudinale della galleria, con profondità raggiunte superiori ai 200 m.

Inoltre si segnala che in fase di esecuzione del sondaggio SI27, ubicato in asse alla GN Caltanissetta e profondo 150 m da p.c., le carote prelevate alla profondità superiore ai 90 m da p.c., in corrispondenza della sequenza argillosa tortoniana, emanavano un forte odore di idrocarburi. Ne è conseguita la necessità di effettuare un prelievo di campioni di matrice terreno per le determinazioni del caso, oltre ad effettuare il prelievo della matrice gassosa presente nel foro di sondaggio, tramite fiala a carboni attivi contenuta in apposito campionatore posto in testa alla colonna di perforazione.

<i>Cod. elab</i> GN02-Z-RH 001_C.00	<i>Titolo:</i> Galleria naturale Caltanissetta	<i>Data:</i> 20/11/2011
<i>Nome file:</i> 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	<i>Pagina</i> 21 di 119

### 5.3 DETERMINAZIONE DELLE UNITÀ GEOTECNICHE E ATTRIBUZIONE DEI PARAMETRI CARATTERISTICI

#### TRATTO 2 – CALTANISSETTA

Il presente tratto si sviluppa dalla progressiva 12+140 alla progressiva 17+640

Tratto	Sottotratto	Denominazione	Progressive
2		Caltanissetta	12+140 ÷ 17+640

Le opere d'arte previste all'interno di tale tratto sono riportate nella tabella che segue:

Denominazione	Progressive	
	Inizio	Fine
Cavalcaferrovia "Grotticelle"	12+290	12+355
Svincolo "Caltanissetta Sud" -	12+420	12+680
Galleria naturale "Caltanissetta"	12+885	16+930
Viadotto "San Giuliano"	16+955	17+135
Viadotto "San Filippo Neri"	17+225	17+405
Galleria Naturale "S. Filippo"	17+450	17+640

Nel seguito si entrerà nello specifico della caratterizzazione geotecnica-geomeccanica del tratto riguardante la Galleria naturale Caltanissetta dalla progressiva 12+885 alla progressiva 16+930.

Come riportato nello studio geologico allegato al progetto esecutivo, il sottotratto è interessato dalle seguenti formazioni:

- dalla prog. 12+560 alla 13+000 affiora la formazione delle Sabbie di Lannari incluso laddove inizia l'attraversamento del rilievo collinare tramite la galleria naturale (12+860); le sabbie ricoprono in discordanza, con spessori di circa 10÷15 m, un substrato argilloso marnoso costituito dalle argille tortoniane (TRV) e dalla formazione dei trubi (TRB) e delle eteropiche breccie argillose (TRBA)

Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	Pagina 22 di 119

2. dalla prog. 13+000 alla 13+590 il tracciato della galleria ricade nella formazione dei trubi assoggettata alla tettonica plicativa e alle scaglie ad essa associate, che interessano il percorso della galleria a partire dalla prog. 13+130 sino alla 13+650, formando una serie di fasce tettonizzate che ricoprono all'incirca il 60% di tale distanza, per un totale di circa 300 m, evidenziati dalla indagini svolte (sismica a riflessione);
3. dalla prog. 13+590 sino alla 13+865, una discontinuità tettonica a bassa inclinazione (circa 30°) associata ad un sovrascorrimento porta le argille tortoniane ad appoggiarsi sulla serie pliocenica dei trubi; la fascia tettonizzata rientra in quella definita nel precedente punto 2;
4. dalla prog. 13+865 alla 15+120 il tracciato della galleria attraversa le argille brecciate plioceniche (TRBA); alla prog. 13+940 è probabile l'intersezione con una fascia tettonizzata larga anche 30 m indotta da discontinuità con carattere distensivo a bassa dislocazione; alla prog. 14+100 le indagini svolte (sismica a riflessione – SSR4) hanno evidenziato un'altra fascia tettonizzata, ampia 30÷40 m, associata ad altre strutture distensive a bassa dislocazione; alla prog. 14+260 il tracciato della galleria sfiora una probabile sacca di calcari evaporatici, immediatamente sottostante alle argille brecciate plioceniche, entro cui avverrà lo scavo; alla prog. 14+490 le indagini svolte (sismica a riflessione – SSR3) hanno evidenziato un'ulteriore fascia tettonizzata, ampia 40÷50 m, associata ad altre strutture distensive maggiore dislocazione rispetto alle altre;
5. dalla prog. 15+120 alla 15+630 il tracciato della galleria ricade nella formazione dei trubi pliocenici (TRB);
6. dalla prog. 15+630 alla 16+200 la galleria attraverserà le argille tortoniane della Formazione Terravecchia (TRV); all'altezza della progressiva 15+820 poco più su della volta della galleria si riscontra una sacca di calcari evaporatici con aspetto di breccia in matrice sabbioso-limosa (probabile facies di slump sottomarino); il contatto con le argille tortoniane è interessato da una discontinuità tettonica diretta con ragguardevole dislocazione, che definisce una fascia tettonica ampia 40÷50 m;
7. dalla prog. 16+200 alla 16+930 (imbocco galleria lato A19) il tracciato è interessato dalle brecce argillose plioceniche (TRBA) costituite da argille marnose brune, a struttura spiccatamente brecciata, puddingoide, talvolta scagliettata per la

Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	Pagina 23 di 119

sovrapposizione di differenti piani di taglio e contenenti abbondanti elementi esotici calcarei e gessosi.

In sintesi le formazioni che interessano direttamente il tracciato della galleria sono di seguito riportate:

Formazione	Progressive		Note
	Inizio	Fine	
Sabbie di Lannari (SLN)	12+860	13+000	Tratto in galleria. Spessore di 10÷15 m sovrastante la formazione dei trubi
Brecce argillose (TRBA)	12+950	13+030	Tratto in galleria Progressive non certe
Trubi (TRB)	13+030	13+260	Tratto in galleria Progressive non certe
Brecce argillose (TRBA)	13+260	13+450	Tratto in galleria Progressive non certe
Trubi (TRB)	13+450	13+590	Tratto in galleria Progressive non certe. Secondo limite dato da sovrascorrimento tettonico
Marne argillose (TRV)	13+590	13+865	Tratto in galleria Progressive non certe. Primo limite dato da sovrascorrimento tettonico
Brecce argillose (TRBA)	13+865	15+120	Tratto in galleria Progressive non certe. Probabile attraversamento della formazione delle argille tortoniane
Trubi (TRB)	15+120	15+630	Tratto in galleria Progressive non certe
Marne argillose (TRV)	15+630	16+200	Tratto in galleria. Progressive iniziale non certa.

Le interpretazioni dei profili di sismica a riflessione che hanno portato ad individuare tale assetto tettonico sono riportate in Appendice alla Relazione Geologica. In esse sono evidenti gli andamenti degli orizzonti riflettori e delle variazioni di velocità delle onde sismiche, che delineano, congiuntamente e con chiarezza, la presenza di deformazioni e variazioni latero-verticali imputabili ad una situazione di stress compressivo associato alle fasi avanzate della tettonica plicativa. Tale situazione ha indotto, nell'eccesso delle spinte deformative, discontinuità e fratture negli strati piegati durante le fasi tensionali preplioceniche e infraplioceniche. Le strutture di tipo diretto sono associate, invece, più

Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	Pagina 24 di 119

che ad una tettonica distensiva regionale ad una fase di "rilassamento" della compressione che ha portato a "cedimenti" e "decompressioni" dei versanti attraverso dissesti gravitativi profondi supra e post pliocenici, che attualmente non dovrebbero essere più in atto, a meno di episodi collegati a fenomeni di diapirismo o in versanti tutt'ora poco stabili.

Per quanto riguarda le caratteristiche geomeccaniche e fisiche delle fasce di tettonizzazione, poiché tali discontinuità si sono formate all'interno di formazioni più o meno plastiche e poco competenti, anziché delinarsi delle fratture così come avviene nelle formazioni competenti, si sono create delle vere e proprie fasce di stress preferenziale con scorrimenti non individuabili in un unico piano, ma diffusi lungo diversi piani tra loro più o meno paralleli. Per tale motivo in superficie e in profondità non si riscontrano piani di taglio netti che differenziano le formazioni poste a contatto, ma, piuttosto, si hanno delle "sfumature" tra formazioni con passaggi evidenziati da forti stress e "caoticizzazione" delle stratificazioni originarie.

La definizione di tale assetto tettonico strutturale, oltre che dai dati di letteratura, deriverebbe, allo stato attuale, dalla ricostruzione del profilo tramite le stratigrafie derivanti dalle indagini condotte, che indurrebbe a definire una situazione stratigrafica complessa non giustificata da semplici eteropie e/o contatti di discontinuità deposizionale, ma che necessiterebbe, dal punto di vista geometrico, di contatti tettonici dati da sovrascorrimenti, faglie inverse e faglie dirette, che pongono differenti orizzonti stratigrafici in posizioni altrimenti non giustificabili.

La prevalenza degli affioramenti di formazioni incompetenti in corrispondenza dell'area in studio, non aiuta a riconoscere l'evidenza di strutture dall'esame di superficie, anche attraverso l'analisi fotogeologica. Necessita in tal caso avere il riscontro dall'esame della situazione in profondità, analizzando sia le stratigrafie che eventuali ricostruzioni tramite indagini indirette (indagini geofisiche) da condurre e aggiungere a quelle già effettuate (sondaggi elettromagnetici).

La presenza dei differenti litotipi ha un'estrema variabilità sia verticalmente che lateralmente senza che regole stratigrafiche e geologiche consentano di prevederne l'esatta successione.

<i>Cod. elab</i> GN02-Z-RH 001_C.00	<i>Titolo:</i> Galleria naturale Caltanissetta	<i>Data:</i> 20/11/2011
<i>Nome file:</i> 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	<i>Pagina</i> 25 di 119

Di rilevante importanza è la situazione riscontrata in corrispondenza del sondaggio SI27 eseguito in Fase 2, in cui è stato riscontrato un potente intervallo di brecce calcaree marnose in facies di slump immerse in una matrice sabbioso-limosa, compreso tra i 58 e gli 87 m di profondità. Aumentando con la profondità le brecce hanno dimensioni maggiori e comprendono calcari più duri e compatti: si passa, infatti, da calcari biancastri porosi nei primi metri, a calcari compatti grigiastri verso il fondo dell'intervallo.

Il passaggio alla formazione sottostante delle argille marnose avviene in maniera repentina sebbene è evidente la situazione di stress cui sono sottoposte le suddette argille in corrispondenza di tale passaggio. La situazione riscontrata è associabile ad una fascia tettonizzata in cui è presente una discontinuità con carattere distensivo, così come evidenziato anche nel profilo 2D ricostruito tramite la prova sismica passiva tipo Re.Mi. condotta in corrispondenza del sondaggio SI27.

#### **5.4 Modellazione geotecnica**

I campioni prelevati durante l'esecuzione dei sondaggi a carotaggio continuo, sono stati sottoposti alle seguenti prove di laboratorio, finalizzate alla definizione delle caratteristiche fisiche e meccaniche e chimiche dei litotipi riscontrati, in numero e tipologia stabiliti in relazione alla natura e qualità dei campioni prelevati:

- Classificazione della terra mediante: Analisi granulometrica e classificazione secondo la CNR-UNI 10006;
- Determinazione dei Limiti di Atterberg: consistenza liquido, plastico ed indice plastico;
- Peso specifico dei grani, peso specifico secco del contenuto in acqua ;
- Prove di taglio diretto
- Prove triassiali
- Prove edometriche ed determinazione del coefficiente Cv

Interpretando i risultati delle prove di laboratorio effettuate sui campioni prelevati dai sondaggi di I e II fase sono stati ricavati i seguenti risultati in termini di caratteristiche fisiche, geomeccaniche, di resistenza e deformabilità.

<i>Cod. elab</i> GN02-Z-RH 001_C.00	<i>Titolo:</i> Galleria naturale Caltanissetta	<i>Data:</i> 20/11/2011
<i>Nome file:</i> 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	<i>Pagina</i> 26 di 119

Campagna di I Fase

Campione				W <sub>n</sub> %	γ <sub>d</sub> kg/m <sup>3</sup>	γ <sub>s</sub> kg/m <sup>3</sup>	γ <sub>sat</sub> kg/m <sup>3</sup>	e	n	s %	Ghiaia %	Sabbia %	Limo %	Argilla %	W <sub>p</sub> %	W <sub>L</sub> %	*I <sub>p</sub> %	*I <sub>c</sub> %	*I <sub>u</sub> %	A	Sostanza organica %	Solfati SO <sub>4</sub> mg/kg	Solfuri H <sub>2</sub> S mg/kg	Nitrati NO <sub>3</sub> mg/kg	V.R. g/kg
Sigla	Prot. N°	Profondità [m]	Colore																						
87-C1	CBA 1443	6,60 - 6,60	Grey SY 4/4	26.1	2714	1952	1519	0.753	0.429	94	0.22	3.14	41.82	35.31	62	28	34	1.1	-0.06	0.64					
87-C2	CBA 1443	11,80 - 12,20	Light Olive Brown 2 SY 2/4	32.7	2719	1991	1420	0.915	0.478	97	0.09	5.33	40.02	34.33	69	26	43	0.8	0.16	0.79					
87-C3	CBA 1443	18,60 - 18,60	Darkish Grey 2B 4/1	23.8	2708	2010	1623	0.699	0.401	97	0.96	19.18	44.19	35.75	39	17	22	0.7	0.31	0.62					
87-C4	CBA 1443	23,60 - 23,60	Dark Greenish Grey 2U Y 4/1	19.8	2711	2063	1722	0.574	0.363	94	0.20	6.72	33.40	39.38	43	21	22	1.1	-0.03	0.39	3.87	1173	<100	<30	>4
87-C9	CBA 1443	11,80 - 12,60	Dark Olive Gray 2A 3/2	16.8	2708	2107	1803	0.592	0.334	91	0.04	5.39	64.54	30.03	40	27	13	1.8	-0.78	0.43					
87-C6	CBA 1443	16,60 - 16,60	Dark Greenish 66 Y 4/1	17.8	2691	2137	1814	0.483	0.326	90	0.00	3.62	61.23	35.14	41	14	27	0.9	0.14	0.77	3.41	926	<100	<30	>4
89-C4	CBA 1437	24,60 - 24,60	Light Gray 5U 7/1	23.1	2728	1983	1571	0.787	0.424	93	0.05	6.46	38.09	35.4	44	28	16	1.2	-0.18	0.29					
89-C8	CBA 1437	46,60 - 46,60	Light Gray 5U 7/1	23.8	2703	1917	1349	0.745	0.427	89	5.78	9.42	39.20	45.63	41	27	14	1.2	-0.23	0.31					
89-C13	MBA 937	85,60 - 85,35	GRAYISH OLIVE 1B Y 4/2	20.9	2636	1963	1624	0.623	0.384	88	0.00	4.20	32.60	63.2	39	28	31	1.2	-0.23	0.49					
89-C14	MBA 937	100,60 - 100,30	OLIVE GRAY 5Y 3/2	16.7	2642	2107	1806	0.463	0.317	95	0.00	3.30	54.80	61.9	76	27	49	1.2	-0.21	0.79					
89-C15	MBA 937	100,60 - 100,30	MUSKY YELLOWISH GREEN 1D GY 3/2	18.2	2627	2097	1774	0.481	0.325	100	0.00	2.90	36.90	60.2	80	23	57	1.1	-0.08	0.95	5.83	124	<100	<30	>4
89-C16	MBA 937	120,60 - 120,30	GRAYISH OLIVE GREEN 5 6 Y 3/2	16.9	2644	2101	1797	0.471	0.320	95	0.52	2.17	36.98	60.33	77	27	50	1.2	-0.20	0.85					
89-C17	MBA 937	130,60 - 130,30	OLIVE GRAY 5 Y 3/2	18.7	2642	1997	1682	0.371	0.363	86	0.00	3.40	34.70	61.7	73	28	43	1.2	-0.21	0.73	4.41	623	<100	<30	>4
89-C18	MBA 938	138,60 - 140,20	MUSKY GREEN 9B 3/2	15.7	2620	2148	1856	0.412	0.292	100	1.20	3.70	40.90	54.2	70	23	47	1.2	-0.16	0.87					
88-C1	CBA 1447	25,60 - 25,40	Dark Greenish Gray 5G Y 4/1	20.8	2706	2063	1707	0.585	0.369	97	0.03	10.47	38.52	30.98	44	24	20	1.2	-0.16	0.65					
88-C2	MBA 949	30,60 - 30,40	GREENISH GRAY 5 G Y 6/1	26.7	2707	1913	1510	0.792	0.442	91	0.18	3.38	43.24	49.01	44	23	21	0.8	0.18	0.43					
88-C3	MBA 952	75,60 - 75,60	MED. DARK GRAY 7 4	20.0	2692	2006	1671	0.611	0.379	88	0.21	6.98	31.36	61.26	31	23	28	1.1	-0.11	0.46					
88-C4	MBA 952	89,60 - 89,60	OLIVE GRAY 5Y 3/2	20.7	2698	2053	1701	0.585	0.369	95	0.37	3.80	32.84	60.99	48	23	43	1.1	-0.10	0.71					
88-C5	MBA 958	116,60 - 116,30	OLIVE GRAY 5Y 3/2	25.3	2704	2003	1598	0.692	0.409	99	0.20	5.50	30.63	63.35	66	27	39	1.0	-0.04	0.61					
88-C6	MBA 958	116,60 - 116,30	DARK GREENISH GRAY 5G Y 4/1	17.3	2700	2135	1820	0.484	0.326	86	0.17	2.29	30.73	63.81	68	23	43	1.2	-0.18	0.67	4.44	123	<100	<30	>4
88-C7	MBA 958	130,60 - 130,30	MUSKY GREEN 9B 3/2	18.7	2695	2100	1769	0.523	0.343	96	0.19	4.10	43.07	32.64	61	23	36	1.2	-0.18	0.68					
88-C8	MBA 958	138,60 - 140,30	OLIVE GRAY 5Y 4/1	16.8	2695	2056	1769	0.524	0.344	87	0.35	6.11	42.09	31.45	63	27	38	1.3	-0.27	0.74	4.62	125	<100	<30	>4
88-C9	MBA 958	140,60 - 140,30	OLIVE GRAY 5Y 3/2	16.8	2683	2102	1800	0.491	0.329	92	0.26	3.33	30.61	63.58	63	23	40	1.2	-0.21	0.63					
S11a-C3	CBA 1446	86,60 - 86,10	Dark Greenish Gray 5G Y 4/1	26.2	2719	12993	1883	0.718	0.418	99	0.31	7.17	45.68	46.64	69	31	38	1.1	-0.13	0.81					
S11a-C3	CBA 1446	30,60 - 30,40	Dark Greenish Gray 5G Y 4/1	21.4	2716	2070	1712	0.586	0.370	90	0.23	7.31	43.69	46.73	33	23	32	1.1	-0.03	0.68					
S11-C1	CBA 1487	30,60 - 31,30	Gray 5Y 4/1	34.9	2711	1866	1383	0.561	0.490	90	1.20	8.39	44.83	43.36	38	26	32	0.7	0.28	0.71					
S11-C2	MBA 952	30,60 - 30,40	Light Olive Gray 5L 6/1	34.6	2682	1825	1356	0.978	0.484	95	0.14	7.33	39.32	33.2	48	23	23	0.6	0.42	0.43					
S11-C2	MBA 968	55,60 - 58,00	Light Gray 7 4	26.6	2703	1987	1569	0.722	0.419	100	1.38	6.24	38.11	34.27	38	20	18	0.6	0.37	0.33					
S11-C4	MBA 968	80,20 - 80,60	Light Gray 7 4	20.1	2673	1963	1634	0.686	0.389	84	3.63	3.39	37.62	33.33	36	21	15	1.1	-0.06	0.27					
S11-C3	MBA 968	109,60 - 109,70	Yellowish Gray 5G 6/1	19.3	2691	2052	1722	0.562	0.360	92	9.25	12.84	42.43	45.48	34	20	14	1.1	-0.03	0.39					
S11-C6	MBA 968	120,70 - 121,60	Med. Light Gray	18.9	2712	2042	1718	0.578	0.366	89	0.49	3.80	39.90	33.81	46	22	24	1.1	-0.13	0.45	0.96		<100	<30	>4
S11-C7	MBA 968	120,60 - 130,60	Light Gray 7 4	20.1	2677	2066	1720	0.536	0.337	87	10.38	3.96	39.76	43.89	39	22	17	1.1	-0.11	0.39					
S11-C8	MBA 968	139,60 - 139,60	Light Gray 7 4	20.0	2693	2049	1706	0.577	0.366	83	2.46	7.73	33.79	36.01	37	18	19	0.9	0.11	0.34	1.72		<100	<30	>4
S11-C9	MBA 968	138,60 - 139,30	Greenish Gray 5G Y 6/1	17.4	2732	2063	1757	0.535	0.337	86	0.15	3.14	40.33	34.38	41	22	19	1.2	-0.24	0.35					

Campione				W <sub>n</sub> %	γ <sub>d</sub> kg/m <sup>3</sup>	γ <sub>s</sub> kg/m <sup>3</sup>	γ <sub>sat</sub> kg/m <sup>3</sup>	e	n	s %	Ghiaia %	Sabbia %	Limo %	Argilla %	W <sub>p</sub> %	W <sub>L</sub> %	*I <sub>p</sub> %	*I <sub>c</sub> %	*I <sub>u</sub> %	A					
Sigla	Prot. N°	Profondità [m]	Colore																						
S11 C3	CBA 1422	15,00 - 15,40	Very Dark Gray 5Y 3/1	25.8	2720	1989	1581	0.720	0.419	98	0.64	6.46	43.10	49.80	67	31	36	1.1	-0.14	0.72					
S11 C5	CBA 1422	25,00 - 25,50	Very Dark Gray 5Y 3/1	19.5	2715	2087	1747	0.554	0.357	96	3.35	9.60	45.70	41.35	54	25	29	1.2	-0.19	0.70					

PROGETTO ESECUTIVO

Campione				Prova di taglio diretto C.D.			Prova Triassiale U		ELL	Prova di compressione triassiale C.U.				E domotria				TSP	ISS	Pocket
Stela	Proc. N°	Profondità [m]	Colore	Pressione verticale kPa	Stacco di taglio kPa	Attrito e coesione c-φ	Pressione di rottura kPa	Attrito e coesione c-φ	Coesione c-φ	Pressione di rottura kPa	Back Pressure kPa	Attrito e coesione c-φ	Pressione kPa	Cv mm³	E kPa	K mm.s			kPa	
S7 - C1	CBA 1443	6,00 - 6,50	Olive ST 44	Taglio diretto										24.52	4.14E-02	13813	3.01E-08			542
				49.04																
				98.07																
				196.14																
Taglio orizzontale			98.07	66.11	33,1	17,2														
Taglio verticale			196.14	88.33																
			294.21	126.67																
S7 - C2	CBA 1443	11,80 - 12,20	Light Olive Brown 2CV 64				150 200 250	34,0 0,0					24.52	4.81E-02	11067	4.51E-08			183	
													49.04							
													98.07							
													196.14							
			294.21	78.61	28,0	11,5														
S7 - C3	CBA 1443	18,00 - 18,50	Dark bluish gray SB 41		97.07 196.14 392.28	43.8 101.99 172.41	8,6 23,1	200 300 400	142,2 0,0				24.52	4.23E-02	8813	4.91E-08			400	
													49.04							
													98.07							
													196.14							
			294.21	126.67																
S7 - C4	CBA 1443	23,00 - 23,50	Dark Greenish Gray 5CV 41				300 400 500	344,9 0,0					24.52	5.14E-02	8207	4.46E-08		833		
													49.04							
													98.07							
													196.14							
			294.21	126.67																
S7 - C5	CBA 1443	11,50 - 12,00	Dark Olive Gray ST 32				300 400 500	351,4 0,0					24.52	4.01E-02	45350	9.58E-09		858		
													49.04							
													98.07							
													196.14							
			294.21	126.67																
S7 - C6	CBA 1443	35,00 - 35,50	Dark Greenish SGY 41		196.14 392.28 588.42	116 175.89 271.06	31,9 21,6	400 500 600	404,6 0,0				24.52	5.49E-02	9060	5.76E-08		458		
													49.04							
													98.07							
													196.14							
			294.21	126.67																
S9 - C1	CBA 1437	24,00 - 24,40	Light Gray ST 71		196.14 392.28 588.42	114.92 228.76 311.11	22,1 26,6	300 400 500	445,5 0,0				24.52					492		
													49.04							
													98.07							
													196.14							
			294.21	126.67																
S9 - C8	CBA 1437	48,00 - 48,40	Light Gray ST 71		294.21 490.35 686.49	187 259.64 382	32,5 26,4	400 500 600	368,2 0,0				24.52				792			
													49.04							
													98.07							
													196.14							
			294.21	126.67																
S9 - C13	MBA 937	85,00 - 85,35	GRAYISH OLIVE 10 Y 4/2										750	10,0	27,0			833		
													900							
													1050							
													250							
S9 - C14	MBA 937	100,00 - 100,50	OLIVE GRAY 5 Y 3/2										24.52	3.50E-02	32838	1.00E-08		733		
													49.04							
													98.07							
													196.14							
			294.21	126.67																
S9 - C15	MBA 937	110,00 - 110,50	DUSKY YELLOWISH GREEN 10 CY 3/2										24.52	2.50E 01	25317	9.70E 08		767		
													49.04							
													98.07							
													196.14							
			294.21	126.67																
S9 - C16	MBA 937	120,30 - 120,50	GRAYISH OLIVE GREEN 5 CV 3/2										24.52				478.62	---		
													49.04							
													98.07							
													196.14							
			294.21	126.67																
S9 - C17	MBA 937	130,00 - 130,50	OLIVE GRAY 5 Y 3/2										750	16,26	25,9		733			
													900							
													1050							
													250							
S9 - C18	MBA 938	139,80 - 140,20	DUSKY GREEN 5C 3/2										750	10,23	21,1		800			
													900							
													1050							
													250							

PROGETTO ESECUTIVO

Campione				Prova di taglio diretto C.D.			Prova Triassiale UT		ELL	Prova di compressione triassiale C.U.			Edimetria				ISP	ISS					
Segla	PROVA N°	Profondità [m]	Colore	Pressione verticale kPa	Storzo di taglio kPa	Angolo e coesione c° φ°		Pressione di cella kPa	Angolo e coesione c° φ°		Coesione Ca kPa	Pressione di cella kPa	Back Pressure kPa	Angolo e coesione c° φ°		Pressione σ kPa	Cε mm/s	E kPa	K mm/s		Pocket kPa		
S8 - C1	CBA 1447	25,00 - 25,40	Dark Greenish Grey 5GY 4/1	196,14 492,28 588,42	147,49 248,79 362,07	27,2	28,7	700 900 900														1150	
S8 - C2	MBA 940	50,00 - 50,40	GREENISH GRAY 5GY 6/1	98,07 196,14 294,21	79,59 126,41 187,76	23,9	28,9	800 900 1000														300	
S8 - C3	MBA 952	75,30 - 75,60	MED. DARK GRAY N4					900 1000														350	
S8 - C4	MBA 952	99,30 - 99,60	OLIVE GRAY 5Y 3/2					900 1000														433	
S8 - C5	MBA 958	110,00 - 110,30	OLIVE GRAY 5Y 3/2									750 900 1050	250 250 250	11,5	19,8	24,52 49,04 98,07 196,14 392,28 784,56 1569,12 3138,24	1,20E-02 4,30E-03 1,1974 4,20E-03 5,90E-03	10583 11974 21202 38273	1,10E-08 3,50E-09 2,00E-09 1,50E-09				185
S8 - C6	MBA 958	119,00 - 119,30	DARK GREENISH GRAY 5GY 4/1					900 1000	Nota: 2 provini							24,52 49,04 98,07 196,14 392,28 784,56 1569,12 3138,24	7,70E-02 3,00E-01 7,70E-01	31359 25833 41654	2,40E-08 9,50E-08 1,80E-09				499
S8 - C7	MBA 958	130,00 - 130,30	DUSKY GREEN 5C 3/2									750 900 1050	250 250 250	13,5	18,4							617	
S8 - C8	MBA 958	139,80 - 140,10	OLIVE GRAY 5Y 4/1					900 1000	Nota: 2 provini							24,52 49,04 98,07 196,14 392,28 784,56 1569,12 3138,24	1,80E-01 2,10E-01 8,70E-01	25967 29987 50808	6,60E-08 8,80E-08 1,70E-09				800
S8 - C9	MBA 958	149,90 - 150,10	OLIVE GRAY 5Y 3/2					900 1000	Nota: 2 provini													600	
S11bis - C3	CBA 1446	36,00 - 36,40	Dark Greenish Grey 5GY 4/1	196,14 492,28 588,42	98,22 161,11 244,17	21,9	20,4					450 650 850	250 250 250	15,0	17,0							508	
S11bis - C5	CBA 1446	30,00 - 30,40	Dark Greenish Grey 5GY 4/1									450 650 850	250 250 250	27,0	19,5	24,52 49,04 98,07 196,14 392,28 784,56 1569,12 3138,24	3,27E-02 1,60E-02 1,19E-02	17056 20525 26505 40746	1,61E-08 6,51E-09 1,60E-09				733

PROGETTO ESECUTIVO

Campione				Prova di taglio diretto C.D.			Prova Triassiale UU		ELL	Prova di compressione triassiale CIU			Edometria				ISP	ISS	Pocket				
Stiga	Prot. N°	Profondità [m]	Colore	Pressione verticale kPa	Sforzo di taglio kPa	Ammollo e coesione c' φ'		Pressione di cella kPa	Ammollo e coesione Cu φu		Coesione Cu kPa	Pressione di cella kPa	Back Pressure kPa	Ammollo e coesione c' φ'		Pressione σ kPa	Cv mm/s	E kPa	K mm/s	ISP	ISS	Pocket kPa	
S10 - C1	CBA 1457	30,90 - 31,30	Gray SY 8/1	196.14 392.28 588.42	141.39 233.50 351.77	31,8	28,2	300 460 510	236,7	0,00												317	
S10 - C2	MBA 952	50,00 - 50,40	LIGHT OLIVE GRAY SY 6/1	98.06 196.13 294.19	125.85 158.89 205.44	33,8	22,1	800 900 1000	216,2	0,00												317	
S10 - C3	MBA 963	88,50 - 89,00	LIGHT GRAY N°7					Nota: 2 provini 900 1000	315,9	0,00												350	
S10 - C4	MBA 963	99,20 - 99,60	LIGHT GRAY N°7					Nota: 2 provini 900 1000	523,5	0,00						24.52 49.04 98.07 196.14 392.28 784.56 1569.12 3138.24		159.19 275.51 551.01 796.07 1307.81					350
S10 - C5	MBA 963	109,40 - 109,70	YELLOWISH GRAY SY 8/1								173.3					24.52 49.04 98.07 196.14 392.28 784.56 1569.12 3138.24		138.57 212.86 301.68 564.95 734.34				850	
S10 - C6	MBA 963	120,70 - 121,00	MED. LIGHT GRAY					Nota: 2 provini 900 1000	330,9	0,00												617	
S10 - C7	MBA 963	129,60 - 130,00	LIGHT GRAY N°7													24.52 49.04 98.07 196.14 392.28 784.56 1569.12 3138.24		171.64 167.21 237.12 432.61 767.04				867	
S10 - C8	MBA 963	139,50 - 139,80	LIGHT GRAY N°8								750 900 1050	250 250 250	53,0	27,5								850	
S10 - C9	MBA 963	150,00 - 150,30	GREENISH GRAY SGY 6/1								750 900 1050	250 250 250	100,0	27,5								767	

Campione				Prova di taglio diretto C.D.			Prova Triassiale UU		ELL	Prova di compressione triassiale CIU			Edometria				Pocket						
Stiga	Prot. N°	Profondità [m]	Colore	Pressione verticale kPa	Sforzo di taglio kPa	Ammollo e coesione c' φ'		Pressione di cella kPa	Ammollo e coesione Cu φu		Coesione Cu kPa	Pressione di cella kPa	Back Pressure kPa	Ammollo e coesione c' φ'		Pressione σ kPa	Cv mm/s	E kPa	K mm/s	ISP	ISS	Pocket kPa	
S11 C3	CBA 1422	15,00 - 15,40	Very Dark Gray SY 3/1	98.07 196.14 392.28	50.00 70.28 155.56	9,0	19,6					350 450 550	250 250 250	12,0	19,5								258
S11 C5	CBA 1422	25,00 - 25,50	Very Dark Gray SY 3/1													24.52 49.04 98.07 196.14 392.28 784.56 1569.12 3138.24		- - - - - - - -	12778 17093 25893 40234	3.76E-08 1.48E-08 6.04E-09 2.82E-09			742

## Campagna di II Fase

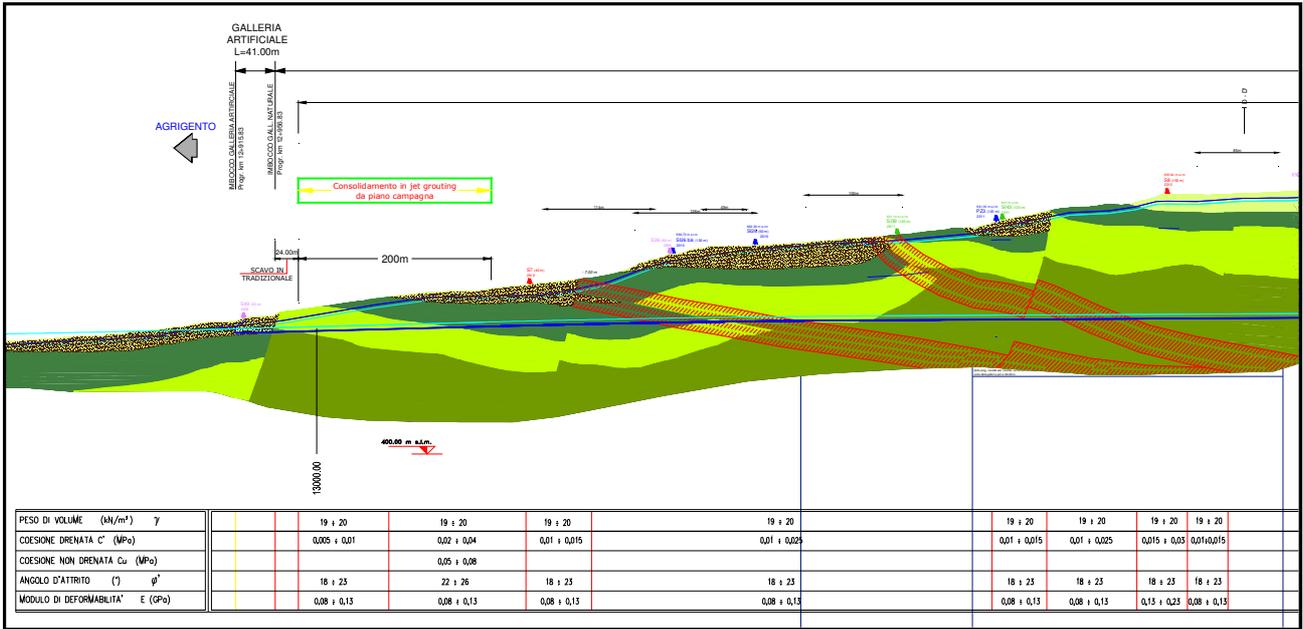
Campione				W <sub>c</sub> %	γ <sub>sp</sub> kg/m <sup>3</sup>	γ <sub>sat</sub> kg/m <sup>3</sup>	γ <sub>sat</sub> kg/m <sup>3</sup>	e	n	s %	Ghiaia %	Sabbia %	Limo %	Argilla %	W <sub>l</sub> %	W <sub>p</sub> %	* I <sub>p</sub> %	* L	* I <sub>l</sub>	A	Sostanza organica %	Solfati SO <sub>4</sub> mg/kg	Solfati HS <sup>-</sup> mg/kg	Nitrati NO <sub>3</sub> mg/kg	V.B. g/kg
Stigla	Prot. N°	Profondità (m)	Colore																						
S127 - C11	CBA 1484	15,00 - 15,35	Light Gray 5Y 7/1	23,0	2700	2013	1555	0,736	0,424	84	11,49	24,32	27,50	36,70	36	25	11	1,2	-0,18	0,30					
S127 - C12	CBA 1484	40,00 - 40,50	Light Gray 5Y 7/1	27,2	2710	1916	1506	0,799	0,444	92	5,11	9,71	39,30	45,88	36	21	15	0,6	0,41	0,33					
S127 - C13	CBA 1490	90,50 - 90,90	Dark Greenish Grey 5GY 4/1	26,8	2709	1962	1548	0,750	0,429	97	1,09	3,91	60,89	34,11	54	55	19	1,4	-0,43	0,56					
S127 - C14	MBA 976	103,50 - 104,00	Grayish Olive Green 5GY 3/2	30,2	2758	1929	1482	0,861	0,463	97	0,00	0,64	32,48	66,87	106	42	64	1,2	-0,18	0,96					
S127 - C15	MBA 979	125,00-125,40	Grayish Olive Green 5GY 3/3	23,3	2680	2033	1649	0,625	0,385	100	0,00	2,16	45,54	52,31	96	40	56	1,3	-0,30	1,07	4,01	1600	<100	104,5	>4
S127 - C16	MBA 979	142,50 - 143,00	Grayish Olive Green 5GY 3/4	25,0	2757	1994	1595	0,728	0,421	95	0,65	1,67	36,42	61,27	93	37	56	1,2	-0,21	0,91	3,13	1973	<100	<25	>4
S126 - C11	CBA 1519	25,00 - 26,00	Dark Greenish Grey 5GY 4/1	21,1	2715	2088	1724	0,575	0,365	100	0,05	2,34	58,48	39,12	50	31	19	1,5	-0,52	0,49					
S126 - C12	CBA 1523	50,00 - 50,30	Light Greenish Grey 5GY 7/1	24,8	2727	1919	1538	0,774	0,436	88	0,01	5,07	47,95	46,98	35	21	14	0,7	0,27	0,30					
S126a-C11	CBA 1527	24,30 - 24,80	Very Dark Gray N°3	20,5	2724	2093	1737	0,568	0,362	98	0,00	4,44	41,12	54,44	64	28	36	1,2	-0,21	0,66					
S126a-C12	CBA 1528	50,00 - 50,50	Dark Greenish Grey 5GY 4/1	19,4	2719	2109	1766	0,539	0,350	98	0,14	4,73	39,44	55,69	61	22	39	1,1	-0,07	0,70					
S126a-C13	CBA 1528	75,00-75,50	Dark Greenish Grey 5GY 4/1	23,2	2699	2029	1647	0,639	0,390	98	0,80	7,48	38,74	52,99	64	24	40	1,0	-0,02	0,75					

PROGETTO ESECUTIVO

Codice Etenco Prezzi				20.6.3.20.3 (fratto) + 20.6.3.21 (residuo)				20.6.3.22.1		20.6.3.19		20.6.3.13			20.6.3.6 (pivota) + 20.6.3.8 (sovrapprezzo a prova) + 20.6.3.10 (Cy, Kv, E a terza)				20.6.3.12		20.6.3.13		
Campione				Prova di taglio diretto C.D.				Prova Triassiale T.U.		E.L.L.		Prova di compressione triassiale C.U.			Fiduciarità				ISP		ISS		Pocket
Stg.	Prov. N°	Profondità [m]	Cultura	Pressione verticale kPa	Stress di taglio kPa	Altre eccezioni C°		Pressione di colta kPa	Altre eccezioni Cu		Costante Cu	Pressione di colta kPa	Reck. Provatore	Altre eccezioni C°		Pressione C°	C°	E	K				
SI27 - C11	CBA 1484	15,00 - 15,35	Light Gray 01 71	196,14 392,28 588,42	217,22 390,99 477,42	81,5	33,6				36,0												24400
SI27 - C12	CBA 1484	40,00 - 40,50	Light Gray 01 71	294,21 490,25 686,49	267,5 343,75 502,78	77,2	31,0				240,6												892
SI27 - C13	CBA 1490	90,50 - 90,90	Dark Greenish Gray 013 41								68,8												333
SI27 - C14	MBA 976	103,50 - 104,00	Grayish Olive Green 8 CV 32					900 1000	473,1	0,0													533
SI27 - C15	MBA 979	125,00 - 125,49	Grayish Olive Green 8 CV 33								1000 1200 1400	290 290 290	40,0	23,2									1000
SI27 - C16	MBA 979	142,50 - 143,00	Grayish Olive Green 8 CV 34								1200 1400 1600	290 290 290	32,0	19,8	24,52 49,04 98,07 196,14 392,28 784,56 1568,12 3136,24	9,70E-01 5,10E-02	44861 22031	2,10E-07 8,10E-09				500	
SI26 - C11	CBA 1519	25,00 - 26,00	Dark Greenish Gray 5GV 41	196,14 392,28 588,42	196,11 165,29 272,78	16	22,7	400 500 600	320,0	0,0													975
SI26 - C12	CBA 1523	50,00 - 50,30	Light Greenish Gray 5GV 71	196,14 392,28 588,42	128,33 290,83 398,99	44,3	31,2																1283
SI26bb-C11	CBA 1527	24,30 - 24,80	Very Dark Gray 2V3	196,14 392,28 588,42	109,28 178,33 246,61	33,9	20,1	400 500 600	274,6	0,0													708
SI26bb-C12	CBA 1528	50,00 - 50,50	Dark Greenish Gray 5GV 41					500 600 700	286,4	0,0		450 650 850	290 290 290	13,0	17,3								990
SI26bb-C13	CBA 1529	75,00 - 75,50	Dark Greenish Gray 5GV 41					700 800 900	76,8	0,0		450 650 850	290 290 290	30,0	23,5								225

Dall'analisi dei profili geologici e dalle risultanze delle indagini di laboratorio sono stati definite fasce che riassumono comportamenti geotecnici assimilabili e caratteristiche meccaniche di resistenza e deformabilità omogenee.

PROGETTO ESECUTIVO



		Dati dal PROF PD	Dati dal PROF PD			Camp 1	Camp 2	Camp 3	Camp 4	Camp 5	Camp 6	Camp 7	
Campagna geognostica 2006/07		COESIONE (MPa)	ANGOLO D'ATTRITO (°)	Campagna geognostica integrativa Fase 1 - 2010	Campagna geognostica integrativa Fase 2 - 2010								
	prof. (m) max												
549	25	0,02-0,04	22-26	S7	40	6.00÷6.50 TAGLIO	11.80÷12.20 TX-CIU TX-UU	18.00÷18.50 TAGLIO TX-UU	23.00÷23.50 TX-CIU TX-UU	TX-CIU TX-UU	35.00÷35.50 TAGLIO TX-UU		
526	80			S126bis	130	24.30÷24.80 TAGLIO TX-UU	50.00÷50.50 TX-CID TX-UU	75.00÷75.50 TX-CID TX-UU					
				S126	50	25.60÷26.00 TAGLIO TX-UU	50.00÷50.30 TAGLIO						

Dati da prove di lab.			Dati da prove di lab.			Dati dal PROF PE		Dati dal PROF PE		ZONE A COMPORTAMENTO OMOGENEO		ZONE A COMPORTAMENTO OMOGENEO	
COESIONE (MPa)			ANGOLO D'ATTRITO (°)			COESIONE (MPa)		ANGOLO D'ATTRITO (°)					
MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX								
0.02	0.0278	0.032	22	24.25	27	0,02-0,04	22-26	2					
0.013	0.0215	0.03	18	21.17	24	0.01-0.025	18-23	6		0.01-0.015	18-23	3, 5,8	

Analizzando il primo tratto di galleria partendo dall'imbocco lato Agrigento, il tracciato della galleria ricade all'interno della formazione dei Trubi attraversando una serie di fasce tettonizzate evidenziate dalla indagini svolte (sismica a riflessione).

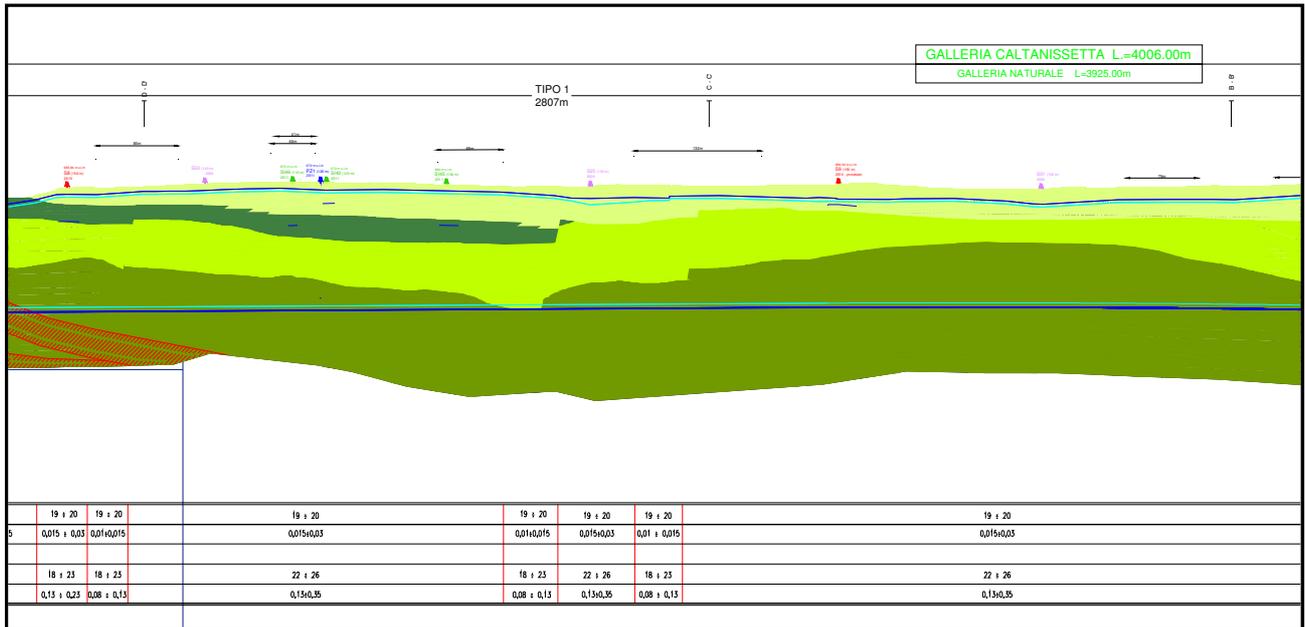
I dati ricavati dalle prove di laboratorio dei campioni prelevati dai sondaggi S7, SI26 e SI26bis confermano in sostanza i parametri di resistenza e deformabilità della formazione dei Trubi definiti in sede di PDA.

C'è da notare che il campione prelevato alla massima profondità del sondaggio di II Fase SI26bis ed il campione n.6 del sondaggio di I Fase S7 appartengono a zone cataclamate; analizzando i risultati delle prove di laboratorio effettuate su tali campioni, si è riscontrato un sostanziale abbassamento dei parametri geomeccanici rispetto ai valori di PDA. Inoltre, l'intervallo dei valori di coesione da attribuire alle fasce cataclamate delle zone denominate n.3 n.5 e n.8 sul profilo riportato in alto è stato ulteriormente ridotto anche per via della bassa copertura. Ciò è stato definito, in via cautelativa, dal momento che tutti i campioni appartenenti a zone tettonizzate sono stati prelevati a profondità molto elevate; ciò potrebbe portare, molto probabilmente, ad una sovrastima delle proprietà meccaniche dell'ammasso, in particolare dei valori di coesione.

<i>Cod. elab</i> GN02-Z-RH 001_C.00	<i>Titolo:</i> Galleria naturale Caltanissetta	<i>Data:</i> 20/11/2011
<i>Nome file:</i> 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	<i>Pagina</i> 34 di 119

Riassumendo, nella tabella successiva, sono riportati i parametri geomeccanici desunti dalle prove di laboratorio ed adottati nelle tratte omogenee definite nel tratto iniziale (dall'imbocco lato Agrigento) della Galleria Caltanissetta.

<b>Formazione</b>	<b>Tratta omogenea n.</b>	<b>Copertura (m)</b>	<b><math>\gamma</math> (kN/m<sup>3</sup>)</b>	<b><math>c'</math> (kPa)</b>	<b><math>\varphi'</math> (°)</b>	<b><math>E'</math> (MPa)</b>	<b><math>\nu</math> (-)</b>
Formazione dei Trubi (zona di imbocco)	1	5÷20	19÷20	5÷10	18÷23	80÷130	0.3
Formazione dei Trubi (bassa copertura)	2	20÷30	19÷20	20÷40	22÷26	80÷130	0.3
Formazione dei Trubi (zona in faglia)	3, 5, 8	30÷115	19÷20	10÷15	18÷23	80÷130	0.3
Formazione dei Trubi (fascia cataclasata)	4, 6	35÷105	19÷20	10÷25	18÷23	80÷130	0.3
Formazione dei Trubi	7	105÷115	19÷20	15÷30	18÷23	130÷230	0.3



		Dati dal PROF PD	Dati dal PROF PD			Camp 1	Camp 2	Camp 3	Camp 4	Camp 5	Camp 6	Camp 7	
Campagna geognostica 2006/07		COESIONE (MPa)	ANGOLO D'ATTRITO (°)	Campagna geognostica integrativa Fase 1 - 2010	Campagna geognostica integrativa Fase 2 - 2010								
	prof. (m) max					prof. (m) max							
S50	140	0,02-0,04	22-26	S8		150	25.00÷25.40 TAGLIO TX UU	50.00÷50.40 TAGLIO TX UU			110.00÷110.30 TX-CID	130.00÷130.30 TX-CID	
S25	130			S9		150	85.00÷85.35 TX-CID		110.00÷110.50 TX-CID		130.00÷130.50 TX-CID	139.80÷140.20 TX-CID	
S51	130												

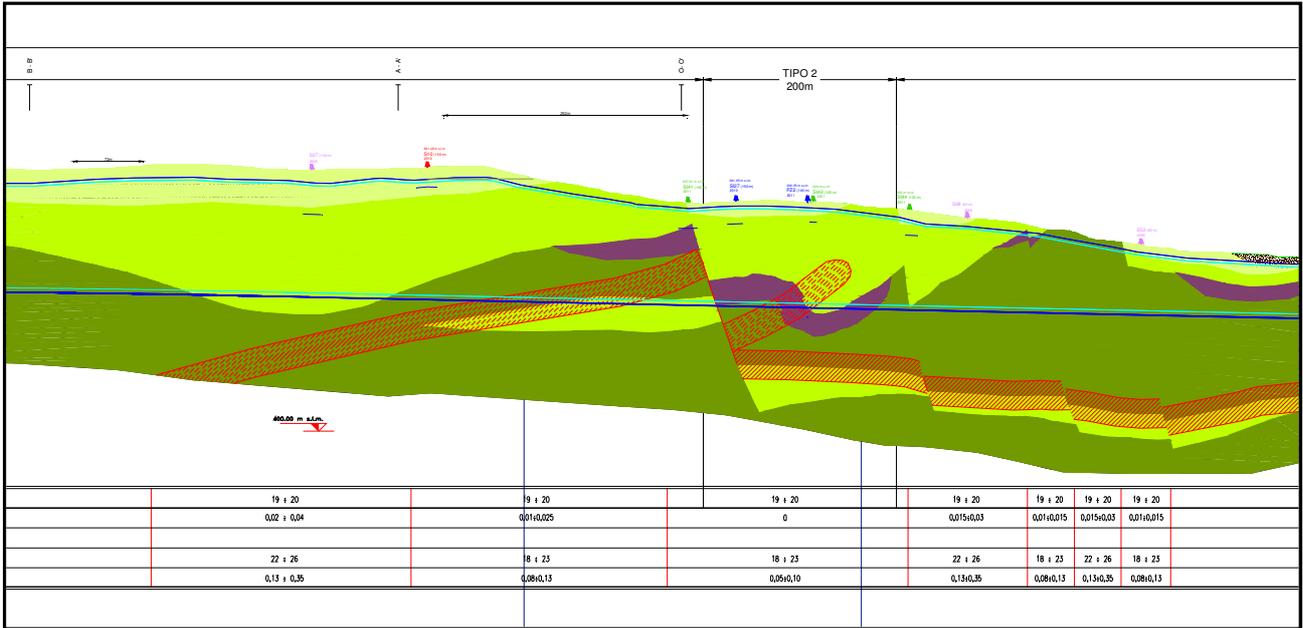
Dati da prove di lab.			Dati da prove di lab.			Dati dal PROF		Dati dal PROF		ZONE A COMPORTAMENTO OMOGENEO	ZONE A COMPORTAMENTO OMOGENEO		
COESIONE (MPa)			ANGOLO D'ATTRITO (°)			COESIONE (MPa)		ANGOLO D'ATTRITO (°)					
MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX								
0.015	0.0217	0.03	21	24.75	27	0.015-0.03		22-26		9,11,13	0.01-0.015	18-23	8,10,12

Nella tratta centrale della galleria vengono attraversate breccie argillose a struttura caotica (TrbA) all'interno della formazione dei Trubi. I valori di angolo di attrito ricavati dalle prove su campioni prelevati dai sondaggi di I fase S8 e S9 sono confrontabili con quelli riscontrati nelle fasi precedenti di progettazione. I valori di coesione sono risultati leggermente inferiori e per questo motivo è stato variato il range di valori a 0.015-0.030 MPa.

All'interno di questa tratta sono presenti anche zone cataclastiche con faglie individuate. I sondaggi a disposizione in questa tratta (S8, S50, S25, S9, S51) non intersecano tali fasce. Per questo motivo nelle zone cataclasate sono stati riproposti intervalli simili di parametri adottati nelle tratte in faglia analizzate in precedenza ( $c' = 0.10-0.015\text{MPa}$   $\varphi' = 18^\circ-23^\circ$ )

Nella tabella successiva, sono riportati i parametri geomeccanici desunti dalle prove di laboratorio ed adottati nelle tratte omogenee definite nella zona centrale della Galleria Caltanissetta.

Formazione	Tratta omogenea n.	Copertura (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$\varphi'$ (°)	$E'$ (MPa)	$\nu$ (-)
Formazione dei Trubi (zone in faglia)	10, 12	115÷120	19÷20	10÷15	18÷23	80÷130	0.3
Formazione dei Trubi	9, 11, 13	115÷120	19÷20	15÷30	22÷26	130÷350	0.3



		Dati dal PROF PD	Dati dal PROF PD			Camp 1	Camp 2	Camp 3	Camp 4	Camp 5	Camp 6	Camp 7
Campagna geognostica 2006/07		COESIONE (MPa)	ANGOLO D'ATTRITO (°)	Campagna geognostica integrativa Fase 1 - 2010	Campagna geognostica integrativa Fase 2 - 2010							
S27	prof. (m) max 130	0,02-0,04	22-26	S10		30.90÷31.30 TAGLIO TX UU	50.00÷50.40 TAGLIO TX UU				139.50÷139.80 TX-CID	
				S127		15.00÷15.35 TAGLIO	40.00÷40.50 TAGLIO	90.50÷90.90	103.50÷104.00 TX-UU	125.00÷125.40 TX-CID		142.50÷143.00 TX-CID

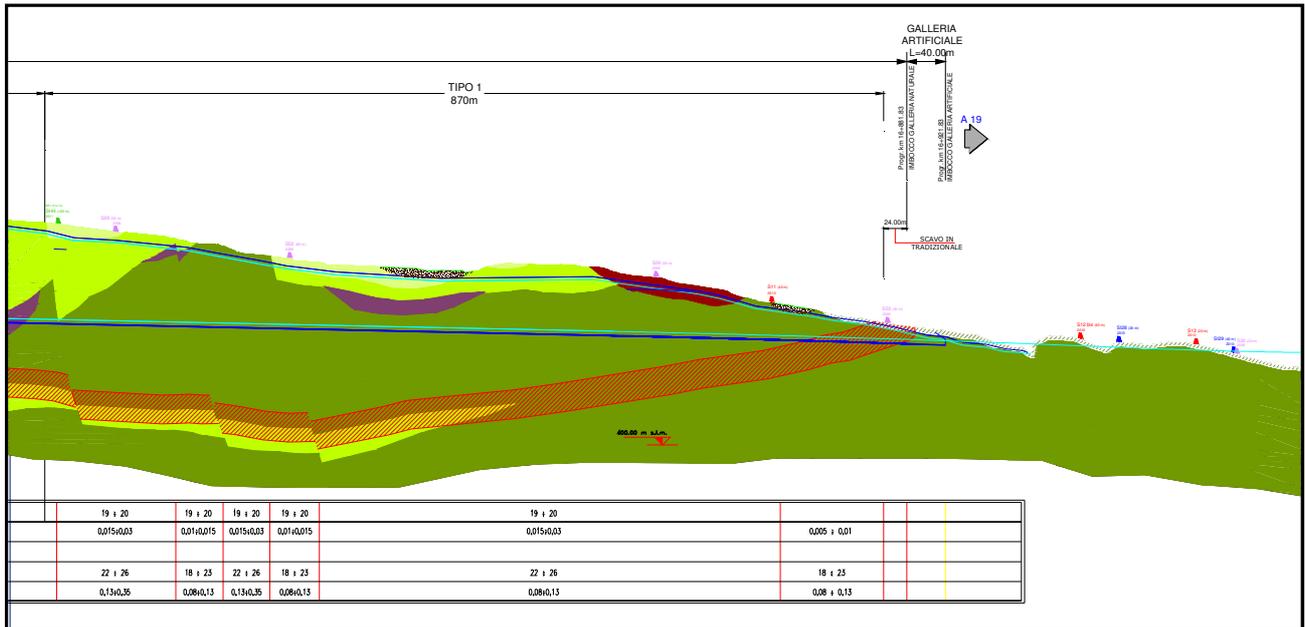
Dati prove di laboratorio			Dati prove di laboratorio			Dati PE	Dati PE	ZONE A COMPORTAMENTO OMOGENEO
Coesione (MPa)			Angolo d'attrito (°)			Coesione (MPa)	Angolo d'attrito (°)	
MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX			
0.025	0.032	0.043	22	25	28	0.02-0.04	22-26	14
						0	18-23	16
						0.01-0.015	18-23	18,20

Andando avanti, verso l'imbocco lato A19, si attraversa la Formazione dei Trubi. Le prove effettuate sui campioni prelevati dal sondaggio di I fase S10 confermano la parametrizzazione del PDA.

Il sondaggio di II fase SI27 interseca una fascia cataclasata; le prove di laboratorio effettuate non ci aiutano alla parametrizzazione di tale zona in quanto sono stati prelevati campioni a quote superiori o inferiori a tale limite. Nella zona, pertanto, è stato riproposto l'intervallo di valori di angolo di attrito definito nelle fasce cataclasate incontrate in precedenza ponendo, in via cautelativa, il valore di coesione pari a 0.

Nella tabella successiva, sono riportati i parametri geomeccanici adottati in questa tratta della Galleria Caltanissetta.

Formazione	Tratta omogenea n.	Copertura (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$\varphi'$ (°)	$E'$ (MPa)	$\nu$ (-)
Formazione dei Trubi	14	120÷125	19÷20	20÷40	22÷26	130÷350	0.3
Formazione dei Trubi (fascia cataclasata)	15	100÷125	19÷20	10÷15	18÷23	80÷130	0.3
Calcari (fascia cataclasata)	16	95÷100	19÷20	0	18÷23	50÷100	0.3
Formazione dei Trubi	17, 19	65÷90	19÷20	15÷30	22÷26	130÷350	0.3
Formazione dei Trubi (zone in faglia)	18, 20	60÷80	19÷20	10÷15	18÷23	80÷130	0.3



		Dati dai PROF PD	Dati dai PROF PD			Camp 1	Camp 2	Camp 3	Camp 4	Camp 5	Camp 6	Camp 7
Campagna geognostica 2006/07		COESIONE (MPa)	ANGOLO D'ATTRITO (°)	Campagna geognostica integrativa Fase 1 - 2010	Campagna geognostica integrativa Fase 2 - 2010							
	prof. (m) max											
	S28	50	0,02-0,04	22-26								
	S52	80										
S29	55											
				S11	40	15.00÷15.40 TAGLIO TX CIU		30.00÷30.40 TX CID	36.00÷36.40 TAGLIO TX-CIU			
S53	30											

Dati prove di laboratorio			Dati prove di laboratorio			Dati PE	Dati PE	ZONEA COMPORTAMENTO OMOGENEO
Coesione (MPa)			Angolo d'attrito (°)			Coesione (MPa)	Angolo d'attrito (°)	
MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX			
						0.015-0.03	22-26	21
0.009	0.0105	0.012	17	20.114	22	0.005-0.015	18-23	22

Nel tratto conclusivo delle Galleria Caltanissetta il tracciato è interessato dalle breccie argillose plioceniche (TrbA). All'abbassarsi della copertura, avvicinandosi all'imbocco lato A19, si nota, dalle prove di laboratorio effettuate sui campioni prelevati dal sondaggio S11, una diminuzione drastica della coesione con coperture inferiori ai 30 m.

I parametri di resistenza e deformabilità adottati nella tratta finale (fino all'imbocco lato A19) della Galleria Caltanissetta sono riportati nella seguente tabella.

<b>Formazione</b>	<b>Tratta omogenea n.</b>	<b>Copertura (m)</b>	<b><math>\gamma</math> (kN/m<sup>3</sup>)</b>	<b><math>c'</math> (kPa)</b>	<b><math>\phi'</math> (°)</b>	<b><math>E'</math> (MPa)</b>	<b><math>\nu</math> (-)</b>
Formazione dei Trubi	21	30÷100	19÷20	15÷30	22÷26	80÷130	0.3
Formazione dei Trubi (bassa copertura)	22	5÷30	19÷20	5÷10	18÷23	80÷130	0.3

## 5.5 Idrogeologia

In merito alla Galleria Caltanissetta nel Progetto Definitivo l'acquifero superficiale ricostruito in zona è quello limitato alle sabbie e sabbie argillose della marnoso-arenacea che affiorano in superficie e presentano spessore di 25÷30 m. Nel breve tratto iniziale dell'imbocco lato AG vengono attraversati tali orizzonti sabbiosi superficiali che possono intercettare delle venute d'acqua.

Un altro livello acquifero superficiale è stato riscontrato procedendo verso l'imbocco Nord della galleria laddove termina la formazione sabbiosa prima dell'affioramento argilloso che funge da substrato impermeabile e limite laterale imposto della falda idrica sotterranea. I deflussi sono diretti in direzione Nord e il letto della falda è, comunque, posto ad una quota superiore di oltre 30 m la zona di attraversamento della galleria.

Le indagini condotte nell'ambito del Progetto Esecutivo hanno individuato la presenza di falda idrica in corrispondenza dell'opera, laddove questa interessa i livelli più profondi. I dati piezometrici riscontrati nei primi tre piezometri installati in Fase 3 e riportati nella tabella sottostante, hanno confermato quanto derivante dalle indagini precedenti (Fase 1 e 2 delle indagini integrative del PD), contrastando con quanto rilevato nel Progetto Definitivo.

RILIEVO PIEZOMETRICO							
Sondaggio		Litologia	Livello di falda m da p.c.	Data	Livello di falda m da p.c.	Data	Battente idraulico* (m)
S139	cella 80,00 m (install. 19/03)	Argilla marnosa e marna argillosa scagliosa, fratturata, consistente di colore grigio chiaro biancastro con inclusi livelli marnosi di colore biancastro fratturati e stratificati	44,10	21/03/11	39,80	24/03/11	33
S140	cella 120,00 m (install. 02/03)	Argilla marnosa e marna argillosa scagliosa, a struttura brecciata, fortemente consistente, di colore grigio-verdastro con inclusi litici centimetrici e millimetrici di natura marnosa e arenitica	29,76	04/03/11	21,27	24/03/11	97
S141	1° cella 100,00 m	Argilla marnosa e marna argillosa scagliosa, fratturata, consistente di colore grigio chiaro biancastro con evidenza di stratificazione	37,93	17/03/11	26,50	24/03/11	65
	2° cella 60,00 m (install. 14/03)	Limo sabbioso di colore grigio chiaro biancastro, con inclusi frammenti di natura calcarea	26,73		26,43		-
S142	1° cella 110,00 m	Brecce calcaree in matrice limoso-argillosa			35,27	31/03/11	59
	2° cella 70,00 m (install. 30/03)	Argilla marnosa e marna argillosa, consistente, di colore grigio chiaro-biancastro, con livelli marnosi fratturati			21,20		-

\* Battente idraulico gravante sulla volta della galleria

Dati piezometrici derivanti dai piezometri installati in Fase 3

Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	Relazione Geomeccanica e di Calcolo	Pagina 43 di 119

PROGETTO ESECUTIVO

Piezometro	Livello di falda m da p.c.	Data	Livello di falda m da p.c.	Data	prof. cella (m da p.c.)
S8 - 2010 Fase 1	1° cella = Assente	14/01/11	1° cella = Assente	04/03/2011	15
	2° cella = <b>34,87</b>		2° cella = <b>34,35</b>		130
S9 - 2010 Fase 1	1° cella = <b>12,34</b>	13/01/11	1° cella = <b>12,50</b>	04/03/2011	15
	2° cella = <b>12,55</b>		2° cella = <b>12,34</b>		130
S10 - 2010 Fase 1	1° cella = Assente	13/01/11	1° cella = Assente	04/03/2011	15
	2° cella = <b>19,18</b>		2° cella = <b>19,50</b>		130
S40 - 2010 Fase 3	-	-	1° cella = <b>29,76</b>	04/03/11	120

	Livello di falda m da p.c.	Data	Livello di falda m da p.c.	Data	Livello di falda m da p.c.	Data	Livello di falda m da p.c.	Data
SI27 - 2010 Fase 2	24,85	11/11/10	24,85	29/11/10	23,92	11/01/11	23,92	04/03/11

S27 - 2006	45	2006	cella Casagrande a -130 m da p.c.
S29 - 2006	11	2006	cella Casagrande a -55 m da p.c.

Dati piezometrici derivanti dai piezometri installati in Fase 1 e 2 e in occasione della campagna di indagini del PD

In particolare considerando i dati sopra riportati, ne deriva che:

- 1) Tra le progressive 15+250 e 15+500, il piezometro S27 (costituito da una cella di Casagrande posizionata a -130 m) installato nella campagna di indagini del 2006 ha registrato un livello freaticometrico compreso tra 40 e 50 m di profondità da p.c. con un battente idraulico di circa 85 m;
- 2) In corrispondenza del piezometro SI39 (prog. 13+600), la cella di Casagrande installata a - 80 m da p.c. ha fatto registrare un valore di soggiacenza pari a circa -40 m da p.c., con un battente idraulico di circa 40 m;
- 3) In corrispondenza del piezometro S08 (prog. 13+880), la cella di Casagrande installata a - 130 m da p.c. ha fatto registrare un valore di soggiacenza pari a circa -35 m da p.c., con un battente idraulico di circa 95 m;
- 4) In corrispondenza del piezometro SI40 (prog. 14+210) dove la cella di Casagrande installata a -120 m da p.c. ha fatto registrare un valore di soggiacenza pari a circa -21,5 m da p.c., con un battente idraulico di circa 98,5 m;
- 5) In corrispondenza del piezometro S09 (prog. 14+680) dove la cella di Casagrande installata a -130 m da p.c. ha fatto registrare un valore di soggiacenza pari a circa -12,5 m da p.c., con un battente idraulico di circa 117,5 m;
- 6) In corrispondenza del piezometro S10 (prog. 15+500) dove la cella di Casagrande installata a -130 m da p.c. ha fatto registrare un valore di soggiacenza pari a circa -19 m da p.c., con un battente idraulico di circa 111 m;
- 7) In corrispondenza del piezometro S29 (prog. 16+620) dove la cella di Casagrande installata installato nella campagna di indagini del 2006 a -55 m da p.c. ha fatto registrare un valore di soggiacenza pari a circa -11 m da p.c., con un battente idraulico di circa 44 m;

Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	Pagina 44 di 119

8) Tra le progressive 15+700 e 15+900, corrispondente alla zona di individuazione delle brecce calcaree ritrovate nei sondaggi SI27 e SI42 (in minor misura in SI41), in cui sono stati installati rispettivamente, un piezometro a tubo aperto con fenestratura compresa tra 60 e 80 m, e due celle di Casagrande a -60 e a -100 m da p.c., il livello freaticometrico registrato è intorno ai -25 m da p.c., con un battente idraulico sul più profondo di circa 75 m.

Nei primi sette casi l'acquifero è rappresentato dai livelli più limosi e permeabili contenuti nella formazione argillose, caratterizzando falde in pressione che potrebbero essere idraulicamente collegate tra loro. I livelli acquiferi sono riscontrabili proprio in corrispondenza della galleria laddove è ubicata la cella di Casagrande. Nel caso del piezometro S27 il livello è certamente non in concordanza con quello del piezometro S10 posto in vicinanza, sebbene le misure siano state fatte a distanza di anni. Collegando i livelli delle misure effettuate nel 2010/2011 si delinea una falda con andamento pressappoco assimilato alla morfologia del rilievo entro cui insisterà la galleria. Stante il fatto che le falde riscontrate siano in pressione è presumibile l'esistenza di zone di alimentazione poste a quote riferibili con i livelli piezometrici, che potrebbero essere collegate o a livelli più permeabili posti anche ad una certa distanza o a fasce di materiale alquanto tettonizzato che facilita l'infiltrazione nel sottosuolo.

Nel caso 8) l'acquifero è rappresentato dalle brecce calcaree in matrice limoso-sabbiosa che contengono la falda in pressione il cui dislivello è di circa 25 m. La zona di alimentazione di tale falda potrebbe essere individuabile nella discontinuità tettonica che incide su tale acquifero, che funge, pertanto da fascia a maggiore permeabilità rispetto alle formazioni argillose che costituiscono il tetto dell'acquifero. Considerato che il tetto della galleria in tale zona è previsto a circa 90 m di profondità, si può affermare che su tale opera insiste una falda in pressione con spessore potenziale di circa 50 m, con tutti i rischi di sifonamento e crolli che ne conseguono.

In sintesi il tracciato della galleria idrogeologicamente indagato può essere suddiviso nelle seguenti zone omogenee, in riferimento al carico idraulico gravante sulla volta della galleria stessa:

- Zona 1 dalla prog. 13+500 alla 13+750; carico idraulico sulla volta della galleria pari a 30÷50 m;

<i>Cod. elab</i> GN02-Z-RH 001_C.00	<i>Titolo:</i> Galleria naturale Caltanissetta	<i>Data:</i> 20/11/2011
<i>Nome file:</i> 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	<i>Pagina</i> 45 di 119

- Zona 2 dalla prog. 13+750 alla 14+000; carico idraulico sulla volta della galleria pari a 50÷80 m;
- Zona 3 dalla prog. 14+000 alla 15+600; carico idraulico sulla volta della galleria pari a 80÷105 m;
- Zona 4 dalla prog. 15+600 alla 15+950; carico idraulico sulla volta della galleria pari a 60÷80 m;

In fase di realizzazione della galleria, considerando il superamento delle condizioni elastiche in prossimità di essa con la formazione di una fascia plastica è molto auspicabile un forte incremento di permeabilità nella direzione dell'asse della galleria; ciò risulta molto rilevante per un deflusso in direzione parallela all'asse della galleria tra le zone con diversa permeabilità.

Inoltre si può ritenere verosimile che la galleria abbia un effetto di depressione sull'altezza piezometrica e che definisce a tempo infinito una nuova posizione della stessa, perlomeno al contorno del cavo operando quindi una riduzione delle pressioni agenti sui rivestimenti. Si ipotizza, alla base di queste motivazioni, un carico idraulico di circa 50 m agente al di sopra della calotta della galleria da considerare in fase di dimensionamento e verifica dei rivestimenti.

<i>Cod. elab</i> GN02-Z-RH 001_C.00	<i>Titolo:</i> Galleria naturale Caltanissetta	<i>Data:</i> 20/11/2011
<i>Nome file:</i> 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	<i>Pagina</i> 46 di 119

## **5.6 Prove di laboratorio per la verifica delle possibilità di condizionamento del terreno attraversato dalla Galleria Caltanissetta**

### **Premessa**

Il presente paragrafo ha lo scopo di verificare la possibilità di condizionamento e i contenuti necessari di agenti condizionanti che dovranno essere utilizzati nello scavo della galleria Caltanissetta. Le prove sono state svolte sul materiale argilloso (prevalentemente argille Plioceniche) prelevate con il sondaggio SI27.

Le prove svolte sono consistite in:

- frantumazione delle carote con pezzatura adeguata in relazione a quanto atteso durante le operazioni di scavo;
- prove di caduta al cono di slump, adottando la procedura messa a punto nel Laboratorio Gallerie ed Opere in Sottterraneo del Politecnico di Torino.

La frantumazione è un'operazione fondamentale per la simulazione dell'azione disgregante degli utensili che attrezzano la testa di scavo della fresa. Quest'operazione è stata effettuata manualmente in modo da ottenere un materiale con caratteristiche adeguate sulla base dell'esperienza maturata in lavori di letteratura, nello scavo con EPB di materiali argillosi.

Sono stati preparati due differenti campioni con dimensioni dei grani differenti in modo da simulare due diverse modalità operative di scavo con EPB:

- spinta della macchina elevata in modo da massimizzare la penetrazione per giro. In questo caso si otterrebbero frammenti di dimensioni maggiori dello smarino;
- spinta della macchina ridotta, in modo da ottenere un materiale con pezzatura ridotta.

Questa seconda condizione produce un materiale che è più gestibile per quelle che sono le operazioni di condizionamento ed estrazione nello scavo con EPB ed è quindi da ritenersi più adeguato al caso in esame.

<i>Cod. elab</i> GN02-Z-RH 001_C.00	<i>Titolo:</i> Galleria naturale Caltanissetta	<i>Data:</i> 20/11/2011
<i>Nome file:</i> 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	<i>Pagina</i> 47 di 119

### **Commenti alle operazioni di frantumazione**

Dalle operazioni di frantumazione è stato possibile osservare la plasticità delle argille quando sottoposte ad un'azione meccanica. Infatti per essere frantumate le carote richiedevano un'azione di taglio-strisciamento e manifestavano un'elevata adesività dell'argilla all'utensile, in quanto la rottura della carota, eccezion fatta per qualche ristretta porzione, non avveniva in modo fragile.

### **Prove di caduta al cono**

Le prove di caduta al cono realizzate sono state quattro (il numero è stato limitato per il ridotto quantitativo di materiale disponibile).

Sono stati utilizzati, quindi, parametri di condizionamento ritenuti idonei per la valutazione preliminare della possibilità di condizionamento facendo variare:

- FER [-] : tasso di espansione della schiuma;
- FIR [%] : tasso di iniezione della schiuma;
- w [%] : percentuale di acqua aggiunta al materiale;

Nel seguito sono riportati in forma sintetica i risultati delle prove eseguite.

<i>Cod. elab</i> GN02-Z-RH 001_C.00	<i>Titolo:</i> Galleria naturale Caltanissetta	<i>Data:</i> 20/11/2011
<i>Nome file:</i> 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	<i>Pagina</i> 48 di 119

## - Prova 1

Parametri di condizionamento:

FER = 15;

FIR = 80%;

w = 20 %.



Come si può notare dalla fotografia precedente il set di parametri di condizionamento ha dato un risultato non soddisfacente in quanto il materiale non presenta la consistenza pastosa necessaria per lo scavo con EPB.

La caduta al cono di slump è infatti praticamente nulla.

Il materiale (che rappresenta il terreno distaccato dalla testa di scavo) presenta molti vuoti ed era praticamente asciutto.

Il fenomeno è probabilmente dovuto all'assorbimento da parte delle porzioni più fini (comunque in quantità limitata) del materiale frantumato sia dell'acqua sia della schiuma.

Si nota anche una spiccata adesività del materiale che, già nella fase di miscelazione, ha dato problemi di "clogging" all'interno del mixer.

Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	Pagina 49 di 119



In conclusione si può dire che il condizionamento testato non è accettabile e che la presenza di pochi grani fini (si intende per grano un frammento di argilla distaccato dall'azione meccanica) rende difficilmente condizionabile il materiale. Pertanto si può preliminarmente concludere che anche la velocità di scavo debba essere per quanto possibile limitata per produrre una granulometria che meglio possa essere condizionata.

<i>Cod. elab</i> GN02-Z-RH 001_C.00	<i>Titolo:</i> Galleria naturale Caltanissetta	<i>Data:</i> 20/11/2011
<i>Nome file:</i> 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	<i>Pagina</i> 50 di 119

## - prova 2

Per questa prova è stato usato un materiale con una frantumazione più spinta (nell'ottica di simulare condizioni di avanzamento lento della testa). Nel materiale è presente un quantitativo di grani passanti al setaccio con apertura di 1mm maggiore del caso precedente e dell'ordine del 12-15%.

Parametri di condizionamento:

FER = 10;

FIR = 80%;

w = 20%.



Come si può notare dalla fotografati precedente il set di parametri di condizionamento scelto ha dato un risultato non soddisfacente in quanto il materiale non presenta la consistenza pastosa voluta. La caduta al cono di slump è pari a 15cm, ma non è dovuta alla deformazione plastica del materiale, bensì ad una rottura rigida dello stesso causato dalla presenza di molti vuoti intergranulari.

Il materiale risulta asciutto, rispetto a quello che si dovrebbe ottenere per un'ottimale applicazione della tecnologia EPB.

Inoltre si è osservato che l'acqua aggiunta prima della prova è rimasta all'esterno dei grani assorbendo solo superficialmente i grani fini che invece dovrebbero essere proprio quelli che creano la "pasta" interagendo con l'acqua e la schiuma.

Si nota anche una spiccata adesività del materiale che, già nella fase di miscelazione, ha dato problemi di "clogging" all'interno del mixer.

Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	Pagina 51 di 119

### - prova 3

Per questa prova è stato usato un materiale con lo stesso livello di frantumazione del materiale della prova 2.

- Parametri di condizionamento:

FER = 10;

FIR = 40%;

w = 60%.

con aggiunta di polimero disgregante in quantità pari all'1% in peso del materiale da condizionare.



Come si può notare dall'immagine, il set di parametri di condizionamento ha dato un risultato non completamente soddisfacente in quanto si nota che il materiale non presenta la consistenza pastosa voluta, la caduta al cono di slump è pari a 15 cm, ma non è dovuta alla deformazione plastica del materiale soggetto a peso proprio, bensì ad uno pseudo ribaltamento dello stesso causato dalla non plasticità del mix ottenuto ed alla coesione tra i grani.

L'aggiunta di polimero ha comunque consentito di ottenere un risultato migliore rispetto alla prova 2 in quanto il polimero interagendo con l'acqua aggiunta, ha permesso

Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	Pagina 52 di 119

l'isolamento e il mantenimento in sospensione di una parte dei grani più fini presenti nel materiale.

Si nota anche una spiccata adesività del materiale che, già nella fase di miscelazione, ha dato problemi di "clogging" all'interno del mixer, non ridotta neppure dal polimero disaggregante.

<i>Cod. elab</i> GN02-Z-RH 001_C.00	<i>Titolo:</i> Galleria naturale Caltanissetta	<i>Data:</i> 20/11/2011
<i>Nome file:</i> 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	<i>Pagina</i> 53 di 119

**- prova 4**

Per questa prova è stato usato un materiale con lo stesso livello di frantumazione del materiale della prova 2.

- Parametri di condizionamento:

w = 100%.



Il risultato ottenuto mediante la sola aggiunta di acqua in grande quantità sembra indicare che questa è la strada da seguire per il condizionamento delle argille. Infatti, il materiale ottenuto, pur non essendo ottimale rispetto agli standard usuali dei terreni granulari condizionati, presenta comunque una buona pastosità dovuta all'interposizione della frazione liquida tra i grani di dimensioni maggiori che permette così di scorrere tra loro in modo da limitarne l'adesione. Inoltre l'elevato quantitativo d'acqua aggiunta al materiale ha permesso il mantenimento in sospensione di buona parte dei grani più fini, dando una consistenza più "fangosa" alla frazione più fluida, limitandone, in parte, la dispersione.

Questo risultato produce però un fango molto fluido e quindi difficilmente gestibile con il nastro di trasporto di coda e per la messa a scarica. Questi fattori andranno tenuti in conto nell'organizzazione del cantiere.

Si ritiene inoltre che potrebbe essere necessario integrare l'aggiunta di acqua con l'uso di agenti schiumogeni con FER medio-basso e eventuali polimeri disperdenti.

<i>Cod. elab</i> GN02-Z-RH 001_C.00	<i>Titolo:</i> Galleria naturale Caltanissetta	<i>Data:</i> 20/11/2011
<i>Nome file:</i> 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	<i>Pagina</i> 54 di 119

## **CONCLUSIONI**

Si può quindi concludere che le prove riportate e discusse forniscono la base di partenza per l'individuazione del set di parametri di condizionamento da adottarsi nelle argille attraversate dalla galleria Caltanissetta. Utilizzando questi risultati come base di partenza per altre prove si ritiene che sia possibile affinare e restringere il campo di variabilità del possibile condizionamento.

I risultati ottenuti evidenziano che le caratteristiche (nei termini dell'escavabilità con EPB) del materiale condizionato migliorino all'aumentare dell'acqua aggiunta al mix e che l'aggiunta di schiuma ha la funzione di stabilizzare e rendere meno separate la frazione più "solida" del mix da quella più "fluida".

Anche un'eventuale aggiunta di polimero disgregante non sarà da escludere in questa applicazione sia per ridurre ulteriormente l'attrito tra grani più grossolani sia per limitare l'adesione dell'argilla alle parti metalliche della galleria.

<i>Cod. elab</i> GN02-Z-RH 001_C.00	<i>Titolo:</i> Galleria naturale Caltanissetta	<i>Data:</i> 20/11/2011
<i>Nome file:</i> 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	<i>Pagina</i> 55 di 119

## 6 VALUTAZIONE DELLA PRESSIONE DA APPLICARE AL FRONTE DI SCAVO

### 6.1 Premessa

Le presente nota valuta, sulla base di formulazioni tecniche proposte ed accreditate in letteratura tecnica, la pressione che dovrà essere applicata al fronte dalla macchina di scavo (diametro=13m) sia nell'attraversamento della argille plioceniche (con  $K=10^{-9}$  m/s) sia nell'attraversamento delle fasce tettonizzate (sovrascorrimento argille del Tortoniano sulla argille plioceniche e zone di faglia) (con  $K=10^{-5}$  -  $10^{-6}$  m/s).

Per quel che riguarda la stabilità del fronte, nella fascia tettonizzata si è considerato, cautelativamente, che il comportamento del terreno passi da non drenato (come deve essere considerato per le argille indisturbate con K basso) a drenato e si sono considerate le caratteristiche tecniche più scadenti misurate nelle prove di laboratorio.

### 6.2 Verifica per le argille plioceniche non drenate

Questa verifica è stata effettuata mediante l'applicazione della formula di Broms e Bennermark (1967) e la formulazione proposta da Anagnostou e Kovari (1996).

La formulazione di Broms e Bennermark (1967) consente di valutare l'indice di stabilità del fronte nel materiale argilloso (con l'ipotesi di comportamento non drenato) .

$$N=\sigma_s+\gamma H-\sigma_t/C_u$$

dove  $\sigma_s$  è il sovraccarico in superficie pari a 0 nel caso in esame,  $\gamma$  è il peso dell'unità di volume dell'argilla assunto pari a  $19\text{kN/m}^3$ ,  $H$  è la profondità,  $C_u$  la coesione non drenata dell'argilla e  $\sigma_t$  la pressione al fronte applicata. Quando  $N$  è minore di 6-7 il fronte deve essere considerato stabile.

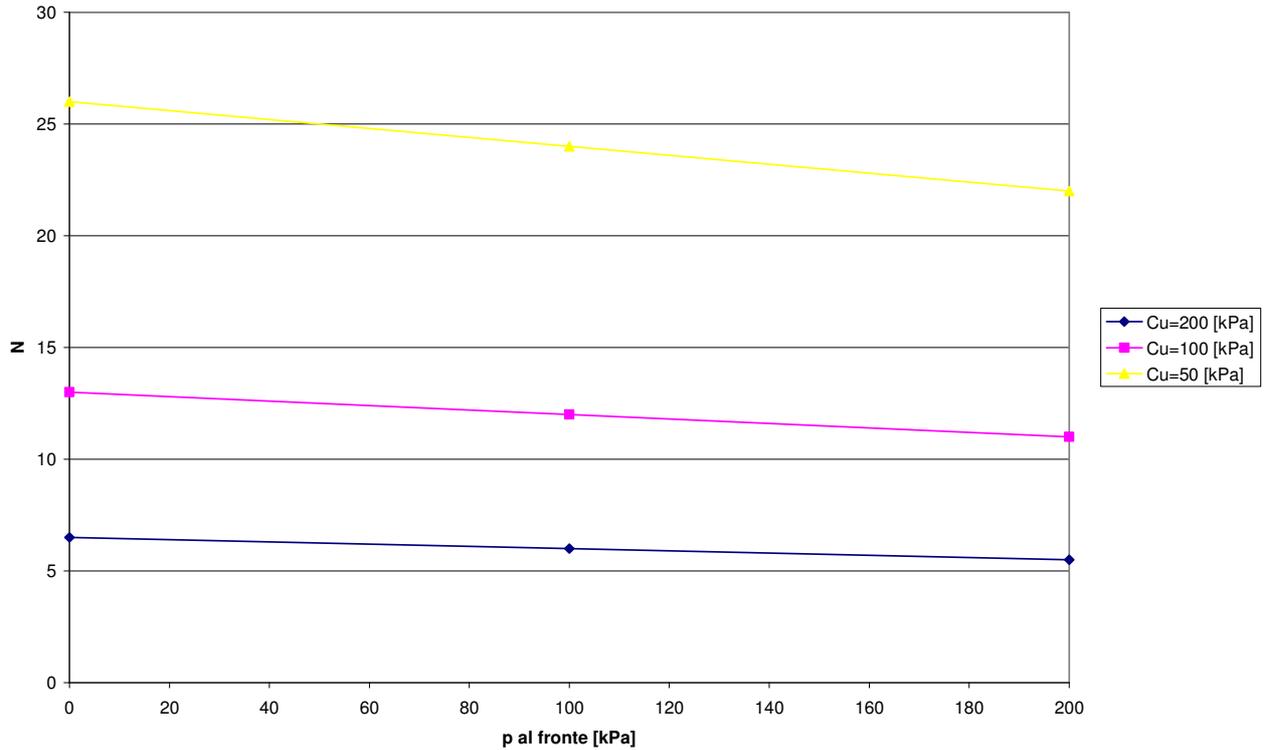
Dai calcoli si evince che il fronte è stabile quando la  $C_u$  è superiore a 200 kPa.

In questo caso è comunque necessario applicare una pressione media al fronte di non meno di 1 bar per conseguire un fattore di sicurezza adeguato: infatti con  $C_u=200\text{kPa}$   $N$  è circa 6, e quindi molto vicino al limite di stabilità.

Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	Relazione Geomeccanica e di Calcolo	Pagina 56 di 119

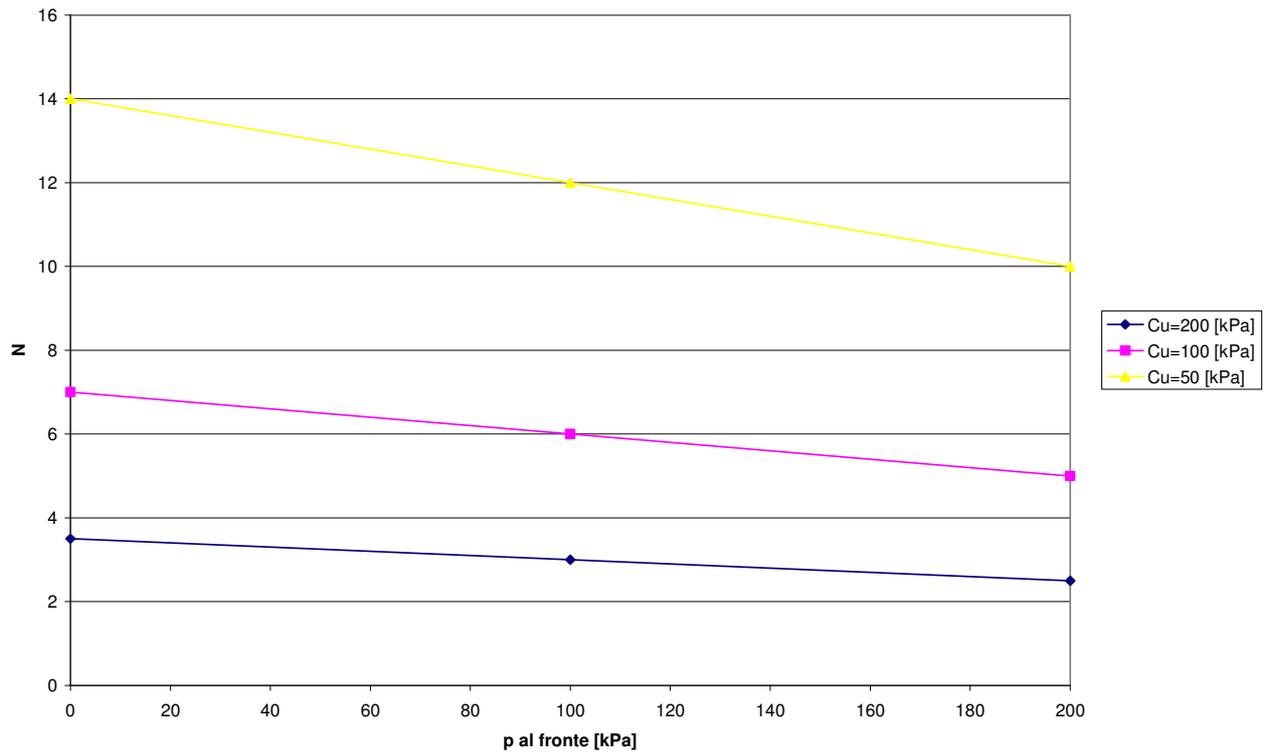
Il calcolo è stato effettuato per 2 coperture significative lungo il tracciato: 130m (massima copertura) e 70m .

Abachi che riportano l'indice di stabilità di Broms e Bennermark (1967) per varie coperture al variare della coesione non drenata.



H=130m

Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	Pagina 57 di 119

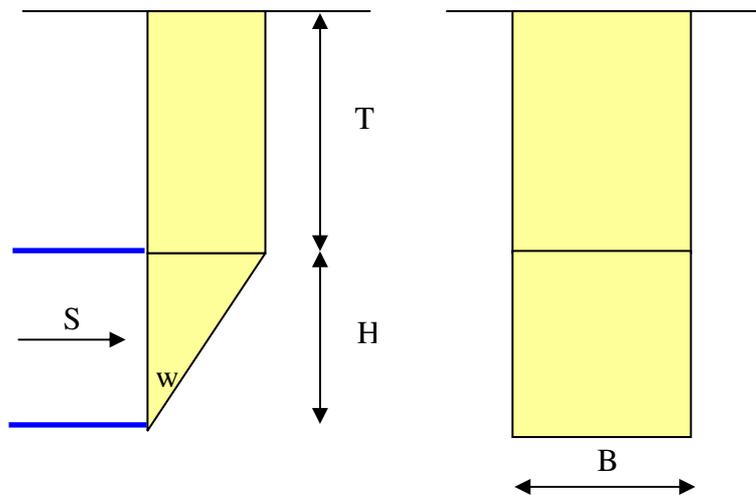


H=70m

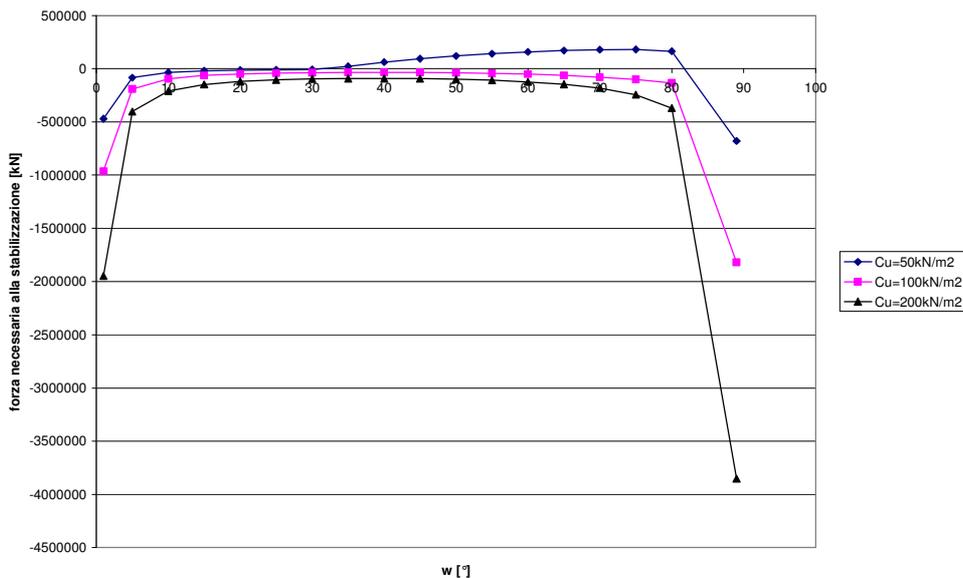
Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	Pagina 58 di 119

Le analisi sviluppate con l'approccio di Anagnostou e Kovari (1996) in condizioni non drenate evidenziano, in discreto accordo con quanto calcolato adottando l'approccio di Broms and Bennermark (1969), che a 130m di profondità, già con  $C_u=100\text{kPa}$ , il fronte non richiede spinte di stabilizzazione (con  $FS=1$ ).

Nel caso che  $C_u$  sia inferiore è necessaria un forza stabilizzante che può variare molto in relazione alle caratteristiche della argille e che richiede una specifica analisi numerica tridimensionale, per la sua completa interpretazione.



Schema del solido di carico considerato da Anagnostou e Kovari (1996) per le analisi di stabilità



Andamento della forza stabilizzante (S) da applicare al fronte, nell'ipotesi di una galleria di 13.20 m di diametro, al variare della coesione non drenata e dell'angolo del cuneo di

Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	Pagina 59 di 119

spinta del solido di carico (w). Il valore da considerare è il peggiore, cioè l'apice superiore della curva. Se i valori sono negativi il fronte deve essere considerato stabile.

### 6.3 Verifiche drenate

La stabilità del fronte in presenza di una fascia tettonizzata con caratteristiche geotecniche più scadenti e tali da cambiare il comportamento del terreno da non drenato a drenato e quindi con la possibile insorgenza di moti di filtrazione verso la camera in pressione, è stata calcolata con  $c'=5\text{kPa}$  e  $\phi'=18^\circ$  (le condizioni peggiori ricavate con le prove di laboratorio).

Il calcolo è stato effettuato mediante due procedure, utilizzando sia gli abachi proposti da Anagnostou e Kovari (1996) per condizioni di flusso, sia la formulazione diretta del solido di carico nell'ipotesi di flusso assente.

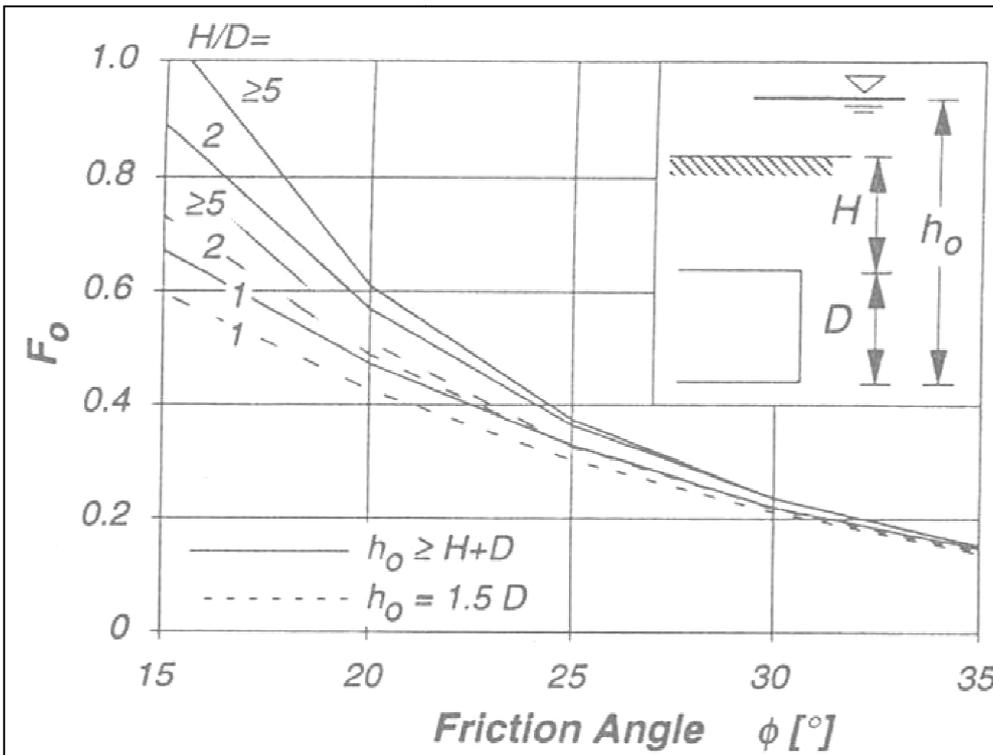
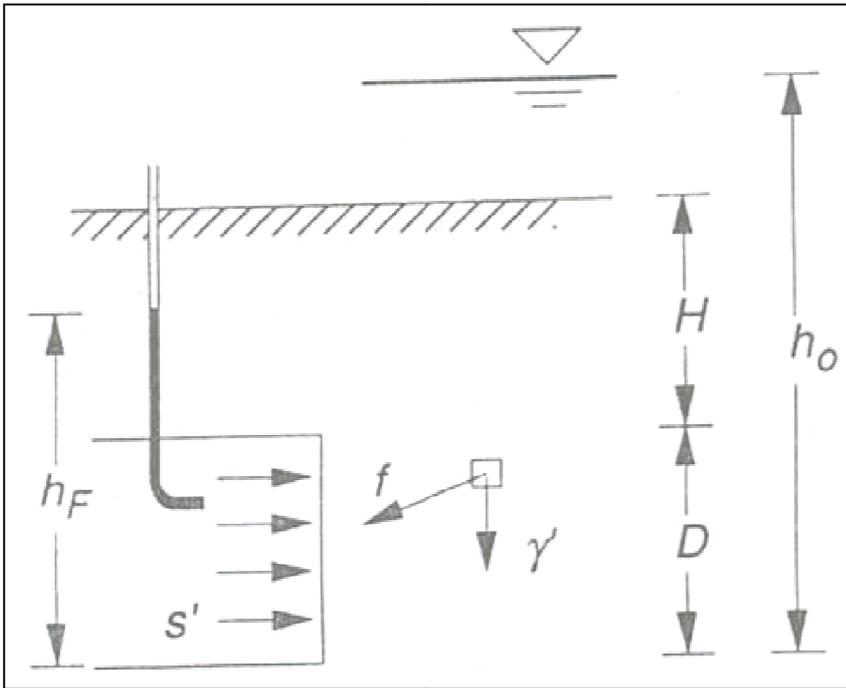
#### Analisi in presenza di flusso

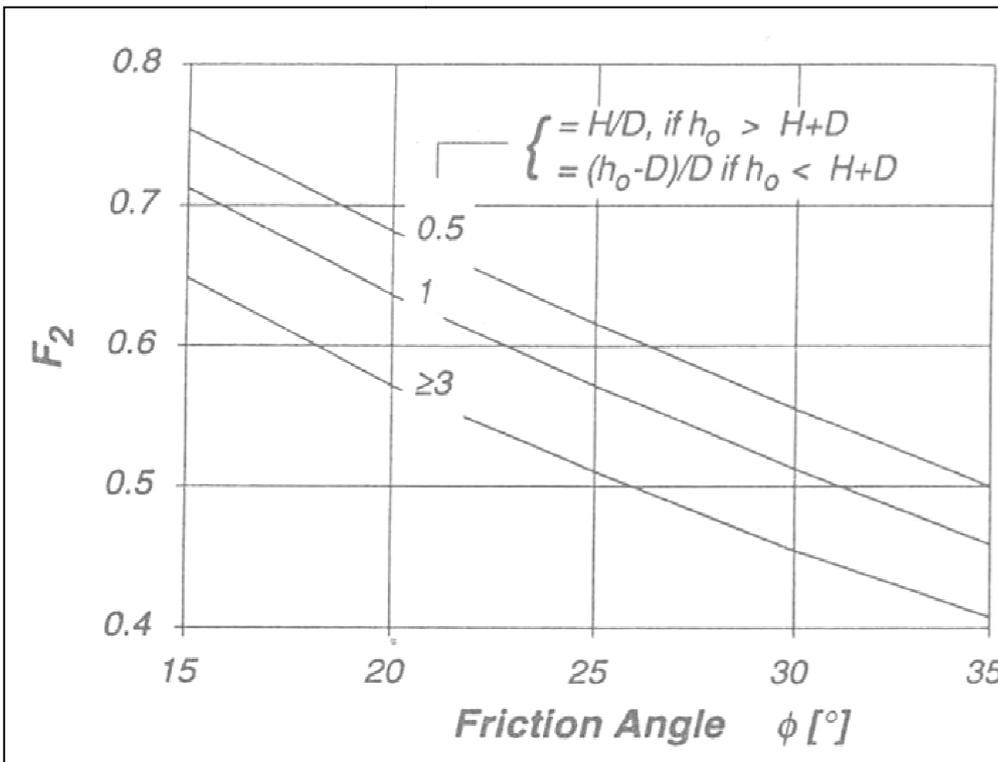
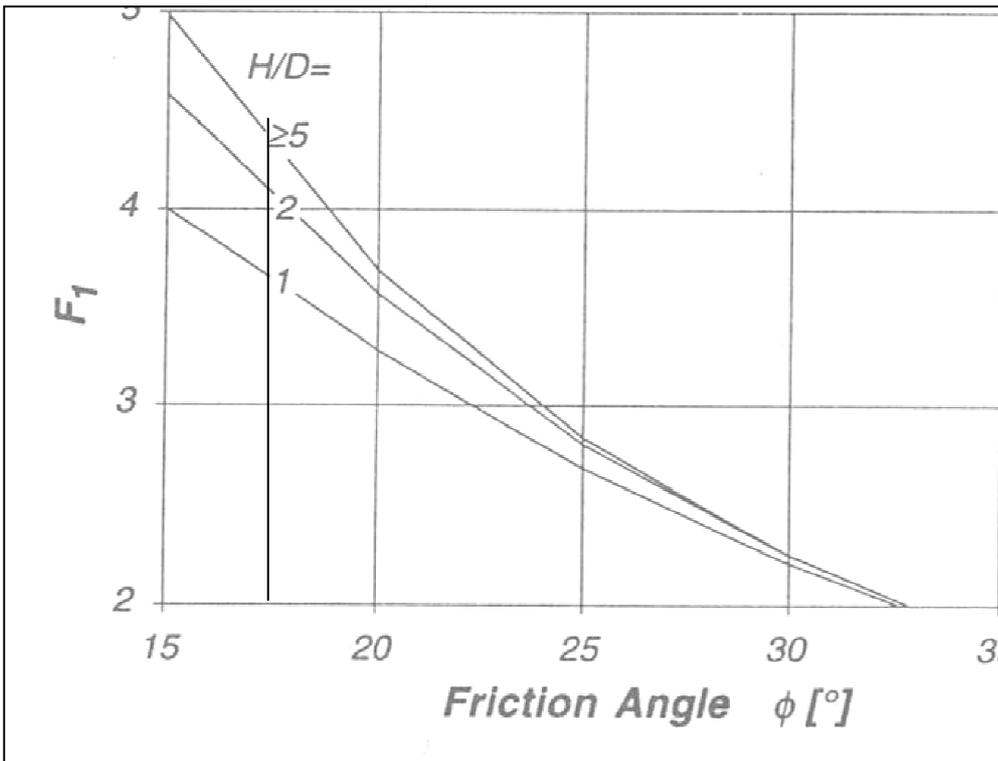
Applicando la condizione geometrica indicata nella figura seguente, ipotizzando che la camera di scavo non sia in grado di rendere impermeabile il terreno e pertanto si instaurino moti di filtrazione sulla base delle analisi numeriche di Anagnostou e Kovari (1996) la pressione da applicare in camera è la seguente:

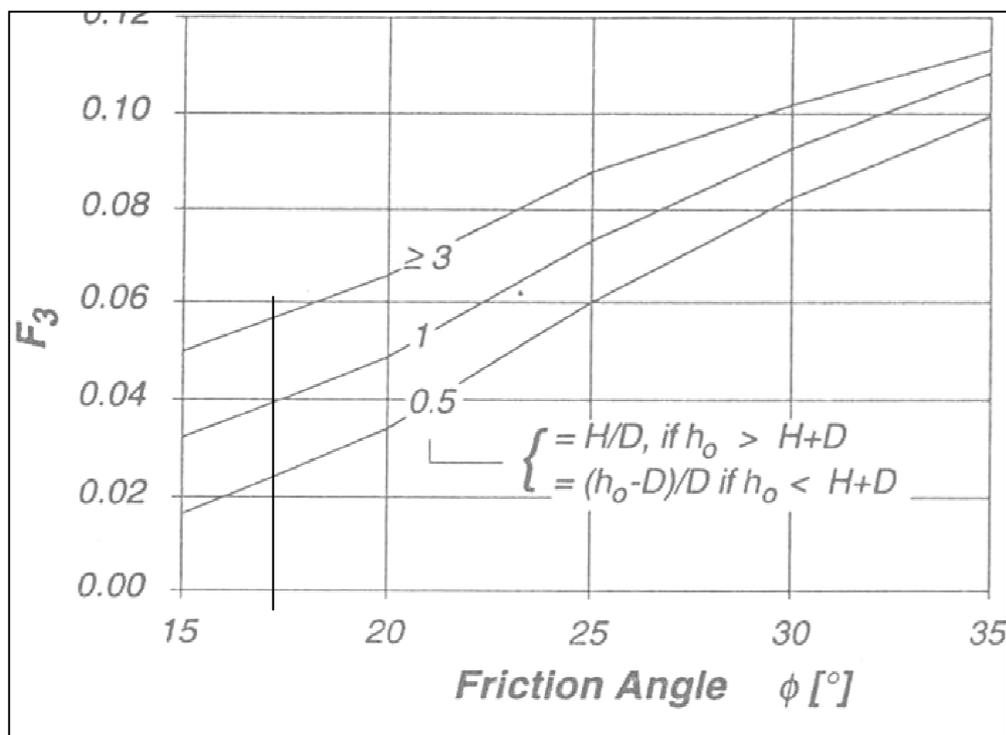
$$s' = F_0 \gamma' D - F_1 c + F_2 \gamma' \Delta h - F_3 c \frac{\Delta h}{D}$$

dove  $F_0$ ,  $F_1$ ,  $F_2$  ed  $F_3$  sono parametri adimensionali calcolati mediante le analisi numeriche parametriche e diagrammate in abachi progettuali riportati nel seguito.

Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	Pagina 60 di 119







Derivando i parametri  $F_0$ ,  $F_1$ ,  $F_2$  ed  $F_3$  dagli abachi, per le profondità di 130m, 110m e 90m si ottiene per tutti i casi ( $D/H > 5$ ):

$F_0 = 0.9$ ;

$F_1 = 4.5$ ;

$F_2 = 0.6$ ;

$F_3 = 0.03$ .

Ipotizzando, quindi, per le profondità indicate i seguenti carichi idrostatici:

- 130m = carico idrostatico di 110m
- 110m = carico idrostatico di 90m
- 90m = carico idrostatico di 70m

si ottengono le seguenti pressioni stabilizzanti medie ( $F_S = 1$ ):

- 130m :  $s = 641 \text{ kPa}$
- 110m :  $s = 535 \text{ kPa}$
- 90m :  $s = 424 \text{ kPa}$

Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	Pagina 63 di 119

Questi risultati sono ottenuti con FS=1 applicata alla tensione efficace necessaria per stabilizzare il cuneo di terreno instabile davanti al fronte se si applica a questo valore FS=2 si ottengono i seguenti risultati:

- 130m : s=682 kPa
- 110m : s= 566 kPa
- 90m : s=455 kPa

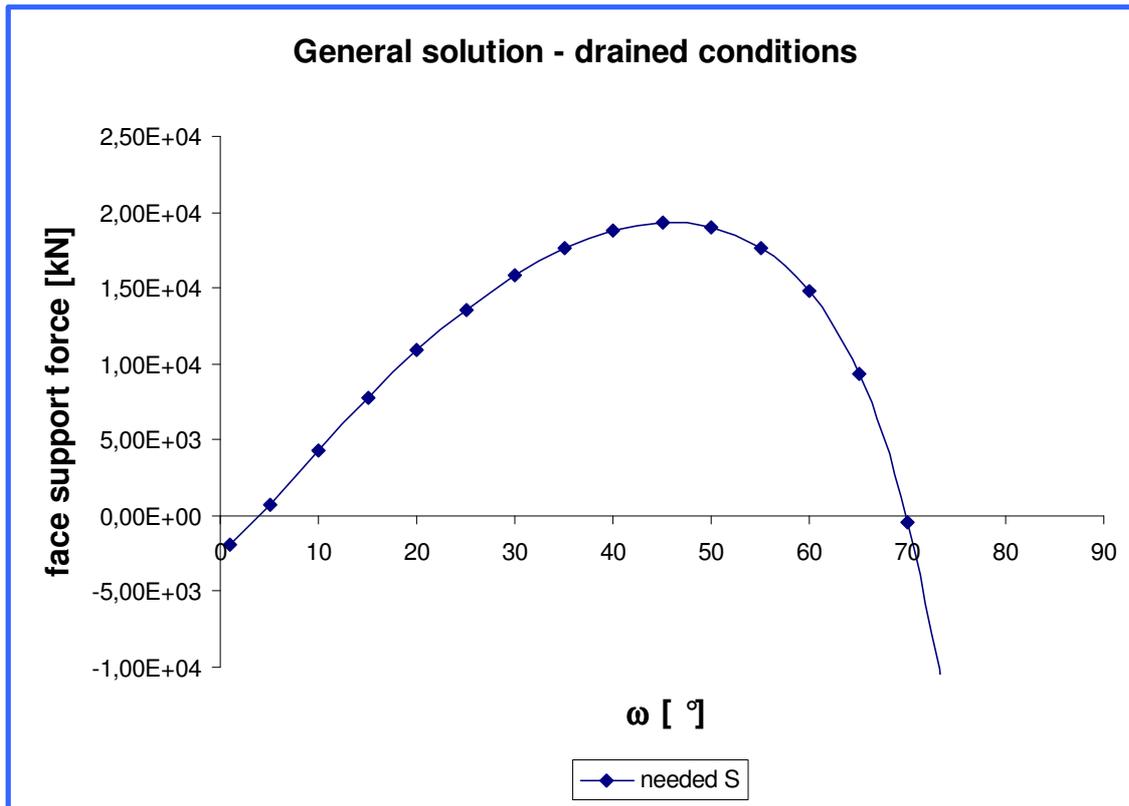
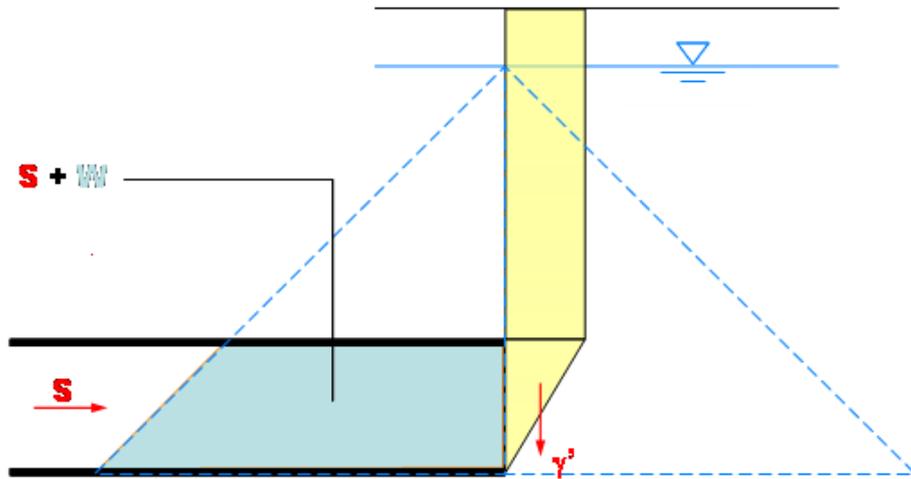
### **Analisi in assenza di flusso**

Nell'ipotesi di contrastare completamente il flusso idraulico e quindi nella condizione in cui in camera di scavo sia possibile applicare l'intera pressione idrostatica (condizione ottimale di funzionamento con terreno condizionato pressoché impermeabile) la macchina deve essere in grado di applicare una pressione efficace media al fronte (calcolata considerando il peso alleggerito del terreno  $\gamma'=0.9\text{kPa}$ ) necessaria a stabilizzare il cuneo instabile a cui si deve sommare l'intero carico idrostatico (come si vede nello schema seguente).

Svolgendo la verifica in corrispondenza del sovrascorrimento, alla profondità di 110m si ottiene, con un fattore di sicurezza 2, una pressione in camera efficace pari a  $s'= 120 \text{ kPa}$ , ottenuta dividendo la massima spinta stabilizzante (rappresentata nella figura seguente) per l'area del fronte.

A questo valore si deve sommare ovviamente sommare l'intero carico idrostatico presente, in modo da essere certi di impedire il flusso dell'acqua dal terreno alla camera di scavo.

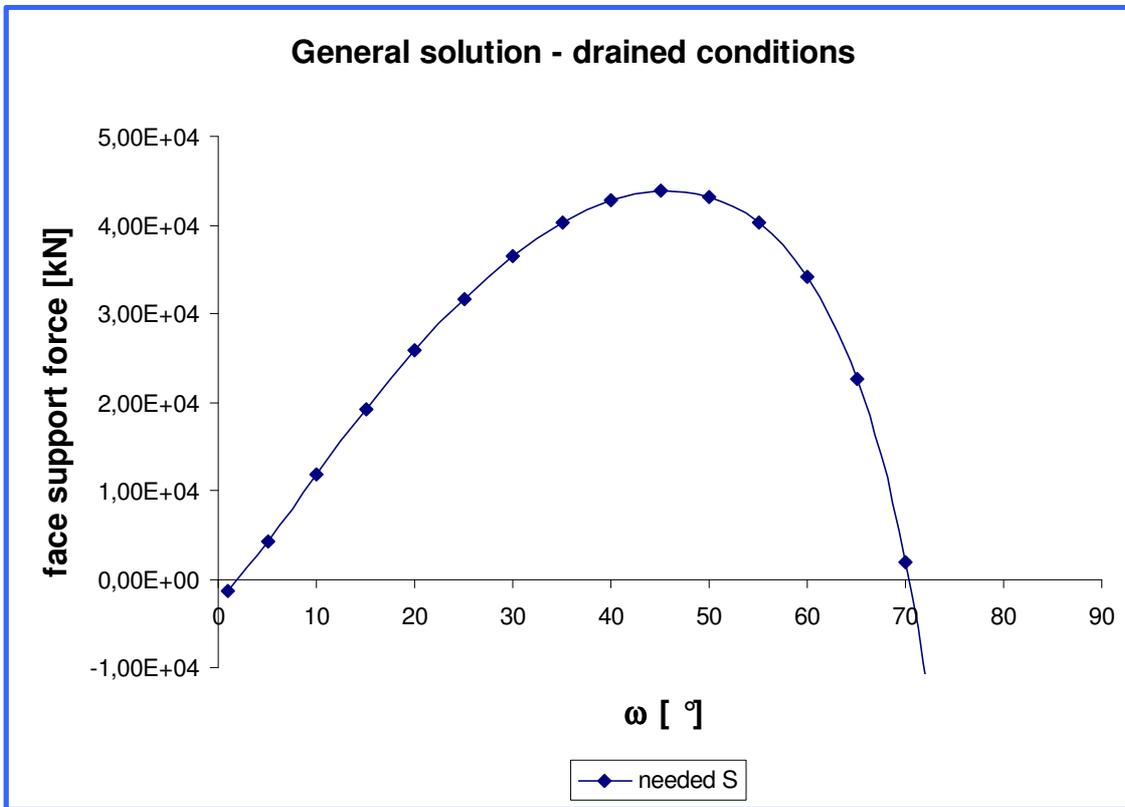
<i>Cod. elab</i> GN02-Z-RH 001_C.00	<i>Titolo:</i> Galleria naturale Caltanissetta	<i>Data:</i> 20/11/2011
<i>Nome file:</i> 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	<i>Pagina</i> 64 di 119



### Analisi in assenza d'acqua

La formulazione base del solido di carico è stata anche applicata in assenza di falda (ipotizzando, quindi, di poterla drenare) al terreno tettonizzato e quindi adottando i parametri geotecnici drenati  $c'=5\text{kPa}$  e  $\phi'=18^\circ$ .

Da questo calcolo si ottiene che la pressione di contenimento media del terreno con  $FS=2$  è pari a circa  $327\text{kPa}$ , ottenuta dividendo la massima spinta stabilizzante (rappresentata nella figura seguente) per l'area del fronte.



Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	Pagina 66 di 119

## 7 ANALISI CON IL METODO DELLE LINEE CARATTERISTICHE

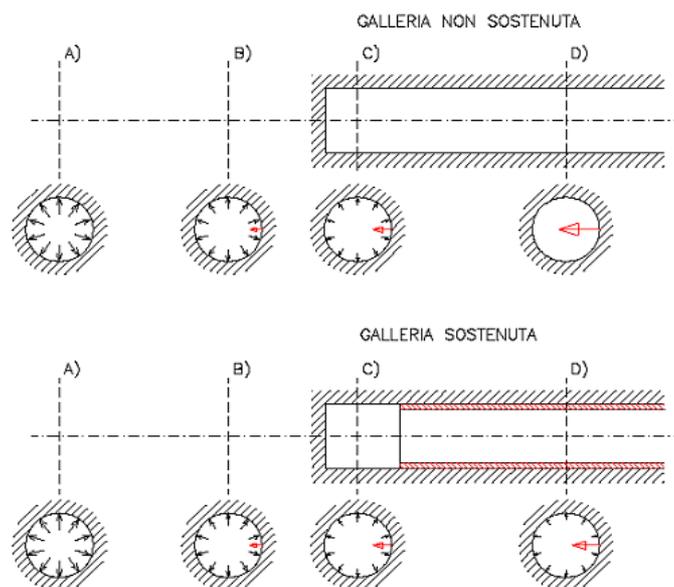
Un primo dimensionamento del rivestimento della galleria è stato condotto utilizzando il metodo delle linee caratteristiche.

Le linee caratteristiche, o meglio il metodo convergenza-confinamento, consistono nel simulare lo scavo di una galleria nell'ipotesi di simmetria assiale e di stato di deformazione piana.

Lo scavo è rappresentato come una graduale riduzione di una pressione fittizia "p" applicata alle pareti della galleria, tramite cui si simula il progressivo deconfinamento della roccia prodotto dall'avvicinarsi del fronte di scavo alla sezione di calcolo e al successivo avanzamento del fronte stesso, cui corrisponde una convergenza radiale "u" crescente in funzione delle caratteristiche dell'ammasso.

Se la galleria è scavata in assenza di sostegni, il valore finale della pressione di confinamento è pari a 0; in caso contrario, allo stato finale, è presente una pressione di confinamento  $> 0$  che rappresenta la pressione di equilibrio del cavo ottenuta dall'intersezione della linea caratteristica della cavità e dei rivestimenti impiegati.

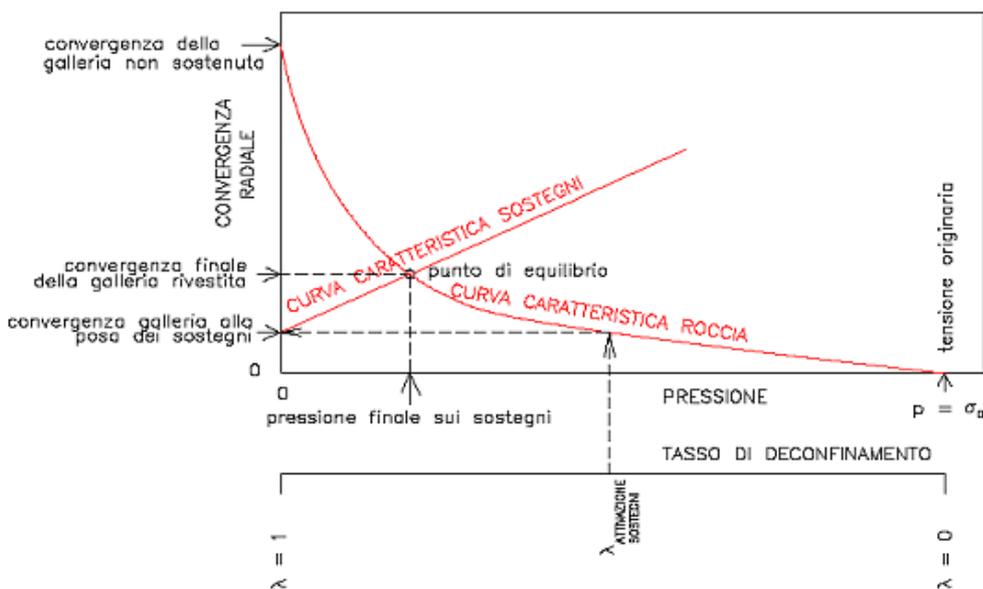
Quest'ultima curva, a sua volta, dipende dalle proprietà dei materiali impiegati e dalle deformazioni subite dall'ammasso prima della posa in opera dei sostegni provvisori e quindi, in ultima analisi, è legata al comportamento del fronte di scavo ed al tipo di interventi previsti in avanzamento.



Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	Pagina 67 di 119

Progressivo deconfinamento del bordo di scavo per simulare l'avanzamento della galleria

Mediante la sovrapposizione degli effetti delle linee "caratteristiche" della galleria, dei sostegni provvisori e definitivi e del fronte, è possibile ridurre il problema tridimensionale in prossimità del fronte di scavo ad un problema bidimensionale; l'intersezione delle varie curve permette di determinare graficamente il comportamento della galleria allo scavo.



Curve caratteristiche – Interazione tra ammasso roccioso e sostegni

Come accennato poco sopra, le curve caratteristiche da considerare per risolvere completamente il problema sono tre e sono rispettivamente:

- la linea caratteristica del fronte, che tiene conto dell'effetto tridimensionale delle tensioni vicino al fronte;
- la linea caratteristica della cavità, lontano dal raggio di influenza del fronte, per la quale lo stato di tensioni si considera piano;
- la resistenza del nucleo di terreno situato davanti al fronte ( $R_{1/2nucleo}$ ), definita a partire dal valore di coesione ( $c$ ) dell'ammasso e dal suo angolo di attrito ( $\phi$ ) secondo le seguenti relazioni:

$$R_{1/2nucleo} = c \cdot kp^{0.5} \quad \text{con}$$

Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	Pagina 68 di 119

$$k_p = \tan^2(45^\circ + \varphi / 2)$$

L'intersezione tra la linea caratteristica del fronte e la resistenza caratteristica di  $\frac{1}{2}$  nucleo individua la condizione di equilibrio del fronte e permette di valutare la convergenza radiale nella sezione in corrispondenza del fronte di scavo (uf).

Utilizzando la curva di Panet è possibile calcolare il valore di deformazione radiale in avanzamento in corrispondenza del consolidamento mediante la seguente formula:

$$u_1 = u_0 \cdot \frac{\lambda_1}{\lambda_0}$$

dove:

$u_1$  = deformazione radiale in corrispondenza della lunghezza di sovrapposizione del consolidamento in avanzamento

$u_0$  = deformazione radiale al fronte

$\lambda_1$  = fattore di Panet per una distanza dal fronte pari alla lunghezza di sovrapposizione in avanzamento del consolidamento

$\lambda_0$  = fattore di Panet relativo al fronte.

La pendenza della L.C. del consolidamento è data dalla rigidità dello stesso; essa si valuta come segue:

$$K_{cons} = (E_{cons} \cdot c_{form} \cdot sp) / (ra + 0.5 \cdot sp)$$

dove:

$K_{cons}$  = rigidità anello del consolidamento

$E_{cons}$  = modulo elastico del consolidamento

$c_{form}$  = coefficiente di forma

$sp$  = spessore consolidamento

$ra$  = raggio medio della coronella del consolidamento al contorno del profilo di scavo e del consolidamento del fronte.

La L.C. del consolidamento è definita dalla seguente relazione:

Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	Pagina 69 di 119

$$p_{cons} = u_{cons} \cdot K_{cons}$$

L'intersezione tra la L.C del consolidamento e la L.C. del fronte fornisce il valore della deformazione radiale al fronte in presenza di consolidamento al contorno del profilo di scavo.

Il metodo delle linee caratteristiche consente di valutare la risposta deformativa del fronte e della cavità nelle ipotesi di sforzo originario isotropo e galleria circolare, ed è pertanto applicabile nel caso di galleria profonda.

È stato effettuato un predimensionamento, mediante il metodo delle linee caratteristiche, con la massima copertura delle tratte tettonizzate (100m).

I parametri di calcolo utilizzati sono quelli delle zone in faglia riportati nella tabella seguente (parametri minimi).

<b>Materiale</b>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (MPa)	$\phi'$ (°)	$E'$ (GPa)	$\nu'$
Argille e argille marnose (tratte in faglia)	19.5	0.01÷0.015	18÷23	0.13÷0.23	0.30

Si è considerato un raggio di scavo pari a 6.80 m con uno spessore dei conci pari a 70 cm.

All'interno delle analisi sono stati considerati i seguenti dati:

altezza di copertura = 100 m

diametro di scavo = 13.40 m;

diametro esterno dell'anello dei conci prefabbricati = 13.20 m;

distanza radiale tra scudo ed estradosso concio in calotta = 0.10 m;

distanza radiale tra roccia ed estradosso concio nell'arco rovescio = 0.10 m;

spessore dei conci: 0.60 m;

Le analisi tengono conto del contributo che può dare la TBM in termini di pressioni al fronte le cui necessità sono quantificabili in circa 650 KPa senza considerare il contributo

<i>Cod. elab</i> GN02-Z-RH 001_C.00	<i>Titolo:</i> Galleria naturale Caltanissetta	<i>Data:</i> 20/11/2011
<i>Nome file:</i> 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	<i>Pagina</i> 70 di 119

della falda; il contributo in termini di resistenza di mezzo nucleo che fornisce tale pressione è calcolabile col metodo della coesione equivalente. Ponendo  $\sigma_3 = 650$  kPa (pressione ipotizzata al fronte) si ottiene che il valore delle resistenza di mezzo nucleo, corrispondente alla pressione esercitata, dalla macchina sarà pari a :

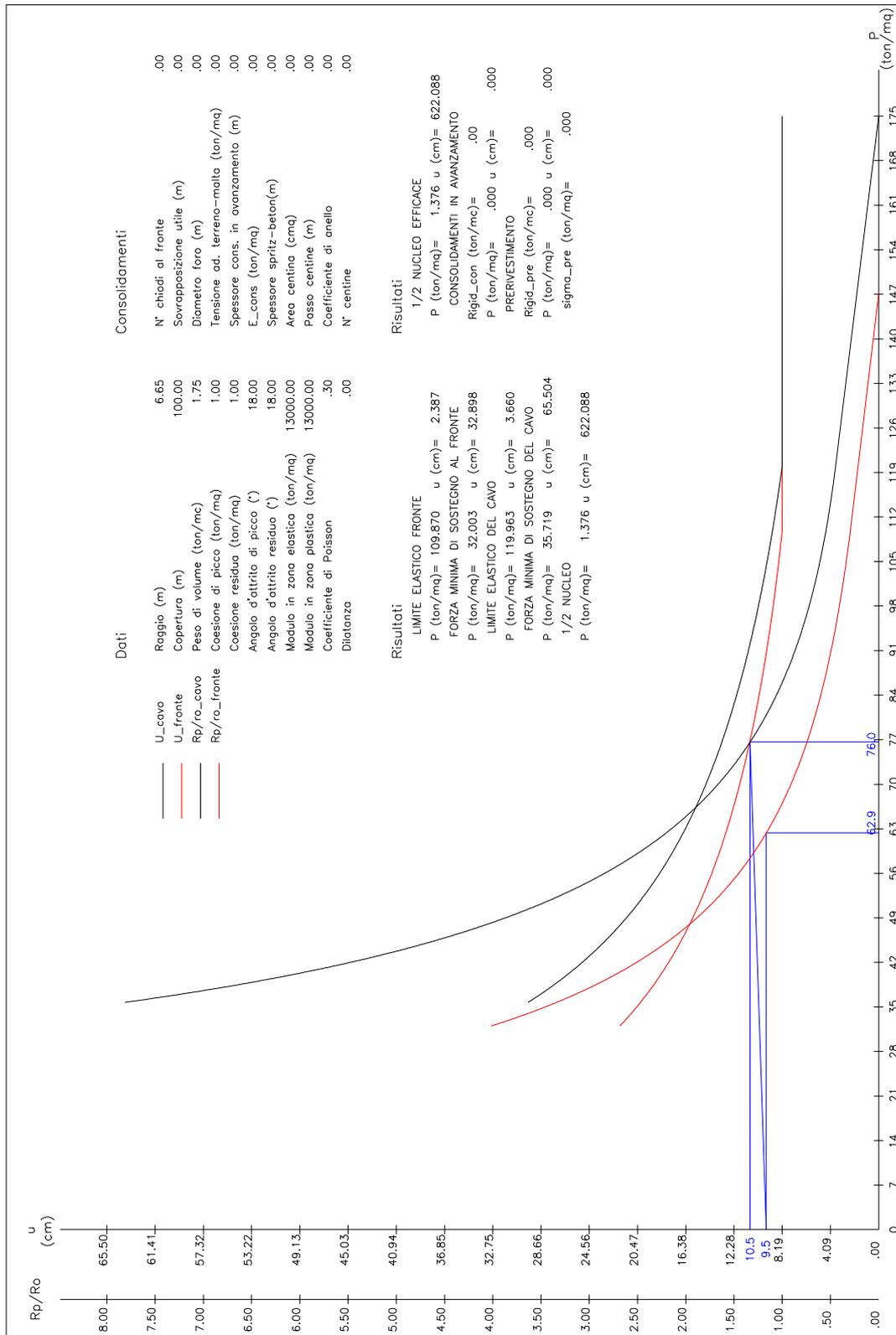
$$\Delta c = \frac{\sigma_3}{2} \tan(45 + \varphi' / 2) = 447 \text{ kPa}$$

La resistenza di mezzo nucleo risulta:  $R_{1/2} = \Delta c * Kp^{0.5} + c * Kp^{0.5} = 629 \text{ kPa}$

Dalle curve caratteristiche si ottiene quanto di seguito.

<i>Cod. elab</i> GN02-Z-RH 001_C.00	<i>Titolo:</i> Galleria naturale Caltanissetta	<i>Data:</i> 20/11/2011
<i>Nome file:</i> 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	<i>Pagina</i> 71 di 119

PROGETTO ESECUTIVO



Pressione sul rivestimento:  $\approx 0.76$  MPa

Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	Relazione Geomeccanica e di Calcolo	Pagina 72 di 119

Tale pressione risulta essere pari al 40 % del carico litostatico pari a circa 1.890 MPa per cui nei calcoli prima dell'installazione del rivestimento verrà scaricato circa il 60 % del carico litostatico.

Spostamento radiale al punto di equilibrio =0.105 m

Spostamento radiale al fronte: 0.950 m

Le tensioni nel rivestimento è stata valutata adottando la formula di Mariotte valida per

anelli sottili, (poiché  $s/r < 0.11$ ):  $\sigma_c = \frac{P \cdot R}{s}$  dove

p = pressione esercitata sul rivestimento

s = spessore

R = raggio di scavo

Da cui si ottiene una tensione  $\sigma_c$  pari a circa 9.2 MPa.

<i>Cod. elab</i> GN02-Z-RH 001_C.00	<i>Titolo:</i> Galleria naturale Caltanissetta	<i>Data:</i> 20/11/2011
<i>Nome file:</i> 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	<i>Pagina</i> 73 di 119

## 7.1 Sintesi delle problematiche

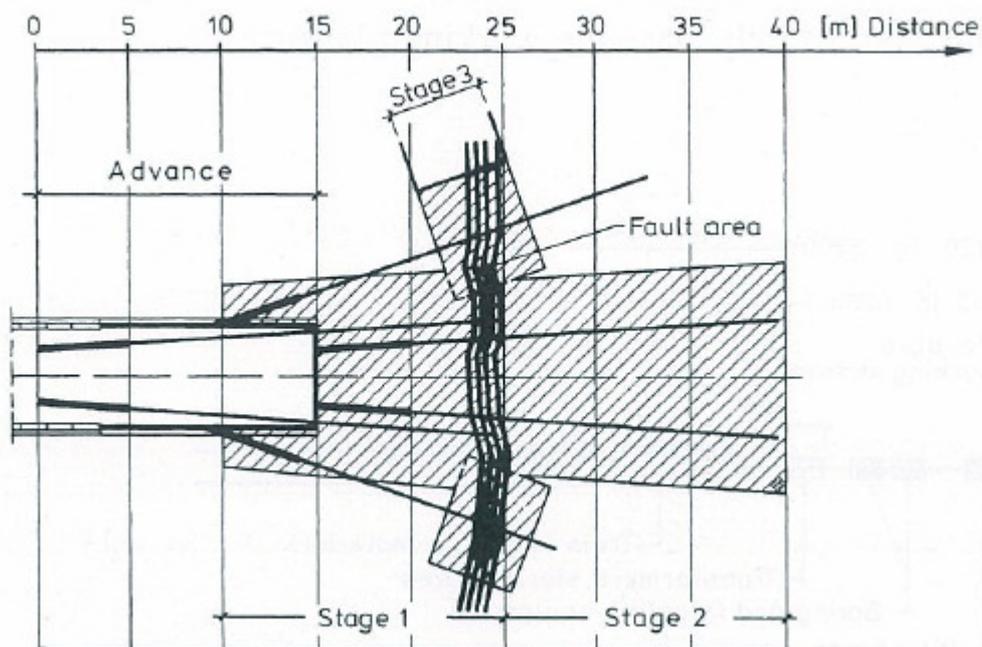
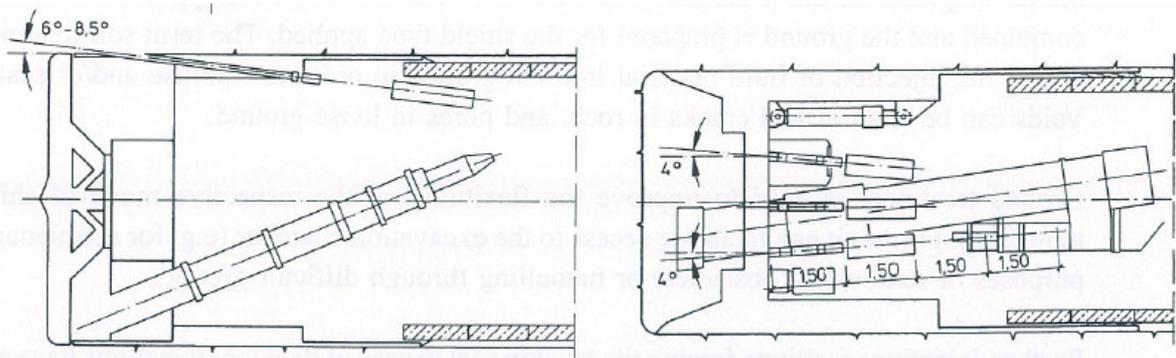
Il nuovo valore di pressione al fronte, calcolato, che la macchina deve essere in grado di esercitare è da intendersi come valore minimo necessario ad un sufficiente margine di sicurezza nei confronti dello scavo. Si osserva infatti che nonostante tale incremento le convergenze nelle zone in faglia sono comunque importanti. Va pertanto considerato un delta di riserva di spinta nel progetto della macchina necessario ad assorbire le resistenze di attrito che si generano tra scudo e terreno, dovute alle elevate convergenze previste. Questo aspetto rappresenta una criticità notevole in quanto potrebbe determinare il blocco della macchina "strozzata" dalla chiusura del cavo. Di seguito si riportano i coefficienti di attrito tra scudo e terreno (Manuale Herrenknecht)

Coefficients of friction  $\mu$  between shield skin (steel) and the ground [81]

Type of ground	Coefficient of friction $\mu$ [-]
Gravel	0.55
Sand	0.45
Loam, marl	0.35
Silt	0.30
Clay	0.20

Ciò comporta necessariamente un incremento notevole di potenza installata sulla macchina e un diverso dimensionamento degli organi meccanici come ad esempio il cuscinetto, la coclea di estrazione del materiale e gli erettori dei conci. Inoltre l'attraversamento delle faglie determina la necessità di intervenire dal retro della testa prevedendo la possibilità di fare dei consolidamenti del fronte come riportato negli schemi che seguono:

Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	Pagina 74 di 119



Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	Relazione Geomeccanica e di Calcolo	Pagina 75 di 119

## 8 ANALISI ALLE DIFFERENZE FINITE

### 8.1 Il codice di calcolo FLAC 6.0

Tutte le analisi numeriche sono state svolte utilizzando il programma di calcolo numerico FLAC 6.0 (Fast Lagrangian Analysis of Continua), codice di calcolo per l'analisi di problemi piani riguardanti il comportamento meccanico di mezzi continui (terreni, rocce) e di strutture interagenti. I materiali sono rappresentati da elementi quadrilateri, o zone, che formano una griglia (mesh) che può essere configurata dall'utente per cogliere opportunamente la forma dell'oggetto da modellare. A ciascuna zona si assegnano le proprietà fisiche e meccaniche che ne caratterizzeranno il comportamento nell'analisi. I vertici di ogni zona costituiscono i nodi della griglia, alle cui coordinate è riferita la formulazione Lagrangiana adottata per l'analisi del continuo.

Nell'analisi Lagrangiana gli incrementi di spostamento vengono sommati alle coordinate di ciascun nodo, cosicché la griglia si muove e si deforma insieme al materiale che rappresenta. Al contrario nella formulazione Euleriana gli spostamenti e le deformazioni del materiale sono riferiti ad una griglia fissa.

Sia i metodi agli elementi finiti che i metodi alle differenze finite hanno lo scopo di tradurre un sistema di equazioni differenziali in un sistema di equazioni algebriche. Il metodo agli elementi finiti ha come punto centrale la definizione delle funzioni di forma che descrivono la variazione delle grandezze che interessano il problema (tensioni, deformazioni) attraverso ciascun elemento. Nel metodo alle differenze finite si prescinde da questa definizione delle funzioni di forma, e le equazioni algebriche vengono scritte direttamente in termini di variabili di campo (spostamenti, velocità e accelerazioni) definite nei nodi della mesh.

Inoltre, per la risoluzione di un problema, il metodo agli elementi finiti sfrutta l'assemblaggio delle matrici di rigidezza di ogni elemento in una matrice di rigidezza globale. L'operazione di assemblaggio non è, invece, necessaria nei metodi di avanzamento esplicito.

Il codice di calcolo FLAC si basa su un metodo di calcolo alle differenze finite, con un algoritmo risolutivo di tipo esplicito.

<i>Cod. elab</i> GN02-Z-RH 001_C.00	<i>Titolo:</i> Galleria naturale Caltanissetta	<i>Data:</i> 20/11/2011
<i>Nome file:</i> 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	<i>Pagina</i> 76 di 119

Anche quando l'obiettivo è quello di trovare una soluzione in campo statico, FLAC risolve le equazioni di equilibrio dinamico, comunemente denominate "equazioni di moto" che, per un mezzo continuo, assumono la forma:

$$m \frac{d\dot{u}}{dt} = F$$

da cui:

$$\rho \cdot \frac{\partial \dot{u}_i}{\partial t} = \frac{\partial \sigma'_{ij}}{\partial x_j} + \rho g_i$$

in cui

$\rho$  : densità

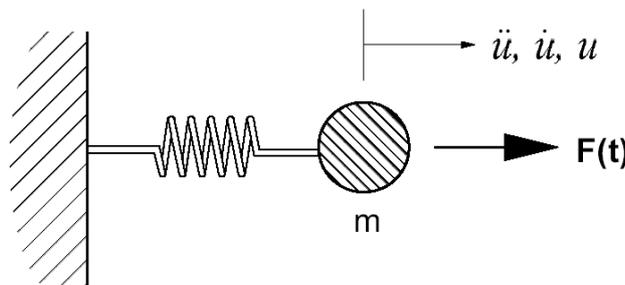
$x_j$  : vettore posizione

$\dot{u}_i$  : vettore velocità

$g_i$  : componente dell'accelerazione di gravità

$\sigma'_{ij}$  : tensore degli sforzi

Il pedice  $i$  denota che le componenti sono espresse secondo gli assi di un sistema di riferimento cartesiano.

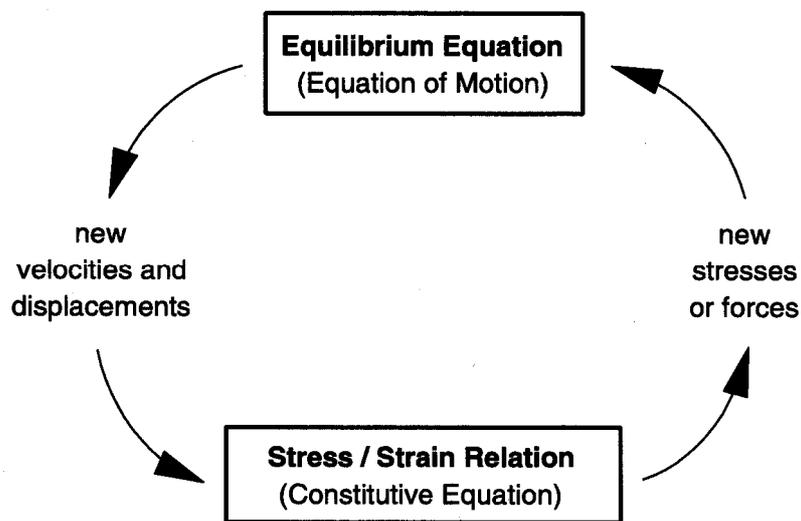


L'approccio tramite le equazioni dinamiche del moto permette di essere certi che l'algoritmo numerico sia stabile anche nel caso in cui il sistema fisico non dovesse risultare staticamente in equilibrio, seguendo passo dopo passo l'evolversi delle condizioni di equilibrio dinamico.

All'interno del singolo passo di calcolo (step), l'algoritmo risolutivo si articola secondo il ciclo indicato nella figura seguente. Ad ogni nuovo step, vengono risolte le equazioni di equilibrio, in cui si assumono fisse le tensioni e le forze in tutti i punti, ottenendo i valori

Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	Pagina 77 di 119

corrispondenti delle velocità e degli spostamenti; questi vengono successivamente inseriti nelle equazioni dei legami costitutivi per i diversi materiali, in cui si assumono fisse le velocità, ottenendo così valori aggiornati per le tensioni. L'intervallo di tempo corrispondente al singolo ciclo di calcolo è considerato piccolo abbastanza da rendere accettabile l'approssimazione di tensioni e velocità incrementali "congelate" sul singolo step di calcolo. Il ciclo viene ripetuto finché non si arriva alla convergenza, oppure ad altra opportuna condizione prefissata.



La convergenza dell'equilibrio viene valutata tramite il massimo valore di forze sbilanciate presente ai nodi della griglia, che viene confrontato con un valore di tolleranza preimpostato nel codice di calcolo e definibile dall'operatore.

L'approccio esplicito elimina la necessità di reiterare il calcolo dello stato di sforzo nell'elemento quando si utilizzino legami costitutivi non lineari, come avviene nel metodo implicito FEM (finite element method).

Per contro, essendo l'intervallo di tempo corrispondente al singolo ciclo di calcolo molto piccolo, sono necessari a tale scopo un gran numero di passi.

Per questo motivo il metodo esplicito risulta preferibile nell'analisi di sistemi a comportamento non lineare, o dove sia rilevante aggiornare la geometria del continuo in relazione all'accumularsi delle deformazioni.

<i>Cod. elab</i> GN02-Z-RH 001_C.00	<i>Titolo:</i> Galleria naturale Caltanissetta	<i>Data:</i> 20/11/2011
<i>Nome file:</i> 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	<i>Pagina</i> 78 di 119

L'analisi è stata sviluppata per analizzare il comportamento del cavo e verificare l'adeguatezza del rivestimento previsto.

Nell'analisi il terreno viene modellato come un mezzo continuo elastico perfettamente plastico con criterio di resistenza di Mohr-Coulomb e legge di flusso non associata (dilatanza nulla), a cui vengono assegnate le caratteristiche meccaniche (angolo d'attrito, coesione, modulo elastico e coefficiente di Poisson) e fisiche (densità) proprie dei terreni interessati dallo scavo, descritte nei paragrafi successivi.

Lo scavo della galleria viene simulato rilasciando (in modo uniforme) un sistema di forze equivalenti applicate sul contorno del profilo di scavo; in questo modo si simula "l'effetto fronte" (come descritto più approfonditamente nel seguito) con la possibilità di valutare le azioni sulle strutture di rivestimento al progredire degli avanzamenti.

Il metodo di analisi alle differenze finite consiste nella discretizzazione delle equazioni differenziali che governano il problema fisico in esame sostituendo alle derivate un rapporto tra termini finiti. In tal modo le equazioni differenziali si trasformano in equazioni algebriche da risolversi in passi successivi di calcolo. L'algoritmo di calcolo segue uno schema lagrangiano "esplicito" per integrazione diretta nel tempo, 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 discretizzazione viene operata sovrapponendo alla porzione di continuo considerata una griglia, a maglie quadrilatera, in cui in corrispondenza dei nodi sono definite le grandezze in gioco. In tal caso la derivata prima di una funzione, rispetto ad una variabile indipendente, si può sostituire con il rapporto tra la variazione subita dalla funzione nel passare da un nodo ad uno contiguo e la corrispondente variazione della variabile indipendente. Per ogni nodo della griglia si valuta la massa  $m$ , la risultante delle forze esterne  $F_e$  (gravità, carichi esterni, ecc..), la risultante delle forze interne  $F_i$ , calcolata per integrazione degli sforzi nelle zone collegate da uno stesso nodo, e la forza sbilanciata agente sul nodo  $F_u$  (unbalance force  $F_u = F_e - F_i$ ); affinché il sistema sia in equilibrio la forza sbilanciata deve essere nulla. In genere, il processo iterativo termina quando la forza sbilanciata arriva ad un valore minore di una tolleranza prestabilita, posta pari a 0.01 kN.

Il rivestimento è stato modellato mediante elementi strutturali (Beam) a comportamento elastico lineare.

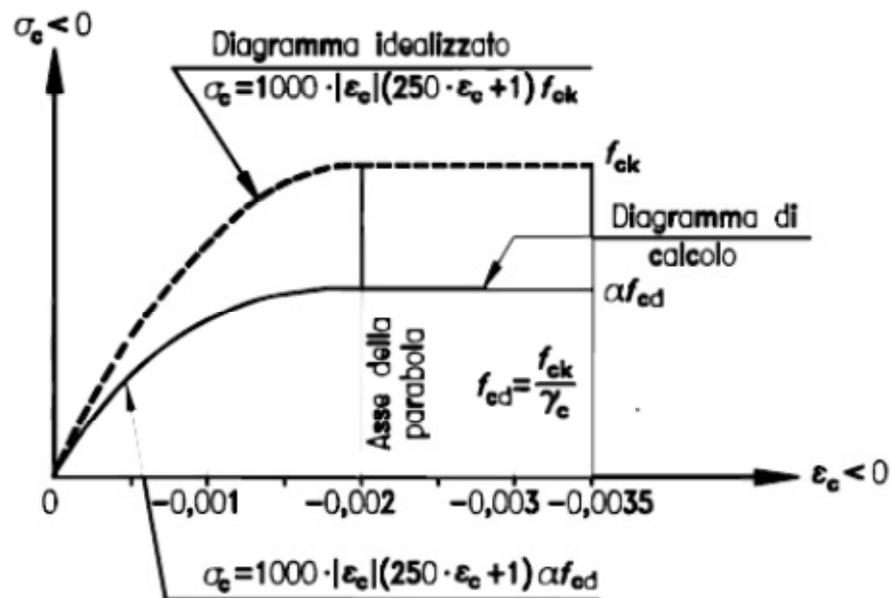
<i>Cod. elab</i> GN02-Z-RH 001_C.00	<i>Titolo:</i> Galleria naturale Caltanissetta	<i>Data:</i> 20/11/2011
<i>Nome file:</i> 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	<i>Pagina</i> 79 di 119

## 8.2 Criteri di verifica

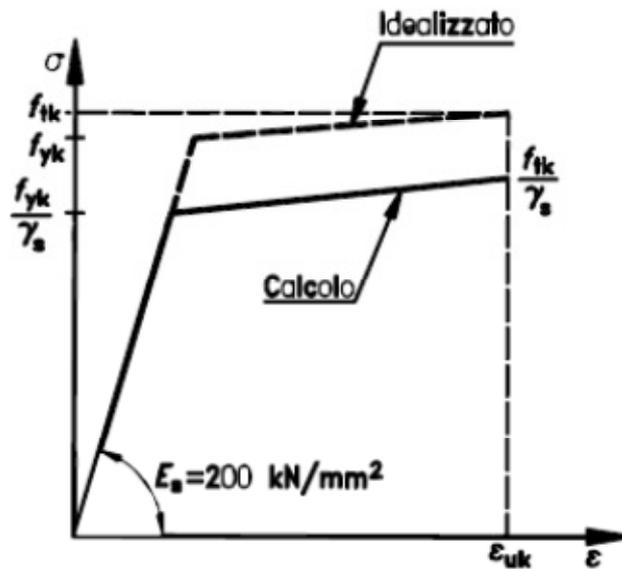
La verifica della struttura in calcestruzzo armato si effettua operando nel piano N-M: basta accertare che il punto avente le coordinate  $M_d$ ,  $N_d$  rappresentative degli effetti delle azioni di calcolo (cioè delle azioni di servizio moltiplicate per i correlativi coefficienti parziali di sicurezza  $\gamma_e$ ), appartenga al dominio resistente, delimitato dalla curva di interazione M-N. Sono state verificate le sezioni in cemento armato relative al rivestimento definitivo.

In questo caso viene adottato un procedimento rigoroso, basato sulle ipotesi seguenti (DM2008 4.1.2.1.2):

- diagramma  $\sigma$ - $\epsilon$  del calcestruzzo compresso a forma di parabola-rettangolo;
- diagramma  $\sigma$ - $\epsilon$  dell'acciaio, sia teso che compresso, elastico-perfettamente plastico:
  - o conservazione delle tensioni piane;
  - o perfetta aderenza fra acciaio e calcestruzzo;
  - o calcestruzzo teso non reagente.



Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	Relazione Geomeccanica e di Calcolo	Pagina 80 di 119



Sono stati calcolati i momenti resistenti di progetto (momenti ultimi) corrispondenti al valore assegnato dell'azione assiale sollecitante di progetto Nsd. È stato verificato che il valore di Nsd non risulti maggiore del valore ultimo per compressione o trazione semplice. I momenti sono calcolati rispetto al baricentro della sezione.

Il momento resistente viene determinato dopo aver calcolato la curvatura che, in condizioni di deformazione limite del calcestruzzo o dell'acciaio, soddisfa l'equilibrio alla traslazione.

Sono stati ricavati i punti di dominio M-N della sezione, evidenziando la posizione del punto NSd-MSd rappresentativo dello stato di sollecitazione. Si assumono come positive le compressioni.

È stata eseguita, inoltre, la verifica nei confronti delle sollecitazioni taglianti della sezione in calcestruzzo armato dotata di specifica armatura a taglio (DM2008 – 4.1.2.1.3.2).

Successivamente sono state effettuate delle verifiche agli Stati Limite di Esercizio, che consistono in una limitazione delle tensioni di esercizio, e verifiche agli Stati Limite di Fessurazione (limitazione delle ampiezze massime delle aperture) DM2008 4.1.2.2.4 – 4.1.2.2.5.

In particolare:

- $\sigma_{cls} < 0.45 f_{ck}$                       tensione nel calcestruzzo (comb. frequente)
- $\sigma_{cls} < 0.60 f_{ck}$                       tensione nel calcestruzzo (comb. rara)
- $\sigma_s < 0.80 f_{ck}$                         tensione nell'acciaio di armatura

Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	Pagina 81 di 119

$w_k < 0.20 \text{ mm}$

apertura delle fessure nel cls.

Per il calcolo dell'apertura delle fessure si procede in questo modo:

$$w_k = 1.7 s_{rm} \varepsilon_{sm}$$

ampiezza delle fessure

dove:

$w_k$  è l'ampiezza di calcolo delle fessure;

$s_{rm}$  è la distanza media finale tra le fessure;

$\varepsilon_{sm}$  è la deformazione media che tiene conto, nella combinazione di carico considerata, degli effetti di "tension stiffening", del ritiro ecc.;

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s}{E_s} \left[ 1 - \beta_1 \beta_2 \left( \frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 \right]$$

dove:

$\sigma_s$  è la tensione nell'armatura tesa calcolata nella sezione fessurata;

$\sigma_{st}$  è la tensione nell'armatura tesa calcolata nella sezione fessurata nella condizione di carico che induce la prima fessura;

$\beta_1$  è il coefficiente che tiene conto delle proprietà di aderenza delle barre, pari a:

- 1,0 per barre ad aderenza migliorata,
- 0,5 per barre lisce;

$\beta_2$  è il coefficiente che tiene conto della durata del carico o di carichi ripetuti, pari a:

- 1,0 per un singolo carico di breve durata,
- 0,5 per un carico di lunga durata o per molti cicli di carico ripetuti.

$$s_{rm} = 50 + 0.25 k_1 k_2 \frac{\Phi}{\rho_r}$$

dove:

$\Phi$  è il diametro delle barre in mm; se nella stessa sezione sono impiegati più diametri, può essere adottato un diametro medio;

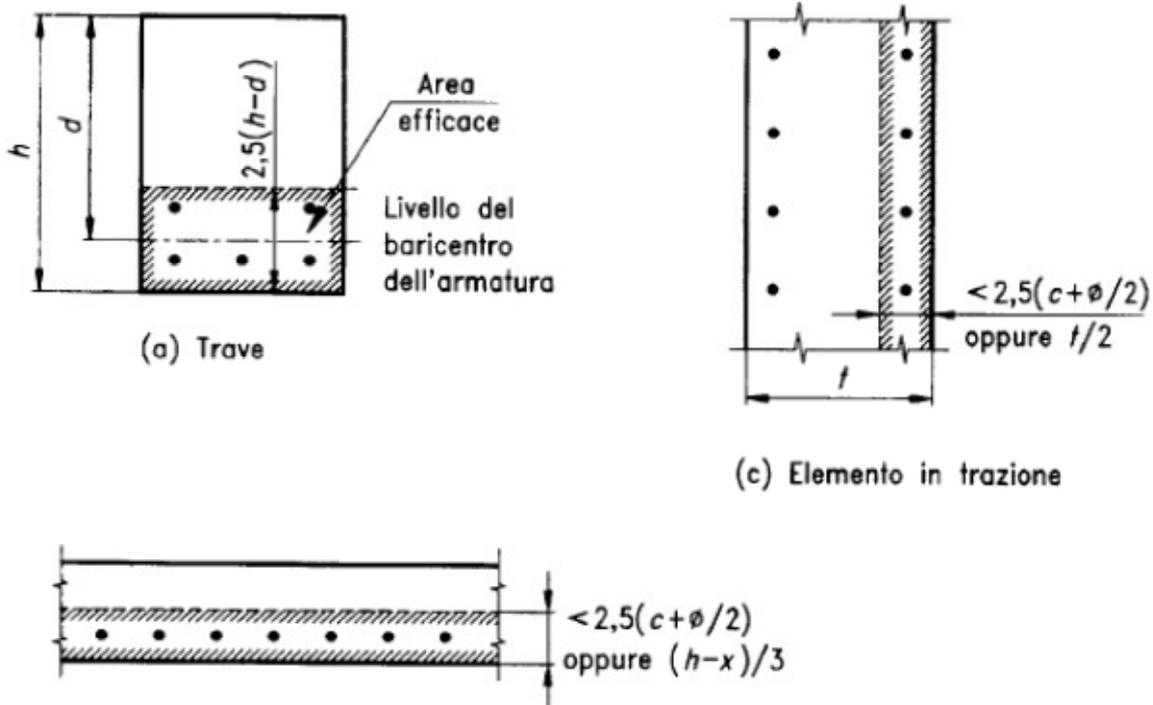
$k_1$  è il coefficiente che tiene conto delle proprietà di aderenza delle barre, pari a 0,8 per barre ad aderenza migliorata e 1,6 per barre lisce. Nel caso di deformazioni impresse  $k_1$  può essere sostituito da  $k_1 k$ , con  $k$  definito in 4.4.2.2 (3);

$k_2$  è il coefficiente che tiene conto della forma del diagramma delle deformazioni,

Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	Pagina 82 di 119

pari a 0,5 per flessione e 1,0 per trazione pura.

$\rho_r$  è il rapporto di armatura efficace  $A_S/A_{c,eff}$ , dove  $A_S$  è l'area dell'armatura contenuta nell'area tesa efficace  $A_{c,eff}$  l'area di trazione efficace è in genere l'area di calcestruzzo che circonda le armature tese, di altezza pari a 2,5 volte la distanza dal lembo teso della sezione al baricentro dell'armatura



### 8.3 Analisi numeriche

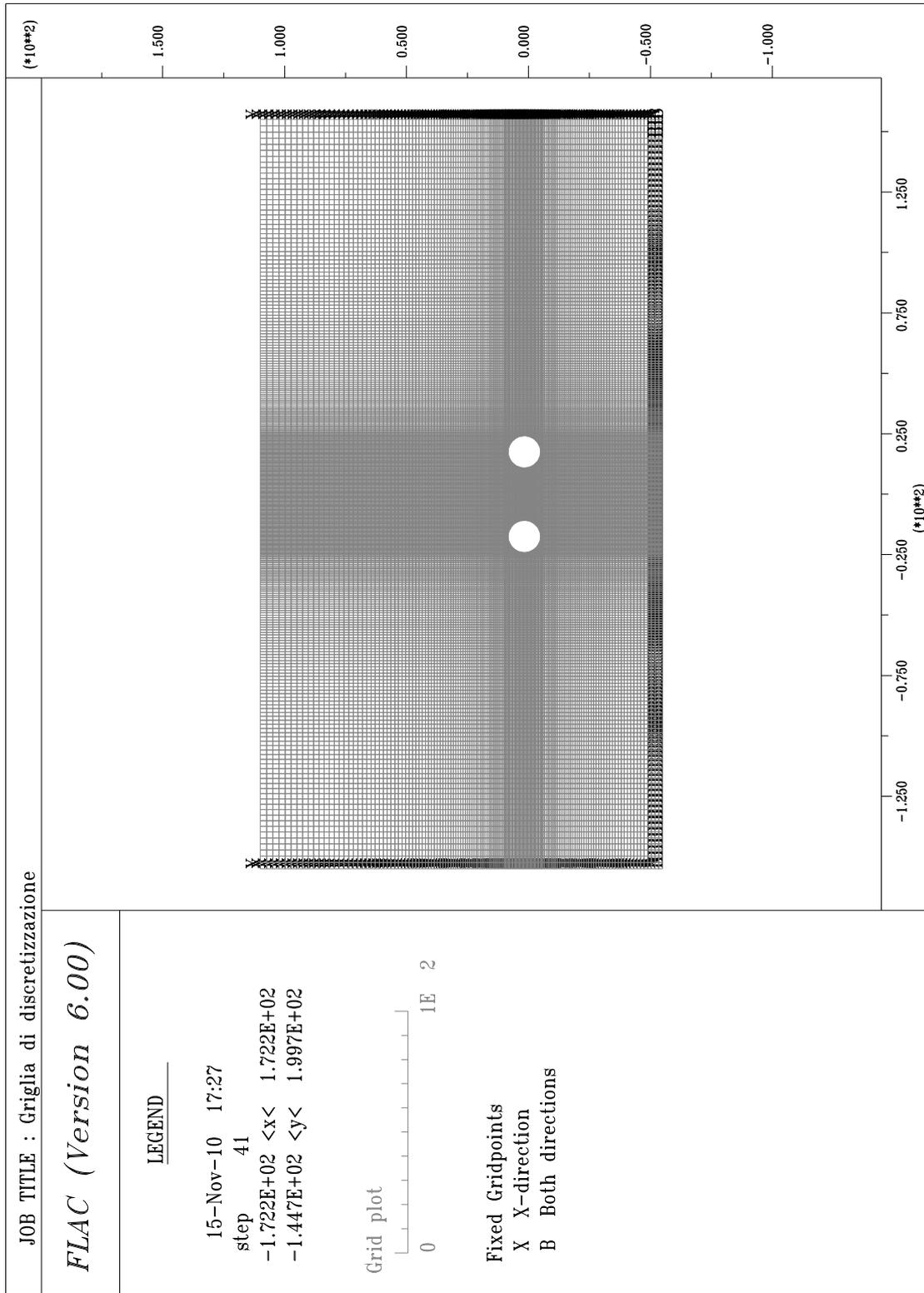
Di seguito vengono presentati i risultati delle analisi numeriche effettuate con il codice di calcolo FLAC 2D per la verifica statica del rivestimento in conci prefabbricati.

L'analisi tenso - deformativa è stata condotta in condizioni di deformazione piana, pertanto viene ritenuta rappresentativa di una sezione corrente di galleria.

E' stata presa in esame una porzione di continuo nella quale sono state modellate le due gallerie con interasse di circa 35 m; la scelta di adottare l'interasse minimo, in corrispondenza della massima copertura nelle zone tettonizzate (l'interasse è di circa 50 m) è dettata dalle necessità di studiare eventuali fenomeni d'interazione tra lo scavo delle due canne.

Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	Relazione Geomeccanica e di Calcolo	Pagina 83 di 119

La copertura considerata nel calcolo è di circa 100 m pari al valore massimo di copertura che si riscontra nelle tratte in faglia



### 8.3.1 Fasi di modellazione

L'analisi è stata organizzata in fasi di calcolo che consentono la simulazione dei vari interventi costruttivi e la schematizzazione di diverse condizioni di carico del rivestimento definitivo.

Le fasi di calcolo sono riferite sia alla simulazione della costruzione della canna sinistra che alla simulazione della costruzione della canna destra.

Le sollecitazioni ritenute rappresentative ai fini delle verifiche statiche sono riportate nel seguito.

Per i rivestimenti, avendo impiegato elementi monodimensionali, dall'analisi si ottengono direttamente i valori delle azioni interne N, M e T.

Per ciò che riguarda la riduzione delle forze di scavo si è fatto riferimento a quelle ottenute dal calcolo con curve caratteristiche riportate in precedenza.

Descrizione delle fasi di scavo:

#### FASE 0 – Geostatico

In questa fase di calcolo viene applicato il peso proprio del terreno, ovvero viene ricostruita in termini di sforzi e deformazioni la situazione iniziale preesistente alla costruzione delle gallerie.

#### FASE 1 – Scavo a piena sezione Canna sx

Si simula lo scavo della canna sinistra ipotizzando il passaggio della macchina prima della posa in opera dei conci. Si effettua una riduzione delle forze di scavo del 60 %

#### FASE 2 - Avanzamento degli scavi e posizionamento del rivestimento definitivo Canna sx

Viene simulata la messa in opera del rivestimento definitivo in conci prefabbricati della canna sinistra ( $E=36.416\text{GPa}$ ); si effettua una riduzione delle forze di scavo pari al 100%.

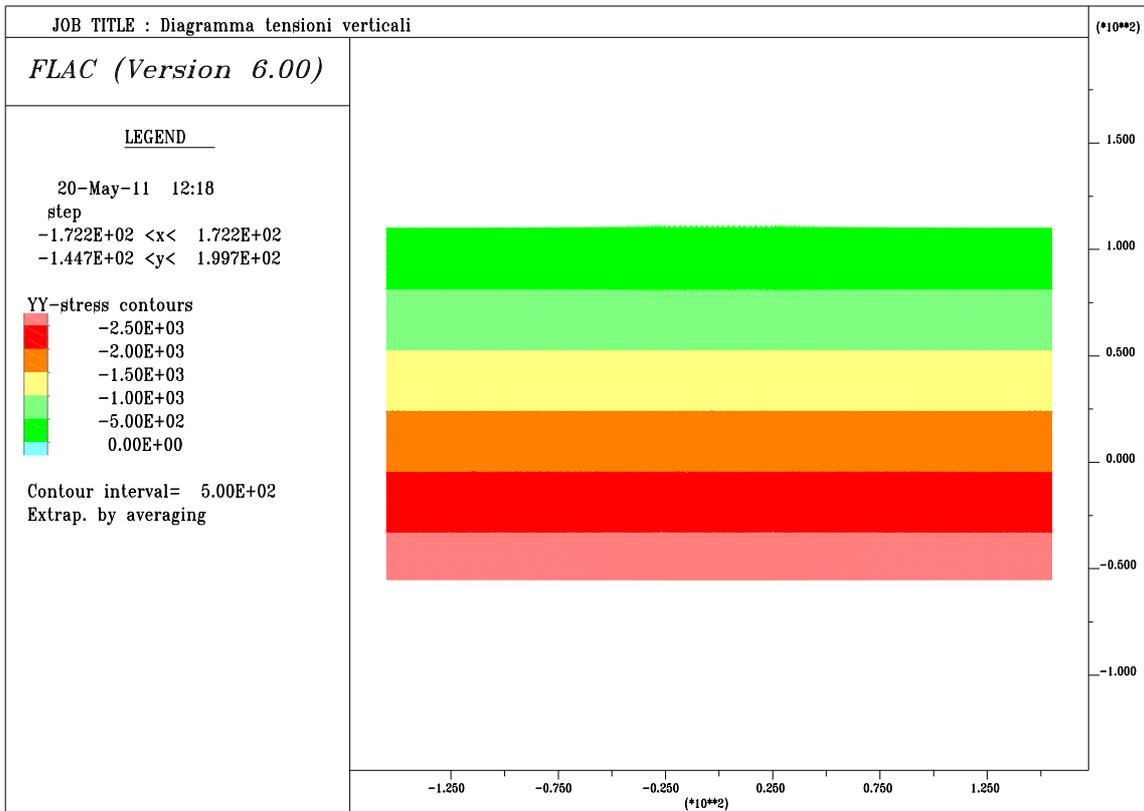
#### FASE 3 – Scavo a piena sezione Canna dx

Si simula lo scavo della canna destra ipotizzando il passaggio della macchina prima della posa in opera dei conci. Si effettua una riduzione delle forze di scavo del 60 %

<i>Cod. elab</i> GN02-Z-RH 001_C.00	<i>Titolo:</i> Galleria naturale Caltanissetta	<i>Data:</i> 20/11/2011
<i>Nome file:</i> 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	<i>Pagina</i> 85 di 119

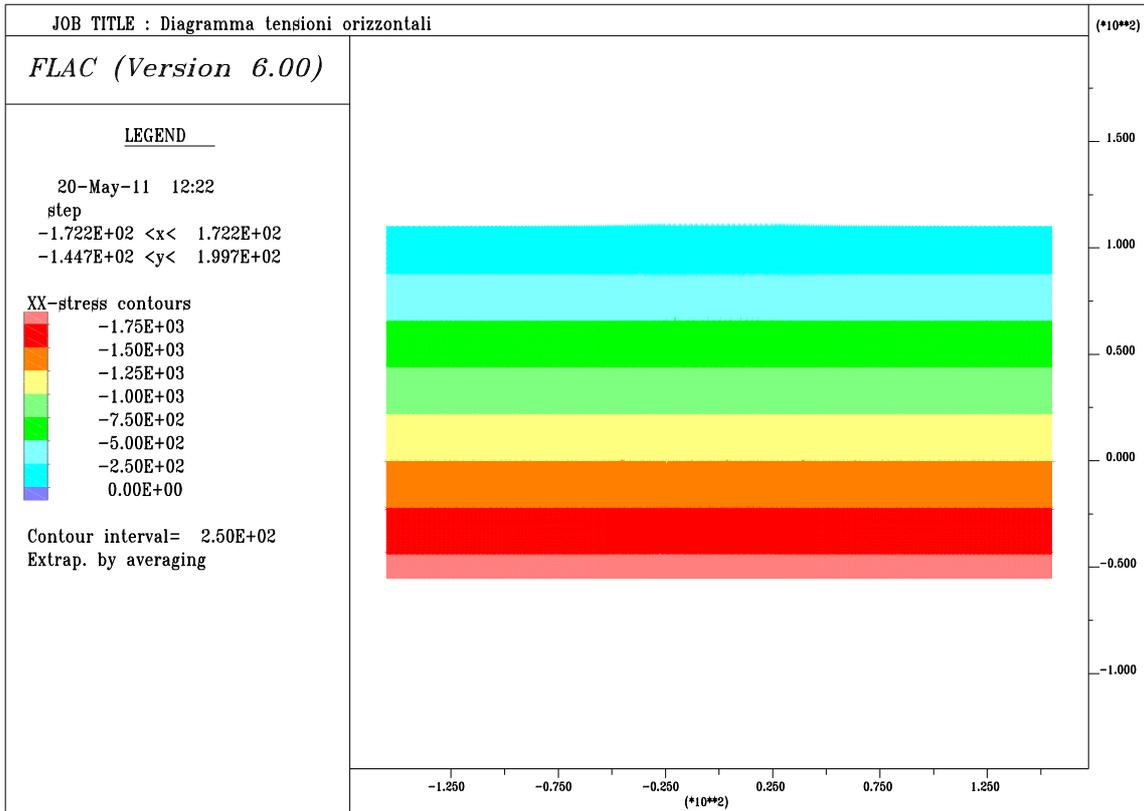
FASE 4 - Avanzamento degli scavi e posizionamento del rivestimento definitivo canna dx  
Viene simulata la messa in opera del rivestimento definitivo in conci prefabbricati della canna destra ( $E=36.416\text{GPa}$ ); si effettua una riduzione delle forze di scavo pari al 100%.

FASE 5 – Risalita del livello di falda fino a circa 50 m al di sopra della calotta delle gallerie.

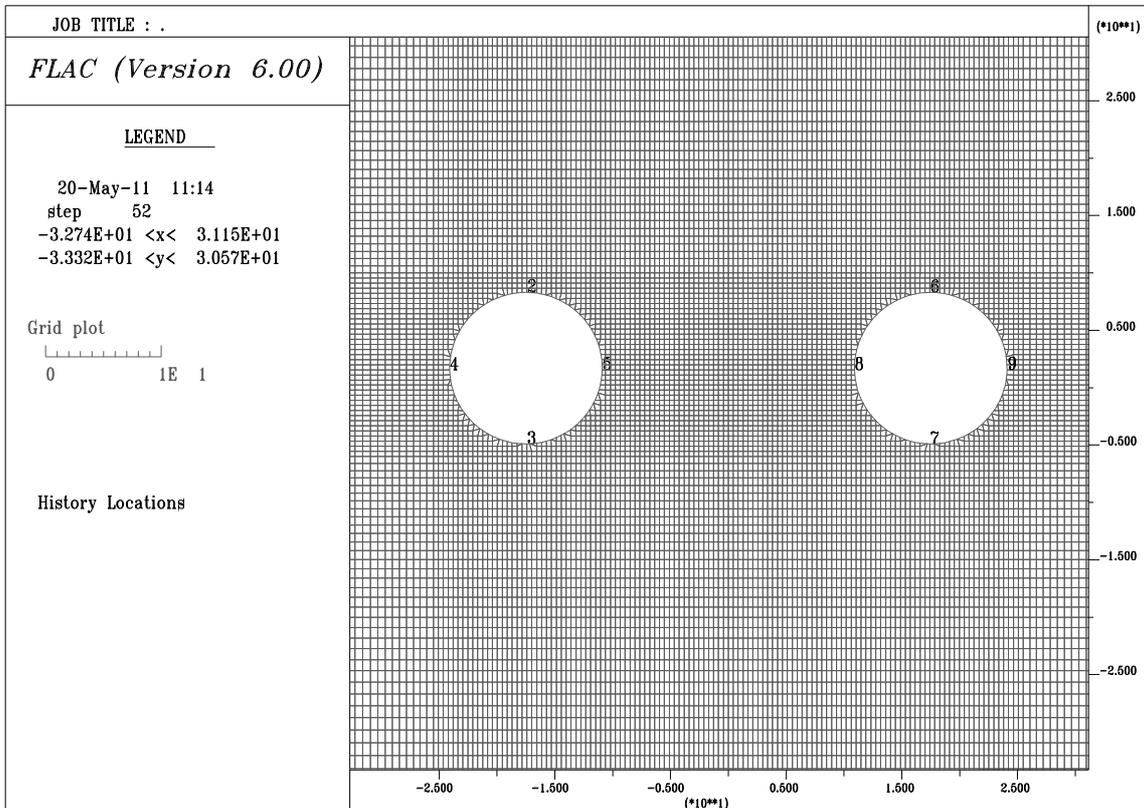


Fase 0 – Litostatico – Diagramma delle tensioni verticali

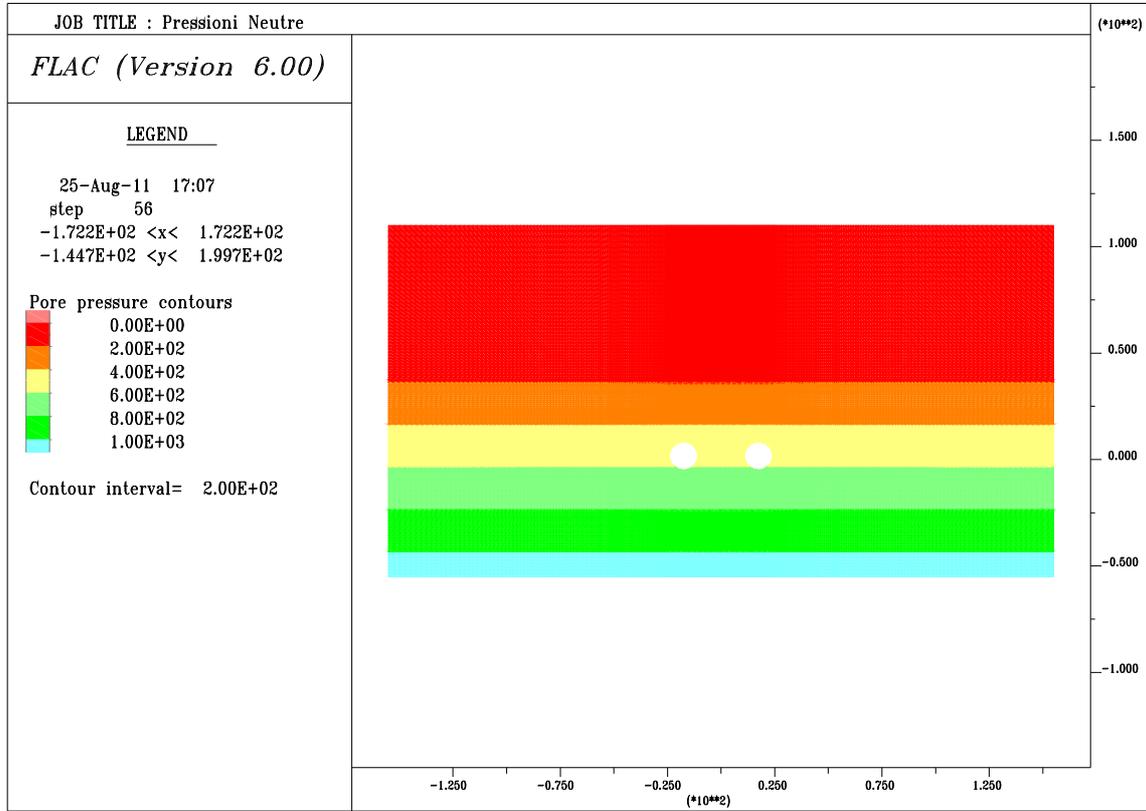
Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	Pagina 86 di 119



Fase 0 – Litostatico – Diagramma delle tensioni orizzontali

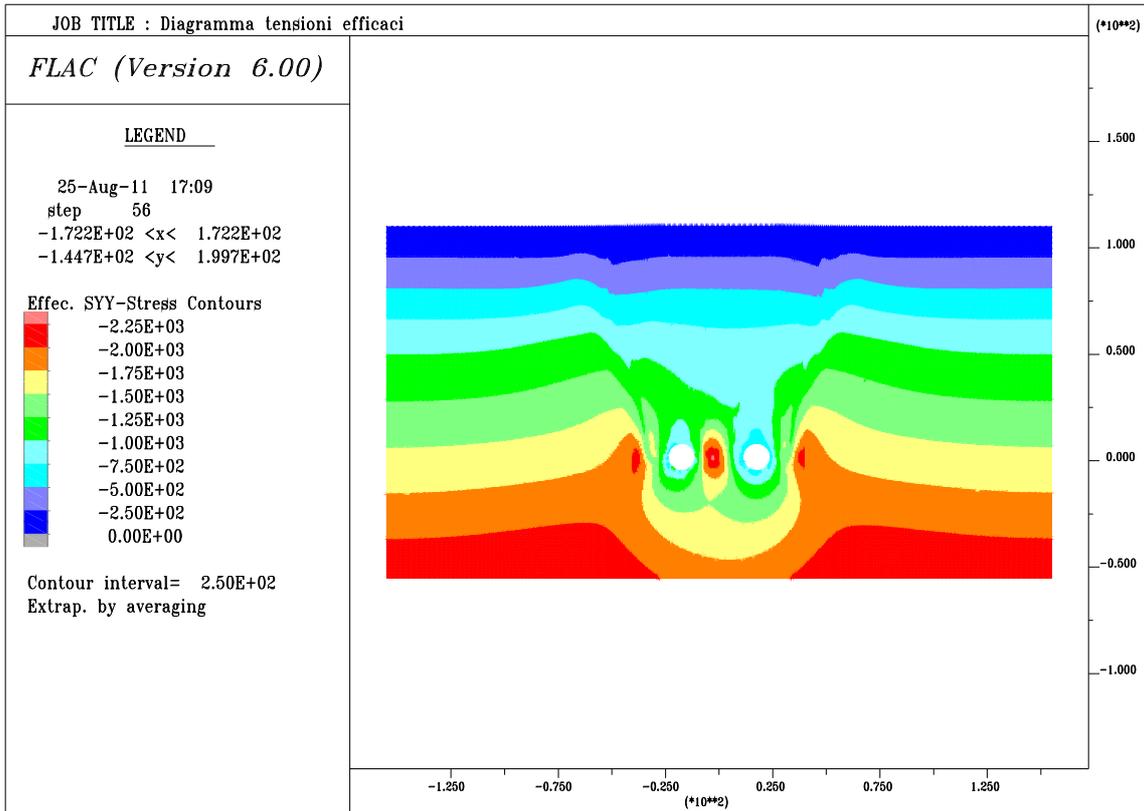


Fase 3 – Scavo della canna dx – Griglia di discretizzazione e punti monitorati

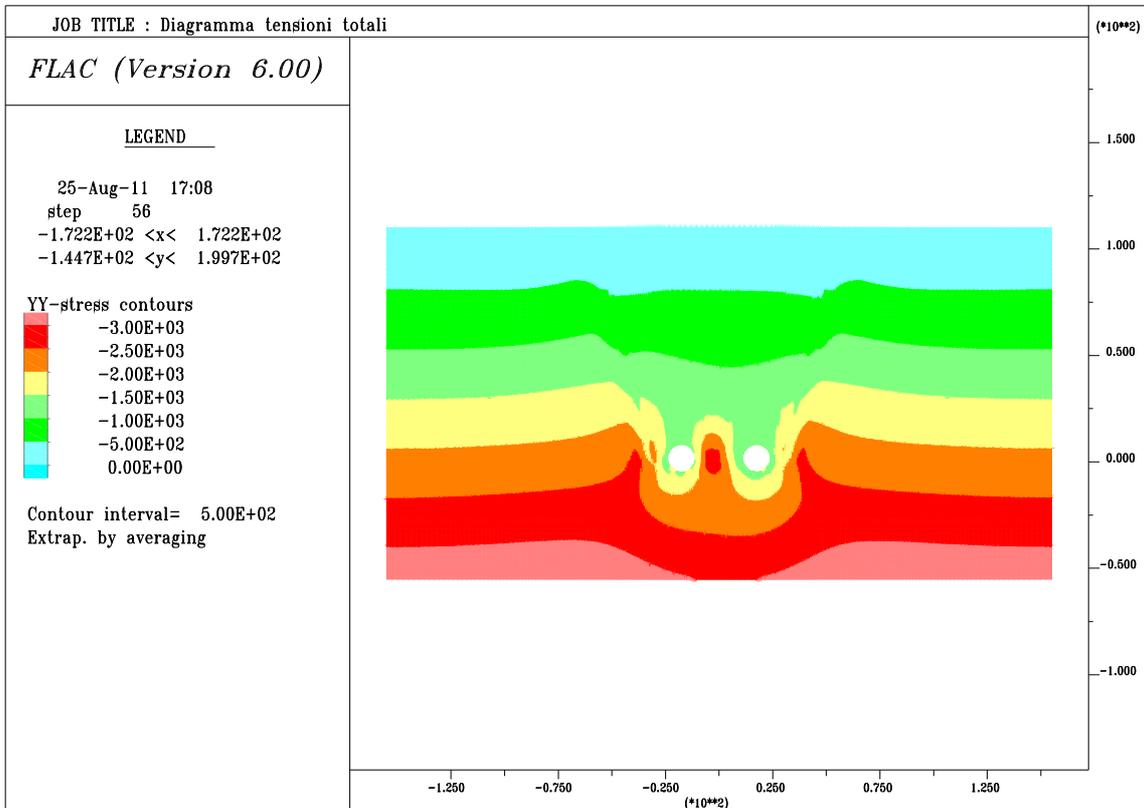


Fase 5 – Risalita del livello di falda – Diagramma delle pressioni neutre

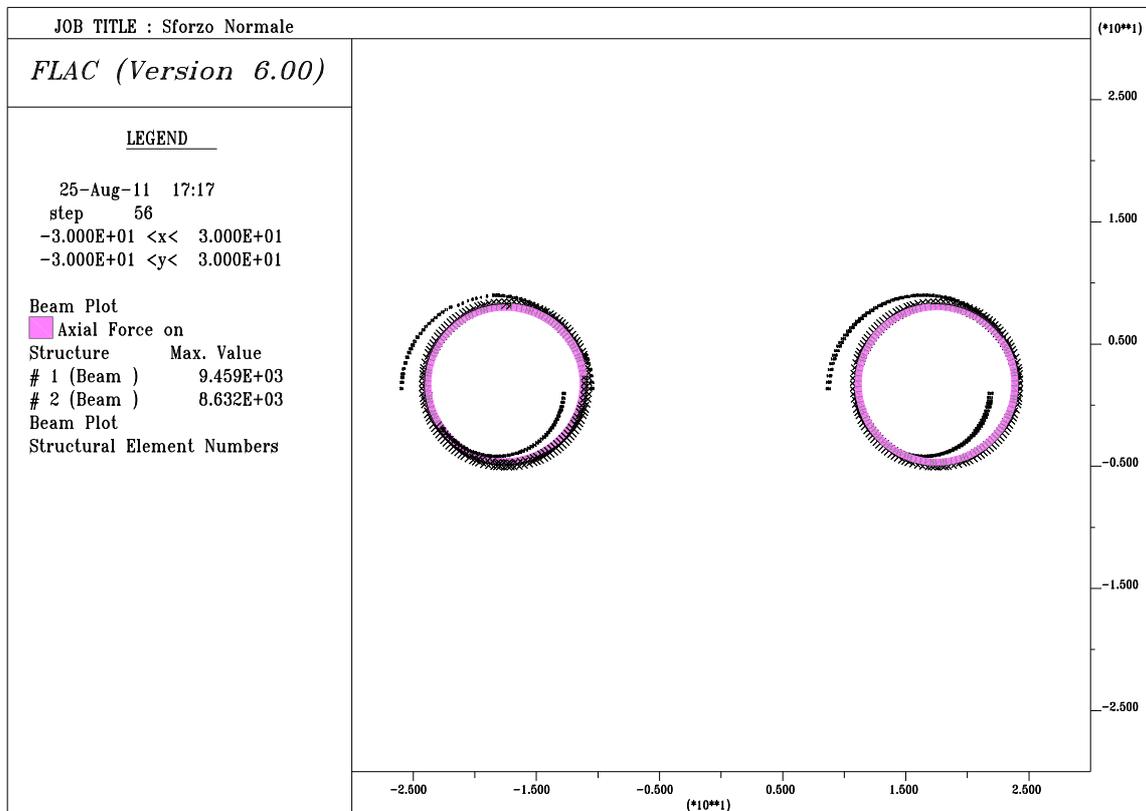
Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	Pagina 88 di 119



Fase 5 – Rialita del livello di falda – Diagramma delle tensioni efficaci

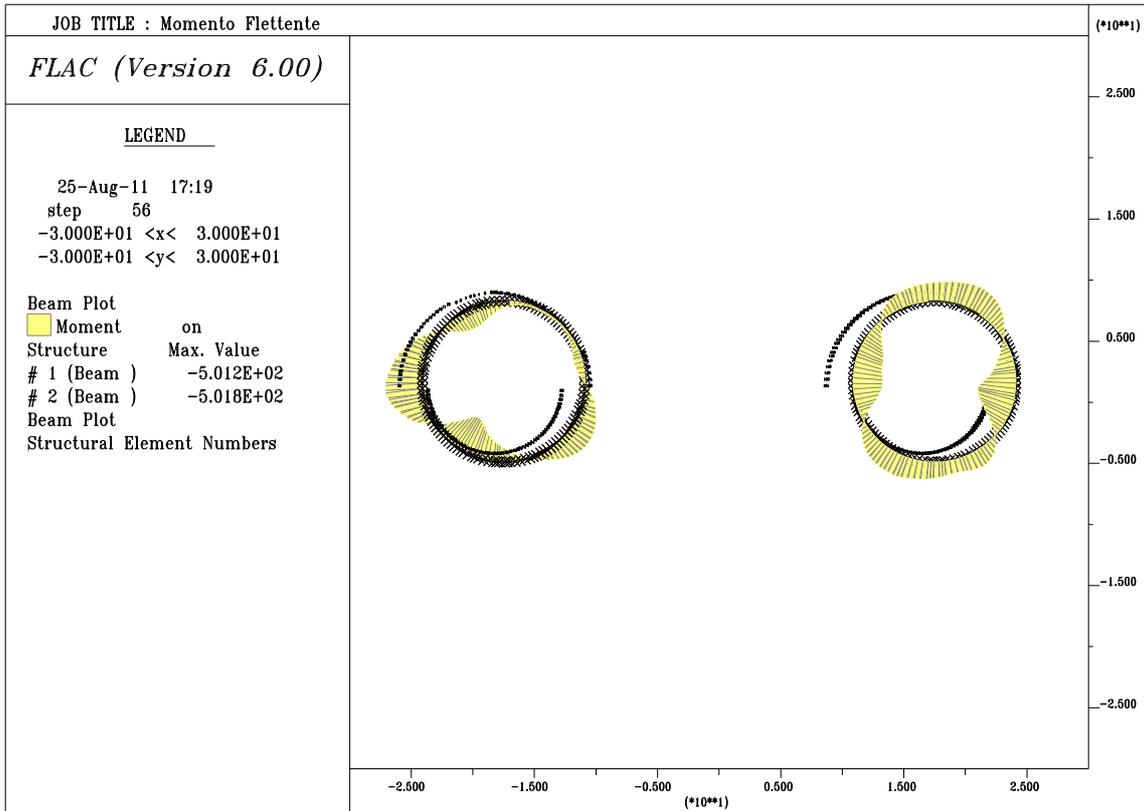


Fase 5 – Risalita del livello di falda – Diagramma delle tensioni totali

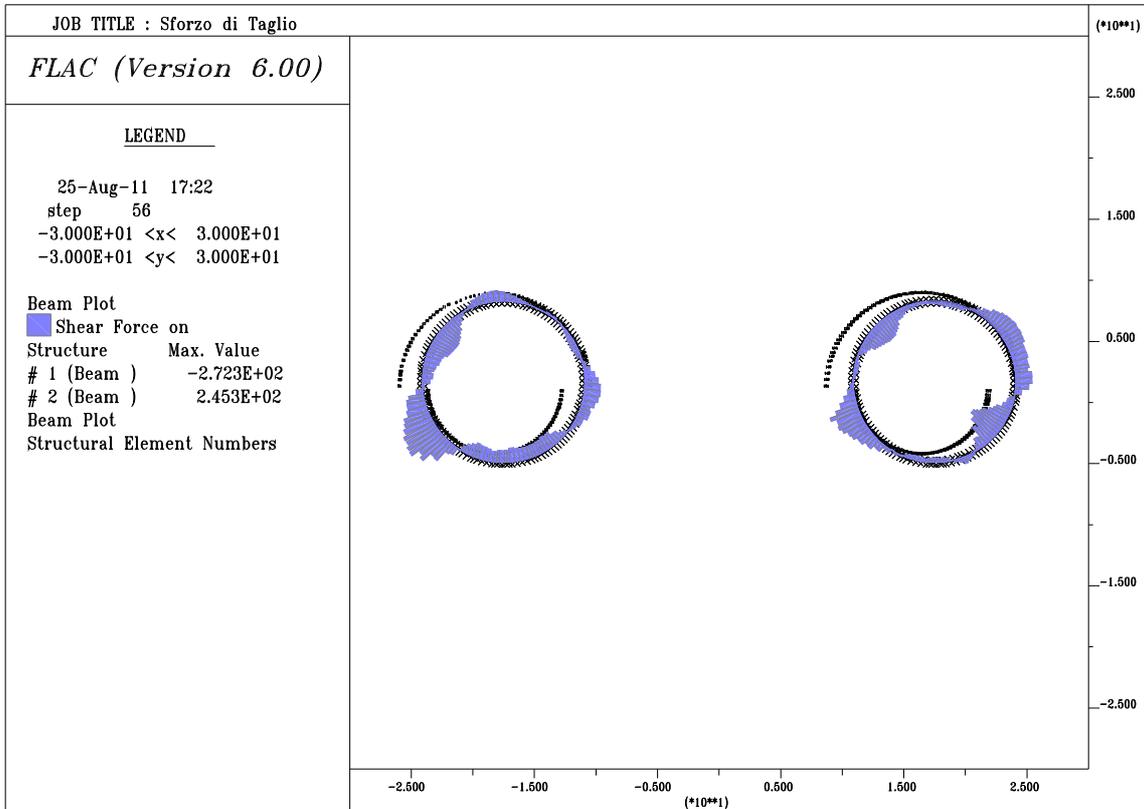


Fase 5 – Risalita del livello di falda – Diagramma delle sollecitazioni di sforzo normale sui rivestimenti

Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	Pagina 90 di 119



Fase 5 – Risalita del livello di falda – Diagramma delle sollecitazioni di momento flettente sui rivestimenti



Fase 5 – Risalita del livello di falda – Diagramma delle sollecitazioni di taglio sui rivestimenti

### 8.3.2 Risultati e verifiche

Le verifiche delle sollecitazioni di pressoflessione sono state condotte nelle sezioni più significative dell'anello.

Di seguito sono riportati i valori delle sollecitazioni ottenute dal codice di calcolo, riferite ad un metro di sviluppo in direzione longitudinale, sia per la galleria di sinistra (scavata per prima) che quella di destra.

Le sollecitazioni di progetto sono riferite a 2.8 m di rivestimento definitivo (2 conci) e sono ottenuti moltiplicando per il coefficiente di sicurezza  $\gamma F=1.3$ .

I valori delle sollecitazioni di progetto possono essere inseriti all'interno del dominio di resistenza per la canna destra e sinistra.

Le sollecitazioni di seguito riportate si riferiscono alla fase finale del calcolo (Fase 5)

Le sollecitazioni maggiori sono concentrate sul lato destro della Canna sinistra (realizzata prima); ciò dipende dall'interazione data dalla realizzazione della canna di destra che produce sovrasollecitazioni sugli elementi più vicini del rivestimento della galleria di sinistra.

### VERIFICA A PRESSOFLESSIONE

Canna sinistra

<b>N</b> <b>[KN/m]</b>	<b>M</b> <b>KN*m/m</b>	<b>N<sub>d</sub></b> <b>[KN]</b>	<b>M<sub>d</sub></b> <b>[KN*m]</b>
9459	502	34431	1827

Dati per le verifiche (considerando un quantitativo di armatura totale pari a circa 230 kg/mc)

$b = 280 \text{ cm}$

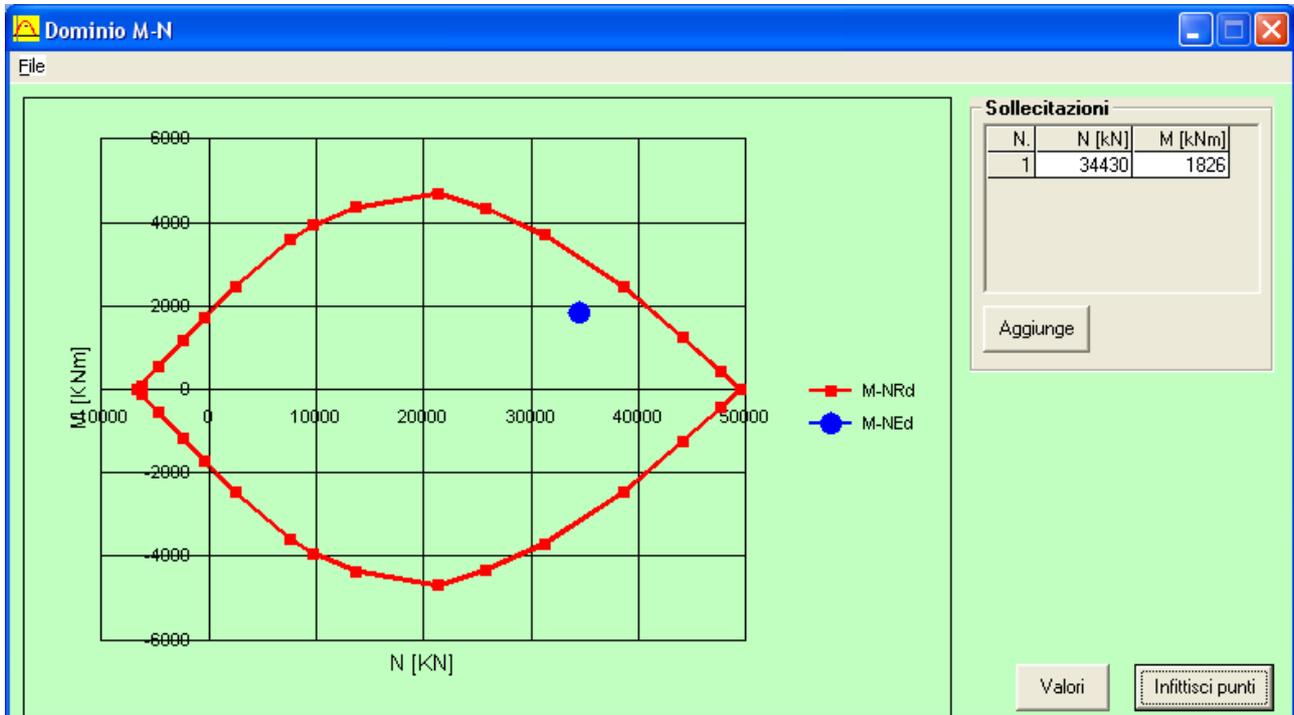
$h = 60 \text{ cm}$

$A'f = 14\Phi 26 = 74.33 \text{ cm}^2$

$A_{\text{intermedia}} = 4\Phi 26 = 21.24 \text{ cm}^2$

$Af = 14\Phi 26 = 74.33 \text{ cm}^2$

<i>Cod. elab</i> GN02-Z-RH 001_C.00	<i>Titolo:</i> Galleria naturale Caltanissetta	<i>Data:</i> 20/11/2011
<i>Nome file:</i> 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	<i>Pagina</i> 92 di 119



**Verifica C.A. S.L.U. - File: Concio sp 60cm**

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008

TITOLO : \_\_\_\_\_

N° figure elementari: 1 Zoom N° strati barre: 3 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	280	60

N°	As [cm²]	d [cm]
1	74.33	3
2	21.24	30
3	74.33	57

**Sollecitazioni**

S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 34.430 26485 kN  
M<sub>xEd</sub> 1.826 1405 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 0

**P.to applicazione N**

Centro Baricentro cls  
Coord.[cm] xN 0 yN 0

**Materiali**

B450C C45/55

ε<sub>su</sub> 67.5 ‰ ε<sub>c2</sub> 2 ‰  
f<sub>yd</sub> 391.3 N/mm² ε<sub>cu</sub> 3.5 ‰  
E<sub>s</sub> 200.000 N/mm² f<sub>cd</sub> 25.5 N/mm²  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0.8  
ε<sub>syd</sub> 1.957 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 16 N/mm²  
σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0.9333  
τ<sub>c1</sub> 2.543

σ<sub>c</sub> -20.01 N/mm²  
ε<sub>s</sub> -0.5998 ‰

**Metodo di calcolo**

S.L.U.+ S.L.U.-  
Metodo n

Verifica N° iterazioni: 0

Precompresso

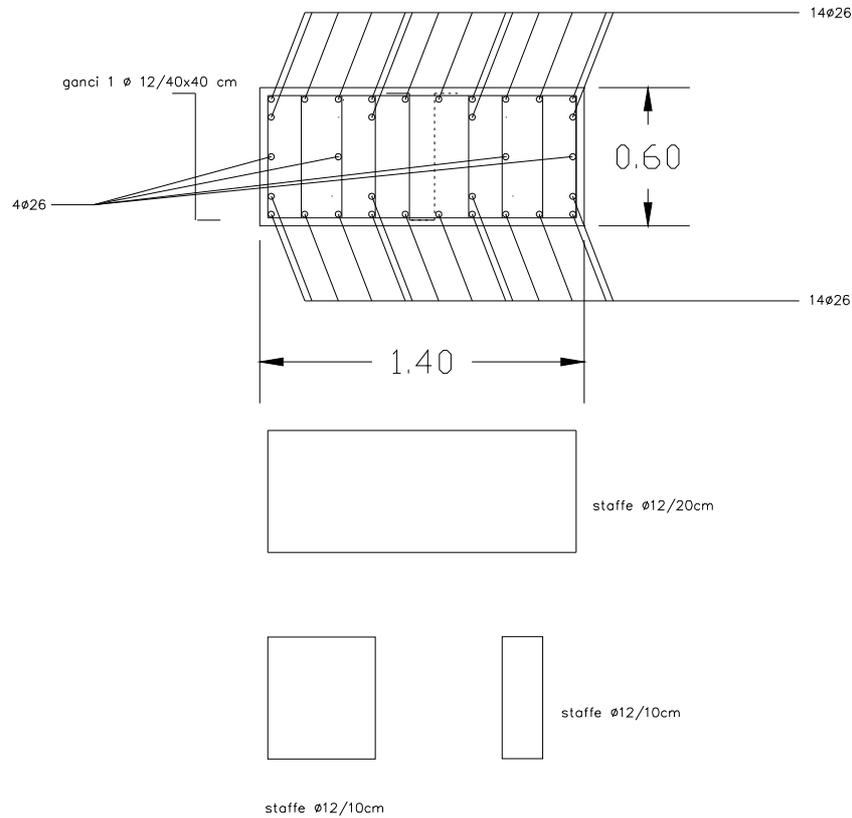
Le condizioni più gravose per i conci si stabiliscono in fase definitiva, con il rivestimento completato. Si verifica pertanto che le massime tensioni nel rivestimento non raggiungano, in condizioni di esercizio, quelle ammissibili per i materiali impiegati. I calcoli delle tensioni agenti vengono eseguiti considerando la possibile parzializzazione della sezione (resistenza a trazione nulla del calcestruzzo) e con un comportamento elastico lineare sia per l'acciaio che per il calcestruzzo compresso. Anche le verifiche allo Stato Limite di Esercizio sono condotte, coerentemente con quanto esplicitato in precedenza, considerando due anelli consecutivi con il quantitativo di armatura relativo ad un solo anello.

Di seguito sono riportati i valori delle sollecitazioni ottenute dal codice di calcolo, per la galleria di sinistra (scavata per prima).

N [KN/m]	M KN*m/m	N <sub>d</sub> [KN]	M <sub>d</sub> [KN*m]	σ <sub>cls</sub> [MPa]	0.45f <sub>ck</sub> [MPa]
9459	502	26485	1406	20.01	20.54

Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	Relazione Geomeccanica e di Calcolo	Pagina 94 di 119

Nella figura seguente è riportata in modo schematico l'armatura di un singolo conco prefabbricato; il quantitativo totale di acciaio si aggira intorno ai 230 kg/m<sup>3</sup> di calcestruzzo.



## VERIFICA ALLE SOLLECITAZIONI TAGLIANTI

La resistenza a taglio  $V_{Rd}$  è data dalla seguente espressione:

$$V_{Rd} = \left\{ 0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_C + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{\min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

Dove:

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} \leq 2$$

$$v_{\min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$$

$d$  è l'altezza utile della sezione (in mm)

$\rho_1 = A_{sl} / (b_w \cdot d)$  è il rapporto geometrico di armatura longitudinale

Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	Pagina 95 di 119

$\sigma_{cp} = N_d / A_C \leq 0.2 \cdot f_{cd}$  è la tensione media di compressione nella sezione

$b_w$  è la larghezza minima della sezione (in mm)

Anche le verifiche nei confronti delle azioni taglianti sono state effettuate, coerentemente con quanto scritto in precedenza, considerando due anelli di rivestimento consecutivi.

In questo caso, per tener conto della possibile discontinuità del rivestimento, si è considerata una larghezza resistente a taglio  $b_w$  pari a 1.40 m.

Di seguito sono riportati i valori delle sollecitazioni ottenute dal codice di calcolo, sia per la galleria di sinistra (scavata per prima), che per quella di destra e le verifiche nelle sezioni di massimo taglio. In particolare viene esplicitato un coefficiente di sicurezza  $\rho$ , che esprime il rapporto tra la resistenza a taglio  $V_{Rd}$  della sezione ed il corrispondente taglio di progetto  $V_d$ .

Le verifiche considerano sollecitazioni corrispondenti ad una larghezza  $b = 2.80$  m di rivestimento definitivo.

V [KN/m]	$V_d$ [KN]	$V_{Rd}$ [KN]	$\rho = V_{Rd}/V_d$
272	990	3107	3.14

## VERIFICA STATICA DEI GIUNTI LONGITUDINALI TRA I CONCI

Le verifiche a compressione dei giunti longitudinali è stata eseguita con il massimo valore di compressione determinato nelle analisi.

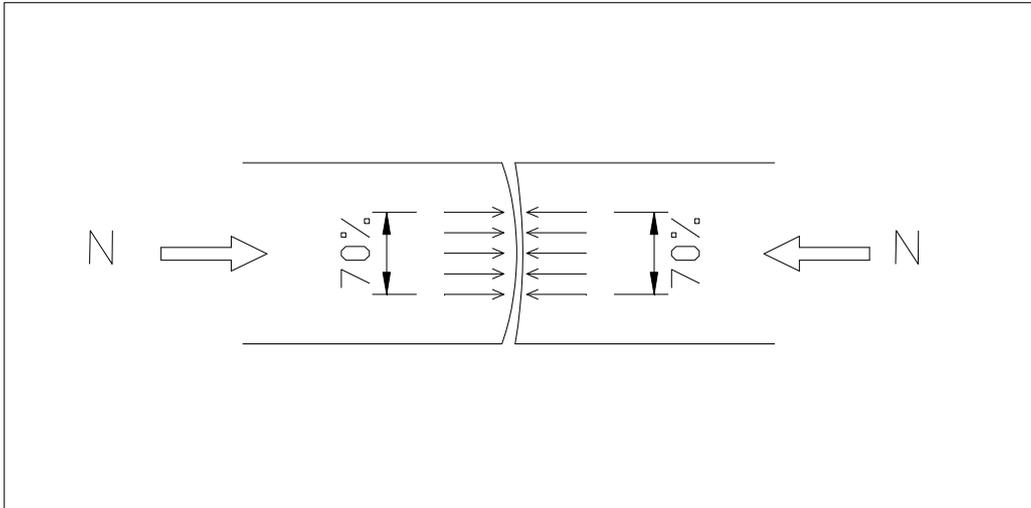
In particolare, per la canna sinistra (scavata per prima):

$N_{max} = 9459$  kN/m

$N_d = 9459 \times 1.3 = 12297$  kN/m

Le massime tensioni di compressione in corrispondenza del giunto sono state determinate ipotizzando, come illustrato nella figura seguente, una superficie di contatto effettiva tra due conci contigui pari al 70% della superficie reale del singolo giunto.

Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	Pagina 96 di 119



Le seguenti tabelle riassumono i risultati delle verifiche eseguite.

Canna sinistra:

Massima compressione (per m lineare di giunto)	$N_d$	12297 kN/m
Percentuale (stimata) della superficie di contatto sul giunto		70 %
Resistenza a compressione effettiva in corrispondenza del giunto	$f_{J1} = f_{cd} \cdot \sqrt{\frac{1}{0,7}}$	30.92 MPa
Massima compressione in corrispondenza del giunto	$\sigma_J = \frac{N_d}{0,7 \cdot h}$	29.28 MPa
Coefficiente di sicurezza	$\alpha = \frac{f_{J1}}{\sigma_J}$	1.06

La resistenza a compressione del calcestruzzo in corrispondenza del concio è stata incrementata, secondo l'espressione riportata, per tener conto dell'effetto cerchiante fornito dalle compressioni in direzione ortogonale al giunto riportate nella figura precedente (cfr. Fritz Leonhardt – Casi speciali di dimensionamento nelle costruzioni in c.a. e c.a.p.).

Il coefficiente di sicurezza  $\alpha$ , dato dal rapporto tra la resistenza a compressione e le massime tensioni nel giunto, risulta maggiore di 1 dunque il giunto risulta in questo caso verificato.

Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	Pagina 97 di 119

## VERIFICA SPINTA MARTINETTI

La spinta alla TBM è fornita da gruppi martinetti provvisti di piastra di ripartizione.

Si ipotizza una spinta di esercizio (nelle zone in faglia) della macchina pari a circa 150000 kN (spinta in condizioni drenate + contributo falda 50 m sopra calotta). Tale spinta viene ripartita su 22 coppie di martinetti (3 coppie per ogni concio + 1 coppia sul concio chiave).

Di conseguenza si avrà una spinta di circa 7000 kN per ogni singola coppia di martinetti; si definisce inoltre l'area della piastra di ripartizione di  $0.40 \text{ m}^2 = 100 \times 40 = (a \times b)$ .

La massima pressione di schiacciamento al di sotto delle piastre risulta essere:

$$\sigma = \gamma F_{Nmax} / (a \times b) = 22.8 \text{ MPa} \leq f_{cd,loc} = 30.43 \text{ MPa}$$

<i>Cod. elab</i> GN02-Z-RH 001_C.00	<i>Titolo:</i> Galleria naturale Caltanissetta	<i>Data:</i> 20/11/2011
<i>Nome file:</i> 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	<i>Pagina</i> 98 di 119

## ALLEGATI DI CALCOLO

### OUTPUT SOLLECITAZIONI

Sollecitazioni Combinazione 1 (A1 + M1) al netto del coefficiente moltiplicativo  $\gamma_e = 1.3$

#### FASE 2

Structural element data ...

Elem ID	Nod1	Nod2	Prop	F-shear	F-axial	Mom-1	Mom-2	strain	
122	1	122	1	11 beam	-2.241E+01	3.017E+03	4.414E+02	-4.510E+02	-1.386E-04
121	1	121	122	11 beam	-3.931E+01	3.018E+03	4.244E+02	-4.411E+02	-1.387E-04
120	1	120	121	11 beam	-5.717E+01	3.027E+03	4.002E+02	-4.240E+02	-1.391E-04
119	1	119	120	11 beam	-7.170E+01	3.043E+03	3.710E+02	-4.002E+02	-1.398E-04
118	1	118	119	11 beam	-8.176E+01	3.063E+03	3.488E+02	-3.708E+02	-1.407E-04
117	1	117	118	11 beam	-8.588E+01	3.080E+03	3.253E+02	-3.484E+02	-1.415E-04
116	1	116	117	11 beam	-9.410E+01	3.103E+03	2.877E+02	-3.252E+02	-1.426E-04
115	1	115	116	11 beam	-1.051E+02	3.126E+03	2.567E+02	-2.874E+02	-1.436E-04
114	1	114	115	11 beam	-1.134E+02	3.150E+03	2.234E+02	-2.566E+02	-1.447E-04
113	1	113	114	11 beam	-1.220E+02	3.186E+03	1.779E+02	-2.234E+02	-1.463E-04
112	1	112	113	11 beam	-1.287E+02	3.227E+03	1.389E+02	-1.779E+02	-1.482E-04
111	1	111	112	11 beam	-1.313E+02	3.264E+03	9.922E+01	-1.390E+02	-1.500E-04
110	1	110	111	11 beam	-1.378E+02	3.312E+03	5.368E+01	-9.943E+01	-1.521E-04
109	1	109	110	11 beam	-1.354E+02	3.355E+03	1.317E+01	-5.390E+01	-1.541E-04
108	1	108	109	11 beam	-1.366E+02	3.404E+03	-2.793E+01	-1.314E+01	-1.564E-04
107	1	107	108	11 beam	-1.289E+02	3.447E+03	-6.699E+01	2.808E+01	-1.583E-04
106	1	106	107	11 beam	-1.258E+02	3.498E+03	-1.048E+02	6.680E+01	-1.607E-04
105	1	105	106	11 beam	-1.169E+02	3.547E+03	-1.455E+02	1.046E+02	-1.629E-04
104	1	104	105	11 beam	-1.100E+02	3.604E+03	-1.792E+02	1.454E+02	-1.655E-04
103	1	103	104	11 beam	-1.012E+02	3.650E+03	-2.104E+02	1.793E+02	-1.676E-04
102	1	102	103	11 beam	-9.580E+01	3.698E+03	-2.385E+02	2.102E+02	-1.699E-04
101	1	101	102	11 beam	-9.035E+01	3.743E+03	-2.652E+02	2.385E+02	-1.719E-04
100	1	100	101	11 beam	-8.413E+01	3.791E+03	-2.991E+02	2.652E+02	-1.741E-04
99	1	99	100	11 beam	-7.864E+01	3.838E+03	-3.212E+02	2.992E+02	-1.763E-04
98	1	98	99	11 beam	-7.088E+01	3.874E+03	-3.412E+02	3.214E+02	-1.780E-04
97	1	97	98	11 beam	-5.943E+01	3.910E+03	-3.660E+02	3.411E+02	-1.796E-04

Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	Pagina 99 di 119

PROGETTO ESECUTIVO

96	1	96	97	11	beam	-4.537E+01	3.950E+03	-3.859E+02	3.663E+02	-1.815E-04
95	1	95	96	11	beam	-3.183E+01	3.984E+03	-4.000E+02	3.859E+02	-1.830E-04
94	1	94	95	11	beam	-1.992E+01	4.010E+03	-4.092E+02	4.002E+02	-1.842E-04
93	1	93	94	11	beam	-8.144E+00	4.026E+03	-4.131E+02	4.094E+02	-1.849E-04
92	1	92	93	11	beam	3.398E+00	4.031E+03	-4.116E+02	4.131E+02	-1.852E-04
91	1	91	92	11	beam	1.722E+01	4.025E+03	-4.039E+02	4.116E+02	-1.849E-04
90	1	90	91	11	beam	3.203E+01	4.011E+03	-3.901E+02	4.041E+02	-1.842E-04
89	1	89	90	11	beam	4.682E+01	3.988E+03	-3.703E+02	3.902E+02	-1.832E-04
88	1	88	89	11	beam	6.101E+01	3.965E+03	-3.531E+02	3.701E+02	-1.821E-04
87	1	87	88	11	beam	7.169E+01	3.944E+03	-3.329E+02	3.529E+02	-1.812E-04
86	1	86	87	11	beam	8.373E+01	3.909E+03	-2.985E+02	3.329E+02	-1.796E-04
85	1	85	86	11	beam	9.630E+01	3.871E+03	-2.697E+02	2.983E+02	-1.778E-04
84	1	84	85	11	beam	1.060E+02	3.837E+03	-2.383E+02	2.698E+02	-1.763E-04
83	1	83	84	11	beam	1.140E+02	3.791E+03	-1.952E+02	2.383E+02	-1.741E-04
82	1	82	83	11	beam	1.205E+02	3.746E+03	-1.586E+02	1.949E+02	-1.721E-04
81	1	81	82	11	beam	1.265E+02	3.700E+03	-1.201E+02	1.583E+02	-1.700E-04
80	1	80	81	11	beam	1.343E+02	3.657E+03	-7.848E+01	1.196E+02	-1.680E-04
79	1	79	80	11	beam	1.381E+02	3.610E+03	-3.634E+01	7.866E+01	-1.658E-04
78	1	78	79	11	beam	1.467E+02	3.564E+03	8.678E+00	3.624E+01	-1.637E-04
77	1	77	78	11	beam	1.491E+02	3.515E+03	5.424E+01	-8.571E+00	-1.615E-04
76	1	76	77	11	beam	1.564E+02	3.471E+03	1.012E+02	-5.416E+01	-1.595E-04
75	1	75	76	11	beam	1.491E+02	3.428E+03	1.462E+02	-1.014E+02	-1.575E-04
74	1	74	75	11	beam	1.419E+02	3.385E+03	1.963E+02	-1.463E+02	-1.555E-04
73	1	73	74	11	beam	1.251E+02	3.343E+03	2.335E+02	-1.964E+02	-1.536E-04
72	1	72	73	11	beam	1.133E+02	3.314E+03	2.671E+02	-2.335E+02	-1.522E-04
71	1	71	72	11	beam	9.721E+01	3.291E+03	3.046E+02	-2.671E+02	-1.512E-04
70	1	70	71	11	beam	8.337E+01	3.270E+03	3.282E+02	-3.049E+02	-1.502E-04
69	1	69	70	11	beam	7.318E+01	3.249E+03	3.485E+02	-3.281E+02	-1.492E-04
68	1	68	69	11	beam	5.748E+01	3.232E+03	3.716E+02	-3.486E+02	-1.485E-04
67	1	67	68	11	beam	4.535E+01	3.198E+03	3.904E+02	-3.716E+02	-1.469E-04
66	1	66	67	11	beam	3.837E+01	3.181E+03	4.069E+02	-3.905E+02	-1.461E-04
65	1	65	66	11	beam	3.030E+01	3.158E+03	4.201E+02	-4.070E+02	-1.451E-04
64	1	64	65	11	beam	2.412E+01	3.151E+03	4.255E+02	-4.201E+02	-1.447E-04
63	1	63	64	11	beam	1.916E+01	3.146E+03	4.297E+02	-4.254E+02	-1.445E-04
62	1	62	63	11	beam	9.316E+00	3.147E+03	4.336E+02	-4.298E+02	-1.446E-04
61	1	61	62	11	beam	-2.880E+00	3.155E+03	4.331E+02	-4.338E+02	-1.449E-04
60	1	60	61	11	beam	-1.245E+01	3.162E+03	4.302E+02	-4.330E+02	-1.452E-04
59	1	59	60	11	beam	-2.331E+01	3.172E+03	4.201E+02	-4.301E+02	-1.457E-04

Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	Pagina 100 di 119

PROGETTO ESECUTIVO

58	1	58	59	11	beam	-3.449E+01	3.193E+03	4.059E+02	-4.203E+02	-1.467E-04
57	1	57	58	11	beam	-5.032E+01	3.211E+03	3.856E+02	-4.060E+02	-1.475E-04
56	1	56	57	11	beam	-6.467E+01	3.230E+03	3.675E+02	-3.855E+02	-1.484E-04
55	1	55	56	11	beam	-8.231E+01	3.235E+03	3.447E+02	-3.676E+02	-1.486E-04
54	1	54	55	11	beam	-9.848E+01	3.261E+03	3.056E+02	-3.443E+02	-1.498E-04
53	1	53	54	11	beam	-1.187E+02	3.291E+03	2.612E+02	-3.052E+02	-1.512E-04
52	1	52	53	11	beam	-1.258E+02	3.327E+03	2.236E+02	-2.605E+02	-1.528E-04
51	1	51	52	11	beam	-1.364E+02	3.364E+03	1.834E+02	-2.233E+02	-1.545E-04
50	1	50	51	11	beam	-1.429E+02	3.405E+03	1.392E+02	-1.826E+02	-1.564E-04
49	1	49	50	11	beam	-1.483E+02	3.433E+03	9.414E+01	-1.392E+02	-1.577E-04
48	1	48	49	11	beam	-1.566E+02	3.481E+03	4.520E+01	-9.385E+01	-1.599E-04
47	1	47	48	11	beam	-1.532E+02	3.519E+03	-2.715E+00	-4.487E+01	-1.616E-04
46	1	46	47	11	beam	-1.532E+02	3.568E+03	-5.075E+01	2.951E+00	-1.639E-04
45	1	45	46	11	beam	-1.436E+02	3.607E+03	-9.544E+01	5.066E+01	-1.657E-04
44	1	44	45	11	beam	-1.374E+02	3.656E+03	-1.378E+02	9.548E+01	-1.680E-04
43	1	43	44	11	beam	-1.286E+02	3.699E+03	-1.772E+02	1.377E+02	-1.699E-04
42	1	42	43	11	beam	-1.221E+02	3.744E+03	-2.135E+02	1.771E+02	-1.720E-04
41	1	41	42	11	beam	-1.142E+02	3.784E+03	-2.475E+02	2.135E+02	-1.738E-04
40	1	40	41	11	beam	-1.048E+02	3.826E+03	-2.887E+02	2.474E+02	-1.757E-04
39	1	39	40	11	beam	-9.834E+01	3.869E+03	-3.170E+02	2.888E+02	-1.777E-04
38	1	38	39	11	beam	-9.064E+01	3.901E+03	-3.429E+02	3.169E+02	-1.792E-04
37	1	37	38	11	beam	-7.851E+01	3.931E+03	-3.759E+02	3.432E+02	-1.805E-04
36	1	36	37	11	beam	-6.630E+01	3.965E+03	-4.049E+02	3.761E+02	-1.821E-04
35	1	35	36	11	beam	-5.387E+01	3.988E+03	-4.189E+02	4.051E+02	-1.832E-04
34	1	34	35	11	beam	-4.196E+01	4.001E+03	-4.301E+02	4.193E+02	-1.838E-04
33	1	33	34	11	beam	-2.592E+01	4.010E+03	-4.415E+02	4.304E+02	-1.842E-04
32	1	32	33	11	beam	-1.013E+01	4.014E+03	-4.461E+02	4.417E+02	-1.844E-04
31	1	31	32	11	beam	4.906E+00	4.010E+03	-4.440E+02	4.462E+02	-1.842E-04
30	1	30	31	11	beam	1.938E+01	3.996E+03	-4.355E+02	4.439E+02	-1.836E-04
29	1	29	30	11	beam	3.393E+01	3.981E+03	-4.268E+02	4.353E+02	-1.829E-04
28	1	28	29	11	beam	4.809E+01	3.963E+03	-4.148E+02	4.269E+02	-1.821E-04
27	1	27	28	11	beam	5.868E+01	3.933E+03	-3.888E+02	4.148E+02	-1.807E-04
26	1	26	27	11	beam	7.068E+01	3.893E+03	-3.587E+02	3.890E+02	-1.788E-04
25	1	25	26	11	beam	8.105E+01	3.844E+03	-3.255E+02	3.588E+02	-1.766E-04
24	1	24	25	11	beam	9.147E+01	3.802E+03	-2.992E+02	3.254E+02	-1.746E-04
23	1	23	24	11	beam	9.908E+01	3.761E+03	-2.708E+02	2.992E+02	-1.727E-04
22	1	22	23	11	beam	1.048E+02	3.718E+03	-2.390E+02	2.707E+02	-1.708E-04
21	1	21	22	11	beam	1.116E+02	3.672E+03	-2.052E+02	2.390E+02	-1.687E-04

20	1	20	21	11	beam	1.180E+02	3.617E+03	-1.611E+02	2.051E+02	-1.661E-04
19	1	19	20	11	beam	1.242E+02	3.564E+03	-1.230E+02	1.608E+02	-1.637E-04
18	1	18	19	11	beam	1.290E+02	3.512E+03	-8.354E+01	1.227E+02	-1.613E-04
17	1	17	18	11	beam	1.379E+02	3.469E+03	-4.132E+01	8.368E+01	-1.594E-04
16	1	16	17	11	beam	1.435E+02	3.419E+03	2.787E+00	4.126E+01	-1.571E-04
15	1	15	16	11	beam	1.484E+02	3.376E+03	4.877E+01	-3.532E+00	-1.551E-04
14	1	14	15	11	beam	1.488E+02	3.331E+03	9.412E+01	-4.874E+01	-1.530E-04
13	1	13	14	11	beam	1.512E+02	3.292E+03	1.393E+02	-9.424E+01	-1.512E-04
12	1	12	13	11	beam	1.450E+02	3.246E+03	1.828E+02	-1.397E+02	-1.491E-04
11	1	11	12	11	beam	1.384E+02	3.206E+03	2.325E+02	-1.831E+02	-1.473E-04
10	1	10	11	11	beam	1.308E+02	3.170E+03	2.705E+02	-2.325E+02	-1.456E-04
9	1	9	10	11	beam	1.169E+02	3.136E+03	3.044E+02	-2.705E+02	-1.441E-04
8	1	8	9	11	beam	1.030E+02	3.111E+03	3.446E+02	-3.049E+02	-1.429E-04
7	1	7	8	11	beam	8.757E+01	3.082E+03	3.804E+02	-3.449E+02	-1.416E-04
6	1	6	7	11	beam	7.533E+01	3.063E+03	4.009E+02	-3.807E+02	-1.407E-04
5	1	5	6	11	beam	6.202E+01	3.051E+03	4.179E+02	-4.013E+02	-1.401E-04
4	1	4	5	11	beam	4.596E+01	3.035E+03	4.367E+02	-4.178E+02	-1.394E-04
3	1	3	4	11	beam	2.890E+01	3.025E+03	4.485E+02	-4.364E+02	-1.389E-04
2	1	2	3	11	beam	1.180E+01	3.018E+03	4.536E+02	-4.485E+02	-1.386E-04
1	1	1	2	11	beam	-4.609E+00	3.016E+03	4.512E+02	-4.532E+02	-1.385E-04

### FASE 3

Structural element data ...

Elem ID	Nod1	Nod2	Prop		F-shear	F-axial	Mom-1	Mom-2	strain	
122	1	122	1	11	beam	-4.055E-01	5.158E+03	5.189E+02	-5.191E+02	-2.369E-04
121	1	121	122	11	beam	-2.263E+01	5.211E+03	5.094E+02	-5.190E+02	-2.393E-04
120	1	120	121	11	beam	-4.421E+01	5.274E+03	4.911E+02	-5.095E+02	-2.423E-04
119	1	119	120	11	beam	-6.228E+01	5.346E+03	4.657E+02	-4.910E+02	-2.456E-04
118	1	118	119	11	beam	-7.664E+01	5.413E+03	4.449E+02	-4.656E+02	-2.487E-04
117	1	117	118	11	beam	-8.898E+01	5.471E+03	4.209E+02	-4.449E+02	-2.513E-04
116	1	116	117	11	beam	-1.005E+02	5.546E+03	3.809E+02	-4.209E+02	-2.548E-04
115	1	115	116	11	beam	-1.136E+02	5.623E+03	3.478E+02	-3.809E+02	-2.583E-04
114	1	114	115	11	beam	-1.224E+02	5.696E+03	3.119E+02	-3.477E+02	-2.617E-04
113	1	113	114	11	beam	-1.320E+02	5.787E+03	2.626E+02	-3.119E+02	-2.658E-04
112	1	112	113	11	beam	-1.331E+02	5.885E+03	2.224E+02	-2.628E+02	-2.703E-04

Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	Pagina 102 di 119

111 1 111 112 11 beam -1.322E+02 5.975E+03 1.825E+02 -2.225E+02 -2.745E-04  
 110 1 110 111 11 beam -1.287E+02 6.074E+03 1.397E+02 -1.825E+02 -2.790E-04  
 109 1 109 110 11 beam -1.221E+02 6.166E+03 1.032E+02 -1.399E+02 -2.833E-04  
 108 1 108 109 11 beam -1.117E+02 6.261E+03 6.971E+01 -1.033E+02 -2.876E-04  
 107 1 107 108 11 beam -1.013E+02 6.347E+03 3.915E+01 -6.973E+01 -2.915E-04  
 106 1 106 107 11 beam -8.497E+01 6.439E+03 1.343E+01 -3.909E+01 -2.958E-04  
 105 1 105 106 11 beam -7.010E+01 6.527E+03 -1.102E+01 -1.350E+01 -2.998E-04  
 104 1 104 105 11 beam -4.920E+01 6.625E+03 -2.593E+01 1.080E+01 -3.043E-04  
 103 1 103 104 11 beam -4.111E+01 6.696E+03 -3.855E+01 2.590E+01 -3.076E-04  
 102 1 102 103 11 beam -3.525E+01 6.776E+03 -4.895E+01 3.853E+01 -3.112E-04  
 101 1 101 102 11 beam -2.642E+01 6.853E+03 -5.670E+01 4.889E+01 -3.148E-04  
 100 1 100 101 11 beam -3.086E+01 6.930E+03 -6.920E+01 5.676E+01 -3.183E-04  
 99 1 99 100 11 beam -3.619E+01 7.011E+03 -7.922E+01 6.909E+01 -3.220E-04  
 98 1 98 99 11 beam -3.562E+01 7.074E+03 -8.915E+01 7.918E+01 -3.249E-04  
 97 1 97 98 11 beam -4.659E+01 7.138E+03 -1.086E+02 8.902E+01 -3.279E-04  
 96 1 96 97 11 beam -5.726E+01 7.217E+03 -1.335E+02 1.086E+02 -3.315E-04  
 95 1 95 96 11 beam -7.161E+01 7.293E+03 -1.653E+02 1.335E+02 -3.350E-04  
 94 1 94 95 11 beam -8.870E+01 7.362E+03 -2.053E+02 1.652E+02 -3.382E-04  
 93 1 93 94 11 beam -1.062E+02 7.421E+03 -2.535E+02 2.053E+02 -3.409E-04  
 92 1 92 93 11 beam -1.207E+02 7.468E+03 -3.083E+02 2.536E+02 -3.431E-04  
 91 1 91 92 11 beam -1.279E+02 7.502E+03 -3.655E+02 3.082E+02 -3.446E-04  
 90 1 90 91 11 beam -1.275E+02 7.520E+03 -4.213E+02 3.654E+02 -3.454E-04  
 89 1 89 90 11 beam -1.190E+02 7.522E+03 -4.718E+02 4.212E+02 -3.455E-04  
 88 1 88 89 11 beam -1.090E+02 7.512E+03 -5.024E+02 4.719E+02 -3.451E-04  
 87 1 87 88 11 beam -1.041E+02 7.509E+03 -5.316E+02 5.025E+02 -3.449E-04  
 86 1 86 87 11 beam -7.423E+01 7.466E+03 -5.622E+02 5.317E+02 -3.429E-04  
 85 1 85 86 11 beam -5.146E+01 7.416E+03 -5.775E+02 5.622E+02 -3.407E-04  
 84 1 84 85 11 beam -3.715E+01 7.380E+03 -5.885E+02 5.775E+02 -3.390E-04  
 83 1 83 84 11 beam 9.751E-01 7.302E+03 -5.883E+02 5.886E+02 -3.354E-04  
 82 1 82 83 11 beam 2.476E+01 7.222E+03 -5.808E+02 5.883E+02 -3.317E-04  
 81 1 81 82 11 beam 5.950E+01 7.135E+03 -5.628E+02 5.807E+02 -3.277E-04  
 80 1 80 81 11 beam 9.013E+01 7.047E+03 -5.353E+02 5.629E+02 -3.237E-04  
 79 1 79 80 11 beam 1.244E+02 6.943E+03 -4.974E+02 5.355E+02 -3.189E-04  
 78 1 78 79 11 beam 1.637E+02 6.841E+03 -4.474E+02 4.975E+02 -3.142E-04  
 77 1 77 78 11 beam 1.920E+02 6.729E+03 -3.884E+02 4.473E+02 -3.091E-04  
 76 1 76 77 11 beam 2.243E+02 6.622E+03 -3.210E+02 3.885E+02 -3.042E-04  
 75 1 75 76 11 beam 2.326E+02 6.506E+03 -2.511E+02 3.210E+02 -2.989E-04  
 74 1 74 75 11 beam 2.577E+02 6.385E+03 -1.601E+02 2.509E+02 -2.933E-04

Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	Pagina 103 di 119

PROGETTO ESECUTIVO

73	1	73	74	11	beam	2.562E+02	6.260E+03	-8.417E+01	1.600E+02	-2.875E-04
72	1	72	73	11	beam	2.619E+02	6.134E+03	-6.686E+00	8.424E+01	-2.818E-04
71	1	71	72	11	beam	2.567E+02	6.023E+03	9.237E+01	6.511E+00	-2.767E-04
70	1	70	71	11	beam	2.475E+02	5.910E+03	1.616E+02	-9.262E+01	-2.715E-04
69	1	69	70	11	beam	2.302E+02	5.811E+03	2.260E+02	-1.618E+02	-2.669E-04
68	1	68	69	11	beam	2.139E+02	5.695E+03	3.119E+02	-2.261E+02	-2.616E-04
67	1	67	68	11	beam	1.924E+02	5.557E+03	3.919E+02	-3.120E+02	-2.553E-04
66	1	66	67	11	beam	1.700E+02	5.443E+03	4.646E+02	-3.921E+02	-2.500E-04
65	1	65	66	11	beam	1.515E+02	5.304E+03	5.305E+02	-4.646E+02	-2.437E-04
64	1	64	65	11	beam	1.186E+02	5.208E+03	5.570E+02	-5.306E+02	-2.392E-04
63	1	63	64	11	beam	1.123E+02	5.107E+03	5.819E+02	-5.569E+02	-2.346E-04
62	1	62	63	11	beam	9.177E+01	5.003E+03	6.196E+02	-5.818E+02	-2.298E-04
61	1	61	62	11	beam	7.495E+01	4.907E+03	6.368E+02	-6.196E+02	-2.254E-04
60	1	60	61	11	beam	5.949E+01	4.852E+03	6.505E+02	-6.368E+02	-2.229E-04
59	1	59	60	11	beam	4.187E+01	4.775E+03	6.685E+02	-6.505E+02	-2.193E-04
58	1	58	59	11	beam	2.373E+01	4.697E+03	6.786E+02	-6.686E+02	-2.158E-04
57	1	57	58	11	beam	-4.353E+00	4.636E+03	6.768E+02	-6.786E+02	-2.130E-04
56	1	56	57	11	beam	-2.957E+01	4.599E+03	6.686E+02	-6.768E+02	-2.112E-04
55	1	55	56	11	beam	-5.803E+01	4.562E+03	6.525E+02	-6.687E+02	-2.096E-04
54	1	54	55	11	beam	-8.492E+01	4.545E+03	6.191E+02	-6.525E+02	-2.088E-04
53	1	53	54	11	beam	-1.172E+02	4.536E+03	5.757E+02	-6.192E+02	-2.083E-04
52	1	52	53	11	beam	-1.340E+02	4.546E+03	5.366E+02	-5.759E+02	-2.088E-04
51	1	51	52	11	beam	-1.548E+02	4.565E+03	4.914E+02	-5.368E+02	-2.097E-04
50	1	50	51	11	beam	-1.695E+02	4.592E+03	4.400E+02	-4.916E+02	-2.109E-04
49	1	49	50	11	beam	-1.809E+02	4.612E+03	3.853E+02	-4.403E+02	-2.118E-04
48	1	48	49	11	beam	-1.991E+02	4.655E+03	3.235E+02	-3.854E+02	-2.138E-04
47	1	47	48	11	beam	-2.019E+02	4.695E+03	2.608E+02	-3.236E+02	-2.156E-04
46	1	46	47	11	beam	-2.122E+02	4.750E+03	1.946E+02	-2.607E+02	-2.182E-04
45	1	45	46	11	beam	-2.080E+02	4.800E+03	1.297E+02	-1.945E+02	-2.205E-04
44	1	44	45	11	beam	-2.108E+02	4.863E+03	6.475E+01	-1.296E+02	-2.234E-04
43	1	43	44	11	beam	-2.070E+02	4.924E+03	1.080E+00	-6.475E+01	-2.262E-04
42	1	42	43	11	beam	-2.069E+02	4.989E+03	-6.083E+01	-8.948E-01	-2.292E-04
41	1	41	42	11	beam	-2.026E+02	5.054E+03	-1.214E+02	6.096E+01	-2.322E-04
40	1	40	41	11	beam	-1.957E+02	5.126E+03	-1.986E+02	1.215E+02	-2.355E-04
39	1	39	40	11	beam	-1.905E+02	5.202E+03	-2.532E+02	1.985E+02	-2.390E-04
38	1	38	39	11	beam	-1.818E+02	5.263E+03	-3.053E+02	2.532E+02	-2.418E-04
37	1	37	38	11	beam	-1.702E+02	5.332E+03	-3.763E+02	3.053E+02	-2.449E-04
36	1	36	37	11	beam	-1.542E+02	5.413E+03	-4.432E+02	3.763E+02	-2.487E-04

Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	Pagina 104 di 119

PROGETTO ESECUTIVO

35	1	35	36	11	beam	-1.387E+02	5.477E+03	-4.790E+02	4.434E+02	-2.516E-04
34	1	34	35	11	beam	-1.253E+02	5.519E+03	-5.116E+02	4.793E+02	-2.535E-04
33	1	33	34	11	beam	-1.066E+02	5.567E+03	-5.575E+02	5.116E+02	-2.557E-04
32	1	32	33	11	beam	-8.177E+01	5.621E+03	-5.930E+02	5.575E+02	-2.582E-04
31	1	31	32	11	beam	-5.513E+01	5.664E+03	-6.171E+02	5.931E+02	-2.602E-04
30	1	30	31	11	beam	-2.776E+01	5.693E+03	-6.291E+02	6.171E+02	-2.615E-04
29	1	29	30	11	beam	-6.072E+00	5.709E+03	-6.308E+02	6.293E+02	-2.623E-04
28	1	28	29	11	beam	1.418E+01	5.715E+03	-6.274E+02	6.310E+02	-2.625E-04
27	1	27	28	11	beam	2.693E+01	5.712E+03	-6.156E+02	6.276E+02	-2.624E-04
26	1	26	27	11	beam	5.492E+01	5.701E+03	-5.922E+02	6.157E+02	-2.619E-04
25	1	25	26	11	beam	7.889E+01	5.679E+03	-5.598E+02	5.922E+02	-2.609E-04
24	1	24	25	11	beam	9.775E+01	5.655E+03	-5.317E+02	5.597E+02	-2.598E-04
23	1	23	24	11	beam	1.092E+02	5.627E+03	-5.005E+02	5.318E+02	-2.585E-04
22	1	22	23	11	beam	1.217E+02	5.595E+03	-4.638E+02	5.005E+02	-2.570E-04
21	1	21	22	11	beam	1.330E+02	5.561E+03	-4.233E+02	4.635E+02	-2.554E-04
20	1	20	21	11	beam	1.463E+02	5.513E+03	-3.688E+02	4.233E+02	-2.533E-04
19	1	19	20	11	beam	1.584E+02	5.468E+03	-3.206E+02	3.688E+02	-2.512E-04
18	1	18	19	11	beam	1.686E+02	5.420E+03	-2.694E+02	3.206E+02	-2.490E-04
17	1	17	18	11	beam	1.813E+02	5.380E+03	-2.134E+02	2.691E+02	-2.471E-04
16	1	16	17	11	beam	1.905E+02	5.334E+03	-1.546E+02	2.131E+02	-2.450E-04
15	1	15	16	11	beam	1.975E+02	5.290E+03	-9.414E+01	1.544E+02	-2.430E-04
14	1	14	15	11	beam	1.996E+02	5.245E+03	-3.326E+01	9.413E+01	-2.409E-04
13	1	13	14	11	beam	2.009E+02	5.205E+03	2.652E+01	3.330E+01	-2.391E-04
12	1	12	13	11	beam	1.960E+02	5.165E+03	8.490E+01	-2.656E+01	-2.372E-04
11	1	11	12	11	beam	1.910E+02	5.126E+03	1.531E+02	-8.491E+01	-2.354E-04
10	1	10	11	11	beam	1.816E+02	5.091E+03	2.058E+02	-1.531E+02	-2.339E-04
9	1	9	10	11	beam	1.689E+02	5.065E+03	2.550E+02	-2.059E+02	-2.327E-04
8	1	8	9	11	beam	1.538E+02	5.046E+03	3.143E+02	-2.549E+02	-2.318E-04
7	1	7	8	11	beam	1.333E+02	5.028E+03	3.683E+02	-3.143E+02	-2.310E-04
6	1	6	7	11	beam	1.168E+02	5.020E+03	3.998E+02	-3.685E+02	-2.306E-04
5	1	5	6	11	beam	1.039E+02	5.022E+03	4.275E+02	-3.997E+02	-2.307E-04
4	1	4	5	11	beam	8.724E+01	5.027E+03	4.635E+02	-4.277E+02	-2.309E-04
3	1	3	4	11	beam	6.618E+01	5.046E+03	4.913E+02	-4.635E+02	-2.318E-04
2	1	2	3	11	beam	4.326E+01	5.074E+03	5.098E+02	-4.913E+02	-2.331E-04
1	1	1	2	11	beam	2.149E+01	5.112E+03	5.190E+02	-5.098E+02	-2.348E-04

Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	Pagina 105 di 119

**FASE 4**

Structural element data ...

Elem ID	Nod1	Nod2	Prop	F-shear	F-axial	Mom-1	Mom-2	strain	
244	2	123	244	11 beam	4.591E+00	3.297E+03	-4.939E+02	4.959E+02	-1.515E-04
243	2	243	244	11 beam	-1.399E+01	3.295E+03	4.897E+02	-4.957E+02	-1.513E-04
242	2	242	243	11 beam	-3.143E+01	3.297E+03	4.766E+02	-4.900E+02	-1.514E-04
241	2	241	242	11 beam	-4.818E+01	3.305E+03	4.564E+02	-4.766E+02	-1.518E-04
240	2	240	241	11 beam	-6.489E+01	3.319E+03	4.295E+02	-4.561E+02	-1.525E-04
239	2	239	240	11 beam	-7.749E+01	3.333E+03	4.082E+02	-4.290E+02	-1.531E-04
238	2	238	239	11 beam	-8.977E+01	3.345E+03	3.836E+02	-4.077E+02	-1.537E-04
237	2	237	238	11 beam	-1.038E+02	3.370E+03	3.414E+02	-3.835E+02	-1.548E-04
236	2	236	237	11 beam	-1.209E+02	3.406E+03	2.939E+02	-3.406E+02	-1.564E-04
235	2	235	236	11 beam	-1.330E+02	3.437E+03	2.554E+02	-2.940E+02	-1.579E-04
234	2	234	235	11 beam	-1.446E+02	3.476E+03	2.125E+02	-2.545E+02	-1.597E-04
233	2	233	234	11 beam	-1.520E+02	3.519E+03	1.584E+02	-2.127E+02	-1.616E-04
232	2	232	233	11 beam	-1.584E+02	3.562E+03	1.112E+02	-1.584E+02	-1.636E-04
231	2	231	232	11 beam	-1.624E+02	3.608E+03	6.287E+01	-1.112E+02	-1.658E-04
230	2	230	231	11 beam	-1.615E+02	3.651E+03	1.363E+01	-6.288E+01	-1.677E-04
229	2	229	230	11 beam	-1.610E+02	3.699E+03	-3.550E+01	-1.359E+01	-1.699E-04
228	2	228	229	11 beam	-1.536E+02	3.745E+03	-8.272E+01	3.556E+01	-1.720E-04
227	2	227	228	11 beam	-1.470E+02	3.797E+03	-1.278E+02	8.270E+01	-1.744E-04
226	2	226	227	11 beam	-1.346E+02	3.847E+03	-1.690E+02	1.281E+02	-1.767E-04
225	2	225	226	11 beam	-1.295E+02	3.904E+03	-2.087E+02	1.693E+02	-1.793E-04
224	2	224	225	11 beam	-1.259E+02	3.959E+03	-2.560E+02	2.091E+02	-1.819E-04
223	2	223	224	11 beam	-1.198E+02	4.019E+03	-2.924E+02	2.562E+02	-1.846E-04
222	2	222	223	11 beam	-1.114E+02	4.064E+03	-3.263E+02	2.926E+02	-1.867E-04
221	2	221	222	11 beam	-1.043E+02	4.110E+03	-3.565E+02	3.267E+02	-1.888E-04
220	2	220	221	11 beam	-9.405E+01	4.153E+03	-3.834E+02	3.565E+02	-1.908E-04
219	2	219	220	11 beam	-8.311E+01	4.195E+03	-4.175E+02	3.833E+02	-1.927E-04
218	2	218	219	11 beam	-7.142E+01	4.242E+03	-4.483E+02	4.177E+02	-1.949E-04
217	2	217	218	11 beam	-5.706E+01	4.281E+03	-4.736E+02	4.483E+02	-1.966E-04
216	2	216	217	11 beam	-4.417E+01	4.307E+03	-4.847E+02	4.736E+02	-1.978E-04
215	2	215	216	11 beam	-2.537E+01	4.319E+03	-4.908E+02	4.844E+02	-1.984E-04
214	2	214	215	11 beam	-8.507E+00	4.330E+03	-4.943E+02	4.906E+02	-1.989E-04
213	2	213	214	11 beam	8.876E+00	4.336E+03	-4.903E+02	4.942E+02	-1.992E-04
212	2	212	213	11 beam	2.565E+01	4.332E+03	-4.790E+02	4.901E+02	-1.990E-04
211	2	211	212	11 beam	4.106E+01	4.318E+03	-4.612E+02	4.789E+02	-1.984E-04

PROGETTO ESECUTIVO

210	2	210	211	11	beam	5.823E+01	4.301E+03	-4.459E+02	4.609E+02	-1.976E-04
209	2	209	210	11	beam	7.016E+01	4.283E+03	-4.273E+02	4.453E+02	-1.968E-04
208	2	208	209	11	beam	8.277E+01	4.252E+03	-3.907E+02	4.266E+02	-1.953E-04
207	2	207	208	11	beam	9.463E+01	4.209E+03	-3.506E+02	3.901E+02	-1.933E-04
206	2	206	207	11	beam	1.067E+02	4.170E+03	-3.195E+02	3.501E+02	-1.916E-04
205	2	205	206	11	beam	1.139E+02	4.131E+03	-2.871E+02	3.197E+02	-1.898E-04
204	2	204	205	11	beam	1.207E+02	4.081E+03	-2.393E+02	2.869E+02	-1.874E-04
203	2	203	204	11	beam	1.306E+02	4.034E+03	-2.006E+02	2.396E+02	-1.853E-04
202	2	202	203	11	beam	1.382E+02	3.987E+03	-1.596E+02	2.008E+02	-1.832E-04
201	2	201	202	11	beam	1.439E+02	3.938E+03	-1.153E+02	1.595E+02	-1.809E-04
200	2	200	201	11	beam	1.561E+02	3.897E+03	-6.719E+01	1.152E+02	-1.790E-04
199	2	199	200	11	beam	1.592E+02	3.840E+03	-1.752E+01	6.719E+01	-1.764E-04
198	2	198	199	11	beam	1.703E+02	3.798E+03	3.564E+01	1.747E+01	-1.744E-04
197	2	197	198	11	beam	1.670E+02	3.743E+03	8.801E+01	-3.614E+01	-1.719E-04
196	2	196	197	11	beam	1.707E+02	3.704E+03	1.409E+02	-8.785E+01	-1.701E-04
195	2	195	196	11	beam	1.611E+02	3.648E+03	1.903E+02	-1.413E+02	-1.676E-04
194	2	194	195	11	beam	1.526E+02	3.621E+03	2.365E+02	-1.901E+02	-1.663E-04
193	2	193	194	11	beam	1.423E+02	3.578E+03	2.783E+02	-2.367E+02	-1.643E-04
192	2	192	193	11	beam	1.302E+02	3.537E+03	3.168E+02	-2.787E+02	-1.625E-04
191	2	191	192	11	beam	1.241E+02	3.496E+03	3.630E+02	-3.169E+02	-1.606E-04
190	2	190	191	11	beam	1.046E+02	3.463E+03	4.038E+02	-3.628E+02	-1.591E-04
189	2	189	190	11	beam	8.988E+01	3.434E+03	4.288E+02	-4.038E+02	-1.577E-04
188	2	188	189	11	beam	7.427E+01	3.426E+03	4.495E+02	-4.288E+02	-1.574E-04
187	2	187	188	11	beam	5.440E+01	3.408E+03	4.714E+02	-4.493E+02	-1.565E-04
186	2	186	187	11	beam	3.775E+01	3.391E+03	4.871E+02	-4.713E+02	-1.557E-04
185	2	185	186	11	beam	2.105E+01	3.375E+03	4.953E+02	-4.862E+02	-1.550E-04
184	2	184	185	11	beam	6.052E+00	3.370E+03	4.960E+02	-4.946E+02	-1.548E-04
183	2	183	184	11	beam	-5.437E+00	3.367E+03	4.944E+02	-4.956E+02	-1.546E-04
182	2	182	183	11	beam	-1.635E+01	3.362E+03	4.869E+02	-4.937E+02	-1.544E-04
181	2	181	182	11	beam	-3.197E+01	3.368E+03	4.799E+02	-4.870E+02	-1.547E-04
180	2	180	181	11	beam	-4.151E+01	3.380E+03	4.710E+02	-4.803E+02	-1.553E-04
179	2	179	180	11	beam	-5.008E+01	3.396E+03	4.493E+02	-4.711E+02	-1.560E-04
178	2	178	179	11	beam	-6.232E+01	3.425E+03	4.227E+02	-4.493E+02	-1.573E-04
177	2	177	178	11	beam	-7.484E+01	3.455E+03	3.918E+02	-4.229E+02	-1.587E-04
176	2	176	177	11	beam	-9.336E+01	3.489E+03	3.548E+02	-3.922E+02	-1.603E-04
175	2	175	176	11	beam	-1.059E+02	3.530E+03	3.257E+02	-3.553E+02	-1.622E-04
174	2	174	175	11	beam	-1.167E+02	3.568E+03	2.935E+02	-3.260E+02	-1.639E-04
173	2	173	174	11	beam	-1.256E+02	3.618E+03	2.454E+02	-2.938E+02	-1.662E-04

Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	Pagina 107 di 119

PROGETTO ESECUTIVO

172	2	172	173	11	beam	-1.362E+02	3.665E+03	2.054E+02	-2.457E+02	-1.683E-04
171	2	171	172	11	beam	-1.479E+02	3.687E+03	1.617E+02	-2.055E+02	-1.694E-04
170	2	170	171	11	beam	-1.581E+02	3.740E+03	1.061E+02	-1.618E+02	-1.718E-04
169	2	169	170	11	beam	-1.590E+02	3.792E+03	5.852E+01	-1.064E+02	-1.742E-04
168	2	168	169	11	beam	-1.636E+02	3.849E+03	9.784E+00	-5.898E+01	-1.768E-04
167	2	167	168	11	beam	-1.592E+02	3.901E+03	-3.886E+01	-9.876E+00	-1.792E-04
166	2	166	167	11	beam	-1.568E+02	3.958E+03	-8.662E+01	3.860E+01	-1.818E-04
165	2	165	166	11	beam	-1.473E+02	4.007E+03	-1.319E+02	8.675E+01	-1.841E-04
164	2	164	165	11	beam	-1.407E+02	4.063E+03	-1.755E+02	1.323E+02	-1.866E-04
163	2	163	164	11	beam	-1.302E+02	4.115E+03	-2.149E+02	1.756E+02	-1.890E-04
162	2	162	163	11	beam	-1.244E+02	4.168E+03	-2.525E+02	2.150E+02	-1.915E-04
161	2	161	162	11	beam	-1.157E+02	4.221E+03	-2.962E+02	2.524E+02	-1.939E-04
160	2	160	161	11	beam	-1.074E+02	4.272E+03	-3.283E+02	2.964E+02	-1.962E-04
159	2	159	160	11	beam	-9.570E+01	4.312E+03	-3.568E+02	3.284E+02	-1.981E-04
158	2	158	159	11	beam	-8.319E+01	4.354E+03	-3.910E+02	3.568E+02	-2.000E-04
157	2	157	158	11	beam	-6.993E+01	4.396E+03	-4.103E+02	3.908E+02	-2.019E-04
156	2	156	157	11	beam	-5.757E+01	4.424E+03	-4.264E+02	4.103E+02	-2.032E-04
155	2	155	156	11	beam	-4.308E+01	4.449E+03	-4.444E+02	4.261E+02	-2.044E-04
154	2	154	155	11	beam	-2.389E+01	4.472E+03	-4.547E+02	4.442E+02	-2.054E-04
153	2	153	154	11	beam	-5.432E+00	4.484E+03	-4.569E+02	4.544E+02	-2.060E-04
152	2	152	153	11	beam	9.484E+00	4.485E+03	-4.523E+02	4.566E+02	-2.060E-04
151	2	151	152	11	beam	2.129E+01	4.476E+03	-4.425E+02	4.521E+02	-2.056E-04
150	2	150	151	11	beam	3.403E+01	4.454E+03	-4.271E+02	4.424E+02	-2.046E-04
149	2	149	150	11	beam	4.624E+01	4.420E+03	-4.063E+02	4.269E+02	-2.030E-04
148	2	148	149	11	beam	5.902E+01	4.378E+03	-3.807E+02	4.063E+02	-2.011E-04
147	2	147	148	11	beam	7.303E+01	4.331E+03	-3.497E+02	3.803E+02	-1.989E-04
146	2	146	147	11	beam	8.086E+01	4.291E+03	-3.275E+02	3.501E+02	-1.971E-04
145	2	145	146	11	beam	8.651E+01	4.252E+03	-3.038E+02	3.280E+02	-1.953E-04
144	2	144	145	11	beam	9.346E+01	4.196E+03	-2.664E+02	3.041E+02	-1.928E-04
143	2	143	144	11	beam	1.021E+02	4.140E+03	-2.367E+02	2.669E+02	-1.902E-04
142	2	142	143	11	beam	1.096E+02	4.086E+03	-2.042E+02	2.366E+02	-1.877E-04
141	2	141	142	11	beam	1.162E+02	4.033E+03	-1.686E+02	2.043E+02	-1.853E-04
140	2	140	141	11	beam	1.301E+02	3.983E+03	-1.286E+02	1.686E+02	-1.829E-04
139	2	139	140	11	beam	1.385E+02	3.919E+03	-8.005E+01	1.285E+02	-1.800E-04
138	2	138	139	11	beam	1.502E+02	3.860E+03	-3.505E+01	8.041E+01	-1.773E-04
137	2	137	138	11	beam	1.518E+02	3.801E+03	1.057E+01	3.525E+01	-1.746E-04
136	2	136	137	11	beam	1.572E+02	3.752E+03	5.786E+01	-1.059E+01	-1.723E-04
135	2	135	136	11	beam	1.526E+02	3.697E+03	1.035E+02	-5.761E+01	-1.698E-04

Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	Pagina 108 di 119

PROGETTO ESECUTIVO

134	2	134	135	11	beam	1.540E+02	3.649E+03	1.544E+02	-1.033E+02	-1.676E-04
133	2	133	134	11	beam	1.423E+02	3.594E+03	1.982E+02	-1.551E+02	-1.651E-04
132	2	132	133	11	beam	1.367E+02	3.562E+03	2.397E+02	-1.983E+02	-1.636E-04
131	2	131	132	11	beam	1.293E+02	3.509E+03	2.880E+02	-2.398E+02	-1.612E-04
130	2	130	131	11	beam	1.183E+02	3.462E+03	3.228E+02	-2.882E+02	-1.590E-04
129	2	129	130	11	beam	1.125E+02	3.418E+03	3.566E+02	-3.238E+02	-1.570E-04
128	2	128	129	11	beam	9.918E+01	3.389E+03	3.968E+02	-3.573E+02	-1.557E-04
127	2	127	128	11	beam	8.647E+01	3.369E+03	4.203E+02	-3.970E+02	-1.547E-04
126	2	126	127	11	beam	7.751E+01	3.352E+03	4.419E+02	-4.210E+02	-1.540E-04
125	2	125	126	11	beam	5.741E+01	3.343E+03	4.658E+02	-4.425E+02	-1.536E-04
124	2	124	125	11	beam	4.088E+01	3.322E+03	4.838E+02	-4.668E+02	-1.526E-04
123	2	123	124	11	beam	2.234E+01	3.306E+03	4.939E+02	-4.844E+02	-1.519E-04
122	1	122	1	11	beam	-3.141E+00	5.239E+03	4.891E+02	-4.905E+02	-2.407E-04
121	1	121	122	11	beam	-2.547E+01	5.294E+03	4.783E+02	-4.891E+02	-2.432E-04
120	1	120	121	11	beam	-4.679E+01	5.359E+03	4.588E+02	-4.783E+02	-2.462E-04
119	1	119	120	11	beam	-6.547E+01	5.432E+03	4.321E+02	-4.588E+02	-2.495E-04
118	1	118	119	11	beam	-7.916E+01	5.499E+03	4.109E+02	-4.322E+02	-2.526E-04
117	1	117	118	11	beam	-8.895E+01	5.555E+03	3.870E+02	-4.109E+02	-2.552E-04
116	1	116	117	11	beam	-9.896E+01	5.630E+03	3.476E+02	-3.870E+02	-2.586E-04
115	1	115	116	11	beam	-1.114E+02	5.705E+03	3.150E+02	-3.475E+02	-2.621E-04
114	1	114	115	11	beam	-1.187E+02	5.776E+03	2.804E+02	-3.150E+02	-2.653E-04
113	1	113	114	11	beam	-1.256E+02	5.864E+03	2.335E+02	-2.804E+02	-2.694E-04
112	1	112	113	11	beam	-1.255E+02	5.960E+03	1.956E+02	-2.336E+02	-2.738E-04
111	1	111	112	11	beam	-1.232E+02	6.047E+03	1.584E+02	-1.957E+02	-2.778E-04
110	1	110	111	11	beam	-1.179E+02	6.142E+03	1.193E+02	-1.584E+02	-2.821E-04
109	1	109	110	11	beam	-1.094E+02	6.230E+03	8.652E+01	-1.194E+02	-2.862E-04
108	1	108	109	11	beam	-9.700E+01	6.319E+03	5.743E+01	-8.660E+01	-2.903E-04
107	1	107	108	11	beam	-8.519E+01	6.399E+03	3.180E+01	-5.752E+01	-2.940E-04
106	1	106	107	11	beam	-6.784E+01	6.486E+03	1.155E+01	-3.203E+01	-2.979E-04
105	1	105	106	11	beam	-5.299E+01	6.568E+03	-6.779E+00	-1.175E+01	-3.017E-04
104	1	104	105	11	beam	-3.184E+01	6.660E+03	-1.652E+01	6.724E+00	-3.059E-04
103	1	103	104	11	beam	-2.410E+01	6.727E+03	-2.393E+01	1.651E+01	-3.090E-04
102	1	102	103	11	beam	-1.987E+01	6.802E+03	-2.964E+01	2.377E+01	-3.125E-04
101	1	101	102	11	beam	-1.194E+01	6.875E+03	-3.314E+01	2.962E+01	-3.158E-04
100	1	100	101	11	beam	-1.657E+01	6.947E+03	-3.976E+01	3.308E+01	-3.191E-04
99	1	99	100	11	beam	-2.310E+01	7.022E+03	-4.609E+01	3.963E+01	-3.226E-04
98	1	98	99	11	beam	-2.446E+01	7.083E+03	-5.285E+01	4.600E+01	-3.253E-04
97	1	97	98	11	beam	-3.706E+01	7.143E+03	-6.825E+01	5.269E+01	-3.281E-04

Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	Pagina 109 di 119

PROGETTO ESECUTIVO

96	1	96	97	11	beam	-4.977E+01	7.218E+03	-8.984E+01	6.825E+01	-3.315E-04
95	1	95	96	11	beam	-6.598E+01	7.289E+03	-1.191E+02	8.977E+01	-3.348E-04
94	1	94	95	11	beam	-8.529E+01	7.355E+03	-1.576E+02	1.191E+02	-3.378E-04
93	1	93	94	11	beam	-1.050E+02	7.412E+03	-2.054E+02	1.577E+02	-3.405E-04
92	1	92	93	11	beam	-1.212E+02	7.459E+03	-2.602E+02	2.053E+02	-3.426E-04
91	1	91	92	11	beam	-1.311E+02	7.492E+03	-3.189E+02	2.602E+02	-3.442E-04
90	1	90	91	11	beam	-1.327E+02	7.512E+03	-3.770E+02	3.188E+02	-3.451E-04
89	1	89	90	11	beam	-1.263E+02	7.517E+03	-4.305E+02	3.769E+02	-3.453E-04
88	1	88	89	11	beam	-1.181E+02	7.510E+03	-4.636E+02	4.306E+02	-3.450E-04
87	1	87	88	11	beam	-1.146E+02	7.510E+03	-4.955E+02	4.635E+02	-3.450E-04
86	1	86	87	11	beam	-8.661E+01	7.471E+03	-5.310E+02	4.954E+02	-3.432E-04
85	1	85	86	11	beam	-6.452E+01	7.427E+03	-5.502E+02	5.310E+02	-3.412E-04
84	1	84	85	11	beam	-5.143E+01	7.394E+03	-5.654E+02	5.501E+02	-3.397E-04
83	1	83	84	11	beam	-1.388E+01	7.322E+03	-5.707E+02	5.654E+02	-3.363E-04
82	1	82	83	11	beam	9.589E+00	7.246E+03	-5.676E+02	5.705E+02	-3.328E-04
81	1	81	82	11	beam	4.426E+01	7.163E+03	-5.543E+02	5.676E+02	-3.290E-04
80	1	80	81	11	beam	7.488E+01	7.079E+03	-5.312E+02	5.542E+02	-3.252E-04
79	1	79	80	11	beam	1.083E+02	6.980E+03	-4.981E+02	5.313E+02	-3.206E-04
78	1	78	79	11	beam	1.476E+02	6.883E+03	-4.529E+02	4.981E+02	-3.162E-04
77	1	77	78	11	beam	1.747E+02	6.778E+03	-3.993E+02	4.528E+02	-3.113E-04
76	1	76	77	11	beam	2.070E+02	6.676E+03	-3.371E+02	3.993E+02	-3.066E-04
75	1	75	76	11	beam	2.170E+02	6.565E+03	-2.719E+02	3.371E+02	-3.015E-04
74	1	74	75	11	beam	2.413E+02	6.448E+03	-1.868E+02	2.719E+02	-2.962E-04
73	1	73	74	11	beam	2.399E+02	6.327E+03	-1.158E+02	1.869E+02	-2.906E-04
72	1	72	73	11	beam	2.485E+02	6.206E+03	-4.232E+01	1.159E+02	-2.851E-04
71	1	71	72	11	beam	2.451E+02	6.099E+03	5.214E+01	4.226E+01	-2.802E-04
70	1	70	71	11	beam	2.385E+02	5.990E+03	1.187E+02	-5.213E+01	-2.751E-04
69	1	69	70	11	beam	2.269E+02	5.895E+03	1.820E+02	-1.187E+02	-2.708E-04
68	1	68	69	11	beam	2.136E+02	5.780E+03	2.679E+02	-1.822E+02	-2.655E-04
67	1	67	68	11	beam	1.922E+02	5.642E+03	3.477E+02	-2.679E+02	-2.592E-04
66	1	66	67	11	beam	1.696E+02	5.527E+03	4.201E+02	-3.477E+02	-2.539E-04
65	1	65	66	11	beam	1.493E+02	5.387E+03	4.851E+02	-4.201E+02	-2.474E-04
64	1	64	65	11	beam	1.180E+02	5.289E+03	5.114E+02	-4.851E+02	-2.430E-04
63	1	63	64	11	beam	1.166E+02	5.187E+03	5.373E+02	-5.114E+02	-2.383E-04
62	1	62	63	11	beam	9.785E+01	5.081E+03	5.776E+02	-5.373E+02	-2.334E-04
61	1	61	62	11	beam	8.167E+01	4.983E+03	5.964E+02	-5.776E+02	-2.289E-04
60	1	60	61	11	beam	7.116E+01	4.926E+03	6.128E+02	-5.964E+02	-2.263E-04
59	1	59	60	11	beam	5.622E+01	4.844E+03	6.370E+02	-6.128E+02	-2.225E-04

Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	Pagina 110 di 119

PROGETTO ESECUTIVO

58	1	58	59	11	beam	3.550E+01	4.762E+03	6.520E+02	-6.371E+02	-2.187E-04
57	1	57	58	11	beam	5.825E+00	4.696E+03	6.544E+02	-6.520E+02	-2.157E-04
56	1	56	57	11	beam	-2.037E+01	4.654E+03	6.486E+02	-6.543E+02	-2.138E-04
55	1	55	56	11	beam	-4.762E+01	4.615E+03	6.355E+02	-6.487E+02	-2.120E-04
54	1	54	55	11	beam	-7.430E+01	4.593E+03	6.064E+02	-6.356E+02	-2.110E-04
53	1	53	54	11	beam	-1.084E+02	4.579E+03	5.661E+02	-6.063E+02	-2.103E-04
52	1	52	53	11	beam	-1.261E+02	4.587E+03	5.292E+02	-5.661E+02	-2.107E-04
51	1	51	52	11	beam	-1.475E+02	4.601E+03	4.864E+02	-5.296E+02	-2.113E-04
50	1	50	51	11	beam	-1.627E+02	4.624E+03	4.369E+02	-4.864E+02	-2.124E-04
49	1	49	50	11	beam	-1.742E+02	4.641E+03	3.841E+02	-4.371E+02	-2.132E-04
48	1	48	49	11	beam	-1.913E+02	4.680E+03	3.248E+02	-3.842E+02	-2.150E-04
47	1	47	48	11	beam	-1.944E+02	4.717E+03	2.645E+02	-3.249E+02	-2.167E-04
46	1	46	47	11	beam	-2.044E+02	4.770E+03	2.007E+02	-2.645E+02	-2.191E-04
45	1	45	46	11	beam	-1.997E+02	4.817E+03	1.384E+02	-2.007E+02	-2.213E-04
44	1	44	45	11	beam	-2.026E+02	4.877E+03	7.601E+01	-1.383E+02	-2.240E-04
43	1	43	44	11	beam	-1.976E+02	4.936E+03	1.519E+01	-7.599E+01	-2.267E-04
42	1	42	43	11	beam	-1.968E+02	4.999E+03	-4.357E+01	-1.515E+01	-2.296E-04
41	1	41	42	11	beam	-1.915E+02	5.061E+03	-1.006E+02	4.350E+01	-2.325E-04
40	1	40	41	11	beam	-1.846E+02	5.130E+03	-1.736E+02	1.008E+02	-2.357E-04
39	1	39	40	11	beam	-1.800E+02	5.203E+03	-2.252E+02	1.735E+02	-2.390E-04
38	1	38	39	11	beam	-1.742E+02	5.261E+03	-2.751E+02	2.251E+02	-2.416E-04
37	1	37	38	11	beam	-1.646E+02	5.327E+03	-3.437E+02	2.751E+02	-2.447E-04
36	1	36	37	11	beam	-1.484E+02	5.407E+03	-4.081E+02	3.437E+02	-2.484E-04
35	1	35	36	11	beam	-1.354E+02	5.469E+03	-4.430E+02	4.081E+02	-2.512E-04
34	1	34	35	11	beam	-1.257E+02	5.510E+03	-4.751E+02	4.427E+02	-2.531E-04
33	1	33	34	11	beam	-1.068E+02	5.557E+03	-5.210E+02	4.751E+02	-2.553E-04
32	1	32	33	11	beam	-8.187E+01	5.611E+03	-5.566E+02	5.210E+02	-2.577E-04
31	1	31	32	11	beam	-5.444E+01	5.654E+03	-5.803E+02	5.566E+02	-2.597E-04
30	1	30	31	11	beam	-2.695E+01	5.686E+03	-5.919E+02	5.802E+02	-2.612E-04
29	1	29	30	11	beam	-7.948E+00	5.704E+03	-5.939E+02	5.919E+02	-2.620E-04
28	1	28	29	11	beam	6.710E+00	5.711E+03	-5.919E+02	5.936E+02	-2.623E-04
27	1	27	28	11	beam	1.639E+01	5.711E+03	-5.845E+02	5.918E+02	-2.623E-04
26	1	26	27	11	beam	4.454E+01	5.704E+03	-5.654E+02	5.844E+02	-2.620E-04
25	1	25	26	11	beam	6.835E+01	5.685E+03	-5.372E+02	5.653E+02	-2.611E-04
24	1	24	25	11	beam	8.591E+01	5.664E+03	-5.127E+02	5.373E+02	-2.602E-04
23	1	23	24	11	beam	9.886E+01	5.639E+03	-4.844E+02	5.127E+02	-2.590E-04
22	1	22	23	11	beam	1.115E+02	5.609E+03	-4.506E+02	4.843E+02	-2.577E-04
21	1	21	22	11	beam	1.250E+02	5.577E+03	-4.128E+02	4.506E+02	-2.562E-04

Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	Pagina 111 di 119

20	1	20	21	11	beam	1.373E+02	5.532E+03	-3.617E+02	4.128E+02	-2.541E-04
19	1	19	20	11	beam	1.498E+02	5.489E+03	-3.161E+02	3.616E+02	-2.522E-04
18	1	18	19	11	beam	1.598E+02	5.445E+03	-2.673E+02	3.159E+02	-2.501E-04
17	1	17	18	11	beam	1.724E+02	5.406E+03	-2.145E+02	2.674E+02	-2.483E-04
16	1	16	17	11	beam	1.805E+02	5.363E+03	-1.591E+02	2.145E+02	-2.463E-04
15	1	15	16	11	beam	1.878E+02	5.323E+03	-1.019E+02	1.591E+02	-2.445E-04
14	1	14	15	11	beam	1.898E+02	5.281E+03	-4.412E+01	1.020E+02	-2.426E-04
13	1	13	14	11	beam	1.922E+02	5.245E+03	1.306E+01	4.415E+01	-2.409E-04
12	1	12	13	11	beam	1.889E+02	5.208E+03	6.925E+01	-1.301E+01	-2.392E-04
11	1	11	12	11	beam	1.844E+02	5.173E+03	1.351E+02	-6.927E+01	-2.376E-04
10	1	10	11	11	beam	1.751E+02	5.142E+03	1.860E+02	-1.351E+02	-2.362E-04
9	1	9	10	11	beam	1.643E+02	5.119E+03	2.338E+02	-1.860E+02	-2.351E-04
8	1	8	9	11	beam	1.498E+02	5.103E+03	2.916E+02	-2.338E+02	-2.344E-04
7	1	7	8	11	beam	1.292E+02	5.089E+03	3.439E+02	-2.916E+02	-2.338E-04
6	1	6	7	11	beam	1.146E+02	5.085E+03	3.749E+02	-3.442E+02	-2.336E-04
5	1	5	6	11	beam	1.029E+02	5.090E+03	4.024E+02	-3.749E+02	-2.338E-04
4	1	4	5	11	beam	8.609E+01	5.098E+03	4.379E+02	-4.025E+02	-2.342E-04
3	1	3	4	11	beam	6.400E+01	5.120E+03	4.647E+02	-4.379E+02	-2.352E-04
2	1	2	3	11	beam	4.115E+01	5.151E+03	4.824E+02	-4.648E+02	-2.366E-04
1	1	1	2	11	beam	1.853E+01	5.192E+03	4.904E+02	-4.825E+02	-2.385E-04

## FASE 5

Structural element data ...

Elem ID	Nod1	Nod2	Prop		F-shear	F-axial	Mom-1	Mom-2	strain	
244	2	123	244	11	beam	1.634E+01	8.099E+03	-2.389E+02	2.459E+02	-3.721E-04
243	2	243	244	11	beam	1.983E+01	8.084E+03	2.545E+02	-2.459E+02	-3.713E-04
242	2	242	243	11	beam	2.578E+01	8.068E+03	2.655E+02	-2.545E+02	-3.706E-04
241	2	241	242	11	beam	3.079E+01	8.047E+03	2.787E+02	-2.658E+02	-3.696E-04
240	2	240	241	11	beam	2.992E+01	8.018E+03	2.913E+02	-2.790E+02	-3.683E-04
239	2	239	240	11	beam	2.497E+01	7.988E+03	2.984E+02	-2.917E+02	-3.669E-04
238	2	238	239	11	beam	2.732E+01	7.996E+03	3.060E+02	-2.986E+02	-3.673E-04
237	2	237	238	11	beam	2.989E+01	7.958E+03	3.184E+02	-3.063E+02	-3.655E-04
236	2	236	237	11	beam	5.205E+00	7.892E+03	3.205E+02	-3.185E+02	-3.625E-04
235	2	235	236	11	beam	-9.973E+00	7.866E+03	3.180E+02	-3.209E+02	-3.613E-04
234	2	234	235	11	beam	-1.585E+01	7.842E+03	3.137E+02	-3.183E+02	-3.602E-04
233	2	233	234	11	beam	-3.374E+01	7.807E+03	3.018E+02	-3.138E+02	-3.586E-04

Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	Pagina 112 di 119

PROGETTO ESECUTIVO

232	2	232	233	11	beam	-5.606E+01	7.779E+03	2.854E+02	-3.021E+02	-3.573E-04
231	2	231	232	11	beam	-6.310E+01	7.764E+03	2.667E+02	-2.855E+02	-3.567E-04
230	2	230	231	11	beam	-9.047E+01	7.734E+03	2.392E+02	-2.668E+02	-3.553E-04
229	2	229	230	11	beam	-1.003E+02	7.726E+03	2.087E+02	-2.393E+02	-3.549E-04
228	2	228	229	11	beam	-1.158E+02	7.712E+03	1.732E+02	-2.087E+02	-3.542E-04
227	2	227	228	11	beam	-1.249E+02	7.711E+03	1.347E+02	-1.731E+02	-3.542E-04
226	2	226	227	11	beam	-1.295E+02	7.709E+03	9.536E+01	-1.347E+02	-3.541E-04
225	2	225	226	11	beam	-1.377E+02	7.717E+03	5.345E+01	-9.530E+01	-3.545E-04
224	2	224	225	11	beam	-1.330E+02	7.724E+03	3.610E+00	-5.317E+01	-3.548E-04
223	2	223	224	11	beam	-1.368E+02	7.743E+03	-3.816E+01	-3.190E+00	-3.557E-04
222	2	222	223	11	beam	-1.312E+02	7.747E+03	-7.783E+01	3.817E+01	-3.559E-04
221	2	221	222	11	beam	-1.289E+02	7.786E+03	-1.149E+02	7.794E+01	-3.576E-04
220	2	220	221	11	beam	-1.103E+02	7.822E+03	-1.465E+02	1.150E+02	-3.593E-04
219	2	219	220	11	beam	-1.103E+02	7.836E+03	-1.919E+02	1.466E+02	-3.600E-04
218	2	218	219	11	beam	-1.126E+02	7.916E+03	-2.403E+02	1.921E+02	-3.636E-04
217	2	217	218	11	beam	-1.018E+02	7.969E+03	-2.854E+02	2.402E+02	-3.661E-04
216	2	216	217	11	beam	-1.070E+02	8.025E+03	-3.123E+02	2.854E+02	-3.686E-04
215	2	215	216	11	beam	-9.210E+01	8.025E+03	-3.355E+02	3.123E+02	-3.686E-04
214	2	214	215	11	beam	-1.206E+02	8.109E+03	-3.877E+02	3.355E+02	-3.725E-04
213	2	213	214	11	beam	-1.200E+02	8.186E+03	-4.396E+02	3.874E+02	-3.760E-04
212	2	212	213	11	beam	-9.661E+01	8.253E+03	-4.816E+02	4.396E+02	-3.791E-04
211	2	211	212	11	beam	-4.737E+01	8.326E+03	-5.018E+02	4.814E+02	-3.825E-04
210	2	210	211	11	beam	4.121E-01	8.329E+03	-5.016E+02	5.017E+02	-3.826E-04
209	2	209	210	11	beam	3.716E+01	8.352E+03	-4.921E+02	5.016E+02	-3.836E-04
208	2	208	209	11	beam	4.804E+01	8.369E+03	-4.710E+02	4.918E+02	-3.844E-04
207	2	207	208	11	beam	6.940E+01	8.453E+03	-4.418E+02	4.708E+02	-3.883E-04
206	2	206	207	11	beam	1.092E+02	8.468E+03	-4.105E+02	4.418E+02	-3.890E-04
205	2	205	206	11	beam	1.251E+02	8.499E+03	-3.744E+02	4.103E+02	-3.904E-04
204	2	204	205	11	beam	1.511E+02	8.540E+03	-3.147E+02	3.742E+02	-3.923E-04
203	2	203	204	11	beam	1.886E+02	8.559E+03	-2.583E+02	3.146E+02	-3.932E-04
202	2	202	203	11	beam	2.034E+02	8.590E+03	-1.977E+02	2.584E+02	-3.946E-04
201	2	201	202	11	beam	2.257E+02	8.632E+03	-1.283E+02	1.978E+02	-3.965E-04
200	2	200	201	11	beam	2.453E+02	8.583E+03	-5.301E+01	1.285E+02	-3.943E-04
199	2	199	200	11	beam	1.792E+02	8.579E+03	3.005E+00	5.290E+01	-3.941E-04
198	2	198	199	11	beam	2.115E+02	8.583E+03	6.904E+01	-3.054E+00	-3.943E-04
197	2	197	198	11	beam	1.352E+02	8.561E+03	1.111E+02	-6.906E+01	-3.933E-04
196	2	196	197	11	beam	1.571E+02	8.541E+03	1.599E+02	-1.111E+02	-3.923E-04
195	2	195	196	11	beam	7.673E+01	8.503E+03	1.833E+02	-1.599E+02	-3.906E-04

Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	Pagina 113 di 119

PROGETTO ESECUTIVO

194	2	194	195	11	beam	8.501E+01	8.504E+03	2.091E+02	-1.832E+02	-3.906E-04
193	2	193	194	11	beam	4.387E+01	8.466E+03	2.221E+02	-2.093E+02	-3.889E-04
192	2	192	193	11	beam	1.239E+01	8.427E+03	2.259E+02	-2.222E+02	-3.871E-04
191	2	191	192	11	beam	-1.959E+01	8.370E+03	2.187E+02	-2.260E+02	-3.845E-04
190	2	190	191	11	beam	-3.449E+01	8.309E+03	2.052E+02	-2.187E+02	-3.817E-04
189	2	189	190	11	beam	-5.163E+01	8.258E+03	1.907E+02	-2.051E+02	-3.793E-04
188	2	188	189	11	beam	-3.056E+01	8.233E+03	1.823E+02	-1.908E+02	-3.782E-04
187	2	187	188	11	beam	-1.793E+01	8.206E+03	1.752E+02	-1.824E+02	-3.770E-04
186	2	186	187	11	beam	1.916E+00	8.171E+03	1.762E+02	-1.754E+02	-3.753E-04
185	2	185	186	11	beam	2.368E+01	8.135E+03	1.866E+02	-1.764E+02	-3.737E-04
184	2	184	185	11	beam	3.288E+01	8.107E+03	1.945E+02	-1.869E+02	-3.724E-04
183	2	183	184	11	beam	2.489E+01	8.090E+03	2.003E+02	-1.946E+02	-3.716E-04
182	2	182	183	11	beam	3.296E+01	8.065E+03	2.141E+02	-2.005E+02	-3.705E-04
181	2	181	182	11	beam	3.418E+01	8.062E+03	2.219E+02	-2.143E+02	-3.704E-04
180	2	180	181	11	beam	2.767E+01	8.060E+03	2.281E+02	-2.220E+02	-3.702E-04
179	2	179	180	11	beam	2.249E+01	8.049E+03	2.381E+02	-2.283E+02	-3.697E-04
178	2	178	179	11	beam	3.051E+01	8.040E+03	2.515E+02	-2.385E+02	-3.693E-04
177	2	177	178	11	beam	3.313E+01	8.022E+03	2.651E+02	-2.513E+02	-3.685E-04
176	2	176	177	11	beam	2.842E+01	8.006E+03	2.764E+02	-2.650E+02	-3.677E-04
175	2	175	176	11	beam	2.191E+01	7.993E+03	2.822E+02	-2.761E+02	-3.672E-04
174	2	174	175	11	beam	4.975E+00	7.979E+03	2.837E+02	-2.823E+02	-3.665E-04
173	2	173	174	11	beam	-7.345E+00	7.965E+03	2.808E+02	-2.836E+02	-3.659E-04
172	2	172	173	11	beam	-1.398E+01	7.940E+03	2.765E+02	-2.807E+02	-3.647E-04
171	2	171	172	11	beam	6.108E+00	7.926E+03	2.787E+02	-2.769E+02	-3.641E-04
170	2	170	171	11	beam	-2.748E+01	7.947E+03	2.694E+02	-2.791E+02	-3.651E-04
169	2	169	170	11	beam	-2.020E+01	7.995E+03	2.637E+02	-2.698E+02	-3.672E-04
168	2	168	169	11	beam	-6.009E+01	8.019E+03	2.458E+02	-2.639E+02	-3.684E-04
167	2	167	168	11	beam	-5.696E+01	8.053E+03	2.287E+02	-2.461E+02	-3.699E-04
166	2	166	167	11	beam	-8.722E+01	8.064E+03	2.024E+02	-2.291E+02	-3.704E-04
165	2	165	166	11	beam	-8.332E+01	8.077E+03	1.771E+02	-2.027E+02	-3.710E-04
164	2	164	165	11	beam	-1.084E+02	8.081E+03	1.441E+02	-1.773E+02	-3.712E-04
163	2	163	164	11	beam	-1.102E+02	8.086E+03	1.110E+02	-1.442E+02	-3.714E-04
162	2	162	163	11	beam	-1.346E+02	8.086E+03	7.055E+01	-1.111E+02	-3.715E-04
161	2	161	162	11	beam	-1.450E+02	8.089E+03	1.570E+01	-7.051E+01	-3.716E-04
160	2	160	161	11	beam	-1.711E+02	8.084E+03	-3.528E+01	-1.557E+01	-3.713E-04
159	2	159	160	11	beam	-1.869E+02	8.130E+03	-9.084E+01	3.531E+01	-3.735E-04
158	2	158	159	11	beam	-1.778E+02	8.074E+03	-1.640E+02	9.092E+01	-3.709E-04
157	2	157	158	11	beam	-2.179E+02	8.068E+03	-2.247E+02	1.639E+02	-3.706E-04

Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	Pagina 114 di 119

PROGETTO ESECUTIVO

156	2	156	157	11	beam	-1.639E+02	8.175E+03	-2.708E+02	2.251E+02	-3.755E-04
155	2	155	156	11	beam	-1.192E+02	8.128E+03	-3.216E+02	2.710E+02	-3.734E-04
154	2	154	155	11	beam	-8.124E+01	8.100E+03	-3.572E+02	3.216E+02	-3.721E-04
153	2	153	154	11	beam	-4.858E+01	8.063E+03	-3.789E+02	3.572E+02	-3.704E-04
152	2	152	153	11	beam	-2.376E+01	8.021E+03	-3.897E+02	3.790E+02	-3.684E-04
151	2	151	152	11	beam	-2.932E+00	7.975E+03	-3.910E+02	3.897E+02	-3.663E-04
150	2	150	151	11	beam	1.498E+01	7.936E+03	-3.842E+02	3.909E+02	-3.645E-04
149	2	149	150	11	beam	2.617E+01	7.907E+03	-3.725E+02	3.842E+02	-3.632E-04
148	2	148	149	11	beam	2.752E+01	7.889E+03	-3.606E+02	3.725E+02	-3.624E-04
147	2	147	148	11	beam	1.301E+01	7.878E+03	-3.552E+02	3.607E+02	-3.619E-04
146	2	146	147	11	beam	4.775E+00	7.944E+03	-3.540E+02	3.554E+02	-3.649E-04
145	2	145	146	11	beam	2.897E+01	7.936E+03	-3.461E+02	3.542E+02	-3.645E-04
144	2	144	145	11	beam	5.143E+01	7.921E+03	-3.253E+02	3.460E+02	-3.639E-04
143	2	143	144	11	beam	6.722E+01	7.940E+03	-3.055E+02	3.254E+02	-3.647E-04
142	2	142	143	11	beam	9.958E+01	7.933E+03	-2.763E+02	3.058E+02	-3.644E-04
141	2	141	142	11	beam	1.101E+02	7.918E+03	-2.426E+02	2.765E+02	-3.637E-04
140	2	140	141	11	beam	1.228E+02	7.948E+03	-2.051E+02	2.428E+02	-3.651E-04
139	2	139	140	11	beam	1.342E+02	7.950E+03	-1.582E+02	2.052E+02	-3.652E-04
138	2	138	139	11	beam	1.424E+02	7.961E+03	-1.152E+02	1.581E+02	-3.657E-04
137	2	137	138	11	beam	1.510E+02	7.969E+03	-6.953E+01	1.151E+02	-3.661E-04
136	2	136	137	11	beam	1.490E+02	7.984E+03	-2.460E+01	6.943E+01	-3.668E-04
135	2	135	136	11	beam	1.496E+02	7.997E+03	2.046E+01	2.453E+01	-3.674E-04
134	2	134	135	11	beam	1.333E+02	8.019E+03	6.473E+01	-2.046E+01	-3.683E-04
133	2	133	134	11	beam	1.207E+02	8.039E+03	1.012E+02	-6.467E+01	-3.693E-04
132	2	132	133	11	beam	1.016E+02	8.050E+03	1.327E+02	-1.019E+02	-3.698E-04
131	2	131	132	11	beam	6.954E+01	8.097E+03	1.594E+02	-1.335E+02	-3.719E-04
130	2	130	131	11	beam	6.404E+01	8.116E+03	1.783E+02	-1.596E+02	-3.728E-04
129	2	129	130	11	beam	5.017E+01	8.115E+03	1.930E+02	-1.783E+02	-3.728E-04
128	2	128	129	11	beam	3.264E+01	8.132E+03	2.062E+02	-1.932E+02	-3.735E-04
127	2	127	128	11	beam	2.173E+01	8.161E+03	2.120E+02	-2.061E+02	-3.749E-04
126	2	126	127	11	beam	2.694E+01	8.177E+03	2.186E+02	-2.114E+02	-3.756E-04
125	2	125	126	11	beam	1.865E+01	8.147E+03	2.259E+02	-2.183E+02	-3.742E-04
124	2	124	125	11	beam	1.514E+01	8.135E+03	2.324E+02	-2.261E+02	-3.737E-04
123	2	123	124	11	beam	1.521E+01	8.119E+03	2.390E+02	-2.326E+02	-3.729E-04
122	1	122	1	11	beam	-5.644E+01	8.912E+03	5.948E+01	-8.369E+01	-4.094E-04
121	1	121	122	11	beam	-4.207E+01	8.949E+03	4.169E+01	-5.956E+01	-4.111E-04
120	1	120	121	11	beam	-2.907E+01	8.983E+03	2.957E+01	-4.170E+01	-4.126E-04
119	1	119	120	11	beam	-1.742E+01	9.010E+03	2.265E+01	-2.974E+01	-4.139E-04

Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	Pagina 115 di 119

118 1 118 119 11 beam -1.282E+01 9.036E+03 1.964E+01 -2.309E+01 -4.151E-04  
 117 1 117 118 11 beam -4.479E+00 9.035E+03 1.842E+01 -1.963E+01 -4.150E-04  
 116 1 116 117 11 beam 7.920E-02 9.034E+03 1.876E+01 -1.873E+01 -4.150E-04  
 115 1 115 116 11 beam 2.709E+00 9.036E+03 1.969E+01 -1.890E+01 -4.151E-04  
 114 1 114 115 11 beam 2.732E+00 9.032E+03 2.051E+01 -1.971E+01 -4.149E-04  
 113 1 113 114 11 beam 4.992E-01 9.022E+03 2.081E+01 -2.063E+01 -4.144E-04  
 112 1 112 113 11 beam -9.863E+00 9.000E+03 1.792E+01 -2.091E+01 -4.134E-04  
 111 1 111 112 11 beam -6.504E+00 9.000E+03 1.590E+01 -1.787E+01 -4.134E-04  
 110 1 110 111 11 beam -1.205E+01 8.988E+03 1.185E+01 -1.585E+01 -4.129E-04  
 109 1 109 110 11 beam -2.551E+00 8.991E+03 1.138E+01 -1.215E+01 -4.130E-04  
 108 1 108 109 11 beam -3.618E+00 8.981E+03 1.038E+01 -1.146E+01 -4.126E-04  
 107 1 107 108 11 beam 7.492E+00 8.983E+03 1.298E+01 -1.071E+01 -4.126E-04  
 106 1 106 107 11 beam 9.754E+00 8.976E+03 1.612E+01 -1.317E+01 -4.123E-04  
 105 1 105 106 11 beam 2.278E+01 8.973E+03 2.424E+01 -1.627E+01 -4.122E-04  
 104 1 104 105 11 beam 2.952E+01 8.971E+03 3.335E+01 -2.427E+01 -4.121E-04  
 103 1 103 104 11 beam 3.888E+01 8.950E+03 4.530E+01 -3.334E+01 -4.111E-04  
 102 1 102 103 11 beam 3.887E+01 8.960E+03 5.701E+01 -4.552E+01 -4.116E-04  
 101 1 101 102 11 beam 4.625E+01 8.964E+03 7.088E+01 -5.721E+01 -4.118E-04  
 100 1 100 101 11 beam 3.898E+01 8.943E+03 8.655E+01 -7.084E+01 -4.108E-04  
 99 1 99 100 11 beam 3.116E+01 8.958E+03 9.544E+01 -8.671E+01 -4.115E-04  
 98 1 98 99 11 beam 3.013E+01 8.969E+03 1.040E+02 -9.557E+01 -4.120E-04  
 97 1 97 98 11 beam 8.844E+00 8.934E+03 1.077E+02 -1.040E+02 -4.104E-04  
 96 1 96 97 11 beam -1.854E+01 8.950E+03 9.983E+01 -1.079E+02 -4.111E-04  
 95 1 95 96 11 beam -4.702E+01 8.976E+03 7.914E+01 -1.000E+02 -4.123E-04  
 94 1 94 95 11 beam -7.550E+01 9.015E+03 4.503E+01 -7.912E+01 -4.141E-04  
 93 1 93 94 11 beam -1.004E+02 9.066E+03 -4.977E-01 -4.512E+01 -4.164E-04  
 92 1 92 93 11 beam -1.162E+02 9.126E+03 -5.312E+01 4.751E-01 -4.192E-04  
 91 1 91 92 11 beam -1.204E+02 9.193E+03 -1.070E+02 5.319E+01 -4.223E-04  
 90 1 90 91 11 beam -1.117E+02 9.262E+03 -1.561E+02 1.071E+02 -4.254E-04  
 89 1 89 90 11 beam -9.413E+01 9.325E+03 -1.962E+02 1.562E+02 -4.284E-04  
 88 1 88 89 11 beam -6.819E+01 9.381E+03 -2.151E+02 1.961E+02 -4.309E-04  
 87 1 87 88 11 beam -7.966E+01 9.344E+03 -2.373E+02 2.151E+02 -4.292E-04  
 86 1 86 87 11 beam -7.757E+01 9.381E+03 -2.692E+02 2.373E+02 -4.309E-04  
 85 1 85 86 11 beam -5.201E+01 9.431E+03 -2.846E+02 2.691E+02 -4.332E-04  
 84 1 84 85 11 beam -5.256E+01 9.413E+03 -3.003E+02 2.847E+02 -4.324E-04  
 83 1 83 84 11 beam -3.064E+01 9.442E+03 -3.116E+02 3.000E+02 -4.337E-04  
 82 1 82 83 11 beam -1.764E+01 9.443E+03 -3.167E+02 3.114E+02 -4.338E-04  
 81 1 81 82 11 beam 2.160E+00 9.459E+03 -3.159E+02 3.166E+02 -4.345E-04

Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	Pagina 116 di 119

PROGETTO ESECUTIVO

80	1	80	81	11	beam	2.639E+01	9.455E+03	-3.078E+02	3.159E+02	-4.343E-04
79	1	79	80	11	beam	4.194E+01	9.458E+03	-2.950E+02	3.079E+02	-4.345E-04
78	1	78	79	11	beam	7.215E+01	9.446E+03	-2.729E+02	2.950E+02	-4.339E-04
77	1	77	78	11	beam	7.554E+01	9.432E+03	-2.496E+02	2.727E+02	-4.333E-04
76	1	76	77	11	beam	1.018E+02	9.403E+03	-2.189E+02	2.495E+02	-4.319E-04
75	1	75	76	11	beam	9.037E+01	9.372E+03	-1.915E+02	2.187E+02	-4.305E-04
74	1	74	75	11	beam	1.062E+02	9.318E+03	-1.540E+02	1.915E+02	-4.280E-04
73	1	73	74	11	beam	9.131E+01	9.267E+03	-1.269E+02	1.539E+02	-4.257E-04
72	1	72	73	11	beam	9.344E+01	9.193E+03	-9.930E+01	1.270E+02	-4.223E-04
71	1	71	72	11	beam	8.941E+01	9.153E+03	-6.472E+01	9.915E+01	-4.204E-04
70	1	70	71	11	beam	9.021E+01	9.106E+03	-3.939E+01	6.455E+01	-4.183E-04
69	1	69	70	11	beam	8.691E+01	9.061E+03	-1.478E+01	3.901E+01	-4.162E-04
68	1	68	69	11	beam	8.782E+01	8.997E+03	2.063E+01	1.461E+01	-4.133E-04
67	1	67	68	11	beam	8.995E+01	8.927E+03	5.818E+01	-2.081E+01	-4.100E-04
66	1	66	67	11	beam	9.680E+01	8.881E+03	9.945E+01	-5.814E+01	-4.079E-04
65	1	65	66	11	beam	1.042E+02	8.810E+03	1.448E+02	-9.947E+01	-4.047E-04
64	1	64	65	11	beam	8.796E+01	8.766E+03	1.646E+02	-1.451E+02	-4.027E-04
63	1	63	64	11	beam	9.016E+01	8.713E+03	1.846E+02	-1.646E+02	-4.002E-04
62	1	62	63	11	beam	8.724E+01	8.666E+03	2.206E+02	-1.847E+02	-3.981E-04
61	1	61	62	11	beam	8.804E+01	8.624E+03	2.409E+02	-2.206E+02	-3.962E-04
60	1	60	61	11	beam	7.675E+01	8.608E+03	2.586E+02	-2.409E+02	-3.954E-04
59	1	59	60	11	beam	7.636E+01	8.583E+03	2.915E+02	-2.587E+02	-3.942E-04
58	1	58	59	11	beam	8.932E+01	8.561E+03	3.291E+02	-2.916E+02	-3.933E-04
57	1	57	58	11	beam	9.653E+01	8.556E+03	3.687E+02	-3.295E+02	-3.930E-04
56	1	56	57	11	beam	9.787E+01	8.576E+03	3.960E+02	-3.687E+02	-3.939E-04
55	1	55	56	11	beam	1.078E+02	8.586E+03	4.260E+02	-3.960E+02	-3.944E-04
54	1	54	55	11	beam	8.725E+01	8.638E+03	4.604E+02	-4.261E+02	-3.968E-04
53	1	53	54	11	beam	7.114E+01	8.708E+03	4.869E+02	-4.605E+02	-4.000E-04
52	1	52	53	11	beam	4.321E+01	8.765E+03	4.995E+02	-4.869E+02	-4.026E-04
51	1	51	52	11	beam	-7.962E+00	8.828E+03	4.974E+02	-4.997E+02	-4.055E-04
50	1	50	51	11	beam	-6.129E+01	8.897E+03	4.790E+02	-4.977E+02	-4.087E-04
49	1	49	50	11	beam	-7.446E+01	8.899E+03	4.563E+02	-4.789E+02	-4.088E-04
48	1	48	49	11	beam	-1.650E+02	8.958E+03	4.052E+02	-4.564E+02	-4.115E-04
47	1	47	48	11	beam	-1.602E+02	8.999E+03	3.555E+02	-4.053E+02	-4.134E-04
46	1	46	47	11	beam	-2.350E+02	9.040E+03	2.821E+02	-3.554E+02	-4.152E-04
45	1	45	46	11	beam	-2.101E+02	9.052E+03	2.165E+02	-2.820E+02	-4.158E-04
44	1	44	45	11	beam	-2.723E+02	9.071E+03	1.328E+02	-2.166E+02	-4.167E-04
43	1	43	44	11	beam	-2.645E+02	9.127E+03	5.174E+01	-1.331E+02	-4.192E-04

PROGETTO ESECUTIVO

42	1	42	43	11	beam	-2.463E+02	9.091E+03	-2.152E+01	-5.196E+01	-4.176E-04
41	1	41	42	11	beam	-2.481E+02	9.069E+03	-9.549E+01	2.146E+01	-4.166E-04
40	1	40	41	11	beam	-2.225E+02	9.050E+03	-1.832E+02	9.547E+01	-4.157E-04
39	1	39	40	11	beam	-1.996E+02	9.009E+03	-2.406E+02	1.833E+02	-4.138E-04
38	1	38	39	11	beam	-1.875E+02	8.976E+03	-2.944E+02	2.406E+02	-4.123E-04
37	1	37	38	11	beam	-1.511E+02	8.956E+03	-3.576E+02	2.946E+02	-4.114E-04
36	1	36	37	11	beam	-1.357E+02	8.876E+03	-4.165E+02	3.577E+02	-4.077E-04
35	1	35	36	11	beam	-1.305E+02	8.849E+03	-4.504E+02	4.168E+02	-4.065E-04
34	1	34	35	11	beam	-1.100E+02	8.822E+03	-4.787E+02	4.504E+02	-4.052E-04
33	1	33	34	11	beam	-5.167E+01	8.837E+03	-5.011E+02	4.789E+02	-4.059E-04
32	1	32	33	11	beam	1.472E+01	8.773E+03	-4.948E+02	5.012E+02	-4.030E-04
31	1	31	32	11	beam	5.647E+01	8.710E+03	-4.703E+02	4.949E+02	-4.001E-04
30	1	30	31	11	beam	7.578E+01	8.637E+03	-4.376E+02	4.705E+02	-3.968E-04
29	1	29	30	11	beam	6.128E+01	8.558E+03	-4.222E+02	4.377E+02	-3.931E-04
28	1	28	29	11	beam	7.988E+01	8.556E+03	-4.022E+02	4.223E+02	-3.930E-04
27	1	27	28	11	beam	8.894E+01	8.503E+03	-3.628E+02	4.022E+02	-3.906E-04
26	1	26	27	11	beam	1.059E+02	8.444E+03	-3.174E+02	3.628E+02	-3.879E-04
25	1	25	26	11	beam	1.108E+02	8.369E+03	-2.719E+02	3.175E+02	-3.844E-04
24	1	24	25	11	beam	1.205E+02	8.351E+03	-2.372E+02	2.717E+02	-3.836E-04
23	1	23	24	11	beam	1.450E+02	8.313E+03	-1.955E+02	2.370E+02	-3.819E-04
22	1	22	23	11	beam	1.529E+02	8.271E+03	-1.492E+02	1.955E+02	-3.799E-04
21	1	21	22	11	beam	1.573E+02	8.278E+03	-1.015E+02	1.490E+02	-3.803E-04
20	1	20	21	11	beam	1.635E+02	8.258E+03	-4.045E+01	1.014E+02	-3.794E-04
19	1	19	20	11	beam	1.672E+02	8.256E+03	1.043E+01	4.039E+01	-3.792E-04
18	1	18	19	11	beam	1.648E+02	8.251E+03	6.070E+01	-1.062E+01	-3.790E-04
17	1	17	18	11	beam	1.529E+02	8.262E+03	1.077E+02	-6.078E+01	-3.795E-04
16	1	16	17	11	beam	1.431E+02	8.269E+03	1.520E+02	-1.081E+02	-3.798E-04
15	1	15	16	11	beam	1.208E+02	8.291E+03	1.887E+02	-1.519E+02	-3.808E-04
14	1	14	15	11	beam	1.049E+02	8.307E+03	2.208E+02	-1.888E+02	-3.816E-04
13	1	13	14	11	beam	7.174E+01	8.345E+03	2.422E+02	-2.209E+02	-3.833E-04
12	1	12	13	11	beam	5.284E+01	8.371E+03	2.581E+02	-2.424E+02	-3.845E-04
11	1	11	12	11	beam	2.484E+01	8.417E+03	2.668E+02	-2.580E+02	-3.866E-04
10	1	10	11	11	beam	5.128E+00	8.461E+03	2.683E+02	-2.668E+02	-3.887E-04
9	1	9	10	11	beam	-4.737E+00	8.496E+03	2.670E+02	-2.683E+02	-3.903E-04
8	1	8	9	11	beam	-2.177E+01	8.534E+03	2.587E+02	-2.671E+02	-3.920E-04
7	1	7	8	11	beam	-4.924E+01	8.609E+03	2.387E+02	-2.587E+02	-3.954E-04
6	1	6	7	11	beam	-5.838E+01	8.665E+03	2.230E+02	-2.387E+02	-3.980E-04
5	1	5	6	11	beam	-6.138E+01	8.680E+03	2.067E+02	-2.231E+02	-3.987E-04

Cod. elab GN02-Z-RH 001_C.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 20/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	Pagina 118 di 119

4 1 4 5 11 beam -7.115E+01 8.723E+03 1.774E+02 -2.066E+02 -4.007E-04  
3 1 3 4 11 beam -7.636E+01 8.777E+03 1.453E+02 -1.774E+02 -4.032E-04  
2 1 2 3 11 beam -7.527E+01 8.823E+03 1.132E+02 -1.453E+02 -4.053E-04  
1 1 1 2 11 beam -6.854E+01 8.870E+03 8.379E+01 -1.132E+02 -4.074E-04

<i>Cod. elab</i> GN02-Z-RH 001_C.00	<i>Titolo:</i> Galleria naturale Caltanissetta	<i>Data:</i> 20/11/2011
<i>Nome file:</i> 125 gn 2 04 gn 02 z rh 001 c rel	<b>Relazione Geomeccanica e di Calcolo</b>	<i>Pagina</i> 119 di 119