

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE :



## U.O. GALLERIE

### PROGETTO DEFINITIVO

### RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA

### TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

### RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO GALLERIA CROCE

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

I V 0 1    0 0    D    0 7    C L    G N 0 5 0 0    0 0 1    B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	R. Di Russo	Gen. 2022	H. Mohamed Dahir	Gen. 2022	G. Fadda	Gen. 2022	A. Sciotti Giugno 2024
		F. Bergamo						
B	Emissione esecutiva	R. Di Russo	Giu 2024	P. Pitolli	Giu 2024	M. Firpo	Giu 2024	ITALFERR S.p.A. U.O. GALLERIE Dott. Ing. Alessandra Sciotti Dipartimento Ingegneria di Roma n° 138/46
		E. Sdezzano		Loke Pitelli		M. Firpo		

File: IV0100D07CLGN0500001B.doc

n.

## INDICE

1	PREMESSA .....	5
2	SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO .....	5
3	NORMATIVE E SPECIFICHE TECNICHE DI RIFERIMENTO .....	6
4	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	6
4.1	DOCUMENTI CORRELATI .....	6
5	ALLEGATI .....	8
6	DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO .....	8
7	DESCRIZIONE DELL'OPERA .....	9
7.1	IL TRACCIATO E LE OPERE IN SOTTERRANEO.....	9
7.2	INTERFERENZE LUNGO IL TRACCIATO .....	11
8	FASE CONOSCITIVA .....	12
8.1	IL MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO .....	12
8.2	INDAGINI GEOTECNICHE .....	13
8.2.1	<i>Indagini e prove in sito.....</i>	<i>14</i>
8.2.2	<i>Indagini e prove in laboratorio .....</i>	<i>15</i>
8.3	CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA .....	16
8.3.1	<i>Depositi alluvionali incoerenti (Unità 2) .....</i>	<i>16</i>
8.3.2	<i>Depositi alluvionali coesivi (Unità 3).....</i>	<i>23</i>
8.3.3	<i>Argille di Ortovero (ORV-a).....</i>	<i>32</i>
8.3.4	<i>Conglomerati di Monte Villa (CMVi).....</i>	<i>38</i>
8.3.1	<i>Sintesi caratterizzazione geotecnica dei terreni.....</i>	<i>44</i>
8.3.2	<i>Dolomie di S. Pietro dei Monti (SPM-do) .....</i>	<i>45</i>
8.3.3	<i>Calcari di Rocca Livernà (LIV-c).....</i>	<i>50</i>
8.3.4	<i>Brecce di Monte Galero (GAL) .....</i>	<i>53</i>

8.3.5	<i>Formazione di Albenga (ALN-ar)</i> .....	54
8.3.6	<i>Formazione di Albenga (ALN-scc)</i> .....	55
8.3.7	<i>Sintesi caratterizzazione geotecnica degli ammassi rocciosi</i> .....	58
8.3.8	<i>Definizione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici</i> .....	61
8.3.9	<i>Il regime idraulico</i> .....	62
8.3.10	<i>Lo stato tensionale in sito</i> .....	62
9	FASE DI DIAGNOSI.....	64
9.1	CLASSI DI COMPORTAMENTO DEL FRONTE DI SCAVO.....	64
9.2	DETERMINAZIONE DELLE CATEGORIE DI COMPORTAMENTO.....	65
9.2.1	<i>Analisi con il metodo delle linee caratteristiche</i> .....	65
9.2.2	<i>Analisi della stabilità del fronte</i> .....	69
9.2.3	<i>Definizione delle tratte a comportamento tensio-deformativo omogeneo</i> .....	72
10	FASE DI TERAPIA.....	73
10.1	LA METODOLOGIA DI SCAVO.....	73
10.2	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI STRUTTURALI.....	76
10.3	ANALISI E VERIFICA DELLE SEZIONI TIPO.....	78
10.3.1	<i>Stabilità del fronte basse coperture</i> .....	80
10.3.2	<i>Analisi n. 1 - TBM alte coperture (pk 79+200)</i> .....	82
10.3.3	<i>Analisi n. 2 - TBM alte coperture in faglia (pk 78+920)</i> .....	102
10.3.4	<i>Analisi n. 3 - TBM basse coperture (pk 81+735)</i> .....	121
10.3.5	<i>Spinte per l'avanzamento della TBM</i> .....	147
10.3.6	<i>Verifica dei conci in fase di spinta</i> .....	149
10.3.7	<i>Verifiche conci in fase di scassero</i> .....	150
10.4	AZIONI DI MITIGAZIONE DEI POTENZIALI RISCHI.....	153
	<i>Instabilità del fronte e del cavo</i> .....	153
	<i>Fenomeni di subsidenza/interferenza con opere preesistenti</i> .....	153



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
**PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	B	4 di 156

<i>Carico idraulico elevato</i> .....	153
<i>Rischio cavità carsiche</i> .....	154
11 FASE DI VERIFICA E MESSA A PUNTO DEL PROGETTO.....	154
11.1 MONITORAGGIO IN CORSO D’OPERA .....	154
12 CONCLUSIONI .....	156



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
**PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	B	5 di 156

## 1 PREMESSA

La presente relazione è parte integrante del progetto definitivo delle opere in sotterraneo per il raddoppio della linea Genova - Ventimiglia nella tratta Finale Ligure – Andora.

## 2 SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO

Nella presente relazione si affrontano le problematiche progettuali connesse alla realizzazione della galleria Croce facente parte della linea ferroviaria Genova – Ventimiglia. Per l'inquadramento generale delle opere in sotterraneo si rimanda alla Relazione tecnica (Rif. [10]).

La progettazione delle opere in sotterraneo, condotta secondo il metodo ADECO-RS, si è articolata nelle seguenti fasi:

1. Fase conoscitiva: è finalizzata allo studio e all'analisi del contesto geologico e geotecnico in cui sarà realizzata la galleria; i risultati dello studio geologico sono descritti nella specifica Relazione Geologica e Idrogeologica a cui si rimanda per l'illustrazione del modello geologico; lo studio geotecnico con la definizione del modello geotecnico di sottosuolo e dei parametri di progetto è illustrata nei capitoli successivi.
2. Fase di diagnosi: si esegue la valutazione della risposta deformativa dell'ammasso allo scavo in assenza di interventi di stabilizzazione per la determinazione delle categorie di comportamento.
3. Fase di terapia: sulla base dei risultati delle precedenti fasi, si individuano le modalità di scavo e gli interventi di stabilizzazione idonei (sezioni tipo) per realizzare l'opera in condizioni di sicurezza. Le soluzioni progettuali sono state analizzate per verificarne l'adeguatezza: sono illustrati metodi e risultati delle analisi condotte per la verifica della stabilità globale della cavità, per il dimensionamento/verifica degli interventi di stabilizzazione e dei rivestimenti, nelle diverse fasi costruttive e in condizioni di esercizio, e per la valutazione dei risentimenti attesi in superficie.
4. Fase di verifica e messa a punto: il progetto è completato dal piano di monitoraggio da predisporre ed attuare nella fase realizzativa. Nel piano di monitoraggio sono individuate le grandezze fisiche a cui riferirsi in corso d'opera per controllare la risposta deformativa dell'ammasso al procedere dello scavo, verificare la rispondenza con le previsioni progettuali e mettere a punto le soluzioni progettuali nell'ambito delle variabilità previste in progetto.



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
**PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	B	6 di 156

### 3 NORMATIVE E SPECIFICHE TECNICHE DI RIFERIMENTO

- Rif. [1] Decreto Ministero delle Infrastrutture e Trasporti 17/01/2018, “Aggiornamento delle Nuove norme tecniche per le costruzioni”;
- Rif. [2] C.S.LL.PP., Circolare n°7 del 21/01/2019, “Istruzioni per l’applicazione dell’Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni” di cui al DM 17/01/2018”.
- Rif. [3] Decreto Ministeriale 28/10/2005. “Sicurezza nelle gallerie ferroviarie”;
- Rif. [4] Regolamento del 10/08/2023 della Commissione dell’Unione Europea – 1303/2014 - relativa alla Specifica Tecnica di Interoperabilità concernente “la sicurezza nelle gallerie ferroviarie” nel sistema ferroviario transeuropeo convenzionale e ad alta velocità;
- Rif. [5] Regolamento del 10/08/2023 della Commissione dell’Unione Europea – 1300/2014 - relativa ad una Specifica Tecnica di Interoperabilità concernente le “persone a mobilità ridotta” nel sistema ferroviario transeuropeo convenzionale e ad alta velocità;
- Rif. [6] Regolamento del 10/08/2023 della Commissione dell’Unione Europea – 1299/2014 - relativa ad una Specifica Tecnica di Interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario transeuropeo ad alta velocità.
- Rif. [7] RFI, doc RFI DTC SI SP IFS 001 E “Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili” (31/12/2020);
- Rif. [8] RFI, doc RFI DTC SI MA IFS 001 E “Manuale di Progettazione delle opere civili” (31/12/2020);
- Rif. [9] ITALFERR, Specifica Tecnica PPA.0002403 “Linee guida per la progettazione geotecnica delle gallerie naturali” (Dicembre 2015).

### 4 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

I documenti referenziati sono documenti di riferimento usati come input per il presente documento. Nella presente relazione, si è fatto riferimento ai seguenti documenti:

- Rif. [10] Progetto Preliminare redatto da Italferr nell’anno 2003;
- Rif. [11] Progetto Definitivo redatto da Italferr nell’anno 2011;
- Rif. [12] U.O. Geologia tecnica, dell’ambiente e del territorio - Elaborati Specialistici;
- Rif. [13] U.O. Geologia tecnica, dell’ambiente e del territorio, documento IV0I00D69RGGE0001001A “Relazione geologica e geomorfologica”;
- Rif. [14] U.O. Geologia tecnica, dell’ambiente e del territorio, documento IV0I00D69RGGE0002001A “Relazione idrogeologica”;

#### 4.1 Documenti Correlati

I documenti correlati sono documenti la cui lettura è consigliata per allargare la conoscenza dell'ambito nel quale il presente documento si inquadra. I documenti correlati sono:

- Rif. [15] Lunardi P. (2006). Progetto e Costruzione di Gallerie: Analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli - ADECO-RS – (Hoepli Ed.);
- Rif. [16] Bernaud D., Benamar I., Rousset G. (1994). La “nouvelle méthode implicite” pour le calcul des tunnel dans les milieux élastoplastiques et viscoplastiques – Revue Francaise de Géotechnique, N° 68.
- Rif. [17] Bernaud D., Rousset G. (1992). La « nouvelle méthode implicite » pour l'étude du dimensionnement des tunnels – Revue Francaise de Géotechnique, N° 60.
- Rif. [18] Peck R.B. (1969). Deep excavations and tunnelling in soft ground. SOA Report 7<sup>th</sup> Int. Conf. SMFE Mexico City, State of the Art Volume.
- Rif. [19] Burland J.B., Wroth C.P. (1974). Settlements of buildings and associated damage. SOA Review Conf. Settlement of Structures, Cambridge, Pentech Press, London.
- Rif. [20] Burland J.B. (1997). Assessment of risk of damage to buildings due to tunnelling and excavation. Earthquake Geotechnical Engineering, Ishihara (ed.). Balkema, Rotterdam.
- Rif. [21] Boscarding M.D., Cording E.G. (1989). Building response to excavation-induced settlement. Jnl. Geo. Engrg. ASCE, 115.
- Rif. [22] Oreste P.P. (1999). Aspetti notevoli dell'analisi e dimensionamento dei sostegni di gallerie attraverso i metodi di calcolo numerici – Gallerie e grandi opere sotterranee, N° 57.
- RIF. [23] Anagnostou G. e Kovari, K.(1996): Face Stability in slurry and EPB shield tunneling. Proc. Int. Symposium on Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground, London (eds. R.J. Mair e R.N. Taylor). Balkema, pp. 453-458.
- Rif. [24] R. J. MAIR, R. N. TAYLOR & A. BRACEGIRDLE, (1993). “Subsurface settlement profiles above tunnels in clay”, Geotechnique 43, No. 2, 315-320.
- Rif. [25] R. J. MAIR, R. N. TAYLOR & J.B. BURLAND, (1996). “Prediction of ground movements and assessment of risk of building damage due to bored tunnelling”, Proceedings IS Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground, London, Balkema.
- Rif. [26] J. B. BURLAND, (1995). “Assessment of risk of damage to buildings due to tunnelling and excavation”, Conf. Earthquake Geotechnical Engineering, IS Tokyo 1995.
- Rif. [27] J. B. BURLAND, C.P. WROTH, (1974). “Settlement of buildings and associated damage”, Conf. Settlement of Structures, Cambridge, 611-654.
- Rif. [28] M.D. BOSCARDIN & E.J. CORDING, (1989). “Building response to excavation-induced settlement”, Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 115, No. 1, 1-21.
- Rif. [29] M.P. O'REILLY & B.M. NEW, (1982). “Settlement above tunnelling UK – their magnitude and prediction”, Tunnelling 1982.
- Rif. [30] Hoek E, Brown E.T. (1997). Practical estimates of rock mass strength. Intl. J. Rock Mech. & Geomechanics Abstracts, 1165-1186.



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
**PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	B	8 di 156

## 5 ALLEGATI

Il documento è corredato dai seguenti allegati:

- All. [1] “Analisi con il metodo delle linee caratteristiche”;
- All. [2] “Risultati delle analisi di interazione terreno - struttura”;

## 6 DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO

I contenuti della presente relazione sono utilmente completati e arricchiti dai seguenti elaborati di progetto:

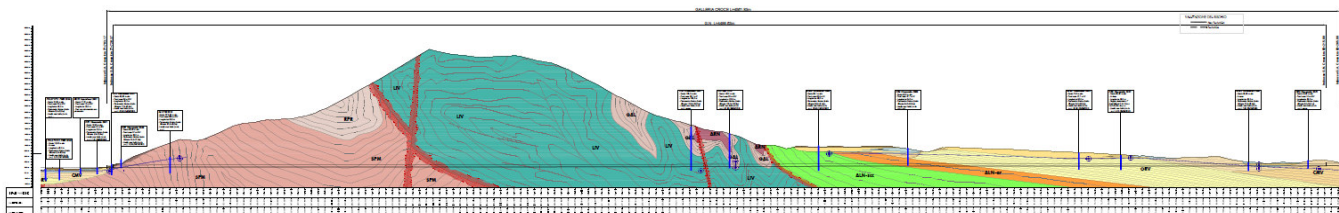
- Rif. [31] U.O. Gallerie, doc IV0I00D07RHGN0000001C - Relazione tecnica delle opere in sottterraneo
- Rif. [32] U.O. Gallerie, doc IV0I00D07RHGN0000002A - Relazione tecnica di monitoraggio
- Rif. [33] U.O. Gallerie, doc IV0I00D07SPGN0000001B - Caratteristiche dei materiali - Note Generali
- Rif. [34] U.O. Gallerie, doc IV0I00D07F6GN0500001C - Profilo geotecnico-geomeccanico Galleria Croce;
- Rif. [35] U.O. Gallerie, doc IV0I00D07WBGN0000002C - Sezioni tipo di intradosso galleria di linea: scavo in meccanizzato
- Rif. [36] U.O. Gallerie, doc IV0I00D07RHGN0000003A - Relazione sulla valutazione delle subsidenze e verifica degli effetti indotti sulle interferenze in superficie
- Rif. [37] U.O. Gallerie, doc IV0I00D07BBGN0000003B - Rivestimento conci prefabbricati - Sezione tipo di avanzamento e carpenteria gallerie Croce e Castellari
- Rif. [38] U.O. Gallerie, doc IV0I00D07BZGN0000001B - Rivestimento conci prefabbricati - Anello universale carpenteria e sviluppata
- Rif. [39] U.O. Gallerie, doc IV0I00D07BZGN0000002B - Rivestimento conci prefabbricati - Particolari costruttivi concio gallerie Croce e Castellari
- Rif. [40] U.O. Gallerie, doc IV0I00D07BKGN0000001B - Rivestimento conci prefabbricati - Carpenteria concio gallerie Croce e Castellari



## 7 DESCRIZIONE DELL'OPERA

### 7.1 Il tracciato e le opere in sotterraneo

La galleria Croce ha una lunghezza complessiva di 4562 m sulla cana pari (dalla progr. 77+703 alla progr. 82+265 binario pari) di cui circa 73 m in artificiale e 4489 m in naturale, mentre sulla canna dispari ha una lunghezza di 4496 (dalla progr. km 77+700 alla progr. 82+253 binario dispari) di cui circa 57 m in artificiale e 4497 in naturale.

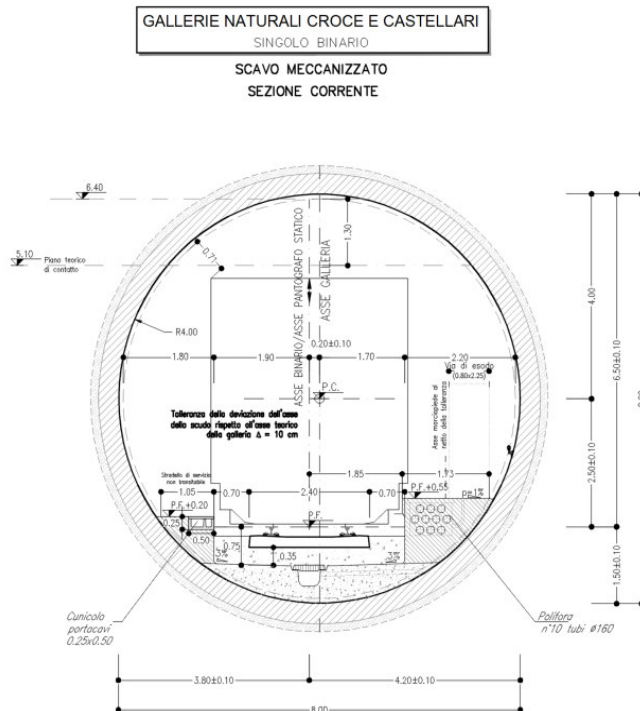


**Figura 1. Profilo galleria Croce**

Il tracciato a partire dall'imbocco lato Genova, si sviluppa planimetricamente su curve, di cui una in sinistra con un raggio di circa 4600 m e una in destra con un raggio di circa 2200 m, collegate da un rettilineo di lunghezza circa 1700 m. Altimetricamente il tracciato presenta una livelletta in ascesa del 1,49‰. In corrispondenza di entrambi gli imbocchi l'interasse fra i due binari risulta pari a circa 12 m mentre raggiunge la massima distanza pari a 30 m circa lungo il tracciato in sotterraneo.

La galleria naturale Croce il cui tracciato, ricadente nei territori comunali di Borghetto Santo Spirito, Ceriale e Albenga, si sviluppa per 4489 m in sotterraneo sul binario pari a partire dall'imbocco lato Genova (progr. km 77+726 binario pari) fino all'imbocco lato Ventimiglia (progr. km 82+215 binario pari) mentre si sviluppa per 4497 m in sotterraneo sul binario dispari a partire dall'imbocco del portale lato Genova (progr. km 77+722 binario dispari) fino all'imbocco del portale lato Ventimiglia (progr. km 82+219-binario dispari).

La realizzazione delle due canne è prevista mediante scavo con fresa tipo TBM dual mode. La scelta di questa tecnica di scavo è dettata essenzialmente dalla maggiore velocità di avanzamento, che potrà consentire la realizzazione di questa opera interamente dall'imbocco lato Genova verso l'imbocco lato Ventimiglia. La sezione di scavo è di circa 68 m<sup>2</sup>.



**Figura 2. Sezione di intradosso Galleria Croce**

Le coperture della galleria, a partire dall'imbocco lato Genova, crescono linearmente fino ad un massimo di 420 m per i primi 1200 m, si mantengono costanti per circa 400 m, poi decrescono linearmente fino alla progr. 79+900 circa; da qui fino allo sbocco lato Ventimiglia per i successivi 2100 m la galleria è caratterizzata da coperture basse, decrescenti da circa 60 m fino a pochi metri.

Le formazioni attraversate dal tracciato lungo il suo sviluppo sono:

- dolomie di San Pietro dei monti (SPM-do), per un tratto di 1140 m, con coperture massime pari a circa 400 m;
- calcari di rocca Livernà (LIV-c), per un tratto di 1240 m, con coperture massime di circa 420 m;
- formazione di Albenga (ALN-scc), per un tratto di circa 430 m con coperture di circa 70 m;
- formazione di Albenga alterata (ALN-ar), per un tratto di circa 300 m con coperture di circa 65 m;
- argille di Ortovero (ORV), per un tratto di circa 680 m con coperture massime di circa 57 m;
- conglomerati di monte Villa (CMV), per un tratto di circa 580 m con coperture massime pari a 25 m..

La galleria naturale in prossimità dell'imbocco lato Genova risulta interferente con l'autostrada dei Fiori, che in quel tratto è realizzata a mezza costa.

A causa delle ridotte coperture e dell'alto angolo di incidenza, l'interferenza con l'autostrada sarà superata mediante la realizzazione al di sotto della carreggiata di un consolidamento con iniezioni cementizie per favorire la realizzazione della galleria con scavo meccanizzato con avanzamento da lato Ventimiglia verso lato Genova.



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
**PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	B	11 di 156

L'esecuzione dei consolidamenti garantirà sempre il transito dei mezzi su almeno una corsia dell'autostrada, riducendo al minimo il periodo di parzializzazione del traffico.

## 7.2 Interferenze lungo il tracciato

L'intero tracciato della galleria Croce non presenta particolari problematiche relativamente all'interferenza dello stesso con le opere e strutture preesistenti.

Lungo il tracciato è stato censito un edificio nelle immediate vicinanze del tracciato della galleria di progetto: l'edificio n°105 (schede fabbricati).

Per i dettagli specifici relativi ai fabbricati esistenti, al monitoraggio e agli eventuali interventi di salvaguardia previsti per le opere preesistenti interferenti con il tracciato si rimanda agli elaborati dedicati.



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
**PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	B	12 di 156

## 8 FASE CONOSCITIVA

Nella fase conoscitiva si acquisiscono gli elementi necessari alla caratterizzazione e modellazione geologica del sito e alla caratterizzazione e modellazione geotecnica del volume significativo interessato dall'opera in sotterraneo.

Nel seguito si riporta un breve inquadramento geologico e la sintesi della caratterizzazione e modellazione geotecnica.

### 8.1 Il modello geologico di riferimento

La Galleria naturale Croce intercetta inizialmente i calcari e le dolomie delle Dolomie di S. Pietro dei Monti (SPM-do), interessate da una doppia struttura plicativa, antiforme prima e sinforme poi, senza interessare verosimilmente il soprastante lembo di breccie riferibili alla Formazione di Rocca Prione (RPR-br). I sondaggi realizzati indicano la presenza di un materiale roccioso molto alterato, fratturato e con potenti livelli brecciati.

Alla pk 78+910 circa lo scavo intercetta un sovrascorrimento che porta a contatto i Calcari di Rocca Livernà (LIV-c) con le Dolomie di S. Pietro dei Monti (SPM-do); da qui in poi la galleria si sviluppa entro i calcari liassici (LIV-c), variamente e ripetutamente piegati per effetto delle implicazioni tettoniche del sovrascorrimento precedentemente descritto. Il sovrascorrimento risulta inoltre rigettato da una faglia N-S, che dovrebbe interessare lo scavo in galleria un centinaio metri prima del sovrascorrimento.

I Calcari di Rocca Livernà (LIV-c) si rinvencono fino alla pk 80+170, con possibilità di intercettare lembi isolati di Breccie di Monte Galero (GAL-bc), eventualmente portati a quota cavo per effetto di pieghe e strutture secondarie.

Qui, la galleria interseca un marcato lineamento tettonico che coincide con un netto cambiamento litologico, determinando il passaggio alla facies calcareo - scistosa della Formazione di Albenga (ALN-scc); dai dati del sondaggio ALB4 tale facies appare, alla quota del cavo, intensamente fratturata e disturbata, con valori di RQD pressoché nulli. Si incontra poi in sequenza stratigrafica la litofacies arenacea della medesima Formazione (ALN-ar), che lascia il posto dalla pk 80+850 alle formazioni plioceniche delle Argille di Ortovero (ORV-a) e dei Conglomerati di Monte Villa (CMV), che possono risultare in parte eteropiche e spesso di difficile distinzione.

Nel tratto finale della galleria, nella zona di imbocco lato Andora (pk 82+265), lo scavo interessa anche terreni alluvionali di natura sia coesiva sia incoerente.

Le principali criticità geologiche e rischi legati agli ammassi riguardanti l'opera sono innanzitutto da ricondursi alle strutture tettoniche intercettate, che oltre complicare l'assetto stratigrafico hanno prodotto un'intensa fratturazione dei litotipi coinvolti, in parte già di per sé brecciati e disturbati.

Occorre pertanto fare attenzione in fase di scavo sia alle zone di debolezza e di via preferenziale di circolazione idrica connesse con la presenza di faglie e thrust, ma anche alla possibile presenza di estesi settori di ammasso brecciati o comunque intensamente fratturati.

Da un punto di vista geomorfologico non si ravvisano particolari criticità per le zone di imbocco, né tantomeno si sospettano interferenze con le forme carsiche censite; in relazione alle litologie calareo – dolomitiche attraversate non si esclude tuttavia la possibilità di intercettare localmente cavità ipogee e fenomenologie carsiche, con particolare riferimento al settore di galleria all’interno le Dolomie di S. Pietro nel Monti.

Per una dettagliata descrizione del modello geologico del sito si rimanda alla “Relazione geologica, geomorfologica” (Rif. [13]).

## 8.2 Indagini geotecniche

Ai fini della caratterizzazione geomeccanica delle formazioni di substrato e delle unità geotecniche interessate dalle opere in sotterraneo sono stati utilizzati sia dati provenienti da campagne d’indagine precedentemente eseguite e rese disponibili da RFI S.p.A., sia dati provenienti da campagne d’indagine appositamente commissionate per la progettazione da Italferr S.p.A.

Le fonti utilizzate sono le seguenti:

- *International Consulting S.r.l. – INTERCONS (1988-1991), I e II fase, Progetto di Massima, incarico FS;*
- *Associazione Temporanea di Imprese con Mandante Compagnia Tecnica Internazionale Progetti S.p.A. – CTIP (1993-1995), Progetto Definitivo, incarico FS*
- *Campagna di rilievi geomeccanici eseguiti da Italferr S.p.A. (1998), Progetto di Massima*
- *Campagna d’indagine eseguita da Italferr S.p.A. (2001)*
- *Campagna d’indagine eseguita da Italferr S.p.A. (2005)*
- *Campagna d’indagine eseguita da Italferr S.p.A. (2006)*
- *Campagna d’indagine eseguita da Italferr S.p.A. (2010)*
- *Campagna d’indagine eseguita da Italferr S.p.A. (2021)*

Con riferimento alle tratte in sotterraneo; nella campagna indagini del 2001 sono stati eseguiti:

- n° 46 sondaggi a carotaggio continuo;
- n°262 prove S.P.T.;
- n° 38 prove di permeabilità tipo Lefranc e n° 3 tipo Lugeon;
- prelievo di n°40 campioni indisturbati e n°174 rimaneggiati;
- installazione di n°34 piezometri a tubo aperto.

Nella campagna di indagini 2005 sono stati eseguiti:

- n° 26 sondaggi a carotaggio continuo;
- n°175 prove S.P.T.;
- n° 43 prove di permeabilità tipo Lefranc;
- prelievo di n°21 campioni indisturbati e n°74 rimaneggiati;

- installazione di n°26 piezometri a tubo aperto.

Nella campagna di indagini 2006 sono stati eseguiti:

- n° 27 sondaggi a carotaggio continuo;
- n°81 prove S.P.T.;
- n° 38 prove di permeabilità tipo Lefranc;
- prelievo di n°5 campioni indisturbati e n°254 rimaneggiati;
- installazione di n°26 piezometri a tubo aperto.

Nella campagna di indagini 2010 sono stati eseguiti:

- n° 7 sondaggi a carotaggio continuo;
- n°7 verticali piezometriche;
- prove geotecniche di laboratorio;
- n° 15 stendimenti sismici tomografici.

Nella campagna di indagini 2010 sono stati eseguiti:

- n° 7 sondaggi a carotaggio continuo;
- n°7 verticali piezometriche;
- prove geotecniche di laboratorio;
- n° 15 stendimenti sismici tomografici.

Nella campagna di indagini 2021 sono stati eseguiti:

- n° 13 sondaggi a carotaggio continuo;
- n°12 verticali piezometriche;
- prove geotecniche di laboratorio;
- n° 25 indagini MASW e HVSR.

### **8.2.1 Indagini e prove in sito**

Sono state condotte le seguenti prove in sito:

- Prove di permeabilità Lefranc;
- Prove di permeabilità Lugeon;
- Prova dilatometrica.
- Prospezioni sismiche MASW



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
**PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	B	15 di 156

### 8.2.2 *Indagini e prove in laboratorio*

Sono state condotte le seguenti prove in sito:

- Prova di resistenza a compressione monoassiale con rilievo delle deformazioni;
- Misura della velocità sonica  $V_p$  e  $V_s$ ;
- Prova di trazione indiretta Brasiliana;
- Point Load Test;
- Prova di taglio diretto;
- Prova di compressione triassiale consolidata non drenata;
- Prova di compressione triassiale consolidata drenata;
- Prova di compressione triassiale non consolidata non drenata.



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	B	16 di 156

### 8.3 Caratterizzazione e modellazione geotecnica

I risultati delle indagini geotecniche, in situ e di laboratorio, hanno permesso di definire il modello geotecnico, rappresentativo delle condizioni stratigrafiche e delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni/rocce interessati dall'opera in sotterraneo lungo il suo tracciato. Il modello geotecnico è rappresentato nell'elaborato "Profilo geotecnico" (Rif. [31]).

#### 8.3.1 Depositi alluvionali incoerenti (Unità 2)

I Depositi alluvionali incoerenti sono costituiti da sabbie medio-fini e sabbie medio-grossolane, con ghiaia fine debolmente limosa, con presenza di clasti poligenici, da arrotondati a ben arrotondati, di diametro massimo 0,5÷1,5 cm.

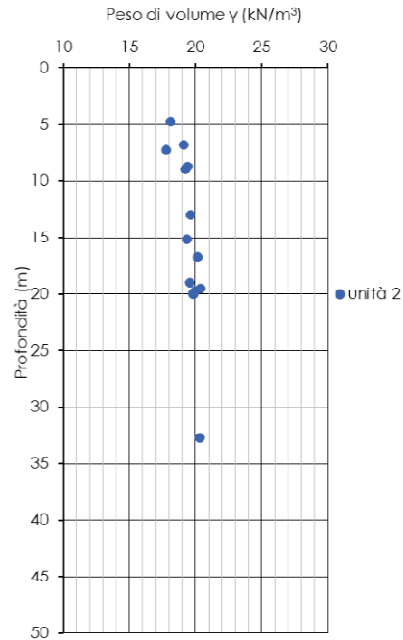
Per la definizione delle caratteristiche fisiche e meccaniche sono stati analizzati 50 campioni di cui 8 indisturbati e 42 rimaneggiati.

L'analisi delle curve granulometriche eseguite sui campioni rimaneggiati e indisturbati ha consentito di classificare il terreno come Ghiaia con Sabbia e Limo debolmente Argillosa (AGI, 1977).

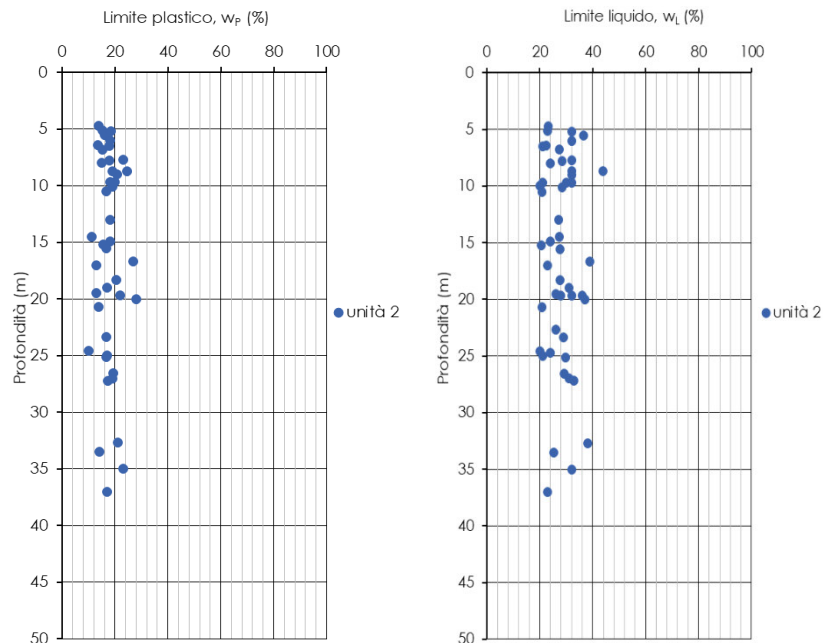
	G	S	L	A
	%	%	%	%
unità 2	35	31	27	7

Si riportano in forma grafica e tabellare le principali grandezze fisiche stimate per l'unità.

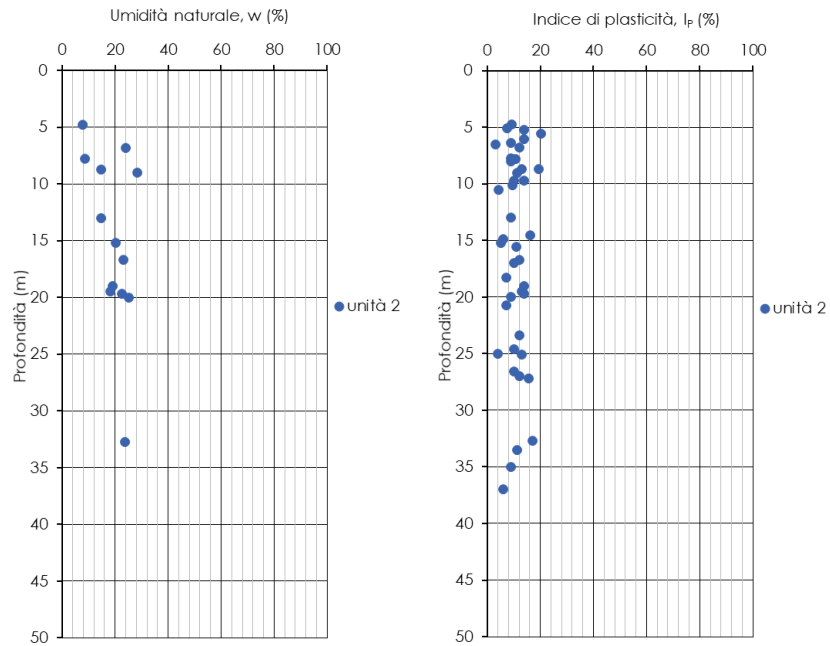




**Figura 3 – Peso dell'unità di volume**



**Figura 4 - Limiti di Atterberg**



**Figura 5 – Umidità relativa e Indice di plasticità**

**RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA NATURALE CROCE**

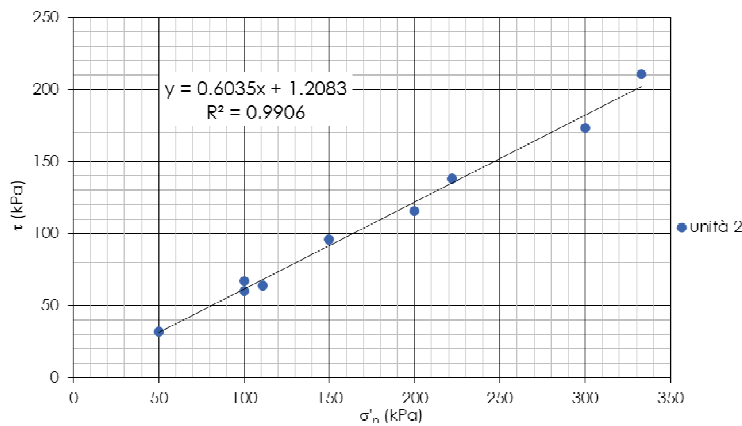
 COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
**IV01 00 D 07 CL GN 05 00 001 B 19 di 156**

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	$\gamma$	w	w <sub>L</sub>	w <sub>p</sub>	I <sub>p</sub>	I <sub>c</sub>	A
(-)	(-)	(m)	(kN/m <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)	(%)	(-)	(-)
CU1	2	14.9			24	18	6.0	4.00	0.25
D7	CH1	7.3	17.8						
D7	CR5	20.0	19.8						
BH6	B	14.5			27.32	11.25	16.1	1.70	0.24
BH7	C	27.2			32.87	17.29	15.6	2.11	0.21
BH10	C	25.1			29.83	16.79	13.0	2.29	0.49
BH13	2	9.0	19.2	28.5	32.11	20.82	11.3	0.32	0.20
BH15	2	4.8	18.1	7.7	23.08	13.89	9.2	1.67	0.40
BH20	2	15.2	19.3	20.3	20.63	15.6	5.0	0.07	0.11
BH25	B	5.6			36.44	16.12	20.3	1.79	0.36
BH25	D	23.4			29	16.82	12.2	2.38	0.39
BH26	A	5.2			32.19	18.37	13.8	2.33	0.29
BH26	B	10.5			20.78	16.59	4.2	4.96	0.11
BH31	1	6.8	19.1	24.0	27.46	15.27	12.2	0.28	0.35
BH36	B	8.7			43.95	24.63	19.3	2.27	0.31
BH36	C	26.6			29.3	19.3	10.0	2.93	0.19
BH45	A	18.3			27.7	20.41	7.3	3.80	0.21
BH45	C	33.5			25.19	13.95	11.2	2.24	0.41
BH46	C	15.6			27.62	16.77	10.9	2.55	0.44
BH54	C	20.7			20.94	13.7	7.2	2.89	0.40
BH55	A	5.1			22.79	15.36	7.4	3.07	0.44
BH55	B	10.1			28.5	18.96	9.5	2.99	0.39
BH56	2	7.8		8.6	28.43	17.76	10.7	1.86	0.57
BH57	A	6.5			21	17.97	3.0	6.93	0.10
BH58	C	24.6			19.98	10	10.0	2.00	0.35
BH65	A	6.4			22.37	13.46	8.9	2.51	0.56
PNL371V02	CR2	25.0			21	17	4.0	5.25	0.23
PNL371V03	CR2	24.7			24				
PNL371V03	CR3	35.0			32	23	9.0	3.56	0.24
PNL371V04	CR3	27.0			31	19	12.0	2.58	0.17
PNL371V04	CR4	37.0			23	17	6.0	3.83	0.16
PNL371C06	CR1	6.0			32	18	14.0	2.29	0.37
PNL371C06	CR2	19.7			28				
PNL371P10	CI2	19.5	20.4	18.2	26	13	13.0	0.60	0.20
PNL371O13	CR1	9.7			21				
PNL371O13	CR2	19.7	20.0	22.5	32				
PNL371C14	CR1	13.0	19.6	14.7	27	18	9.0	1.37	0.21
PNL371C14	CR2	22.7			26				
PNL371C15	CR1	9.7			30	20	10.0	3.00	0.18
PNL371C15	CR2	19.0	19.6	19.2	31	17	14.0	0.84	0.25
PNL371C16	CR1	8.7	19.4	14.7	32	19	13.0	1.33	0.27
PNL371C16	CR2	19.7			36	22	14.0	2.57	0.16
PNL371C16	CI1	16.7	20.1	23.0	39	27	12.0	1.33	0.20
PNL371C16	CI2	20.0	19.9	25.1	37	28	9.0	1.32	0.11
PNL371P17	CR1	7.7			32	23	9.0	3.56	0.14
PNL371B19	CR1	9.7			32	18	14.0	2.29	0.27
PNL371V22	CR2	17.0			23	13	10.0	2.30	0.37
PNL371V25	CR2	8.0			24	15	9.0	2.67	0.33
PNL371V26	CR1	10.0			20				
PNL371V26	CR3	32.7	20.3	23.7	38	21	17.0	0.84	0.17

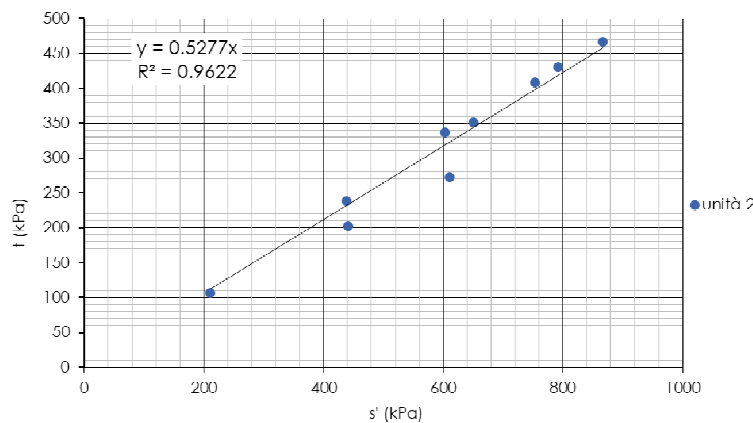
Le caratteristiche meccaniche, di deformabilità e resistenza, dell'unità geotecnica sono state stimate mediante prove di laboratorio eseguite sui campioni indisturbati e sua base dei risultati delle prospezioni sismiche MASW.

L'involuppo di resistenza dei risultati delle prove di taglio diretto nel piano di Mohr-Coulomb (Figura 6), fornisce un valore di intercetta di coesione  $c'$  pari a 1 kPa e angolo di resistenza al taglio  $\varphi'$  pari a circa  $31^\circ$ .

L'involuppo di resistenza nel piano degli invarianti  $t'$  ed  $s'$  (Figura 7) derivante delle prove triassiali CIU eseguite sui campioni indisturbati restituisce un valore di coesione  $c'$  pari a circa 0 kPa e angolo di resistenza al taglio  $\varphi'$  pari a circa  $32^\circ$ .



**Figura 6. Prove di taglio diretto**



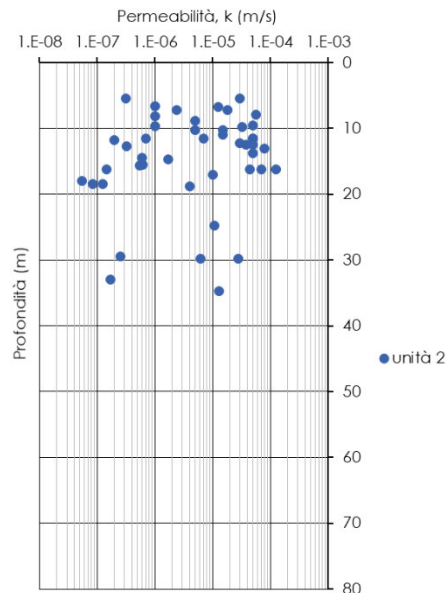
**Figura 7. Prove triassiali**

Di seguito la tabella riassuntiva, con i valori a rottura, delle prove di taglio diretto e delle prove di compressione triassiale:

Prove di taglio diretto					
Sondaggio e Campione	Profondità da p.c.	$\sigma'_n$	$\tau$	$\varphi'$	$c'$
(-)	(m)	(kPa)	(kPa)	°	kPa
D7 - C11	7.3	111	64	32.0	0.0
		222	138		
		333	211		
BH15 - 2	4.75	50	32	32.5	1.0
		100	67		
		150	96		
BH56 - 2	7.8	100	60	29.6	3.0
		200	116		
		300	173		

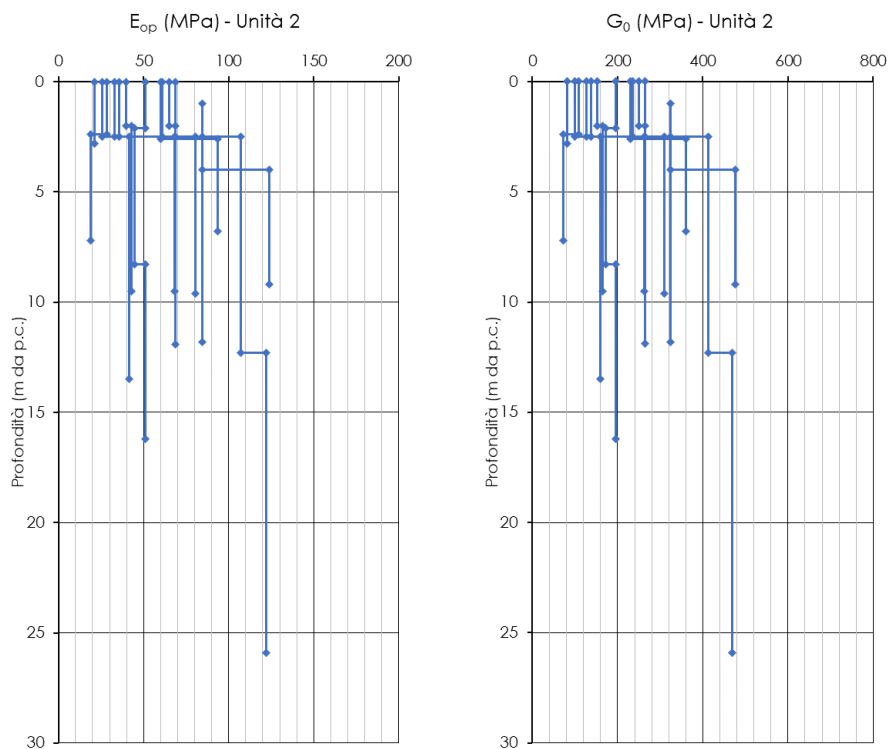
Prove di compressione triassiale								
Prova	Sondaggio / Campione	Profondità da p.c.	$\sigma'_1$	$\sigma'_3$	$(\sigma'_1 - \sigma'_3)/2$	$(\sigma'_1 + \sigma'_3)/2$	$\varphi'$	$c'$
(-)	(-)	(m)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	°	kPa
CIU	PNL371C16 - C11	16.7	318	105	107	211	24.5	21.2
			643	238	203	440		
			884	339	273	611		
CID	BH20 - 2	15.2	756	200	238	438	32.3	4.9
			1082	300	351	651		
			1414	400	467	867		

Sono state eseguite prove di permeabilità di tipo Lefranc per la definizione delle caratteristiche di permeabilità. Il coefficiente di permeabilità ottenuto risulta compreso tra  $1 \cdot 10^{-4}$  e  $5 \cdot 10^{-8}$  m/s.



**Figura 8. Coefficiente di permeabilità  $k$  da prove in sito**

Nella figura seguente si riportano i risultati delle indagini sismiche MASW, diagrammando l'andamento con la profondità del modulo di taglio iniziale  $G_0$  e del modulo operativo  $E_{op}$ , assunto pari al 10% del modulo di Young iniziale.



**Figura 9 – Modulo di Taglio iniziale e modulo di Young operativo da prove geofisiche**

### 8.3.2 Depositi alluvionali coesivi (Unità 3)

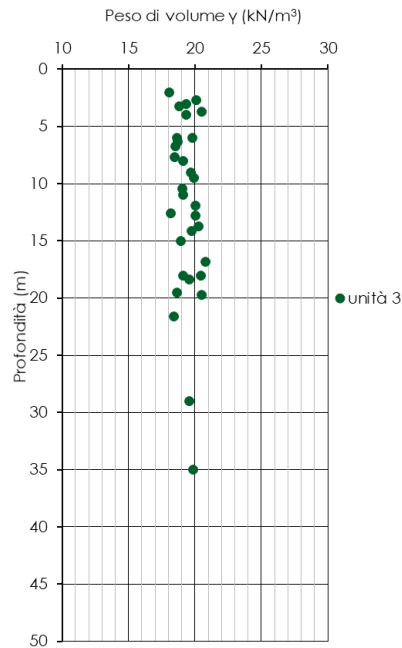
I Depositi alluvionali coesivi sono costituiti da argilla limosa a tratti sabbiosa, talora con ghiaia di colore giallo-marrone con screziature rossicce e arancioni.

Per la definizione delle caratteristiche fisiche e meccaniche sono stati analizzati 71 campioni di cui 17 indisturbati e 54 rimaneggiati.

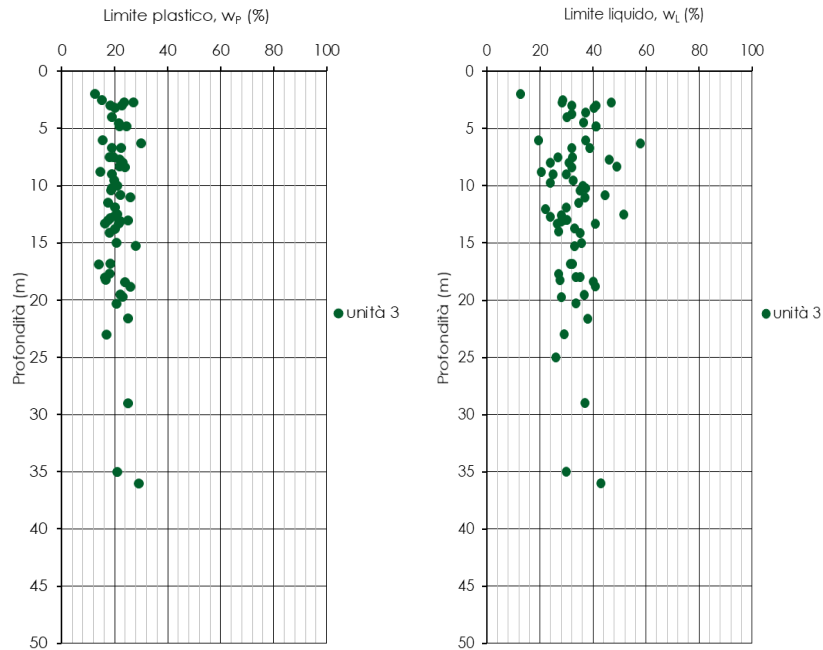
L'analisi delle curve granulometriche eseguite sui campioni rimaneggiati e indisturbati ha consentito di classificare il terreno come Limo sabbioso argilloso debolmente ghiaioso (AGI, 1977).

	G	S	L	A
	%	%	%	%
unità 3	7	24	53	16

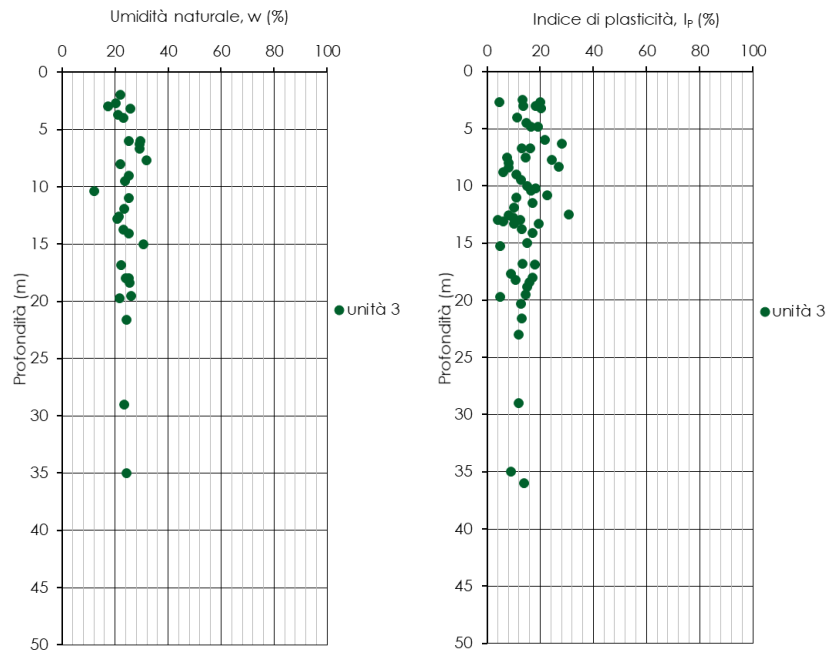
Si riportano in forma grafica e tabellare le principali grandezze fisiche stimate per l'unità.



**Figura 10 – Peso dell'unità di volume**



**Figura 11 - Limiti di Atterberg**



**Figura 12 – Umidità relativa e Indice di plasticità**



**RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA NATURALE CROCE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	B	25 di 156

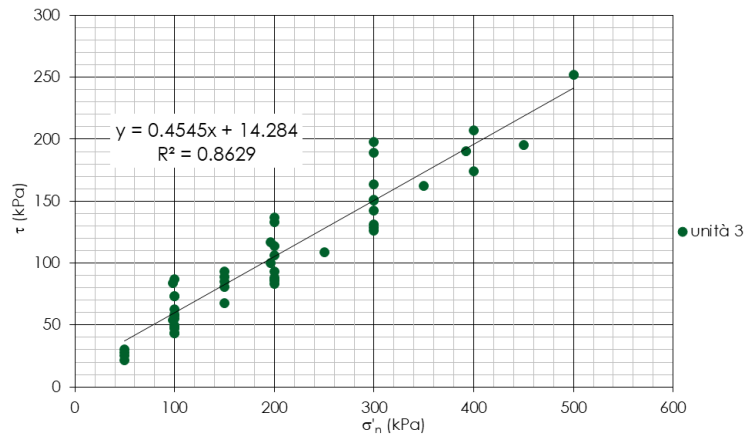
Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	$\gamma$	w	w <sub>L</sub>	w <sub>p</sub>	I <sub>p</sub>	I <sub>c</sub>	A
(-)	(-)	(m)	(kN/m <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)	(%)	(-)	(-)
MA3	A	21.6	18.4	24.2	38.0	25.0	13.0	1.1	0.2
MA4	A	8	19.1	22.1	31.0	23.0	8.0	1.1	0.1
MA4	B	11	19.1	25.2	37.0	26.0	11.0	1.1	0.1
MA4	C	12.6	18.2	21.4	28.0	20.0	8.0	0.8	0.1
MA2	2	8.4			32.0	24.0	8.0	4.0	0.1
MA2	3	13			29.0	25.0	4.0	7.3	0.1
MA2	4	15.25			33.0	28.0	5.0	6.6	0.1
BH6	C	16.85	20.8	22.1	32.2	14.2	18.0	0.6	0.2
BH6	D	18.25			27.6	16.8	10.8	2.5	0.2
BH7	1	16.8			31.5	18.3	13.2	2.4	0.4
BH7	A	8.8			20.6	14.5	6.1	3.4	0.2
BH8	1	7.7	18.4	32.0	46.2	21.9	24.3	0.6	0.3
BH10	1	6.7	18.5	29.2	38.9	22.6	16.3	0.6	0.2
BH10	A	13.3			40.9	21.6	19.3	2.1	0.2
BH10	B	20.3			33.7	20.8	12.9	2.6	0.2
BH12	B	13			30.2	17.6	12.6	2.4	0.2
BH12	C	19.5	18.6	26.0	36.6	22.1	14.5	0.7	0.2
BH13	A	2.5			28.5	15.1	13.4	2.1	0.2
BH13	1	6	18.6	29.5	37.2	15.4	21.8	0.4	0.3
BH15	1	3	19.3	17.3	41.0	22.8	18.2	1.3	0.3
BH15	3	9.5	19.9	23.9	32.6	19.8	12.9	0.7	0.2
BH15	4	15	18.9	30.6	35.7	20.6	15.1	0.3	0.3
BH15	5	18	19.1	25.1	33.4	16.2	17.2	0.5	0.2
BH20	B	10.85							
BH20	1	12.8	20.0	20.9	28.3	18.5	9.8	0.7	0.1
BH29	A	4.8			41.2	21.9	19.2	2.1	0.4
BH29	1	10.2			37.2	18.9	18.4	2.0	0.4
BH31	A	4.8			41.1	24.6	16.6	2.5	0.4
BH32	A	8.3			48.9	21.9	27.0	1.8	0.3
BH32	B	11.5			34.6	17.4	17.2	2.0	0.3
BH34	A	2.7			46.9	27.0	19.9	2.4	0.2
BH34	B	10.8			44.5	22.0	22.5	2.0	0.2
BH36	A	4.5			36.5	21.6	14.9	2.4	0.3
BH36	D	12.5			51.7	20.9	30.8	1.7	0.3
BH42	A	3.6			37.2				
BH44	B	13.3			26.5	16.4	10.1	2.6	0.1
BH50	B	7.5			32.3	17.9	14.4	2.2	0.4
BH51	1	3.2	18.8	25.7	40.5	20.1	20.4	0.7	0.2
BH52	2	6	19.8	25.2	19.5				
BH53	1	2	18.1	21.9	12.6	12.6			
BH56	1	2.7	20.1	20.2	28.3	23.6	4.7	1.7	0.1
BH57	1	4	19.3	23.2	30.2	19.0	11.3	0.6	0.2
BH58	1	3			32.0	18.4	13.6	2.4	0.3
BH58	2	7.5			26.9	19.5	7.4	3.6	0.2
BH58	3	10.4	19.0	12.1	35.2	18.7	16.5	1.4	0.3
BH65	1	10			36.1	21.1	15.0	2.4	0.3
PNL371PO1	CR1	6.3	18.7	29.2	58.0	30.0	28.0	1.0	0.3
PNL371V02	CR3	36			43.0	29.0	14.0	3.1	0.2
PNL371V03	CI1	19.7	20.5	21.7	28.0	23.0	5.0	1.3	0.1

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	$\gamma$	w	wL	wP	I <sub>P</sub>	I <sub>C</sub>	A
(-)	(-)	(m)	(kN/m <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)	(%)	(-)	(-)
PNL371V04	CR2	17.7			27.0	18.0	9.0	3.0	0.3
PNL371B08	CR1	3.7	20.5	21.0	32.0				
PNL371B08	CR2	12.7			24.0				
PNL371B08	CR3	23			29.0	17.0	12.0	2.4	0.3
PNL371P10	CR2	14			27.0				
PNL371P10	CR3	25			26.0				
PNL371P10	CI1	11.9	20.1	23.5	30.0	20.0	10.0	0.7	0.1
PNL371P11	CR1	8			24.0				
PNL371P11	CR2	12			22.0				
PNL371O12	CR1	9			25.0				
PNL371D18	CR1	6.7			32.0	19.0	13.0	2.5	0.2
PNL371O20	CR1	9.7			24.0				
PNL371O20	CR2	18	20.4	24.1	35.0				
PNL371O20	CR3	29	19.6	23.5	37.0	25.0	12.0	1.1	0.1
PNL371O20	CI1	13.75	20.3	23.2	33.0	20.0	13.0	0.8	0.1
PNL371V24	CR2	18.8			41.0	26.0	15.0	2.7	0.3
PNL371V24	CI1	9	19.7	25.3	30.0	19.0	11.0	0.4	0.1
PNL371V24	CI2	14.1	19.8	25.1	35.0	18.0	17.0	0.6	0.2
PNL371V25	CR3	13.1			28.0	22.0	6.0	4.7	0.1
PNL371V25	CI1	18.4	19.6	25.4	40.0	24.0	16.0	0.9	0.2
PNL371V25	CI2	35	19.9	24.4	30.0	21.0	9.0	0.6	0.1

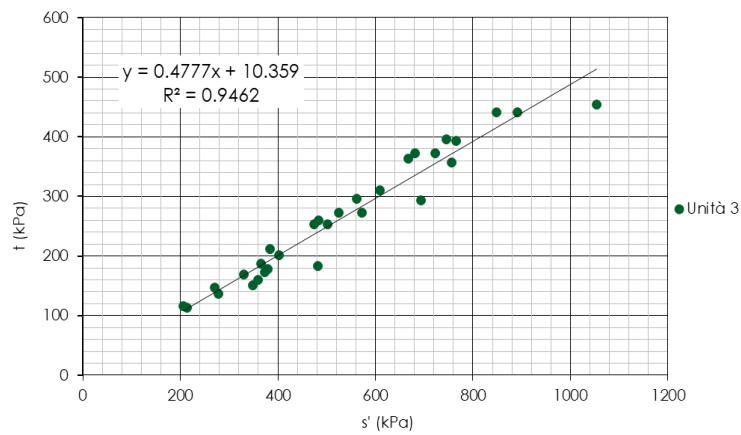
Le caratteristiche meccaniche, di deformabilità e resistenza, dell'unità geotecnica sono state stimate mediante prove di laboratorio eseguite sui campioni indisturbati e sua base dei risultati delle prospezioni sismiche MASW.

L'involuppo di resistenza dei risultati delle prove di taglio diretto nel piano di Mohr-Coulomb (Figura 13), fornisce un valore di intercetta di coesione  $c'$  pari a 14 kPa e angolo di resistenza al taglio  $\phi'$  pari a circa 24°.

L'involuppo di resistenza nel piano degli invarianti  $t'$  ed  $s'$  (Figura 14) derivante delle prove triassiali CIU eseguite sui campioni indisturbati restituisce un valore di coesione  $c'$  pari a circa 14 kPa e angolo di resistenza al taglio  $\phi'$  pari a circa 28°.



**Figura 13. Prove di taglio diretto**



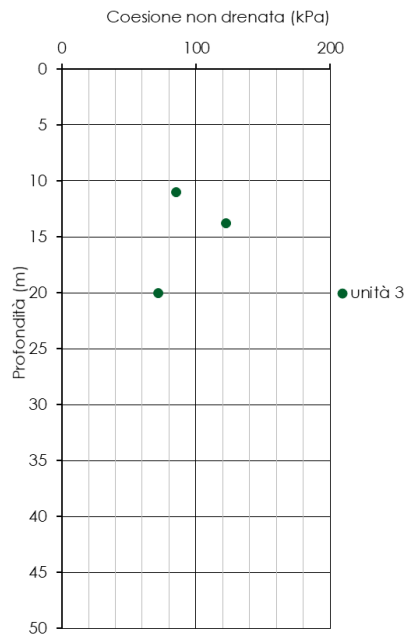
**Figura 14. Prove triassiali**

Di seguito la tabella riassuntiva, con i valori a rottura, delle prove di taglio diretto e delle prove di compressione triassiale:

Prove di taglio diretto					
Sondaggio e Campione	Profondità da p.c.	$\sigma'_n$	$\tau$	$\phi'$	$c'$
(-)	(m)	(kPa)	(kPa)	°	kPa
MA4 - B	11	100	87	27.0	35.7
		200	137		
		300	189		
MA4 - C	12.6	100	73	32.0	9.7
		200	133		
		300	198		
BH6 - C	16.85	250	108	23.4	3.9
		350	162		
		450	195		
BH7 - 1	16.8	200	88	23.2	1.6
		300	129		
		400	174		
BH12 - C	19.5	300	151	26.7	1.9
		400	207		
		500	252		
BH15 - 1	3	50	30	30.5	1.6
		100	62		
		150	89		
BH15 - 3	9.5	100	58	28.0	2.9
		200	106		
		300	164		
BH29 - 1	10.2	100	43	23.7	1.4
		200	93		
		300	131		
BH52 - 2	6	50	28	28.0	1.6
		100	55		
		150	81		
BH53 - 1	2	50	25	32.8	0.0
		100	74		
		150	93		
BH57 - 1	4	100	58	28.9	2.8
		150	85		
		200	114		
BH58 - 1	3	50	22	24.6	0.2
		100	49		
		150	68		
BH58 - 2	7.5	100	50	24.8	0.5
		200	87		
		300	142		
BH58 - 3	10.4	100	44	22.5	1.7
		200	84		
		300	126		
BH65 - 1	10	100	47	25.6	0.0
		200	86		
		300	150		
PNL371P10 - CII	11.9	98	54	24.9	8.8
		196	100		
		392	191		
PNL371O20 - CII	13.75	196	117	20.4	42.9
		392	187		
		588	263		
PNL371V24 - CII	9	98	84	28.0	29.0
		196	128		
		294	188		
PNL371V25 - CII	18.4	196	182	30.8	77.3
		392	337		
		588	416		

Prove di compressione triassiale								
Prova	Sondaggio / Campione	Profondità da p.c.	$\sigma'_1$	$\sigma'_3$	$(\sigma'_1 - \sigma'_3)/2$	$(\sigma'_1 + \sigma'_3)/2$	$\phi'$	$c'$
(-)	(-)	(m)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	°	kPa
CIU	MA3 - A	21.6	817	124	147	270	29.8	11.0
			953	179	187	366		
			1198	253	272	526		
CIU	MA4 - A	8	716	141	137	279	30.2	0.0
			800	161	169	330		
			903	201	201	402		
CIU	BH8 - 1	7.7	402	89	116	205	14.2	67.6
			579	198	150	348		
			745	298	184	482		
CID	BH10 - 1	6.7	407	100	114	214	26.4	16.3
			627	200	173	373		
			925	300	272	572		
CIU	BH15 - 5	18	807	221	253	474	30.5	19.1
			1134	309	373	682		
			1370	407	442	848		
CIU	PNL371V03 - CI1	19.7	857	265	296	561	28.6	37.0
			1030	304	363	667		
			1158	372	393	765		
CIU	PNL371V25 - CI2	35	596	172	212	384	30.8	16.5
			743	223	260	483		
			1141	350	396	745		
CID	BH15 - 4	15	1000	300	310	610	28.7	2.8
			637	200	179	379		
			1194	400	357	757		
CID	BH15 - 5	18	835	250	253	503	29.3	12.3
			1175	350	373	723		
			1413	450	442	892		
CIU	PNL371V24 - CI2	14.1	519	200	160	360	25.1	4.5
			986	400	293	693		
			1509	600	454	1054		

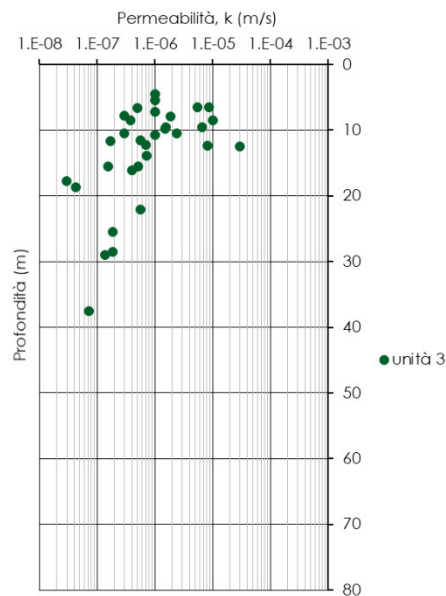
I valori di coesione non drenata ottenuti dalle prove di laboratorio di compressione triassiale non consolidata non drenata sono diagrammati in funzione della profondità in Figura 15. I valori risultano compresi tra 27 e 123 kPa.



Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	$C_{u,DK-11}$
(-)	(-)	(m)	(kPa)
MA4 - B	B	11	85
PNL371020 - CI1	CI1	13.75	123
SAF_S09 - CI1	CI1	20	72

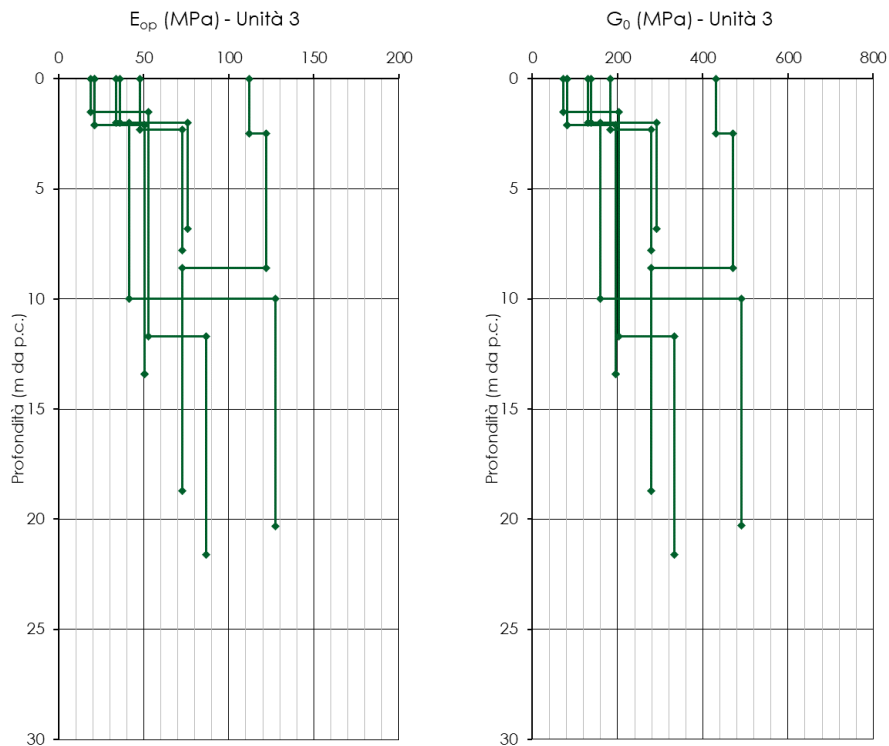
**Figura 15. Resistenza al taglio non drenata**

Sono state eseguite prove di permeabilità di tipo Lefranc per la definizione delle caratteristiche di permeabilità. Il coefficiente di permeabilità ottenuto risulta compreso tra  $3 \cdot 10^{-5}$  e  $3 \cdot 10^{-8}$  m/s.



**Figura 16. Coefficiente di permeabilità  $k$  da prove in sito**

Nella figura seguente si riportano i risultati delle indagini sismiche MASW, diagrammando l'andamento con la profondità del modulo di taglio iniziale  $G_0$  e del modulo operativo  $E_{op}$ , assunto pari al 10% del modulo di Young iniziale.



**Figura 17 – Modulo di Taglio iniziale e modulo di Young operativo da prove geofisiche**

### 8.3.3 Argille di Ortovero (ORV-a)

L'unità geotecnica delle Argille di Ortovero è costituita marne e argille grigie e grigio-azzurre, più o meno siltose, e argille siltoso-sabbiose spesso intercalate da bioconglomerati. Nella parte superiore presenza di sabbie giallastre marnose alternate a conglomerati poco cementati.

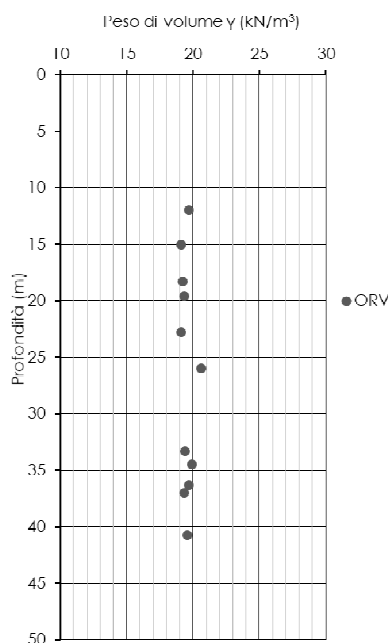
Per la definizione delle caratteristiche fisiche e meccaniche sono stati analizzati 15 campioni di cui 12 indisturbati e 3 rimaneggiati.

La caratterizzazione geomeccanica di tale unità è legata prevalentemente ai risultati delle indagini e prove in sito e in laboratorio effettuate nell'area all'aperto di Borghetto S. Spirito.

L'analisi delle curve granulometriche eseguite sui campioni rimaneggiati e indisturbati ha consentito di classificare il terreno come Limo sabbioso debolmente argilloso (AGI, 1977).

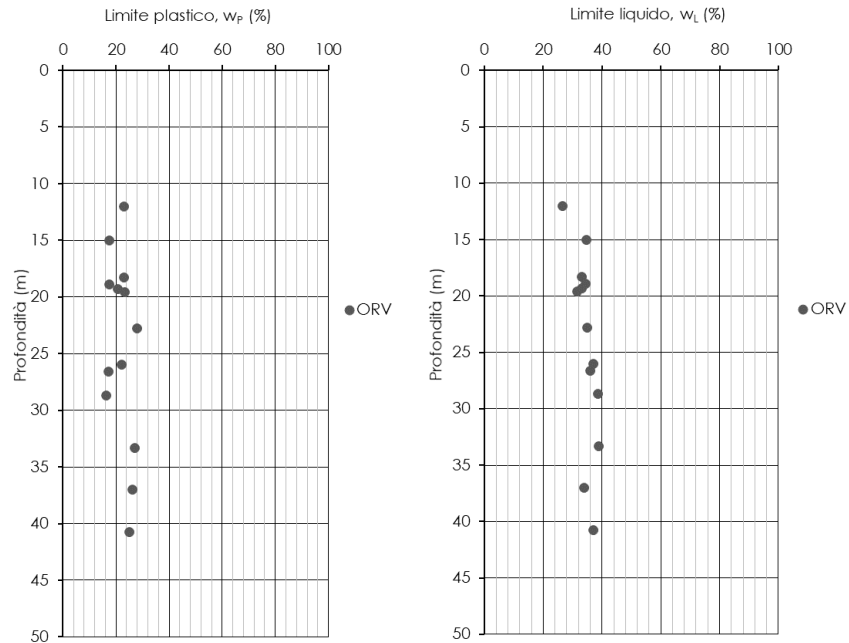
	G	S	L	A
	%	%	%	%
<b>ORV</b>	<b>3</b>	<b>20</b>	<b>66</b>	<b>11</b>

Si riportano in forma grafica e tabellare le principali grandezze fisiche stimate per l'unità.

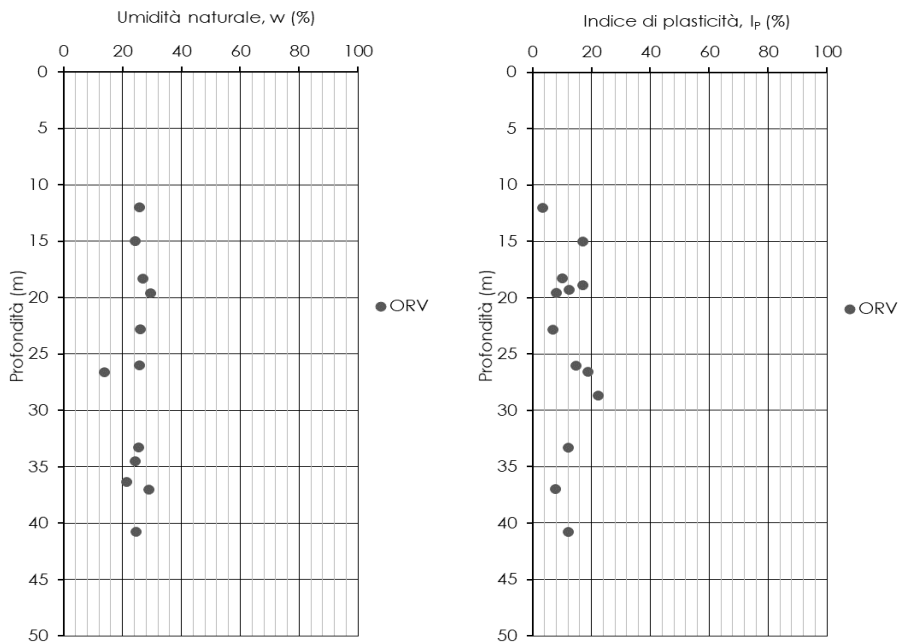


**Figura 18 – Peso dell'unità di volume**





**Figura 19 - Limiti di Atterberg**



**Figura 20 – Umidità relativa e Indice di plasticità**

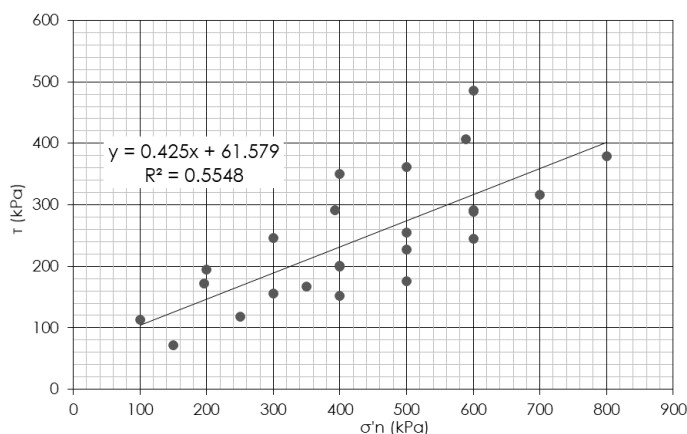
Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	$\gamma$	w	w <sub>L</sub>	w <sub>p</sub>	I <sub>p</sub>	I <sub>c</sub>	A
(-)	(-)	(m)	(kN/m <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)	(%)	(-)	(-)
CR5	A	18.3	19.2	26.9	33	23	10	0.61	0.14
CR5	B	22.8	19.1	25.9	35	28	7	1.30	0.10
CR5	C	33.3	19.4	25.6	39	27	12	1.12	0.13
CR5	D	40.75	19.6	24.7	37	25	12	1.03	0.13
CR4	A	36.3	19.7	21.4					
BH12	1	37	19.3	28.98	33.92	26.19	7.73	0.64	0.08
BH13	3	12	19.7	25.72	26.5	22.96	3.54	0.22	0.05
BH13	4	15	19.1	24.19	34.57	17.58	16.99	0.61	0.20
BH13	B	18.9			34.46	17.43	17.03	2.02	0.19
BH15	B	19.3			33.22	20.8	12.42	2.67	0.13
BH15	C	28.7			38.6	16.21	22.39	1.72	0.27
BH52	3	19.6	19.3	29.65	31.46	23.3	8.16	0.22	0.11
BH52	4	26.6		13.87	36.02	17.28	18.74	1.18	0.36
BH53	2	26	20.6	25.67	37.11	22.23	14.88	0.77	0.15
PNL371P11	CI3	34.5	19.9	24.2					

Le caratteristiche meccaniche, di deformabilità e resistenza, dell'unità geotecnica sono state stimate mediante prove di laboratorio eseguite sui campioni indisturbati e sua base dei risultati delle prospezioni sismiche MASW.

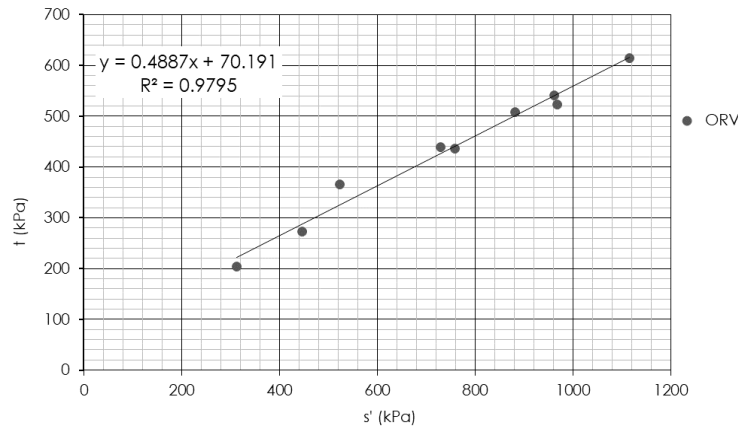
L'involuppo di resistenza dei risultati delle prove di taglio diretto nel piano di Mohr-Coulomb (Figura 21), fornisce un valore di intercetta di coesione  $c'$  pari a 50 kPa e angolo di resistenza al taglio  $\phi'$  pari a circa 34°.

L'involuppo di resistenza nel piano degli invarianti  $t'$  ed  $s'$  (Figura 22) derivante delle prove triassiali CIU eseguite sui campioni indisturbati restituisce un valore di coesione  $c'$  pari a circa 80 kPa e angolo di resistenza al taglio  $\phi'$  pari a circa 29°.

Data la scarsa correlazione degli involuppi a rottura, si è fatto riferimento ai risultati delle singole prove di laboratorio.



**Figura 21. Prove di taglio diretto**



**Figura 22. Prove triassiali**

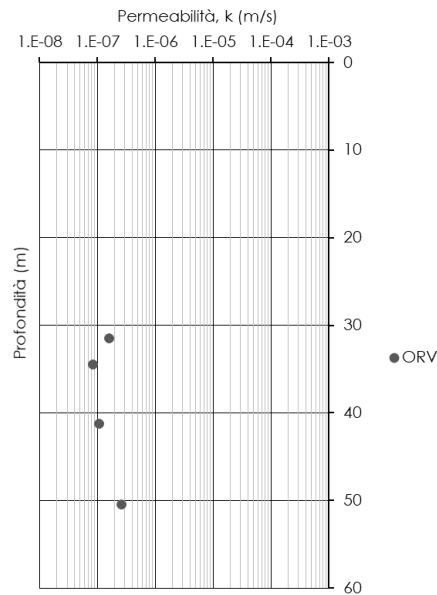
Di seguito la tabella riassuntiva, con i valori a rottura, delle prove di taglio diretto e delle prove di compressione triassiale:

Prove di taglio diretto					
Sondaggio e Campione	Profondità da p.c.	$\sigma'_n$	$\tau$	$\phi'$	$c'$
(-)	(m)	(kPa)	(kPa)	°	kPa
BH12 - 1	37	600	289	24.2	14.2
		700	317		
		800	379		
BH13 - 3	12	150	72	25.4	0.2
		250	118		
		350	167		
BH52 - 3	19.6	300	156	26.5	4.4
		400	201		
		500	255		
BH52 - 4	26.6	400	152	21.0	0.0
		500	176		
		600	245		
BH53 - 2	26	400	200	24.6	10.9
		500	227		
		600	291		
PNL371P11 - C13	34.5	196	173	30.9	55.5
		392	291		
		588	407		

Prove di compressione triassiale								
Prova	Sondaggio / Campione	Profondità da p.c.	$\sigma'_1$	$\sigma'_3$	$(\sigma'_1 - \sigma'_3)/2$	$(\sigma'_1 + \sigma'_3)/2$	$\phi'$	$c'$
(-)	(-)	(m)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	°	kPa
CIU	CR5 - A	18.3	920	174	273	447	28.8	69.8
			1395	322	436	758		
			1691	446	523	969		
CIU	CR5 - C	33.3	766	109	203	312	31.6	52.1
			1420	290	440	730		
			1752	421	540	962		
CIU	CR5 - D	40.75	1139	157	366	523	24.7	159.6
			1639	374	508	881		
			1981	501	615	1116		

È stata eseguita un'unica prova di compressione triassiale non consolidata non drenata per la determinazione della resistenza non drenata. Il valore risulta pari a 261 kPa.

Sono state eseguite un totale di 4 prove di permeabilità di tipo Lefranc. Il coefficiente di permeabilità ottenuto risulta compreso tra  $3 \cdot 10^{-7}$  e  $8 \cdot 10^{-8}$  m/s.



**Figura 23. Coefficiente di permeabilità  $k$  da prove in sito**

Nella figura seguente si riportano i risultati delle indagini sismiche MASW, diagrammando l'andamento con la profondità del modulo di taglio iniziale  $G_0$  e del modulo operativo  $E_{op}$ , assunto pari al 10% del modulo di Young iniziale.

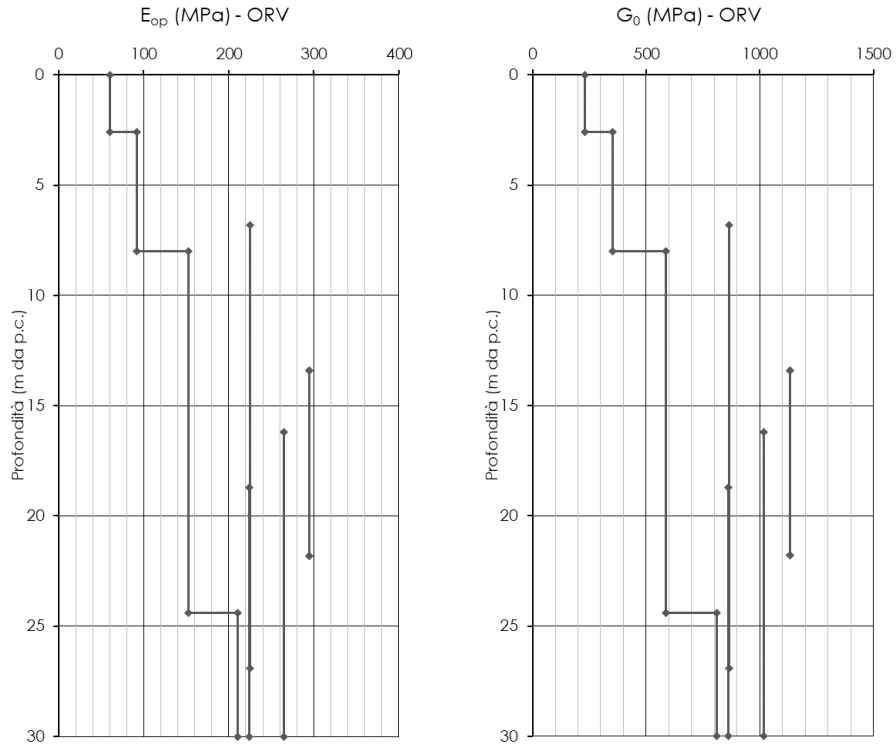


Figura 24 – Modulo di Taglio iniziale e modulo di Young operativo da prove geofisiche

### 8.3.4 Conglomerati di Monte Villa (CMVi)

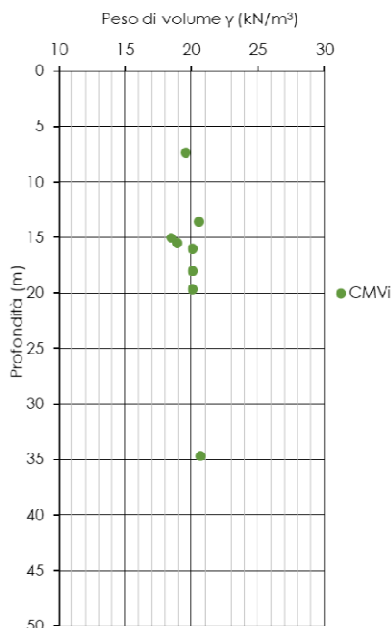
L'unità geotecnica dei Conglomerati di Monte Villa è costituita da sabbia limosa e limo sabbioso debolmente ghiaioso, di colore marrone, molto addensato.

Per la definizione delle caratteristiche fisiche e meccaniche sono stati analizzati 36 campioni di cui 9 indisturbati e 27 rimaneggiati, relativi alle verticali di indagine: BH20, BH28, BH29, BH30, BH32, BH34, BH36, BH38, BH42, BH46, BH49, PNL371C14, PNL371C15, PNL371P17, PNL371D18, PNL371B19, PNL371O21 e PNL371V22.

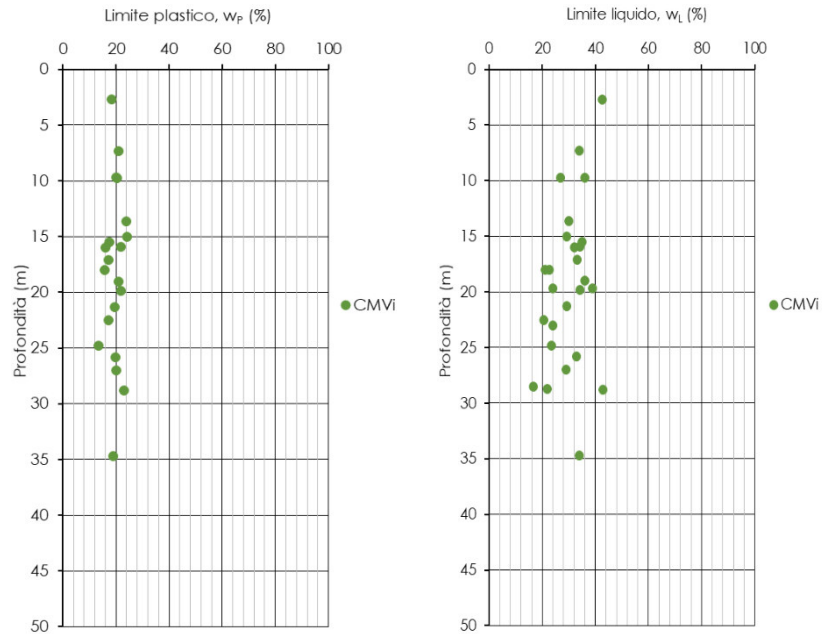
L'analisi delle curve granulometriche eseguite sui campioni rimaneggiati e indisturbati ha consentito di classificare il terreno come Limo con Sabbia debolmente Argilloso (AGI, 1977).

	G	S	L	A
	%	%	%	%
CMVi	11	28	43	18

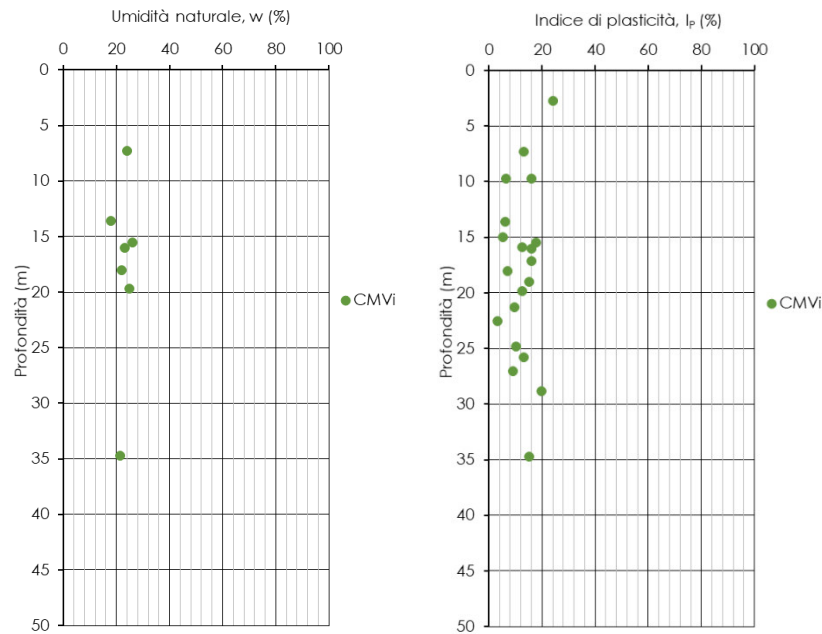
Si riportano in forma grafica e tabellare le principali grandezze fisiche stimate per l'unità.



**Figura 25 – Peso dell'unità di volume**



**Figura 26 - Limiti di Atterberg**



**Figura 27 – Umidità relativa e Indice di plasticità**

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	B	40 di 156

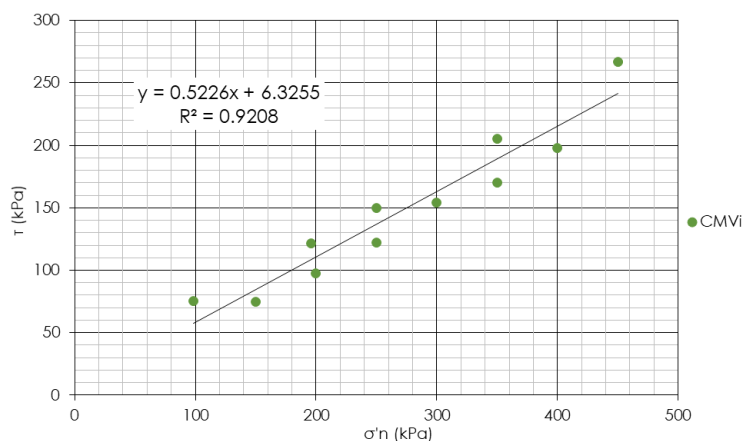
Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	w	w <sub>L</sub>	w <sub>p</sub>	I <sub>p</sub>	I <sub>c</sub>	A
(-)	(-)	(m)		(%)	(%)	(%)	(%)	(-)	(-)
BH20	3	18	20.1	22.06	22.62	15.66	6.96	0.08	0.17
BH20	C	22.5			20.53	17.16	3.37	6.09	0.08
BH20	D	28.5			16.55				
BH28	A	2.7			42.54	18.41	24.13	1.76	0.69
BH28	B	9.75			26.86	20.3	6.56	4.09	0.26
BH28	C	19.85			34.32	21.79	12.53	2.74	0.37
BH28	D	21.3			29.2	19.53	9.67	3.02	0.21
BH29	B	17.1			33.23	17.12	16.11	2.06	0.32
BH31	B	24.8			23.54	13.44	10.1	2.33	0.19
BH32	I	15.5	18.9	25.9	35.11	17.36	17.75	0.52	0.34
BH34	I	15	18.4		29.27	24.08	5.19	5.64	0.08
BH34	C	25.8			33	19.81	13.19	2.50	0.25
BH36	E	15.9			34.32	21.79	12.53	2.74	0.14
BH38	A	18.8							
BH38	B	28.8			42.94	23.14	19.8	2.17	0.22
BH38	C	50.7			23.42	17.74	5.68	4.12	0.09
BH38	D	59.8			43.9	23.08	20.82	2.11	0.21
BH42	D	19.3							
BH46	D	22.9							
BH49	A	26.2							
BH49	B	32.8							
PNL371C14	CI1	13.6	20.6	17.9	30	24	6	2.02	0.10
PNL371C15	CR3	27			29	20	9	3.22	0.10
PNL371P17	CR3	19			36	21	15	2.40	0.16
PNL371D18	CR2	18			21				
PNL371D18	CR3	29							
PNL371B19	CR2	19.7			24				
PNL371B19	CR3	28.7			22				
PNL371B19	CR4	38.7							
PNL371O21	CI1	7.3	19.6	24	34	21	13	0.77	0.14
PNL371O21	CI2	16	20.1	23	32	16	16	0.56	0.17
PNL371O21	CR1	9.7			36	20	16	2.25	0.17
PNL371O21	CR2	19.7	20.1	24.8	39				
PNL371O21	CR3	23			24				
PNL371V22	CR3	27							
PNL371V22	CR4	34.7	20.7	21.5	34	19	15	0.83	0.16

Le caratteristiche meccaniche, di deformabilità e resistenza, dell'unità geotecnica sono state stimate mediante prove di laboratorio eseguite sui campioni indisturbati e sua base dei risultati delle prospezioni sismiche MASW.

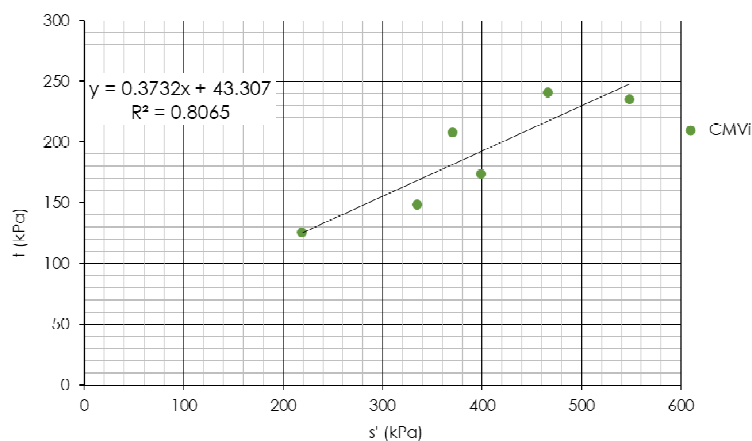
L'involuppo di resistenza dei risultati delle prove di taglio diretto nel piano di Mohr-Coulomb (Figura 28), fornisce un valore di intercetta di coesione  $c'$  pari a 6 kPa e angolo di resistenza al taglio  $\phi'$  pari a circa 28°.



L'involuppo di resistenza nel piano degli invarianti  $t'$  ed  $s'$  (Figura 29) derivante dalle prove triassiali CIU eseguite sui campioni indisturbati restituisce un valore di coesione  $c'$  e angolo di resistenza al taglio  $\varphi'$  poco attendibili data la scarsa correlazione dei risultati.



**Figura 28. Prove di taglio diretto**



**Figura 29. Prove triassiali**

Di seguito la tabella riassuntiva, con i valori a rottura, delle prove di taglio diretto e delle prove di compressione triassiale:

Prove di taglio diretto					
Sondaggio e Campione	Profondità da p.c.	$\sigma'_n$	$\tau$	$\varphi'$	$c'$
(-)	(m)	(kPa)	(kPa)	°	kPa
BH20 - 3	18	250	150	30.3	2.8
		350	205		
		450	267		
BH32 - 1	15.5	200	98	26.5	0.0
		300	154		
		400	198		
BH34 - 1	15	150	75	25.6	2.5
		250	122		
		350	170		
PNL371021 - CI1	7.3	98	75	24.5	36.3
		196	135		
		392	212		
PNL371021 - CI2	16	196	121	25.8	35.1
		392	241		
		588	311		

Prove di compressione triassiale								
Prova	Sondaggio / Campione	Profondità da p.c.	$\sigma'_1$	$\sigma'_3$	$(\sigma'_1 - \sigma'_3)/2$	$(\sigma'_1 + \sigma'_3)/2$	$\varphi'$	$c'$
(-)	(-)	(m)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	°	kPa
CIU	PNL371C14 - CI1	13.6	483	186	148	334	24.0	13.5
			573	225	174	399		
			783	313	235	548		
CIU	PNL371021 - CI2	16	345	93	126	219	28.1	29.2
			578	163	208	370		
			707	225	241	466		

Sono state eseguite prove di permeabilità di tipo Lefranc per la definizione delle caratteristiche di permeabilità. Il coefficiente di permeabilità ottenuto risulta compreso tra  $4 \cdot 10^{-4}$  e  $1 \cdot 10^{-7}$  m/s.

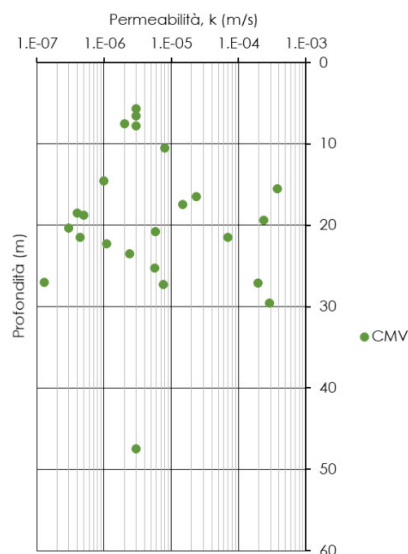
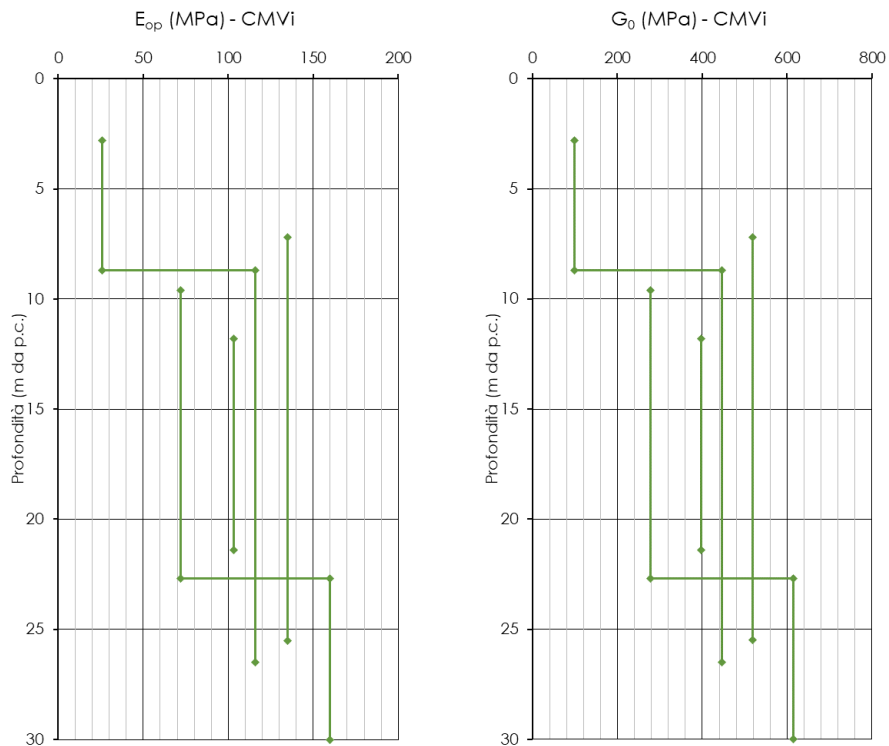


Figura 30. Coefficiente di permeabilità  $k$  da prove in sito

Nella figura seguente si riportano i risultati delle indagini sismiche MASW, diagrammando l'andamento con la profondità del modulo di taglio iniziale  $G_0$  e del modulo operativo  $E_{op}$ , assunto pari al 10% del modulo di Young iniziale.



**Figura 31 – Modulo di Taglio iniziale e modulo di Young operativo da prove geofisiche**

### 8.3.1 Sintesi caratterizzazione geotecnica dei terreni

Dalla pk 80+900 km fino all'imbocco lato Andora (pk 82+265 km) la galleria si trova ad attraversare le formazioni plioceniche delle Argille di Ortovero (ORV-a) e dei Conglomerati di Monte Villa (CMV).

Nel tratto finale della galleria, nella zona di imbocco lato Andora (pk 82+265), lo scavo interessa anche terreni alluvionali di natura sia coesiva sia incoerente.

I parametri meccanici adottati per caratterizzare i terreni attraversati dalla galleria sono di seguito elencati:

Galleria	Unità geotecnica	$\gamma$	$c'$	$\phi'$	$C_u$	E
-	-	kN/m <sup>3</sup>	kPa	°	kPa	GPa
Croce	Depositi alluvionali incoerenti (Unità 2)	18÷20	0÷21	25÷33	-	20÷125
	Depositi alluvionali coesivi (Unità 3)	18÷21	0÷77	21÷33	72÷123	20÷130
	Argille di Ortovero (ORV)	19÷21	0÷160	21÷32	261	60÷300
	Conglomerati di Monte Villa	18÷21	0÷36	25÷30	-	25÷160

**Tabella 1 - Valori dei parametri meccanici dei terreni**

### 8.3.2 Dolomie di S. Pietro dei Monti (SPM-do)

L'unità geotecnica Dolomie di S. Pietro dei Monti è costituita da dolomie, dolomie calcaree, calcari dolomitici, calcari e calcareniti. In generale il litotipo più frequente è costituito da alternanze di calcari dolomitici grigio chiaro e scuro disposti secondo strati di potenza da decimetrica a pluridecimetrica con giunti di strato evidenziati da spalmature argillose rossastre.

Sono stati prelevati, a profondità variabili tra 2 m e 209 m da piano campagna, 89 campioni sottoposti a prove di laboratorio.

Il peso di unità di volume dell'unità geotecnica varia tra 24 e 28 kN/m<sup>3</sup> (Figura 32), mentre per la caratterizzazione meccanica della matrice rocciosa sono stati presi a riferimento i risultati delle prove di compressione monoassiale e di carico puntuale (PLT). Sono stati ricavati valori di resistenza a compressione monoassiale  $\sigma_c$  compresi nell'intervallo: 10 e 196 MPa (Figura 33).

Il modulo elastico della matrice rocciosa è stato ricavato da prove di velocità sonica e di compressione monoassiale (CM), condotte con rilievo delle deformazioni. Da queste ultime sono stati determinati i moduli tangenti iniziali. I valori dei moduli di elasticità ricavati con le diverse prove mostrano un intervallo del modulo variabile tra 8 e 119 GPa (Figura 34).

Per la determinazione del coefficiente di permeabilità sono state eseguite prove di tipo Lefranc e di tipo Lugeon nei fori di sondaggio. Il coefficiente di permeabilità  $k$  risulta variabile tra  $7 \cdot 10^{-7}$  e  $2 \cdot 10^{-4}$  m/s (Figura 35).

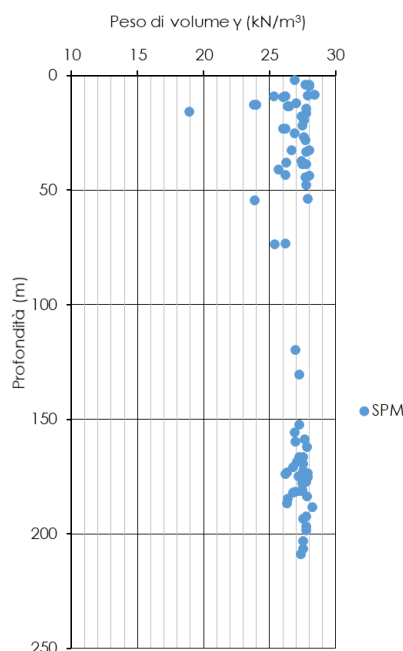
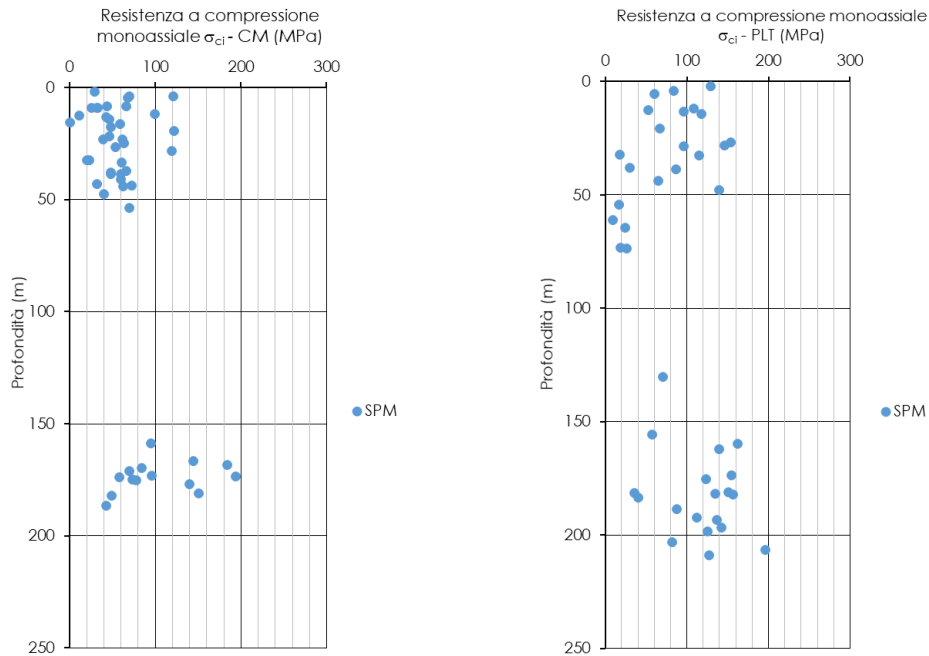
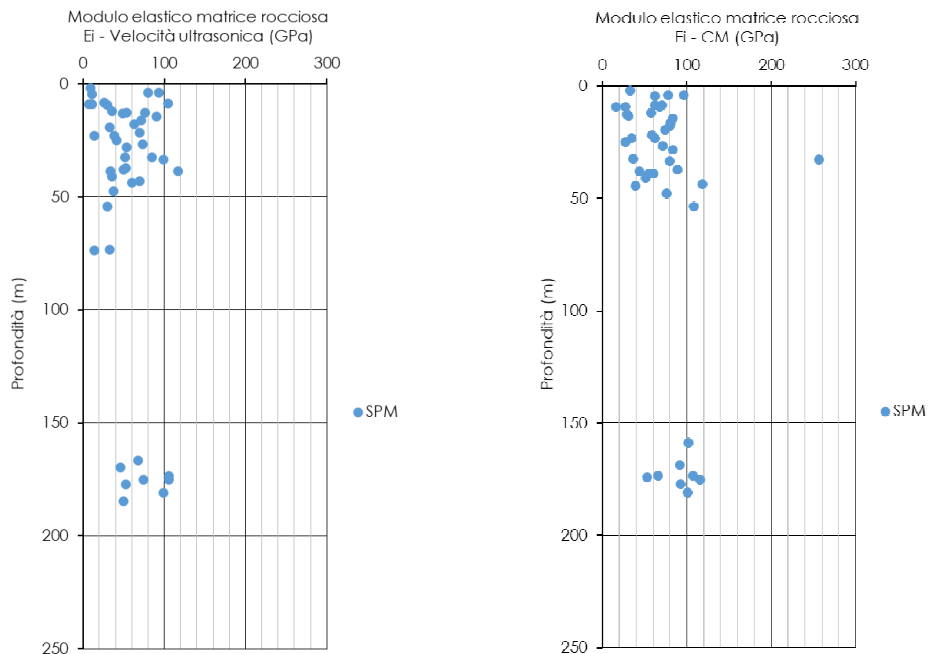


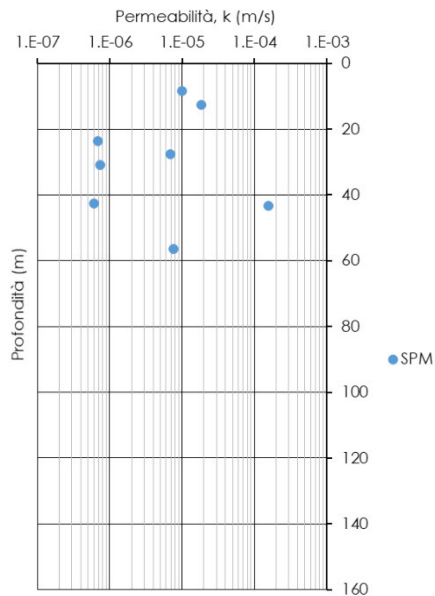
Figura 32 - Peso dell'unità di volume  $\gamma$



**Figura 33 - Resistenza a compressione monoassiale**



**Figura 34 – Modulo elastico della roccia intatta**



Prova	Sondaggio	Profondità da p.c.	k
(-)	(-)	(m)	(m/s)
Lefranc	MG1	12.5	1.83E-05
Lefranc	CR2	27.5	6.35E-06
Lugeon	BH1	23.6	6.38E-07
Lugeon	BH1	30.9	7.40E-07
Lefranc	D4	43.25	1.55E-04
Lugeon	D4	56.5	7.70E-06
Lefranc	BH1	8.5	1.00E-05
Lugeon	SAF S01	42.5	6.10E-07

Figura 35 - Coefficiente di permeabilità  $k$  da prove in sito

**RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA NATURALE CROCE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	B	48 di 156

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	$\gamma$	$\sigma_{ci}$	$\sigma_{ci,PLT}$	$\sigma_t$	$E_{i,UNI}$	$E_{i,vel\ ultra}$
(-)	(-)	(m)	( $kN/m^3$ )	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(GPa)	(GPa)
MM1	1	73.35	26.20		18.96	5.5		32.7
CZ3	1	173.5	27.87	194.0	154.3	14.7	107.179	105.8
CZ3	2	175.2	27.92	77.9	123.8		115.347	106.0
CZ3	3	181	27.50	151.0	151.2	9.6	100.539	99.2
CR2	2	32.4	26.65	20.3	17.5	3.4	36.291	51.3
CR2	3	38	26.28	48.0	29.8	2.8	43.661	49.4
D1	O	119.8	26.98			5.0		
D1	A	155.8	26.88		57.1			
D1	B	159.8	26.98		162.5			
D1	C	166.5	27.57	143.9				67.3
D1	D	168.5	27.08	184.2		9.3	91.325	
D1	E	171	26.78	69.8				
D1	P	173.3	26.29	95.5		4.6	65.879	
D1	F	174	26.19	58.0		5.4	53.363	
D1	Q	175	27.17	73.2				74.5
D1	G	177.8	27.47					
D1	H	182	26.78	49.0	156.2			
D1	R	182.9						
D1	I	184.8	26.39			5.0		50.3
D1	S	186.55						
D1	L	186.7	26.29	43.0				
D2	A	181.35	27.37		35.8			
D2	B	183.55	27.86		40.3			
D2	C	188.4	28.25		87.6			
D2	D	192.4	27.76		112.3			
D2	E	193.45	27.57		136.3			
D2	F	196.7	27.76		142.8			
D2	G	198.3	27.76		125.8			
D2	H	203.1	27.57		81.6			
D2	I	206.5	27.57		196.1			
D2	L	209	27.37		127.0			
D3	A	130.4	27.27		70.8			
D3	B	152.5	27.27			8.1		
D3	C	158.8	27.66	95.1			101.825	
D3	D	162	27.86		139.4			
D3	E	166.6	27.27			7.4		
D3	F	169.65	27.57	83.9				46.5
D3	G	172.55	27.57			7.9		
D3	H	177.1	27.76	140.1			92.723	52.4
D3	I	177.55	27.66			11.2		
D3	L	181.65	26.98		134.6			
D4	CR1	30.5						
D4	CR3	45						
BH1	A	5.5			60.0			
BH1	C	25	26.88	63.6			26.882	41.4
BV1	A	2	26.90	29.2	129.6		32.7	9.0
BV1	B	9	25.30	33.1			26.8	10.8
BV1	C	12.6	24.00	11.3	52.8		29.3	76.0
BV1	C	12.6	23.80					53.8
BV1	D	15.6						
BV1	E	43.2	26.20	31.5				69.3
BV1	H	61			9.6			
BV2	A	4.5	28.00	68.0			62.4	10.7
BV2	B	8.5	27.90	43.4			70.4	104.7
BV2	C	17.8	27.40	48.4			79.6	63.4
BV2	D	21.7	27.50	46.2			58.8	69.8



RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	B	49 di 156

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	$\gamma$	$\sigma_{ci}$	$\sigma_{ci,PLT}$	$\sigma_t$	$E_{i,UNI}$	$E_{i,vel\ ultra}$
(-)	(-)	(m)	( $kN/m^3$ )	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(GPa)	(GPa)
BV2	F	37.2	27.40	65.8			89.3	52.9
BV2	G	41	25.70	60.2			51.3	35.5
BV2	H	47.6	27.80	40.4			76.4	37.8
BV2	I	53.7	27.90	69.6			108.4	
BV2	L	64.35			24.0			
BV2	M	73.55	25.40		26.4			14.0
BV3	A	4	27.70	120.9			78	93.7
BV3	B	9	26.20	32.2			67.8	7.5
BV3	C	12	27.00	99.0	108.0		57.8	35.3
BV3	D	19.3	27.60	121.5			74.3	33.1
BV3	E	23	26.20	62.0			62.3	38.1
BV3	F	28.5			96.0			
BV3	G	33.35	27.80	60.9			79.8	99.4
BV3	H	38.7	27.50	60.1			55	33.8
BV3	I	44.2	27.70	62.3			38.8	
BV3	L	48			139.2			
BV3	M	54.35	23.90		16.8			30.3
BV3	N	57.5				9.3		
MG1	A	4	28.00	69.5	84.0		96.1	80.2
MG1	B	8.35	28.40	65.7			61.9	26.5
MG1	C	14.3	27.80	46.7	117.6		83.2	90.9
MG1	D	16.3	27.80	59.2			80.6	71.6
MG1	E	20.65			67.2			
MG1	F	28.2	27.70	119.2	146.4		83.2	53.9
MG1	G	32.55	28.00	22.6	115.2			84.9
MG1	H	38.7	27.80	48.2	86.4		60.7	116.7
MG1	I	43.7	28.00	72.1	64.8		118.6	60.5
CR1	A	9.2	26.00	25.3			16.5	29.7
CR1	B	13.25	26.50	42.4	96.0		30.9	
CR1	B	13.25	26.40					49.0
CR1	C	18				3.0		
CR1	D	23	26.00	38.7		3.2	34.9	14.0
CR1	E	26.7	27.60	53.8	153.6		71.4	73.0

### 8.3.3 Calcari di Rocca Livernà (LIV-c)

L'unità geotecnica Calcari di Rocca Livernà è costituita da calcari grigi in strati evidenti, aventi frequenti e potenti lenti e bande di selce chiara, porosa, a patina giallo-rossastra e locali intercalazioni di microbreccie.

Sono stati prelevati, a profondità variabili tra 136,6 m e 146,4 m da piano campagna, 3 campioni sottoposti a prove di laboratorio.

Il peso di unità di volume dell'unità geotecnica risulta pari a  $26 \text{ kN/m}^3$  (Figura 36), mentre per la caratterizzazione meccanica della matrice rocciosa sono stati presi a riferimento i risultati delle prove di compressione monoassiale e di carico puntuale (PLT). Sono stati ricavati valori di resistenza a compressione monoassiale  $\sigma_c$  compresi nell'intervallo 35-129 MPa (Figura 37).

Il modulo elastico della matrice rocciosa è stato ricavato da prove di velocità sonica e di compressione monoassiale (CM), condotte con rilievo delle deformazioni. Da queste ultime sono stati determinati i moduli tangenti iniziali. I valori dei moduli di elasticità ricavati con le diverse prove mostrano un intervallo del modulo variabile tra 60 e 78 GPa (Figura 38).

Per la determinazione del coefficiente di permeabilità sono state eseguite prove di tipo Lugeon nei fori di sondaggio. Il coefficiente di permeabilità  $k$  risulta variabile tra  $1 \cdot 10^{-7}$  e  $4 \cdot 10^{-7}$  m/s (Figura 39).

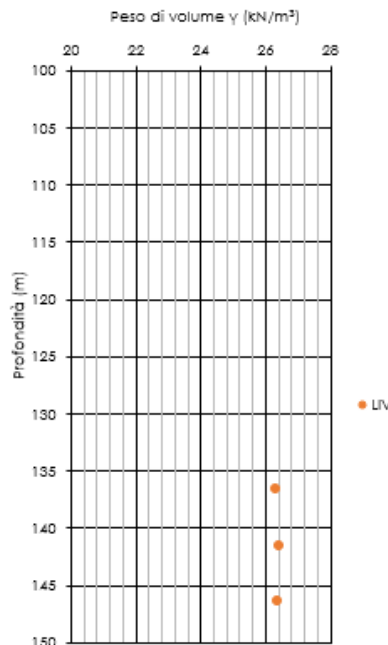


Figura 36 - Peso dell'unità di volume  $\gamma$

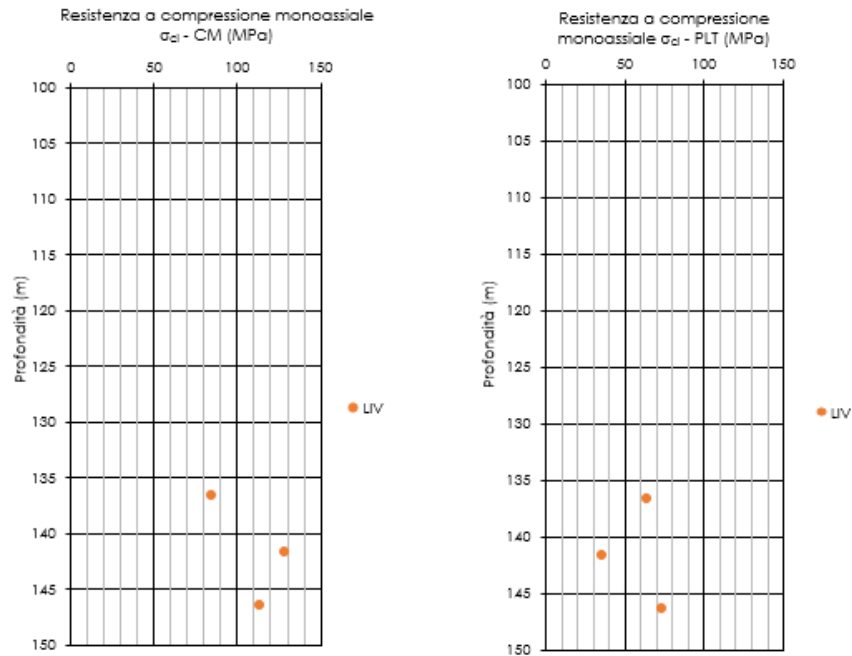


Figura 37 - Resistenza a compressione monoassiale

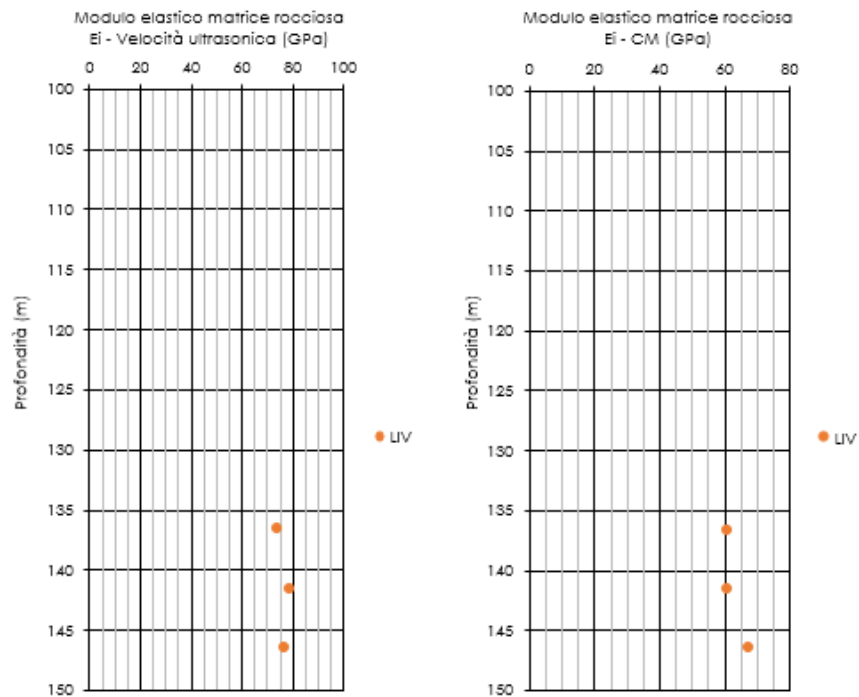
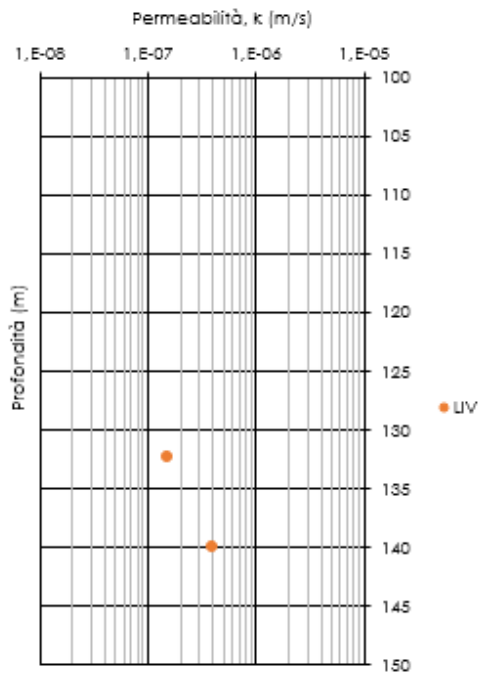


Figura 38 – Modulo elastico della roccia intatta



Prova	Sondaggio	Profondità da p.c.	k
(-)	(-)	(m)	(m/s)
Lugeon	CR3	132.3	1,52E-07
Lugeon	CR3	140	3,94E-07

Figura 39 - Coefficiente di permeabilità  $k$  da prove in sito

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	$\gamma$	$\sigma_{ci}$	$\sigma_{ci,PLT}$	$\sigma_t$	$E_{i,UNI}$	$E_{i,vel\ ultra}$
(-)	(-)	(m)	( $kN/m^3$ )	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(GPa)	(GPa)
CR3	1	136.6	26.3	84.5	64.0	5.6	60.7	73.8
CR3	2	141.6	26.4	129.0	35.2	7.3	60.9	78.5
CR3	3	146.4	26.3	113.9	73.5	8.9	67.2	76.7

### 8.3.4 Breccie di Monte Galero (GAL)

L'unità geotecnica delle Breccie di Monte Galero (GAL-bc) è costituita da breccie monogeniche e poligeniche, anche molto grossolane, fino ad arrivare a ciottoli e massi provenienti da termini permo-triassici ed inclusi dolomitici; da scisti argilloso-marnosi aventi intercalazioni di breccie poligeniche e calcari detritici e da arenarie.

Sono stati prelevati, a profondità variabili tra 15 m e 120,2 m da piano campagna, 7 campioni sottoposti a prove di laboratorio.

Il peso di unità di volume dell'unità geotecnica varia tra 25 e 28 kN/m<sup>3</sup> (Figura 40), mentre per la caratterizzazione meccanica della matrice rocciosa sono stati presi a riferimento i risultati delle prove di compressione monoassiale e di carico puntuale (PLT). Sono stati ricavati valori di resistenza a compressione monoassiale  $\sigma_c$  compresi nell'intervallo: 5 e 34 MPa (Figura 41). Non sono disponibili risultati di prove di laboratorio dai quali determinare il valore del modulo elastico della roccia intatta.

Per quanto riguarda la permeabilità, non si dispone al momento di risultati di prove in foro relativi a questa unità.

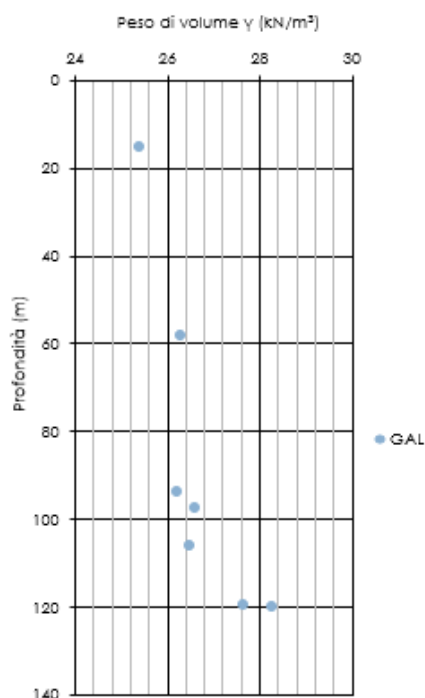
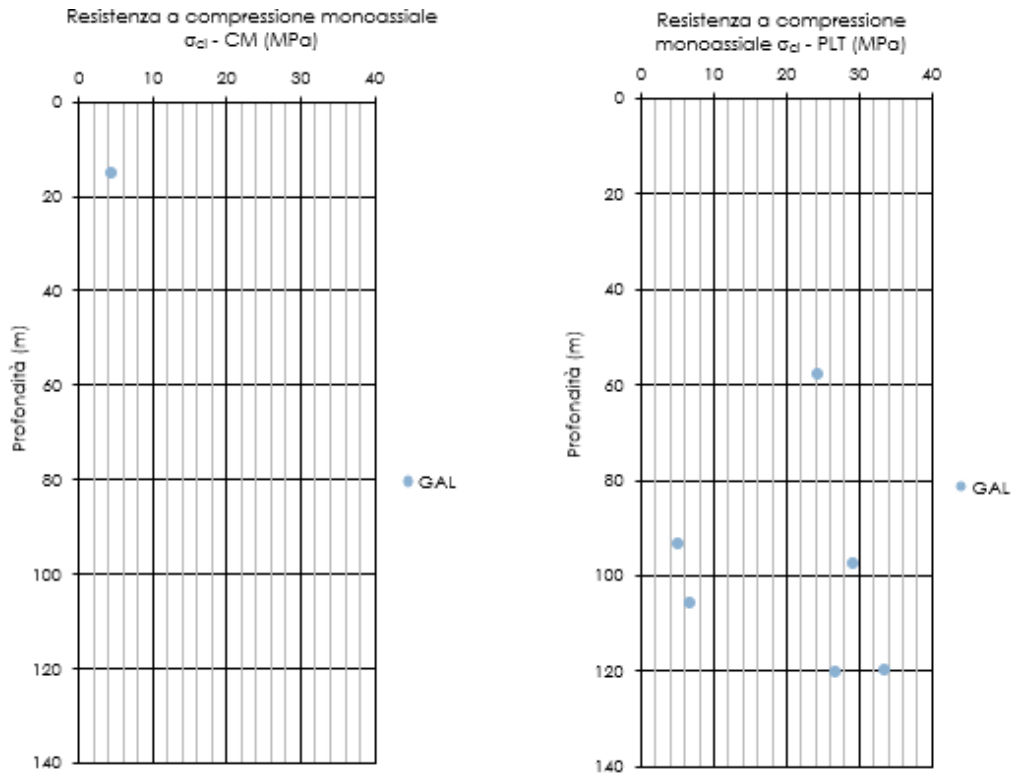


Figura 40 - Peso dell'unità di volume  $\gamma$


**Figura 41 - Resistenza a compressione monoassiale**

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	$\gamma$	$\sigma_{ci}$	$\sigma_{ci,PLT}$
(-)	(-)	(m)	(kN/m <sup>3</sup> )	(MPa)	(MPa)
D5	CR1	15.0	25.4	4.6	
D5	CR4	58.0	26.3		24.2
D5	CR5	93.6	26.2		5.0
D5	CR6	97.6	26.6		29.3
D5	CR7	106.0	26.5		6.7
D5	CR8	119.8	27.7		33.6
D5	CR9	120.2	28.3		26.9

### 8.3.5 Formazione di Albenga (ALN-ar)

La Formazione di Albenga è costituita da arenarie grossolane quarzoso-feldspatiche.

Sono stati prelevati, alle profondità di 55 m e 58 m da piano campagna, 2 campioni sottoposti a prove di laboratorio.

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	$\gamma$	$\sigma_{ci}$	$\sigma_{ci,PLT}$	$\sigma_t$
(-)	(-)	(m)	(kN/m <sup>3</sup> )	(MPa)	(MPa)	(MPa)
CR4	1	55.5			11.28	1.9
CR4	2	58.3			10.3	0.5

Data la scarsità delle prove di laboratorio per la definizione delle principali grandezze si è fatto riferimento dati di letteratura.

### 8.3.6 Formazione di Albenga (ALN-scc)

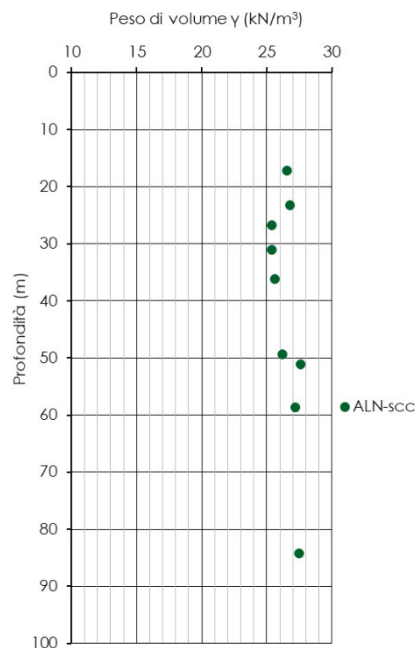
L'unità geotecnica della Formazione di Albenga (ALN-scc) è costituita da calcari chiari, siltiti e localmente da conglomerati poligenici interstratificati con calcari bioclastici.

Sono stati prelevati, a profondità variabili tra 17,2 m e 84,2 m da piano campagna, 10 campioni sottoposti a prove di laboratorio.

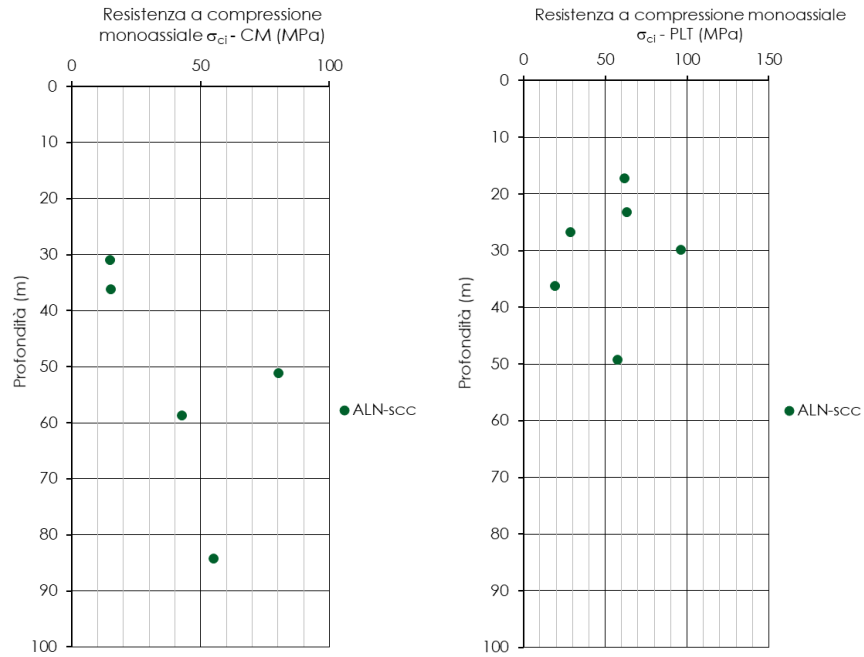
Il peso di unità di volume dell'unità geotecnica varia tra 25 e 28 kN/m<sup>3</sup> (Figura 42), mentre per la caratterizzazione meccanica della matrice rocciosa sono stati presi a riferimento i risultati delle prove di compressione monoassiale e di carico puntuale (PLT). Sono stati ricavati valori di resistenza a compressione monoassiale  $\sigma_c$  compresi nell'intervallo 15-96 MPa (Figura 43).

Il modulo elastico della matrice rocciosa è stato ricavato da prove di velocità sonica e di compressione monoassiale (CM), condotte con rilievo delle deformazioni. Da queste ultime sono stati determinati i moduli tangenti iniziali. I valori dei moduli di elasticità ricavati con le diverse prove mostrano un intervallo del modulo variabile tra 4 e 57 GPa (Figura 44).

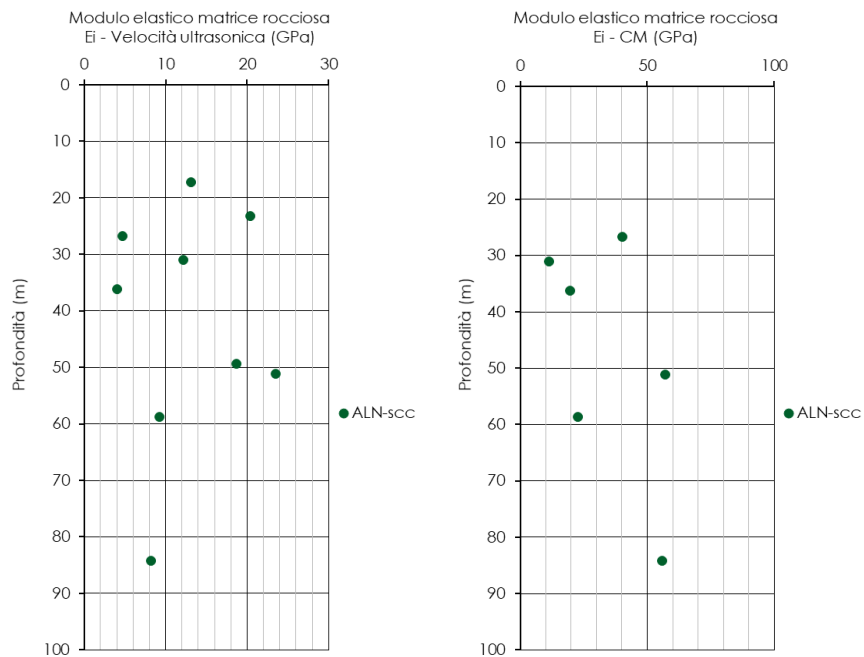
Per la determinazione del coefficiente di permeabilità sono state eseguite prove di tipo Lefranc e di tipo Lugeon nei fori di sondaggio. Il coefficiente di permeabilità  $k$  risulta variabile tra  $2 \cdot 10^{-8}$  e  $5 \cdot 10^{-6}$  m/s (Figura 45).



**Figura 42 - Peso dell'unità di volume  $\gamma$**

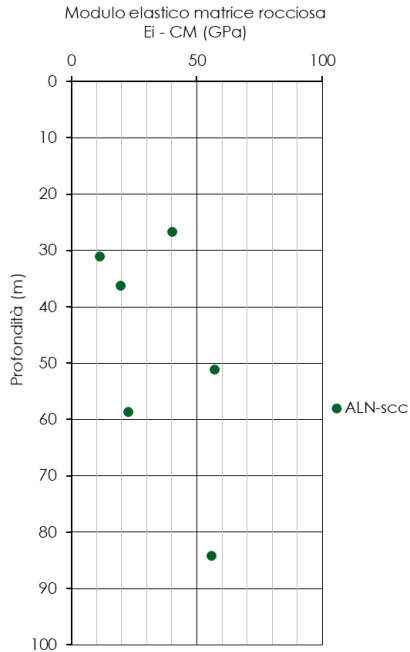


**Figura 43 - Resistenza a compressione monoassiale**



**Figura 44 – Modulo elastico della roccia intatta**





Prova	Sondaggio	Profondità da p.c.	k
(-)	(-)	(m)	(m/s)
Lefranc	ALB4	23.5	8,23E-07
Lefranc	ALB4	65.5	5,39E-06
Lugeon	CU1	25.6	1,28E-06
Lugeon	BH62	45.1	1,80E-08
Lugeon	BH65	22	4,15E-08
Lugeon	BH66	20	5,42E-08

Figura 45 - Coefficiente di permeabilità  $k$  da prove in sito

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	$\gamma$	$\sigma_{ci}$	$\sigma_{ci,PLT}$	$\sigma_t$	$E_{i,UNI}$	$E_{i,vel\ ultra}$
(-)	(-)	(m)	( $kN/m^3$ )	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(GPa)	(GPa)
CU1	3	17.2	26.57		61.68	3.6		13.2
CU1	4	23.2	26.78		63.1	5.3		20.4
BH65	C	29.8			96.0			
ALB4	A	26.7	25.40		28.8		40.1	4.7
ALB4	B	31	25.40	14.8			11.2	12.2
ALB4	C	36.2	25.60	15.0	19.2		19.7	4.1
ALB4	D	49.3	26.20		57.6			18.7
ALB4	E	51.1	27.60	80.3			57.2	23.5
ALB4	F	58.7	27.20	42.7			22.8	9.2
ALB4	I	84.2	27.50	54.9			56.0	8.2

	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA <b>PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO GALLERIA NATURALE CROCE	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GN 05 00 001	REV. B	FOGLIO 58 di 156

### 8.3.7 Sintesi caratterizzazione geotecnica degli ammassi rocciosi

A partire dall'imbocco lato Finale Ligure, la Galleria naturale Croce intercetta inizialmente i calcari e le dolomie delle Dolomie di S. Pietro dei Monti (SPM-do) e alla pk 78+910 un sovrascorrimento che porta a contatto le Dolomie con i Calcari di Rocca Livernà (LIV-c). Da qui da qui la galleria si sviluppa entro i calcari liassici (LIV-c) fino alla pk 80+170 circa, con possibilità di intercettare lembi isolati di Breccie di Monte Galero (GAL-bc). Dalla pk 80+170 la galleria attraversa la facies calcareo - scistosa della Formazione di Alberga (ALN-scc) intensamente fratturata e disturbata, per poi incontrare in sequenza stratigrafica la litofacies arenacea della medesima Formazione (ALN-ar).

Dalla pk 80+850 km circa fino all'imbocco lato Andora la galleria attraversa prevalentemente terreni.

#### Valutazione BMR e GSI

La caratterizzazione degli ammassi rocciosi è stata effettuata secondo il metodo di Bieniawski (RMR – System, 1989) che considera una serie di proprietà per gli ammassi, espresse attraverso parametri classificativi, ad ognuno dei quali viene attribuito un valore numerico in base a valutazioni qualitative e quantitative:

- Resistenza a compressione monoassiale della roccia: R1;
- Indice RQD (Rock Quality Designation): R2;
- Spaziatura dei giunti: R3;
- Condizioni dei giunti (alterazione delle pareti, scabrezza, persistenza, apertura, materiale di riempimento): R4;
- Condizioni idrauliche: R5;

La somma dei valori dei primi cinque indici parziali fornisce l'indice di qualità dell'ammasso RMR (Rock Mass Rating) base:

$$RMR_{(base)} = R1+R2+R3+R4+R5.$$

In particolare, si è fatto riferimento all'indice BMR che tiene conto di quattro parametri determinati sull'ammasso roccioso (R1–R2-R3-R4) e pone l'indice parziale R5 per le condizioni idrauliche pari a 15 (condizioni di roccia asciutta).

Per una valutazione delle caratteristiche meccaniche dell'ammasso roccioso, in differenti condizioni geologiche, è stato considerato il GSI o Geological Strength Index (Hoek, 1994; Hoek, Kaiser e Bawden, 1995).

La determinazione di tale indice è avvenuta tramite il “metodo GSI” (forma diretta) oppure in funzione dell'indice BMR:  $GSI = BMR - 5$

Per la caratterizzazione dell'ammasso roccioso sono stati quindi definiti i seguenti valori di GSI (Geological Strength Index) e di  $\sigma_{ci}$  (resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta):

Galleria	Formazione	$\gamma$	GSI	$\sigma_{ci}$
-	-	kN/m <sup>3</sup>	-	Mpa
Croce	Dolomie di San Pietro dei Monti (SPM-do)	24÷28	50÷70	11÷194
	Calcari di Rocca Livernà (LIV-c)	24÷26	40÷50	85÷129
	Brecce di Monte Galero (GAL)	25÷28	30÷70	5÷34
	Formazione di Albenga (ALN-ar)	25÷28	20÷30	20
	Formazione di Albenga (ALN-scc)	25÷28	10÷20	15÷80
	Dolomie di San Pietro dei Monti (SPM-do) - Zona di Faglia	24÷28	10÷20	11÷194
	Calcari di Rocca Livernà (LIV-c) - Zona di Faglia	24÷26	10÷20	85÷129

**Tabella 2 – Intervalli di GSI e  $\sigma_{ci}$  utilizzati per la caratterizzazione degli ammassi**

### Valutazione $m_i$ , $E_i$ /MR e D

Ai fini della definizione del modello geotecnico, è stato necessario inoltre definire i seguenti parametri e indici:

- Coefficiente materiali roccia intatta  $m_i$ , per il quale, in mancanza di prove triassiali, si è fatto riferimento a valori di  $m_i$  tabulati da Hoek in funzione della litologia della roccia;
- Modulo di rigidezza roccia intatta  $E_i$  che è stato determinato attraverso prove di laboratorio, oppure, nel caso in cui quest'ultime non sono disponibili o poco rappresentative, si è fatto riferimento alla seguente formulazione

$$E_i = MR \cdot \sigma_{ci}$$

con MR modulus ratio, tabellato in funzione della litologia della roccia.

- Coefficiente di disturbo D, tabellato in funzione dal grado di disturbo dell'ammasso.

Per le Dolomie di San Pietro dei Monti, per le Quarziti di Ponte di Nava e per il calcare di Val Tanarello, sono stati valutati i seguenti parametri e indici:

Per le Dolomie di San Pietro dei Monti sono stati valutati i seguenti parametri e indici:

- Coefficiente materiali roccia intatta  $m_i$  pari a 9;
- Modulo di rigidezza roccia intatta  $E_i$  compreso tra 8 e 119 GPa;



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
**PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	B	60 di 156

- Coefficiente di disturbo D nullo;

Per le Calcari di Rocca Livernà sono stati valutati i seguenti parametri e indici:

- Coefficiente materiali roccia intatta  $m_i$  pari a 12;
- Modulo di rigidezza roccia intatta  $E_i$  compreso tra 60 e 78 GPa;
- Coefficiente di disturbo D nullo;

Per le Breccie di Monte Galero sono stati valutati i seguenti parametri e indici:

- Coefficiente materiali roccia intatta  $m_i$  pari a 12;
- Modulus Ratio MR pari a 500;
- Coefficiente di disturbo D nullo.

Formazione di Albenga (ALN-scc)

Per la Formazione di Albenga (ALN-scc) sono stati valutati i seguenti parametri e indici:

- Coefficiente materiali roccia intatta  $m_i$  pari a 10;
- Modulo di rigidezza roccia intatta  $E_i$  compreso tra 4 e 57 GPa;
- Coefficiente di disturbo D nullo.

Per la Formazione di Albenga (ALN-ar) sono stati valutati i seguenti parametri e indici:

- Coefficiente materiali roccia intatta  $m_i$  pari a 17;
- Modulus Ratio MR pari a 275;
- Coefficiente di disturbo D nullo.

### 8.3.8 Definizione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici

Le caratteristiche di resistenza degli ammassi rocciosi sono state espresse attraverso il criterio generalizzato proposto da Hoek e Brown (1988).

In questo modello, la curva intrinseca che fornisce le condizioni di rottura dell'ammasso è data dall'espressione:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_c \left( m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_c} + s \right)^a$$

dove:

$\sigma'_1$  tensione principale efficace maggiore a rottura;

$\sigma'_3$  tensione principale efficace minore a rottura;

$\sigma_c$  resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta.

I parametri  $m_b$ ,  $s$ ,  $a$  sono stati determinati in funzione del parametro GSI dell'ammasso.

		$\sigma_{ci}$	GSI	$m_i$	$E_i$	$m_b$	$s$	$a$	$E$
		MPa	-	-	GPa	-	-	-	MPa
SPM-do	min	11	50	9	8	1.509	0.0039	0.506	2457
	max	194	70		119	3.083	0.0357	0.501	87205
LIV-c	min	85	40	12	60	1.173	0.0013	0.511	9579
	max	129	50		78	2.012	0.0039	0.506	23960
GAL	min	5	30	12	MR=500	0.985	0.0004	0.522	203
	max	34	70			4.11	0.0357	0.501	12458
ALN-ar	min	20	20	17	MR=275	0.976	0.0001	0.544	252
	max		30			1.395	0.0004	0.522	447
ALN-scc	min	15	10	10	4	0.402	4.54E-05	0.585	122
	max	80	20		57	0.574	0.0001	0.544	2603
SPM-do-ZF	min	11	10	9	8	0.362	4.54E-05	0.585	244
	max	194	20		119	0.517	0.0001	0.544	5435
LIV-c-ZF	min	85	10	12	61	0.482	4.54E-05	0.585	1861
	max	129	20		78	0.689	0.0001	0.544	3562

**Tabella 3 – Parametri  $m_b$ ,  $s$  e  $a$  del criterio di Hoek e Brown**

La resistenza al taglio è stata inoltre espressa con il criterio di resistenza di Mohr-Coulomb, interpolando con una retta la curva intrinseca di Hoek-Brown, ridefinita nel piano tensione tangenziale ( $\tau$ )-tensione normale ( $\sigma'_n$ ). In questo modo sono stati definiti per ciascun litotipo i parametri coesione  $c'$  e angolo di attrito  $\varphi'$ .



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	B	62 di 156

Il modulo di deformazione  $E$  può essere valutato secondo le correlazioni empiriche usualmente utilizzate in letteratura, basate sul valore del parametro GSI e della resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta.

### 8.3.9 Il regime idraulico

Ai fini dell'esame delle condizioni idrauliche e delle eventuali criticità, la galleria Croce può essere suddivisa in tre segmenti.

Il segmento più settentrionale, esteso dall'imbocco lato Finale Ligure fino alla pk 80+150, è caratterizzato dalla presenza, a quota galleria, di formazioni potenzialmente interessate da fenomeni carsici, quali le Dolomie di San Pietro dei Monti (SPM-do) ed i Calcari di Rocca Livernà (LIV-c). In questo tratto i dati piezometrici sono limitati (CR3, 2001 e D4-D5, 2010) e l'analisi dei dati del monitoraggio indica valori estremamente variabili in termini di livelli piezometrici rispetto al cavo della galleria in progetto, probabilmente legati alle caratteristiche della circolazione idrica all'interno di un ammasso roccioso fratturato e caratterizzato da lineamenti tettonici, anche significativi. In tali condizioni, infatti, è da attendersi una circolazione idrica profonda legata essenzialmente alle principali discontinuità tettoniche ed alle relative fasce cataclastiche.

Il tratto centrale, fra le pk 80+150 e 80+880, intercetta formazioni permeabili per fratturazione ma non interessate da fenomeni di carsismo. I piezometri presenti in questo tratto (CR4, 2001 e ALB4, 2006) indicano valori di soggiacenza dell'ordine di 25 metri, essenzialmente legati ad un acquifero presente nei depositi quaternari terrazzati in sinistra idraulica del torrente Torsero e che non dovrebbe dar vita a venute d'acqua significative in galleria. Durante lo scavo di questo tratto si potrebbero determinare venute d'acqua in corrispondenza del contrasto di permeabilità che si determina al passaggio tra ALN-scc e ALN-ar, nell'intorno della pk 80+620.

Tra l'imbocco della galleria lato Finale Ligure e la pk 80+880, alla luce dei dati disponibili non si può comunque escludere la possibilità di intercettare ulteriori porzioni più fratturate dell'ammasso roccioso, in cui attendersi locali venute d'acqua.

Nel tratto meridionale della galleria, tra la pk 80+880 e l'imbocco lato Andora, lo scavo interessa dapprima i terreni di età pliocenica delle argille di Ortovero (fino alla pk 81+700) e poi i Conglomerati di Monte Villa (CMV-cg) fino all'imbocco lato Andora della galleria. Nella parte di scavo che interessa le Argille di Ortovero, in ragione della bassa permeabilità della formazione, non sono attese venute d'acqua consistenti, ma piuttosto stillicidio. Analogamente, nel tratto che interessa i Conglomerati di Monte Villa, a fronte di una permeabilità maggiore rispetto alla formazione precedente, i livelli di falda da rilievo piezometrico si attestano quasi ovunque in prossimità del cavo della galleria o al di sotto dello stesso; pertanto, non sono da attendersi venute significative, tutt'al più stillicidio. In questo tratto, venute d'acqua più significative si potrebbero verificare in corrispondenza del contrasto di permeabilità al passaggio tra le Argille di Ortovero ed i Conglomerati di Monte Villa, nell'intorno della pk 81+700, dove il livello piezometrico interpretato si trova 5-10 metri al di sopra del cavo della galleria.

### 8.3.10 Lo stato tensionale in situ

Non sono state condotte misure di stato tensionale in situ. Per la modellazione numerica dello scavo della galleria si è assunto un valore del coefficiente di spinta a riposo  $k_0$  pari a 0.7.

Per la modellazione numerica dello scavo della galleria in terra si è assunto un valore del coefficiente di spinta a riposo  $k_0$  pari a:

- $k_0(NC) = 1 - \sin \varphi'$  per terreni normalconsolidati, con  $\varphi'$  angolo di attrito efficace;



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
**PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	B	63 di 156

- $k_0(OC) = k_0(NC) \cdot OCR^\alpha$  per terreni sovra consolidati, con OCR grado di sovra consolidazione e  $\alpha$  coefficiente empirico legato alla natura del terreno.



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	B	64 di 156

## 9 FASE DI DIAGNOSI

Nella fase di diagnosi, sulla base del modello geotecnico scaturito dagli studi e dalle indagini effettuati nella fase conoscitiva, si procede alla previsione della risposta tensio-deformativa dell'ammasso allo scavo, in assenza di interventi di stabilizzazione. La valutazione della risposta deformativa dell'ammasso allo scavo è condotta con riferimento alle tre categorie di comportamento fondamentali individuate nel metodo ADECO-RS (Rif. [15]), di seguito brevemente richiamate, sulla base delle quali il tracciato sotterraneo è suddiviso in tratte a comportamento deformativo omogeneo.

### 9.1 Classi di comportamento del fronte di scavo

Secondo l'approccio ADECO-RS (Rif. [15]) la previsione dell'evoluzione dello stato tensionale a seguito dell'apertura di una galleria è possibile attraverso l'analisi dei fenomeni deformativi, che forniscono indicazioni sul comportamento della cavità nei riguardi della stabilità a breve e a lungo termine. Dati sperimentali e analisi teoriche hanno dimostrato che il comportamento della cavità è significativamente condizionato, oltre che dalle caratteristiche geometriche della galleria stessa e dai carichi litostatici, anche dalle caratteristiche di resistenza e di rigidità del nucleo d'avanzamento, inteso come il volume di terreno a monte del fronte di scavo. Se il nucleo non è costituito da materiale sufficientemente rigido e resistente da mantenere in campo elastico il proprio comportamento tensio-deformativo, si sviluppano fenomeni deformativi e plasticizzazioni rilevanti in avanzamento, a cui consegue l'evoluzione verso condizioni di instabilità del fronte e del cavo. Se, invece, il comportamento del nucleo d'avanzamento si mantiene in campo elastico, il nucleo stesso svolge un'azione di precontenimento del cavo, che si mantiene a sua volta in condizioni elastiche, conservando le caratteristiche di massima resistenza del materiale attraversato e quindi configurazioni di stabilità.

Sulla base di tali considerazioni, il comportamento del nucleo-fronte di scavo, al quale è legato quello della cavità, può essere sostanzialmente ricondotto alle seguenti tre categorie:

#### Categoria A: nucleo-fronte stabile

Tale categoria corrisponde alla condizione in cui lo stato tensionale nel terreno al fronte e al contorno della cavità non supera le caratteristiche di resistenza dell'ammasso; in tal caso le deformazioni sono prevalentemente elastiche, di piccola entità e tendono ad esaurirsi rapidamente con la distanza dal fronte. Il fronte di scavo e il cavo sono stabili e quindi non si rendono necessari interventi preventivi di stabilizzazione, se non localizzati e in misura ridotta. Il rivestimento definitivo costituisce il margine di sicurezza per la stabilità a lungo termine.

#### Categoria B: nucleo-fronte stabile a breve termine

Tale categoria corrisponde alla condizione in cui lo stato tensionale nel terreno al fronte e al contorno della cavità, a seguito delle operazioni di scavo, raggiunge la resistenza dell'ammasso. I fenomeni deformativi sono di tipo elastoplastico, di maggiore entità rispetto al caso precedente. Nell'ammasso può prodursi una eventuale riduzione delle caratteristiche di resistenza con decadimento verso i parametri residui. La risposta tensio-deformativa può essere opportunamente controllata con adeguati interventi di preconsolidamento del fronte e/o di consolidamento al contorno del cavo. In tal modo si fornisce l'opportuno contenimento all'ammasso perché mantenga un comportamento stabile. Nel caso non si prevedano interventi, lo stato tensio-deformativo può evolvere verso





RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	B	65 di 156

situazioni di instabilità del cavo in fase di realizzazione. Il rivestimento definitivo costituisce il margine di sicurezza per la stabilità a lungo termine.

### Categoria C: nucleo-fronte instabile

Tale categoria corrisponde alla condizione in cui, superata la resistenza del terreno, i fenomeni deformativi evolvono molto rapidamente in campo plastico, producendo la progressiva instabilità del fronte di scavo e un incremento dell'estensione della zona dell'ammasso decompressa ed plasticizzata al contorno della cavità, con rapido decadimento delle caratteristiche meccaniche del materiale. L'espansione della fascia di materiale decompresso al contorno del cavo deve essere contenuta prima dell'arrivo del fronte di scavo, mediante interventi di preconsolidamento in avanzamento, che consentono di creare artificialmente l'effetto arco per far evolvere la risposta tensio-deformativa verso configurazioni di stabilità.

## 9.2 Determinazione delle categorie di comportamento

La valutazione della categoria di comportamento deformativo dell'ammasso roccioso è stata condotta utilizzando:

- il metodo delle linee caratteristiche, in condizioni di alte coperture;
- i metodi di analisi della stabilità del fronte (per le tratta a bassa copertura);

La definizione delle sezioni analizzate è stata eseguita sulla base dei risultati della caratterizzazione geotecnica in funzione delle condizioni idrauliche previste e della distribuzione delle diverse classi di copertura lungo il tracciato.

### 9.2.1 *Analisi con il metodo delle linee caratteristiche*

#### 9.2.1.1 Metodo di analisi

Il metodo delle linee caratteristiche (o convergenza-confinamento) è un metodo di calcolo che consente l'analisi 3D semplificata dello scavo di gallerie in relazione alle proprietà meccaniche dell'ammasso attraversato, alle caratteristiche geometriche dell'opera, agli interventi previsti di precontenimento e contenimento, e all'installazione dei rivestimenti provvisori e definitivi.

Il comportamento delle strutture di rivestimento e dell'ammasso vengono studiati separatamente: la curva caratteristica del cavo (o curva di convergenza) rappresenta l'evoluzione della convergenza radiale del cavo al diminuire della tensione radiale agente sul contorno del profilo di scavo, espressa in funzione del tasso di deconfinamento  $\lambda$  con cui viene simulato l'effetto dello scavo in avanzamento; la curva caratteristica dei sostegni (o curva di confinamento) rappresenta l'evoluzione della loro convergenza radiale al crescere della pressione radiale agente sugli stessi. L'intersezione tra la curva di convergenza e la curva di confinamento individua il punto di equilibrio rappresentativo dello stato finale della galleria rivestita.

Le ipotesi alla base del metodo sono le seguenti:

- simmetria cilindrica e stato piano di deformazione;
- ammasso omogeneo ed isotropo;



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
**PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	B	66 di 156

- stato tensionale iniziale isotropo.

L'ideale campo di applicazione è pertanto costituito da gallerie profonde a sezione circolare.

Le analisi contenute in questo documento sono state svolte col codice di calcolo GV4 (versione 4H del 2003).

Per l'ammasso si utilizza un modello costitutivo elasto-plastico, con criterio di resistenza di Mohr-Coulomb e con eventuale decadimento dei parametri di resistenza dai valori di picco ai valori residui.

Ove necessario, per la definizione del comportamento deformativo della galleria in funzione della distanza dal fronte, si utilizza il Nuovo Metodo Implicito (NMI) (Rif. [16], Rif. [17]), che consente di ottenere risultati affidabili sia in termini di convergenze, sia in termini di carichi di lavoro sui sostegni.

Per le analisi di seguito riportate, relative alla fase di diagnosi, e finalizzate quindi alla sola valutazione del comportamento deformativo dell'ammasso per la determinazione della categoria di comportamento, non viene presa in considerazione l'interazione con i sostegni, per cui la soluzione del problema è ridotta alla valutazione della sola curva caratteristica del fronte (e del cavo) in assenza di interventi.

#### 9.2.1.2 Sezioni analizzate

Sulla base dei risultati della caratterizzazione geotecnica di cui al precedente paragrafo, in funzione delle condizioni idrauliche previste e della distribuzione delle diverse classi di copertura lungo il tracciato, sono state definite le sezioni di analisi, riassunte nella tabella 1 e caratterizzate con tutti i dati di input necessari per il calcolo.

Sezione di calcolo	Unità	PRG [km]	H [m]	$\sigma_0$ [MPa]	$p_{w0}$ [MPa]	$p_{wR}$ [MPa]	$R_w$ [m]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'_{kp}$ [MPa]	$\phi'_{kp}$ [°]	$E_k$ [MPa]
1	SPM-do	78+829	400	10.80	-	-	-	27	2.264	42.0	15600
2	LIV-c	78+999	390	10.14	-	-	-	26	1.441	41.0	9579
3	ALN-scc	80+248	70	1.82	-	-	-	26	0.157	35.0	600
4	ALN-ar	80+625	63	1.32	-	-	-	21	0.192	42.0	800
5	ORV	80+978	57	1.11	-	-	-	19.5	0.020	27.0	60
6	SPM-do-ZDF	78+920	408	11.02	-	-	-	27	0.908	32.0	2800
7	ALN-scc-ZDF	80+170	70	1.82	-	-	-	26	0.156	35.0	600

H = copertura rispetto al piano dei centri della galleria

$\sigma_0$  = tensione totale iniziale al livello del cavo

$p_{w0}$  = pressione interstiziale al livello del cavo in condizioni indisturbate

$p_{wR}$  = pressione interstiziale sul profilo di scavo

$R_w$  = raggio di influenza idraulica oltre il quale si ristabilisce  $p_{w0}$

$\gamma$  = peso dell'unità di volume dell'ammasso

$c'_{kp}$  = valore caratteristico della coesione efficace di picco dell'ammasso

$\phi'_{kp}$  = valore caratteristico dell'angolo di attrito di picco dell'ammasso

$c'_{kr}$  = valore caratteristico della coesione efficace residua dell'ammasso

$\phi'_{kr}$  = valore caratteristico dell'angolo di attrito residuo dell'ammasso

$E_k$  = valore caratteristico del modulo elastico dell'ammasso

ZDF= zona di faglia

Tutte le analisi sono svolte con riferimento allo scavo di una galleria di raggio equivalente pari a 4,65 m.

**Tabella 4 – Sezioni analizzate con il metodo delle linee caratteristiche: dati di input.**

### 9.2.1.3 Risultati delle analisi

I risultati delle analisi sono stati esaminati alla luce di due aspetti:

- confronto tra la resistenza a compressione monoassiale dell'ammasso  $\sigma_c$  e la pressione critica al fronte  $p_c = (3\sigma_0 - 2\sigma_c) / (1 + 2K_p)$ , che individua il passaggio dal comportamento elastico a quello plastico;
- sviluppo dei fenomeni deformativi e di plasticizzazione in termini di rapporto tra la convergenza radiale al fronte e il raggio equivalente e di rapporto tra il raggio plastico al fronte e il raggio equivalentene.

Sulla base di queste valutazioni quantitative, unitamente all'analisi critica dei risultati ottenuti rispetto all'affidabilità dei dati di ingresso in termini di parametri di ammasso (rigidezza e resistenza) e condizioni idrauliche al contorno, in relazione ad eventuali variabilità attese lungo il tracciato della galleria e alle possibili conseguenze per comportamenti imprevedibili, è stata definita la categoria di comportamento del fronte di scavo da cui deriva l'individuazione degli eventuali necessari interventi di precontenimento e contenimento.

I risultati delle analisi sono riassunti nella tabella seguente; i tabulati di calcolo con la rappresentazione delle curve caratteristiche sono invece riportati integralmente in All. [1].

Sezione di calcolo	$\sigma_c$ [MPa]	$p_c$ [MPa]	$\sigma_c / p_c$ [-]	$u_F$ [m]	$u_F / R_{eq}$ [%]	$R_{PF}$ [m]	$R_{PF} / R_{eq}$ [-]	$u_\infty$ [m]	$R_P$ [m]	Categoria
1	10.17	1.09	9.35	0.002	0.05	4.76	1.05	0.005	5.23	A
2	6.32	1.67	3.78	0.004	0.09	4.99	1.10	0.008	5.75	A
3	0.60	0.51	1.19	0.018	0.38	5.67	1.25	0.037	7.54	A/B
7	0.86	0.20	4.26	0.006	0.13	4.94	1.09	0.012	5.64	A
8	0.07	0.51	0.13	0.622	13.66	10.04	2.21	1.981	24.11	C
9	3.28	3.53	0.93	0.027	0.59	5.98	1.31	0.058	8.45	A/B
10	0.60	0.51	1.18	0.018	0.39	5.67	1.25	0.037	7.55	A/B
11	10.17	1.09	9.35	0.002	0.05	4.76	1.05	0.005	5.23	A

$\sigma_c = (2c \cos \varphi) / (1 - \sin \varphi)$  = resistenza a compressione monoassiale dell'ammasso (parametri di picco)  
 $p_c = (3\sigma_o - 2\sigma_c) / (1 + 2K_p)$  = pressione critica al fronte (con  $K_p$  coefficiente di spinta passiva)  
 $u_F$  = convergenza al fronte (soluzione cavità sferica)  
 $R_{PF}$  = raggio plastico al fronte  
 $u_\infty$  = convergenza finale del cavo  
 $R_P$  = raggio plastico finale al contorno del cavo  
 $R_{eq}$  = raggio di scavo equivalente della galleria

**Tabella 5 – Sezioni analizzate con il metodo delle linee caratteristiche: risultati delle analisi.**

Le prime 5 analisi presentate in Tabella 5 si riferiscono alla roccia intatta. Dall'analisi delle curve caratteristiche riportate in All. [1], si nota che, sia il fronte che il cavo presentano convergenze e fenomeni di pasticizzazione molto limitati che portano a definire stabile il comportamento tenso-deformativo dell'ammasso allo scavo. I fenomeni deformativi maggiori si hanno nella formazione delle Radioriti di Arnasco (ARN-d) dove, dall'analisi della curva caratteristica, si evince che il cavo si mantiene in campo elastico fino ad una pressione di contenimento pari a circa il 35% della pressione geostatica e, in condizioni di cavo libero, raggiunge circa 6,5 cm di convergenza. Il fronte, invece, plasticizza per un'aliquota della pressione geostatica pari al 25% con convergenze al fronte pari a circa 2 cm. Il comportamento deformativo allo scavo di questi materiali è intermedio tra le classi A e B. Tuttavia, l'entità delle convergenze e/o delle plasticizzazioni al fronte, per questa sezione, sono tali da spostare la classificazione verso la categoria B coerentemente con il criterio 2.

I maggiori fenomeni deformativi allo scavo si sviluppano nei materiali sciolti (sezione 9). In questi materiali la plasticizzazione del cavo avviene per pressioni di contenimento pari a circa il 50% della pressione geostatica, con convergenze molto elevate in condizioni di cavo libero. La curva caratteristica del fronte plasticizza ad un'aliquota della pressione geostatica pari al 30% con convergenze pari a circa 60 cm. Il comportamento deformativo allo scavo è di tipo instabile.

Nelle zone di faglia le condizioni peggiori si hanno all'interno del materiale cataclasato afferente alle dolomie di San Pietro dei monti (SPM-do-ZDF). I fenomeni plastici del cavo, in questa fascia, si verificano per un'aliquota della pressione geostatica pari a circa il 50%, con convergenze in condizioni di cavo libero intorno a 60 cm. Al fronte la zona plastica si verifica per pressioni pari al 35% della pressione geostatica con convergenze pari a 16 cm. In questo caso il comportamento deformativo allo scavo può essere classificato intermedio tra le classi B e C. Tuttavia, l'entità delle convergenze e/o delle plasticizzazioni al fronte, per questa sezione, sono tali da spostare la classificazione verso la categoria C coerentemente con il criterio 2.

## 9.2.2 *Analisi della stabilità del fronte*

### 9.2.2.1 *Metodi di analisi*

Nel caso di basse coperture risulta di fondamentale importanza conoscere il comportamento del mezzo nelle vicinanze del fronte di scavo dove si verificano i maggiori problemi di stabilità. Assumendo l'ipotesi semplificatrice di sezione di scavo circolare, il problema della stabilità può essere studiato in condizioni geometriche semplificate.

La stabilità del fronte nel caso di scavo con scudi a contro pressione di fango o terra è stata analizzata da Anagnostou e Kovari (1996) Rif. [23]. Sulla base di un approccio all'equilibrio limite, essi hanno sviluppato dei modelli di calcolo che permettono di valutare il cinematismo di rottura del fronte di scavo. Per uno scudo a contro pressione di fango, la forza stabilizzante, che il fango è in grado di esercitare sul fronte di scavo, dipende dall'estensione della sua infiltrazione nel terreno circostante. Il fango, una volta pompato nella camera di scavo, penetra nel terreno formando un "filter cake" ovvero una membrana impermeabile nel caso di terreni fini o una zona impregnata nel caso di terreni grossolani, permettendo il trasferimento della contro pressione al fronte di scavo e quindi garantendo la stabilità anche nei confronti d'eventuali battenti d'acqua.

Nelle macchine EPB, la camera di scavo è riempita con il terreno scavato in pressione. L'instabilità del fronte è potenzialmente un problema solo quando il carico piezometrico nella camera di scavo è inferiore a quello presente nel terreno circostante e, conseguentemente, si instaura un moto di filtrazione verso il fronte di scavo. Anagnostou e Kovari hanno fornito dei grafici normalizzati per valutare la stabilità del fronte. In particolare sulla base del meccanismo di rottura mostrato in Figura 46 hanno ricavato la seguente formula generale per determinare la pressione di sostegno necessaria al fronte:

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

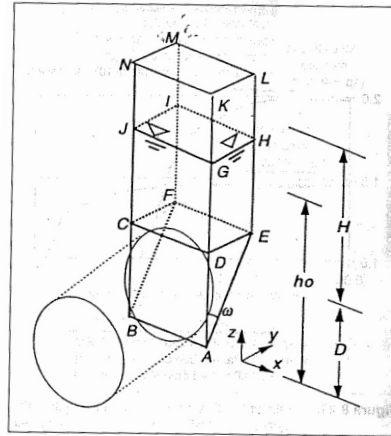


Figura 8.24. Meccanismo di rottura

Figura 46: Meccanismo di rottura secondo Anagnostou e Kovari

Dove  $\gamma'$  è il peso di volume del terreno alleggerito,  $c$  è la coesione del terreno,  $\Delta h = h_0 - h_F$  è la differenza tra il carico piezometrico massimo nel terreno e il carico piezometrico medio nella camera di scavo,  $D$  è il diametro,  $H$  la copertura nella sezione analizzata e  $F_0, F_1, F_2, F_3$  sono dei coefficienti adimensionali che dipendono dall'angolo di resistenza al taglio.

#### 9.2.2.2 Sezioni analizzate

La sezione analizzata è la seguente:

Sezione di calcolo	Unità	Progressiva [km]	Copertura [m]
12	CMV	81+760	24,00
13	ORV	81+640	20,00

Tabella 6: Sezione analizzata con il metodo di Anagnostou e Kovari

La scelta della sezione da analizzare è stata dettata dalla necessità di individuare una zona rappresentativa del tratto in esame per quanto riguarda i conglomerati di Monte Villa, mentre per le argille di Ortovero si è scelta la sezione con la minima copertura, in quanto, la sezione con la massima copertura è stata analizzata con il metodo delle linee

caratteristiche. Si è scelto, dunque per i CMV, una sezione con copertura media tra le variabilità del tratto compreso tra le progressive km ~81+684 e km ~81+853 e una altezza di falda che mediamente si può considerare 5,5 m al di sopra della calotta, mentre per le ORV si è assunta una quota di falda posta a 11,5 m al di sopra di quota calotta.

Al fine di determinare la necessità di stabilizzare o meno il fronte, si è posta pari a zero la pressione nella camera di scavo.

I dati di input per la sezione analizzata sono:

Sezione di calcolo	Unità	Progressiva [km]	H [m]	$c'_k$ [kPa]	$\varphi'_k$ [°]	$\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$D_{scavo}$ [m]	$h_0$ [m]	$\Delta h = h_0 - h_F$ [m]
12	CMV	81+760	24	6	28	9	9,1	15,55	15,55
13	ORV	81+640	20	3	25	9,5	9.1	21	21

$\Delta h$ = differenza tra carico idraulico e pressione nella camera di scavo

$h_0$ = carico idraulico presente nel terreno

$h_F$ = carico idraulico nella camera di scavo

**Tabella 7: Dati di input dell'analisi di stabilità del fronte di scavo**

### 9.2.2.3 Risultati delle analisi

Vengono di seguito presentati i risultati delle analisi di stabilità in condizioni di basse coperture sia negli ammassi rocciosi che nel deposito detritico della galleria Croce.

I parametri di input del metodo di Anagnostou e Kovari per le basse coperture in materiali sciolti, portano a definire i seguenti coefficienti adimensionali dipendenti dalla geometria e dall'angolo di resistenza al taglio.

Sezione di calcolo	Unità	Progressiva [km]	$F_0$	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$s'$ [kPa]
12	CMV	81+760	0,48	3	0,67	0,045	118.3
13	ORV	81+640	0.42	3.6	0,64	0,04	146.5

$F_0, F_1, F_2, F_3$ = Coefficienti adimensionali

$s'$ = pressione di contenimento risultante

**Tabella 8: Coefficienti adimensionali per analisi 12 e 13**

Il fronte necessità, dunque, di una pressione di confinamento per evitare di rendere instabile la zona di scavo.



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
**PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	B	72 di 156

### 9.2.3 *Definizione delle tratte a comportamento tensio-deformativo omogeneo*

Sulla base del modello geotecnico scaturito dagli studi e dalle indagini effettuati nella fase conoscitiva e dei risultati delle analisi sopra descritte, esaminati in modo critico tenendo conto dell'affidabilità dei dati di ingresso in termini di parametri di ammasso (rigidezza e resistenza), delle condizioni idrauliche al contorno, di eventuali variabilità attese lungo il tracciato della galleria e di possibili conseguenze per comportamenti imprevisti, è possibile concludere che:

- all'interno delle formazioni SPM e LIV è atteso un comportamento del nucleo-fronte allo scavo di categoria A (stabile) ad eccezione delle zone tettonizzate dove è previsto un comportamento allo scavo di categoria B stabile a breve termine.
- All'interno delle formazioni GAL, ALN-scc e ALN -ar è atteso un comportamento del nucleo-fronte allo scavo di categoria B (stabile a breve termine)
- all'interno delle unità alluvionali a basse coperture (ORV, CMV e unità 2 e 3) è atteso un comportamento del nucleo-fronte allo scavo di categoria C (instabile).

Le previsioni di comportamento lungo il tracciato della galleria sono illustrate in forma sintetica nel "Profilo geotecnico-geomeccanico Galleria Croce".



## 10 FASE DI TERAPIA

Nel presente capitolo sono definiti gli interventi necessari per garantire la stabilità del cavo a breve e a lungo termine, in accordo con le indicazioni provenienti dalla fase conoscitiva e dall'analisi del comportamento allo scavo in assenza di interventi (fase di diagnosi).

### 10.1 La metodologia di scavo

#### Scelta della tipologia di TBM

Per l'attenuazione dei rischi e per incrementare le velocità di produzione, la scelta della tipologia di TBM si è orientata in questa fase di progettazione sull'impiego di una TBM monoscudata, equipaggiata con un sistema "dual-mode", che permette di condurre lo scavo sia in condizioni di fronte instabile (in modalità "chiusa" EPB - Earth Pressure Balance), sia nelle formazioni rocciose in condizioni di fronte stabile (in modalità "aperta"). Tale tipologia di macchina consente da un lato il superamento di condizioni complesse dal punto di vista geologico e geotecnico (zone di faglia e tratte a bassa copertura), limitando sensibilmente i risentimenti indotti al contorno dell'opera in sotterraneo, dall'altro di massimizzare la produzione durante lo scavo nelle formazioni rocciose in condizioni di fronte stabile.

La macchina sarà munita di un'opportuna testa fresante che consente di scavare sia nei terreni sia nella roccia e dovrà essere predisposta per consentire il cambio degli utensili installati senza procedere a modifiche sulla testa.

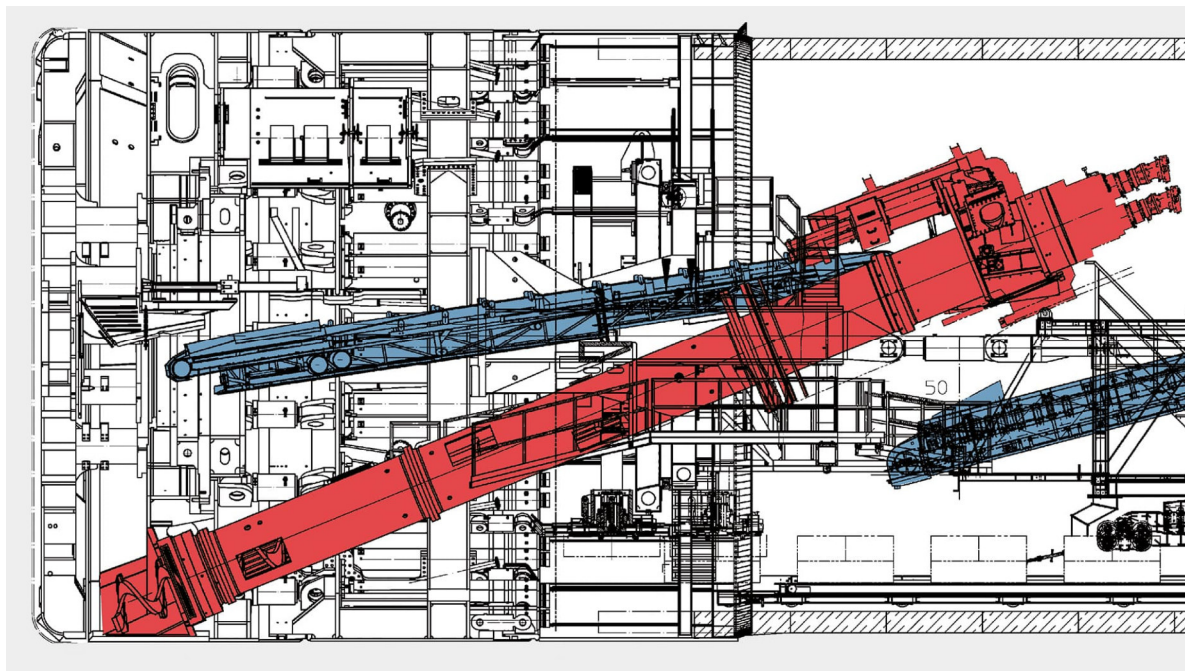


Figura 47. TBM Dual mode



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
**PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	B	74 di 156

Il sistema di smarino utilizzato quando la macchina lavora in modalità EPB (sia con camera completamente piena che parzialmente in pressione) è la coclea, mentre in modalità aperta “Open face” viene utilizzato un nastro trasportatore primario.

Oltre quanto appena descritto, è opportuno precisare che in caso di deformazioni importanti in fase di scavo il mantenimento di elevate velocità di avanzamento riduce sostanzialmente il problema del bloccaggio della TBM. Una scelta accurata di misure operative ed un’appropriata organizzazione del cantiere risultano pertanto essenziali per ridurre la durata e la frequenza dei fermi macchina e mantenere elevata la velocità complessiva di avanzamento. Ad esempio, nel caso di attraversamento di zone critiche, dovranno essere realizzati in anticipo tutti gli interventi di manutenzione previsti, al fine di ridurre il rischio di guasti meccanici e consentire la massima continuità possibile delle operazioni di scavo nel successivo tratto. Nel paragrafo 10.3.5 è riportato il calcolo della spinta complessiva necessaria per garantire l’avanzamento della TBM, evitando il bloccaggio dello scudo, nelle condizioni più critiche previste in progetto.

#### Modalità di avanzamento

La TBM avanzerà in modalità EPB con camera piena e in pressione solo nelle tratte lunghe a comportamento instabile tipo C. Nelle restanti tratte potrà avanzare in modalità EPB con camera parzialmente vuota senza pressione o in modalità aperta nei tratti in roccia a comportamento stabile.

Per la definizione delle tratte in cui è previsto lo scavo in modalità EPB o aperta si rimanda all’elaborato “Profilo Geotecnico” (Rif. [34]).

#### Numero di TBM e fasi di lavoro

Considerato lo sviluppo delle gallerie naturali, si ritiene opportuno, ai fine di ottimizzare i tempi di realizzazione, utilizzare due coppie di macchine. La scelta di un diametro maggiore per la galleria Alassio è dettata dalla necessità di disporre delle banchine corrispondenza della fermata sotterranea Alassio.

In particolare, una coppia di TBM (con raggio di intradosso pari a 4,0 m) verrà utilizzata per lo scavo delle gallerie Croce e Castellari, con una lunghezza rispettivamente di 4,48 km e 4,7 km. Un’altra coppia, con raggio di intradosso pari a 4,40 m verrà adoperata per lo scavo della galleria Alassio (L=9,64 km).

Per lo scavo della galleria Croce, la partenza delle TBM è dall’imbocco lato XXMI, alla pk 85+215, dove, a tergo della paratia frontale, verrà realizzato un intervento di consolidamento del terreno da piano campagna per un’estensione di circa 15 m, propedeutico alla partenza della TBM ed alla stabilità della paratia frontale di attacco in naturale. Terminato lo scavo della galleria Croce, le stesse due TBM saranno smontate e utilizzate per lo scavo della galleria Castellari. Lo scavo verrà avviato dall’imbocco lato XXMI (pk 76+177) dove, come nel caso del precedente imbocco, a tergo della paratia frontale, verrà realizzato un intervento di consolidamento del terreno da piano campagna.

Per lo scavo della galleria Alassio verrà utilizzata una seconda coppia di TBM. L’inizio dello scavo è previsto all’interno di un camerone (pk 87+257 ca) che rappresenta l’opera terminale dell’imbocco lato Genova.



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	B	75 di 156

### Sezione di avanzamento

La sezione tipo per la galleria Croce ha le seguenti caratteristiche:

- diametro scavo: 9.10 m
- riempimento a tergo: spessore di 15 cm con malte bicomponenti
- tipologia anello: anello universale
- numero conci: 7+0
- spessore conci: 40 cm
- lunghezza conci: 1.8 m
- Guarnizioni: EPDM

Si è scelto di adottare un anello di tipo universale, che consente, mediante la semplice rotazione attorno al proprio asse di un anello rispetto al precedente, di sfalsare i giunti longitudinali e di seguire l'andamento plano-altimetrico del tracciato e di apportare le eventuali necessarie correzioni in corso d'opera, senza ricorrere ad elementi speciali.

Per garantire la tenuta idraulica tra i giunti (sia longitudinali che radiali) su ciascun concio sono integrate guarnizioni in EPDM precaricate dal serraggio dei connettori.

Per una rappresentazione completa della sezione in scavo meccanizzato e del rivestimento in conci prefabbricati si rimanda agli specifici elaborati grafici di progetto.

Per i conci prefabbricati sono previste due diverse classi di resistenza sulla base delle quali sono state definite le seguenti tipologie di conci:

- Conci Tipo 1 con classe di resistenza C35/45
- Conci Tipo 2 con classe di resistenza C50/60.

Per entrambe le tipologie di conci l'armatura prevista ha un'incidenza di circa 120kg/m<sup>3</sup> di rivestimento.

Le verifiche del rivestimento definitivo con riferimento all'analisi n.1, relativa alle alte coperture nella formazione LIV, risultano soddisfatte considerando una classe di calcestruzzo C40/50. Tuttavia, date le incertezze sul modello idrogeologico nella tratta ad alte coperture dove la falda è stata presunta sulla base delle misure piezometriche disponibili, si è ritenuto opportuno considerare per le tratte rappresentate da tale analisi la classe superiore di calcestruzzo pari a C50/60. Eventuali ottimizzazioni potranno essere effettuate sulla base delle indagini integrative previste per la fase esecutiva.

. Inoltre, Nei tratti in cui l'entità dei carichi idraulici risulti superiore ai valori di verifica considerati nelle analisi, è prevista l'esecuzione di un intervento di drenaggio di lungo termine eventuale volto alla riduzione dei carichi idraulici stessi. L'intervento di drenaggio previsto in progetto consiste nell'installazione di due tubi finestrati in PVC di diametro nominale 77 mm, rivestiti con calza in geotessuto, di lunghezza pari a 3m in modo da estendersi per circa 2 metri oltre il profilo di estradosso del rivestimento e intercettare la circolazione idrica presente al contorno. Il passo longitudinale è stato considerato pari a 3 m ma, nel caso le evidenze confermassero la necessità di un intervento di drenaggio di lungo termine, tale passo dovrà essere opportunamente verificato.

Per il dettaglio delle tratte in cui sono previsti i conci Tipo 1 e Tipo 2 e l'intervento di drenaggio di lungo termine eventuale si rimanda all'elaborato "Profilo Geotecnico" (Rif. [34]).



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
**PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	B	76 di 156

## 10.2 Caratteristiche dei materiali strutturali

Si riportano di seguito le principali caratteristiche dei materiali impiegati nelle opere in progetto, con l'indicazione dei valori di resistenza e deformabilità adottati nelle verifiche, nel rispetto delle indicazioni della Normativa vigente, del "Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili" e del "Manuale di progettazione delle opere civili" (Rif. [7]).

Con riferimento ai rivestimenti in calcestruzzo, si sottolinea che la classe di resistenza riportata nelle tabelle che seguono è quella utilizzata ai fini della modellazione numerica e delle verifiche strutturali. Per la completa e puntuale definizione delle caratteristiche dei materiali previsti per la realizzazione dell'opera si rimanda all'elaborato di progetto Caratteristiche dei materiali - Note generali.

### Interventi di precontenimento

<b>Acciaio Scudo</b>	
Tipo	S275
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} = 275 \text{ MPa}$
Tensione massima in condizioni di esercizio	$\sigma_{yk} = f_{yk}/1,05 = 261.9 \text{ MPa}$

### Rivestimento definitivo gallerie di linea

<b>Calcestruzzo per conci prefabbricati in c.a. Tipo 1</b>	
Classe di resistenza	C 35/45
Resistenza di progetto a compressione a 28 giorni	$f_{cd} = 0,85 f_{ck}/1,5 = 19,83 \text{ MPa}$
Modulo elastico a 28 giorni	$E_{cm} = 22000(f_{cm}/10)^{0.3} = 34077 \text{ MPa}$
Tensione massima in condizioni di esercizio	$\sigma_c = 0,6 f_{ck} = 21,00 \text{ MPa}$ combinazione caratteristica (rara) $\sigma_c = 0,45f_{ck} = 15,75 \text{ MPa}$ combinazione quasi permanente

<b>Calcestruzzo per conci prefabbricati in c.a. Tipo 2</b>	
Classe di resistenza	C 50/60
Resistenza di progetto a compressione a 28 giorni	$f_{cd} = 0,85 f_{ck}/1,5 = 28,22 \text{ MPa}$
Modulo elastico a 28 giorni	$E_{cm} = 22000(f_{cm}/10)^{0,3} = 37239 \text{ MPa}$
Tensione massima in condizioni di esercizio	$\sigma_c = 0,6 f_{ck} = 29,88 \text{ MPa}$ combinazione caratteristica (rara) $\sigma_c = 0,45 f_{ck} = 22,41 \text{ MPa}$ combinazione quasi permanente

<b>Acciaio per barre di armatura</b>	
Tipo	B 450 C
Resistenza di progetto	$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 450/1,15 = 391,3 \text{ MPa}$
Tensione massima in condizioni di esercizio	$\sigma_{lim} = 0,80 f_{yk} = 360 \text{ MPa}$



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	B	78 di 156

### 10.3 Analisi e verifica delle sezioni tipo

Le analisi di stabilità del fronte di scavo a basse coperture sono state condotte secondo il metodo di Anagnostou e Kovari. Per quanto riguarda le analisi di stabilità del fronte di scavo ad alte coperture, invece, è stato adottato il metodo delle linee caratteristiche.

Le analisi di interazione, in grado di simulare il comportamento del sistema opera-terreno nelle diverse fasi costruttive fino alla configurazione finale ed in condizioni di esercizio, sono state condotte mediante modelli numerici alle differenze finite (FLAC). Tale analisi è stata sviluppata per le seguenti sezioni:

- L'analisi n.1, all'interno del LIV, si considera rappresentativa per la tratta ad alte coperture in quanto presenta la copertura massima ed un carico idraulico pari a 83 m.
- L'analisi n.2, all'interno del SPM-do-zdf, si considera rappresentativa per la tratta ad alte coperture in quanto presenta la copertura massima ed un carico idraulico pari a 83 m.
- L'analisi n.3, all'interno del CMV-i e ORV, si considera rappresentativa di tutta la tratta a basse coperture.

Analisi n.	Sezione	Tipo GN	p.k.	formazione	Descrizione analisi
1	TBM	linea	pk 79+200	LIV	Massime coperture / massimo carico idraulico
2	TBM	linea	Pk 78+920	SPM-zdf	Massime coperture in faglia / massimo carico idraulico
3	TBM	linea	pk 81+735.91	CMVi/ORV	Bassa copertura

#### Stabilità del fronte

Le analisi di stabilità del fronte sono mirate alla valutazione dello sviluppo di possibili meccanismi di collasso, con o senza propagazione verso la superficie, o di deformazioni e spostamenti elevati al contorno ed in superficie. Trattandosi di una verifica per uno stato limite ultimo di tipo GEO, si è utilizzato l'Approccio 1- Combinazione 2 (A2+M2+R2), con  $R2 = 1$ .

La verifica di stabilità del fronte è stata condotta adottando coefficienti parziali sui parametri di resistenza dell'ammasso.

Per l'analisi della stabilità del fronte di sezioni sottoposte a basse coperture in terreni sciolti si è utilizzato il metodo di Anagnostou e Kovari, precedentemente descritto, adottando coefficienti parziali sui parametri di resistenza.

#### Interazione opera-terreno

Il comportamento del sistema opera-terreno è analizzato nelle diverse fasi costruttive, fino alla configurazione finale, e in condizioni di esercizio. Le analisi sono mirate alla previsione del comportamento deformativo al



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	B	79 di 156

contorno dello scavo e dei carichi attesi sui sostegni provvisori e sui rivestimenti definitivi, e, nel caso delle gallerie superficiali, alla valutazione degli effetti indotti al piano campagna. Le analisi consentono, pertanto, di verificare:

- stati limite ultimi per raggiungimento della resistenza del terreno/ammasso roccioso interessato dallo scavo (stato limite ultimo di tipo GEO), con lo sviluppo di fenomeni di instabilità del fronte o di deformazioni e spostamenti elevati al contorno ed in superficie;
- stati limite ultimi relativi al raggiungimento delle resistenze degli elementi strutturali che costituiscono gli interventi di stabilizzazione, del rivestimento di prima fase e del rivestimento definitivo (stato limite ultimo di tipo STR);
- stati limite di esercizio.

Per le verifiche di stati limite ultimi STR, le analisi di interazione opera – terreno sono condotte con i valori caratteristici dei parametri geotecnici e applicando i coefficienti parziali amplificativi delle azioni all'effetto delle azioni (le sollecitazioni negli elementi strutturali). Ciò significa adottare la Combinazione 1 dell'Approccio 1 (A1+M1+R1), nella quale i coefficienti sui parametri di resistenza (M1) e sulla resistenza globale del sistema (R1) sono unitari, mentre le azioni permanenti e le azioni variabili sono amplificate mediante i coefficienti del gruppo A1.

Pertanto, con la combinazione dei carichi fondamentale si procede secondo questo schema:

- verifiche SLU interventi di stabilizzazione:  $\gamma_E = 1,3$  applicato alle caratteristiche delle sollecitazioni N, M, T,
- verifiche SLU rivestimento di prima fase:  $\gamma_E = 1,3$  applicato alle caratteristiche delle sollecitazioni N, M, T,
- verifiche SLU rivestimento definitivo:  $\gamma_E = 1,3$  applicato alle caratteristiche delle sollecitazioni N, M, T.

Per la verifica degli stati limite di esercizio (SLE) del rivestimento definitivo in calcestruzzo armato, le analisi numeriche sono condotte con i valori caratteristici delle azioni e dei parametri geotecnici, adottando le pertinenti combinazioni dei carichi per la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio, secondo quanto previsto dal D.M. 17/01/2018.

Le analisi di interazione opera-terreno sono state condotte con modelli numerici bidimensionali mediante il codice di calcolo FLAC.

In tale tipologia di analisi lo scavo della galleria viene simulato rilasciando in modo uniforme un sistema di forze equivalenti applicate sul contorno del profilo di scavo, tenendo conto della variazione del tasso di confinamento in funzione della distanza della sezione di calcolo dal fronte; in questo modo il problema tridimensionale dello scavo della galleria viene ricondotto ad un problema piano, con la possibilità di valutare le azioni sulle strutture di rivestimento al progredire degli avanzamenti.



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
**PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	B	80 di 156

### 10.3.1 Stabilità del fronte basse coperture

Per la descrizione dei metodi di calcolo adottati si fa riferimento a quanto indicato nel paragrafo 10.3.

Nei terreni sciolti scavati con un sistema meccanizzato la stabilità del fronte di scavo deve essere garantita da una contropressione applicata all'interno della camera di scavo.

La pressione necessaria alla stabilizzazione del fronte di scavo è stata valutata con il metodo di Anagnostou e Kovari descritto nella fase di diagnosi. I parametri di resistenza del terreno sono stati abbattuti secondo l'Approccio 1-Combinazione 2 (A2+M2+R2), con R2 = 1.

La geometria del modello e i parametri geotecnici necessari per l'analisi di stabilità sono riassunti in tabella:

Sezione di calcolo	H [m]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'_k$ [MPa]	$\phi'_k$ [°]	$h_0$ [m]	$\Delta h = h_0 - h_F$ [m]	$\gamma_{M2}$ (tan $\phi'_k$ )	$\gamma_{M2}$ ( $c'_k$ )
1	24	19.5	6	28	15.55	0	1.25	1.25
2	20	19.5	3	25	21	0	1.25	1.25

H= copertura da estradosso calotta.  
 $h_0$ = carico idraulico nel terreno  
 $h_F$ = carico idraulico nella camera di scavo

**Tabella 9: Parametri di input per l'analisi di Anagnostou e Kovari**

In prima approssimazione, si ipotizza che la differenza tra la pressione idraulica presente nella camera di scavo sia tale da annullare il carico idraulico indisturbato presente all'interno del terreno attraversato ( $\Delta h = 0$ ).

Come evidenziato dai risultati di studi parametrici su modelli numerici condotti da Anagnostou e Kovari, la pressione  $s'$  necessaria alla stabilizzazione del fronte di scavo in queste condizioni ( $\Delta h = 0$ ) è indipendente dal livello idraulico  $h_0$ . In queste condizioni la pressione totale nella camera di scavo è data dalla somma della pressione idrostatica e della pressione efficace.

Come dimostrano Kovari e Anagnostou, si può quindi avere che, in materiali con un minimo di coesione, la compensazione idraulica ( $\Delta h = 0$ ) sia sufficiente alla stabilità del fronte di scavo senza la necessità di applicare una ulteriore pressione efficace  $s'$ . Diversamente, nella camera di scavo si applicherà una pressione efficace  $s'$ , generata grazie al controllo del materiale in ingresso e del materiale in uscita dalla camera di lavoro.

I risultati vengono presentati di seguito:

Sezione	Unità	Progressiva	$F_0$	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$s'_d$ [kPa]
---------	-------	-------------	-------	-------	-------	-------	--------------



di calcolo		[km]					
12	CMV	81+760	0,48	3	0,67	0,045	24
13	ORV	81+640	0,42	3.6	0,64	0,04	26
<p><math>F_0, F_1, F_2, F_3</math> = Coefficienti adimensionali  <math>s'_k</math> = pressione di contenimento caratteristica  <math>s'_d</math> = pressione di contenimento di progetto</p>							

**Tabella 10: Coefficienti adimensionali per analisi 13**

La compensazione idraulica nella camera di scavo ( $\Delta h=0$ ) non è sufficiente alla stabilizzazione del fronte di scavo. La pressione totale da assicurare nella camera di scavo sarà dunque pari alla pressione idraulica sommata ad  $s'_d$ .

Il valore è compatibile con il range di pressioni che sono in grado di fornire le macchine di scavo in commercio.

### 10.3.2 Analisi n. 1 - TBM alte coperture (pk 79+200)

#### Interazione opera-terreno

#### *Modello geotecnico*

Il modello geotecnico di sottosuolo in corrispondenza della sezione di analisi è caratterizzato dai calcari di Rocca Livernà (LIV). In corrispondenza di tale sezione è prevista l'esecuzione di un intervento di drenaggio al fine di ridurre i carichi idraulici agenti sul rivestimento definitivo in condizioni di lungo termine. Cautelativamente, è stato comunque considerato un carico idraulico agente pari a 83 m.

La **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** riassume i dati di input che caratterizzano la sezione geotecnica utilizzata per l'analisi numerica. Per dettagli in merito ai valori assunti si rimanda al capitolo 8.

**Tabella 11 - Sezione geotecnica di calcolo**

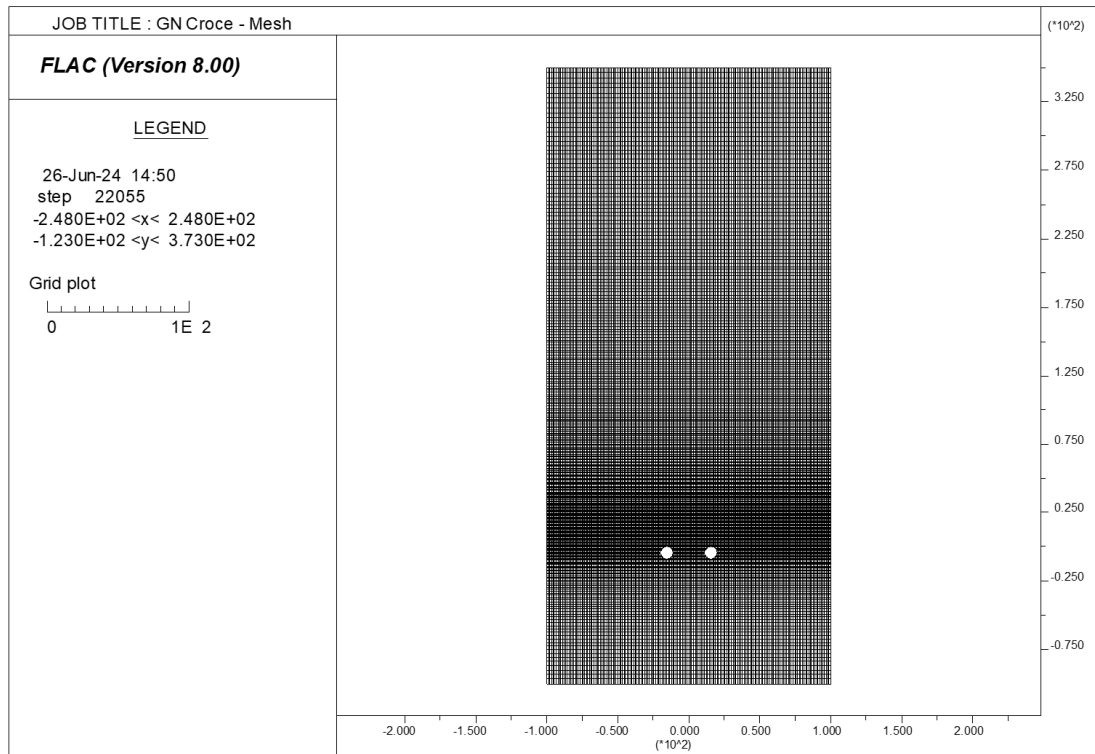
<i>Stratigrafia di calcolo</i>		C	Superficie piezometrica	$\gamma$	c' <sub>k</sub>	$\phi'k$	E'	K <sub>0</sub>
<i>Formazione</i>	<i>Profondità da p.c.</i>							
[-]	[m da pc]	[m]	[m] da calotta	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kPa]	[°]	[MPa]	[-]
LIV	In tutto il modello	390	83	26	1441	41	9579	0.7

C = copertura (rispetto alla calotta)  
 $\gamma$  = peso di volume  
c'<sub>k</sub> = coesione drenata  
 $\phi'<sub>k</sub> = angolo di attrito interno  
E' = modulo elastico  
K<sub>0</sub> = coefficiente di spinta a riposo$

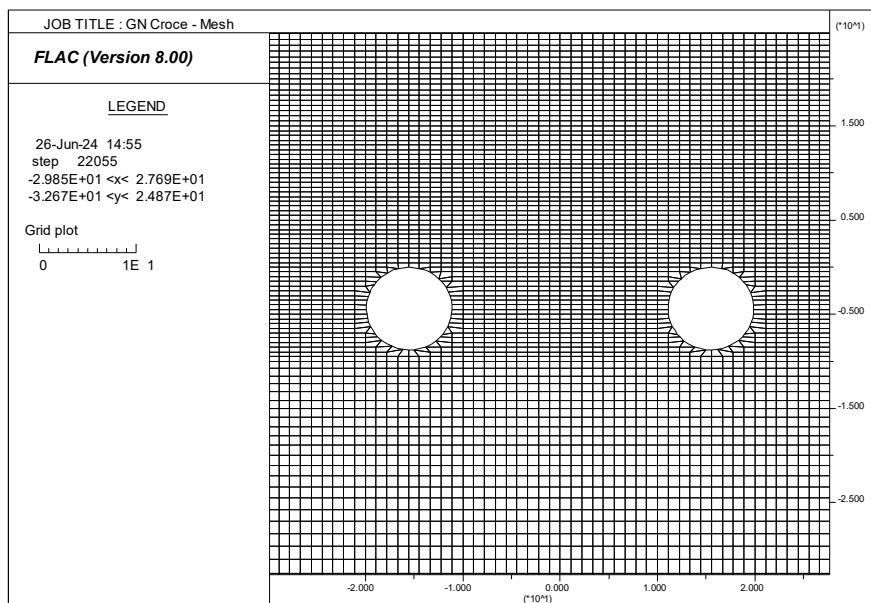
#### *Modello geometrico*

La mesh di calcolo è costituita da 180x300 di elementi rettangolari, opportunamente intensificati nelle zone di maggiore interesse in corrispondenza delle gallerie, in modo da seguire il più fedelmente possibile le geometrie locali delle strutture. Il modello è vincolato inferiormente con cerniere e lateralmente con carrelli.

La griglia presenta un'estensione laterale di 100 m (per una larghezza totale di 200 m) e un'altezza complessiva di 450 m; la restante parte di terreno è stata simulata con un carico applicato pari a 1040 kPa. I bordi del modello numerico sono stati collocati sufficientemente lontani dalla galleria (a distanza >3D con D=diametro della galleria), in modo tale che le condizioni di vincolo ivi definite non influenzino la modellazione.



**Figura 48 - Modello di calcolo - Geometria mesh**



**Figura 49 - Modello di calcolo - Geometria mesh in prossimità delle gallerie (zoom di figura 1).**

Il rivestimento della galleria è stato simulato utilizzando elementi tipo “liner”, aventi modello costitutivo elastico lineare.

Si riportano di seguito le caratteristiche del rivestimento in conci e della fresa scudata:

**Tabella 12 - Definizione delle caratteristiche del rivestimento della galleria**

<b>Caratteristiche conci dell'anello universale</b>	
Spessore dei conci di cls	40 cm
Classe di calcestruzzo utilizzato	C40/50
Modulo elastico	35220 MPa
Inerzia della sezione di cls	0,00533 m <sup>4</sup>

**Tabella 13 - Definizione delle caratteristiche della fresa scudata**

<b>Caratteristiche della fresa scudata</b>	
Spessore scudo	3 cm
Intercapedine tra l'esterno dello scudo e l'estradosso del concio	10 cm
Coefficiente di Poisson scudo	0.3
Modulo elastico scudo	200 GPa
Resistenza scudo $f_{yk}$	275 MPa
Distanza fronte-rivestimento	8 m
Intasamento a tergo con filler	

### *Fasi e percentuali di rilascio*

Al fine di tener conto della natura tridimensionale del problema, nelle analisi svolte in condizioni di deformazione piana lo scavo della galleria è stato simulato con il metodo delle forze di scavo equivalenti. In particolare, l'effetto dell'avanzamento dello scavo viene modellato rilasciando un sistema di forze applicate sul contorno del profilo di scavo). La riduzione delle forze di scavo a partire dalla condizione originaria è definita tramite un fattore di rilascio, funzione della distanza dal fronte (“rilascio forze di scavo”).

La seguente tabella schematizza le fasi di calcolo dell'analisi svolta:

**Tabella 14- Fasi di analisi**

<b>Fase</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Rilascio forze di scavo</b>
0	Creazione della geometria del modello	-
1	Inizializzazione dello stato tensionale geostatico in condizioni elastiche	-
2	Inizializzazione dello stato tensionale geostatico in condizioni plastiche (modello costitutivo di Mohr-Coulomb)	-
<b>SCAVO CANNA SINISTRA</b>		
3	Pre-convergenza del fronte	0.38
4	Convergenza per chiusura del gap scudo-roccia	-
5	Contatto con lo scudo	0.98
6	Installazione dell'anello universale	1.00
<b>SCAVO CANNA DESTRA</b>		
7	Pre-convergenza del fronte	0.38
8	Convergenza per chiusura del gap scudo-roccia	-
9	Contatto con lo scudo	0.98
10	Installazione dell'anello universale	1.00
<b>LUNGO TERMINE</b>		
11	Ripristino delle condizioni idrostatiche dell'acqua	-



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	B	86 di 156

*Analisi e commento dei risultati*

Sono di seguito illustrati e commentati i risultati delle fasi di scavo, relative alla sezione di scavo in meccanizzato analizzata. I risultati dell'analisi numerica sono riportati in allegato per le fasi di calcolo più rappresentative. In particolare, l'allegato illustra le componenti verticale e orizzontale degli spostamenti totali cumulati, i vettori degli spostamenti totali, le plasticizzazioni al contorno del cavo e la tensione principale massima con le direzioni delle tensioni principali. Per le fasi pertinenti, riporta inoltre le caratteristiche della sollecitazione negli elementi strutturali del modello (liner).

FASE 3

Viene simulato il rilascio a cavo libero del fronte della galleria destra. Il campo degli spostamenti mostra spostamenti verticali pari a circa 1.6 mm in calotta e 3.5 mm in arco rovescio, mentre gli spostamenti orizzontali in piedritto sono pari a circa 1.3 mm. La fascia plastica non presenta estensione.

FASE 5

Viene simulato il rilascio sullo scudo della galleria destra. Lo spostamento verticale in calotta è dell'ordine dei 5.6 mm mentre in arco rovescio è di circa 8.5 mm, mentre lo spostamento orizzontale ai piedritti è pari a circa 4.1 mm. La fascia plastica presenta un'estensione di 1 m.

FASE 6

Viene simulata l'installazione del rivestimento in conci della canna destra e uno scarico tensionale totale. Lo spostamento verticale in calotta è dell'ordine dei 5.8 mm mentre in arco rovescio è di circa 8.7 mm, mentre lo spostamento orizzontale ai piedritti è pari a circa 4.3 mm. La fascia plastica non subisce invece variazioni significative rispetto alla fase di analisi precedente.

FASE 7

Viene simulato il rilascio a cavo libero del fronte della galleria sinistra. Il campo degli spostamenti mostra spostamenti verticali paria circa 1.1 mm in calotta e 4.2 mm in arco rovescio, mentre gli spostamenti orizzontali in piedritto sono pari a circa 1.6 mm. Al contorno della galleria non si sviluppa la fascia plastica.

FASE 9

Viene simulato il rilascio sullo scudo della galleria sinistra. Lo spostamento verticale in calotta è dell'ordine dei 5.8 mm mentre in arco rovescio è di circa 8.8 mm, mentre lo spostamento orizzontale ai piedritti è pari a circa 4.4 mm. La fascia plastica presenta un'estensione di 1 m.



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	B	87 di 156

#### FASE 10

Viene simulata l'installazione del rivestimento in conci della canna destra e uno scarico tensionale totale. Lo spostamento verticale in calotta è pari a circa 6.2 mm, mentre in arco rovescio è di circa 8.9 mm. Lo spostamento orizzontale ai piedritti è dell'ordine dei 4.5 mm. La fascia plastica non subisce significative variazioni rispetto alla fase precedente.

#### FASE 11

Viene simulata la presenza della falda a lungo termine mediante l'applicazione di un carico distribuito perpendicolarmente agli elementi strutturali che costituiscono il rivestimento in conci prefabbricati. Lo spostamento verticale in calotta è pari a circa 7.0 mm, mentre in arco rovescio è di circa 9.7 mm. Lo spostamento orizzontale ai piedritti è dell'ordine dei 5.4 mm. La fascia plastica non subisce significative variazioni rispetto alla fase precedente.

#### *Verifiche strutturali SLU del rivestimento definitivo*

La verifica strutturale del rivestimento definitivo prevede il confronto tra le sollecitazioni di calcolo, ottenute a partire dai risultati del modello numerico applicando i relativi coefficienti parziali, e le resistenze di calcolo che individuano il dominio resistente nel piano M,N.

Per la verifica a taglio, il valore di calcolo è ottenuto in accordo con la normativa vigente.

I rivestimenti definitivi delle gallerie di linea sono realizzati con elementi prefabbricati aventi classe di resistenza del calcestruzzo C40/50 e armatura costituita da 12  $\phi$  16 sia in intradosso che in estradosso.

Le tabelle seguenti sintetizzano le sollecitazioni ottenute, nelle zone significative del rivestimento definitivo della galleria. Le tabelle riportano le sollecitazioni derivanti dall'analisi numerica a metro di galleria, prive di fattori amplificativi, e le sollecitazioni adottate nelle verifiche strutturali: queste ultime risultano moltiplicate per il coefficiente  $\gamma_E=1.3$  (allo SLU) e per la lunghezza di due conci consecutivi  $2b=3.6$  m.

Considerare le sollecitazioni agenti su due conci adiacenti di due anelli consecutivi consente di condurre verifiche strutturali cautelative, tenendo conto del trasferimento del carico da un anello a quello adiacente. Nelle verifiche, pur considerando le sollecitazioni e l'area di calcestruzzo di due conci consecutivi, si considera in zona tesa e compressa l'armatura di un solo concio; questo metodo consente di tenere in conto della presenza del giunto tra due conci adiacenti e dunque la non perfetta collaborazione delle armature dei suddetti nell'assorbimento delle sollecitazioni.

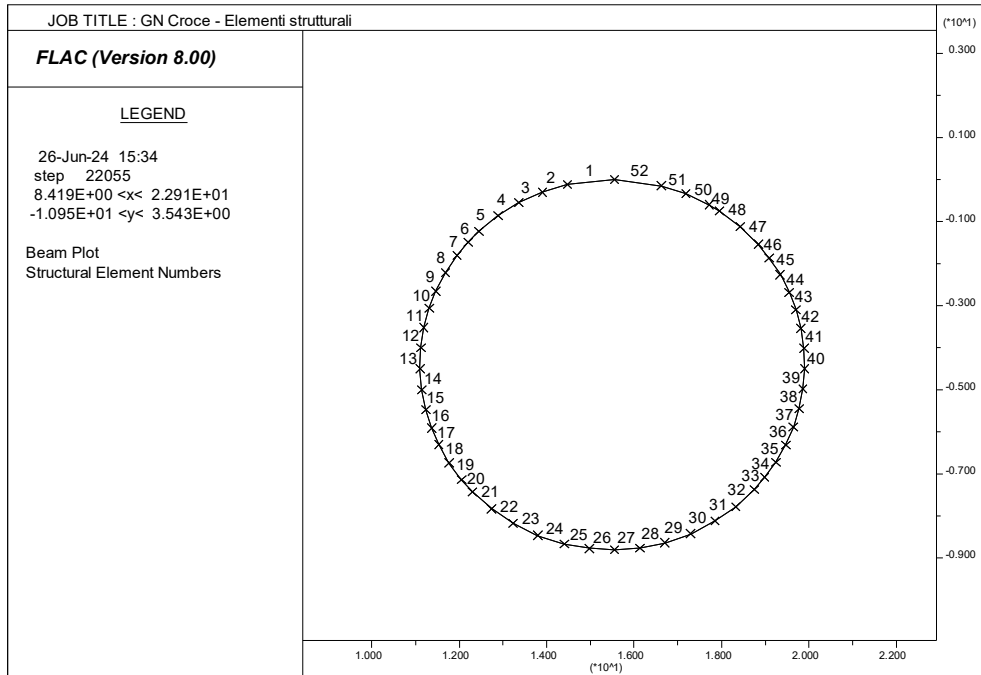
Le verifiche strutturali del rivestimento definitivo sono state condotte per la fase di lungo termine.



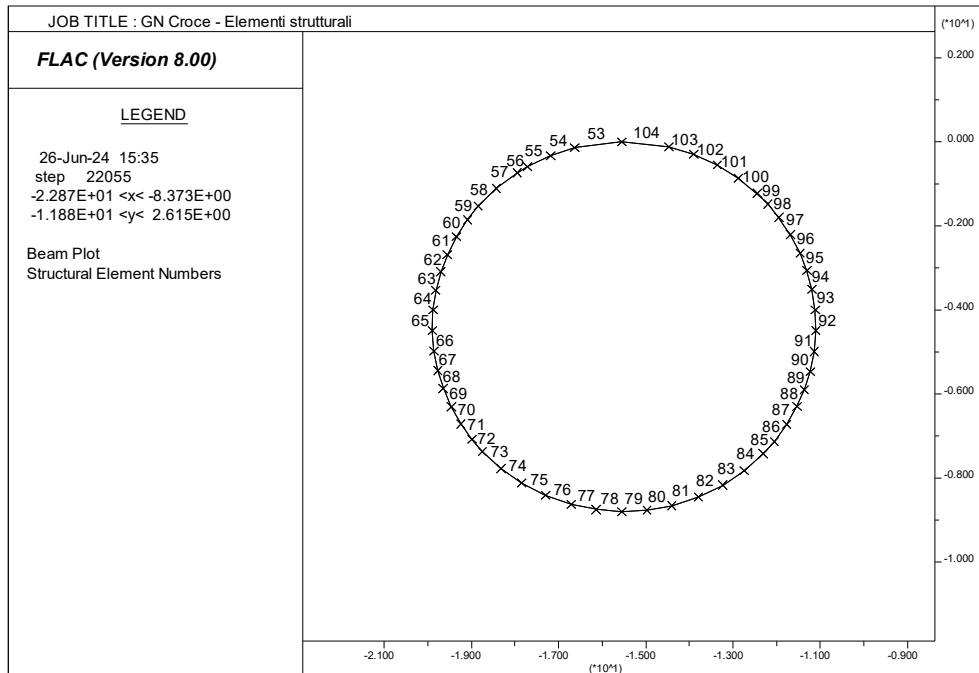
RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
**PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	B	88 di 156



**Figura 50 - Elementi liner canna destra**



**Figura 51 - Elementi liner canna sinistra**



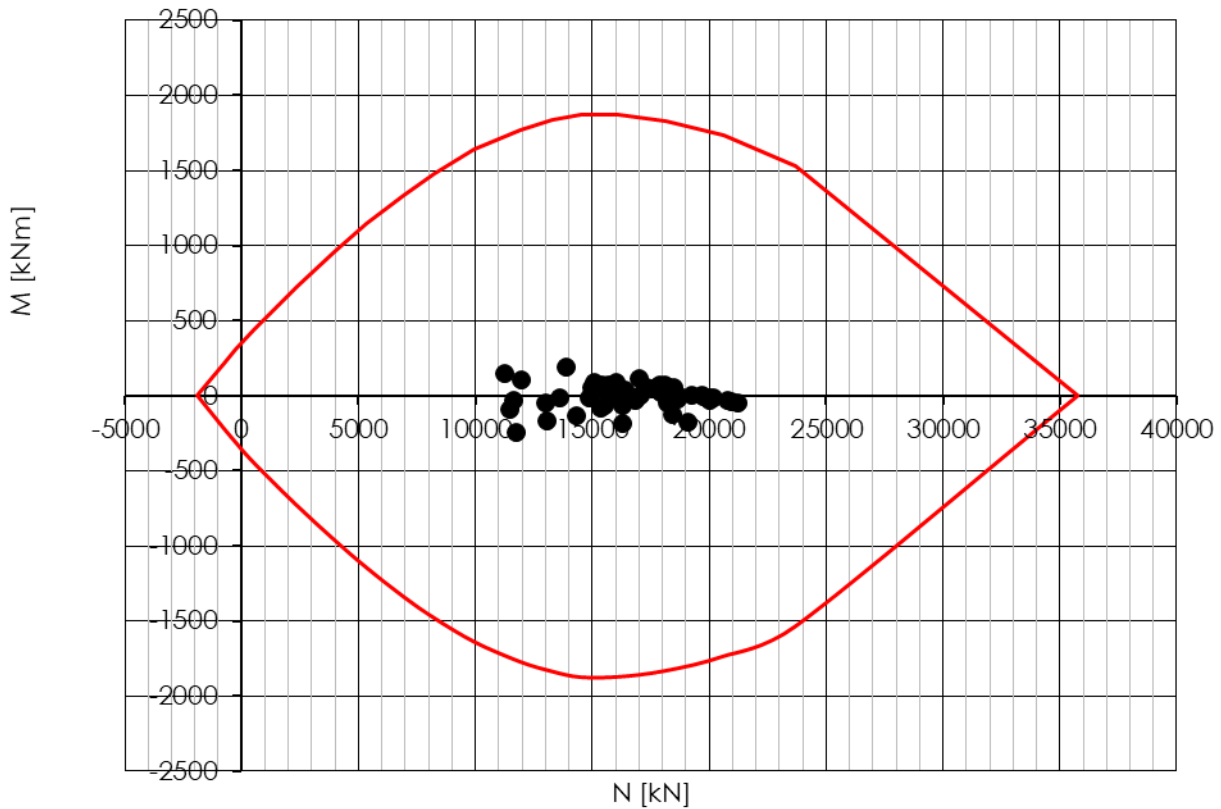
**Tabella 15 - Sollecitazioni nel rivestimento della canna destra**

Fase	Node	N	M	T	$\gamma_E \cdot 2b \cdot N$ [kN]	$\gamma_E \cdot 2b \cdot M$ [kNm]	$\gamma_E \cdot 2b \cdot T$ [kN]
		[kN/m]	[kNm/m]	[kN/m]			
11	1	2402	30.82	38.16	11241.36	144.24	178.59
	14	4472	-9.14	-3.40	20928.96	-42.78	-15.91
	27	2484	-5.72	50.56	11625.12	-26.77	236.62
	40	4314	-3.25	-3.26	20189.52	-15.21	-15.26

**Tabella 16 - Sollecitazioni nel rivestimento della canna sinistra**

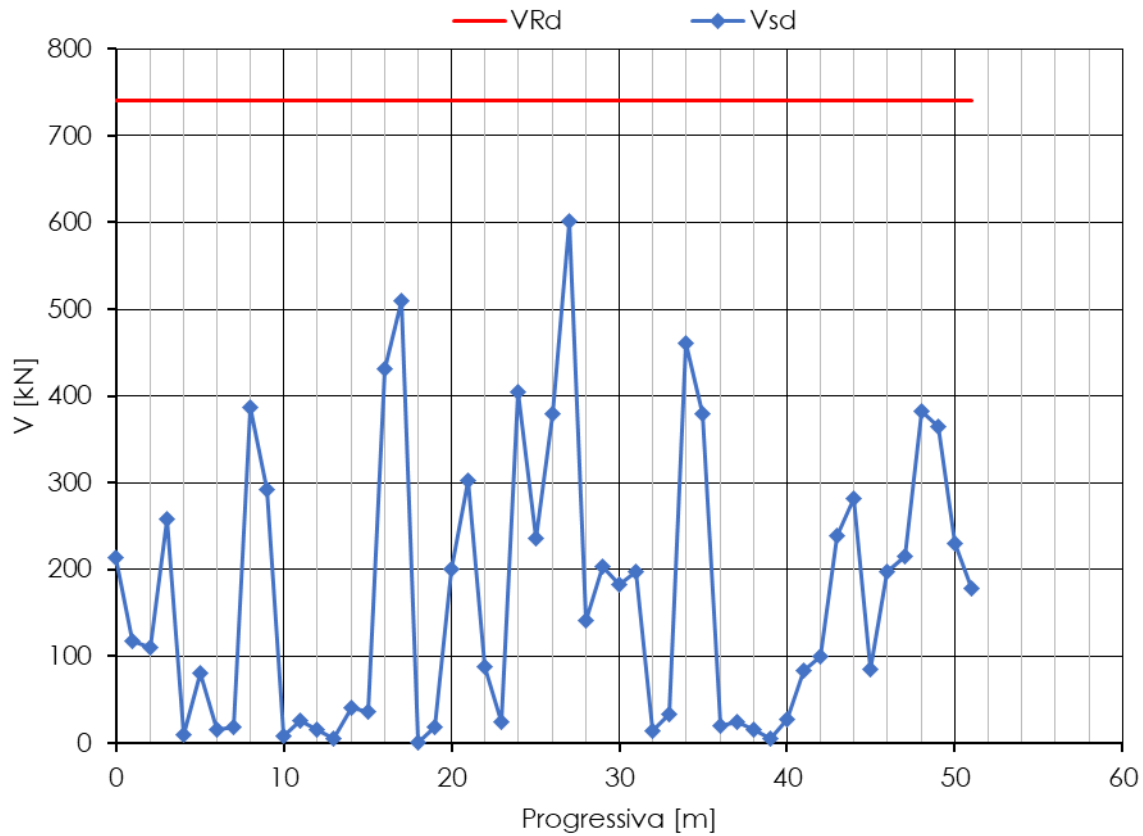
Fase	Node	N	M	T	$\gamma_E \cdot 2b \cdot N$ [kN]	$\gamma_E \cdot 2b \cdot M$ [kNm]	$\gamma_E \cdot 2b \cdot T$ [kN]
		[kN/m]	[kNm/m]	[kN/m]			
11	53	2528	27.60	47.70	11831.04	129.17	223.24
	66	4072	-1.49	-1.10	19056.96	-6.97	-5.15
	79	2596	-9.24	86.72	12149.28	-43.24	405.85
	92	4104	-4.61	1.28	19206.72	-21.57	5.99

Le verifiche sono state condotte considerando un copriferro nominale pari a 50 mm.

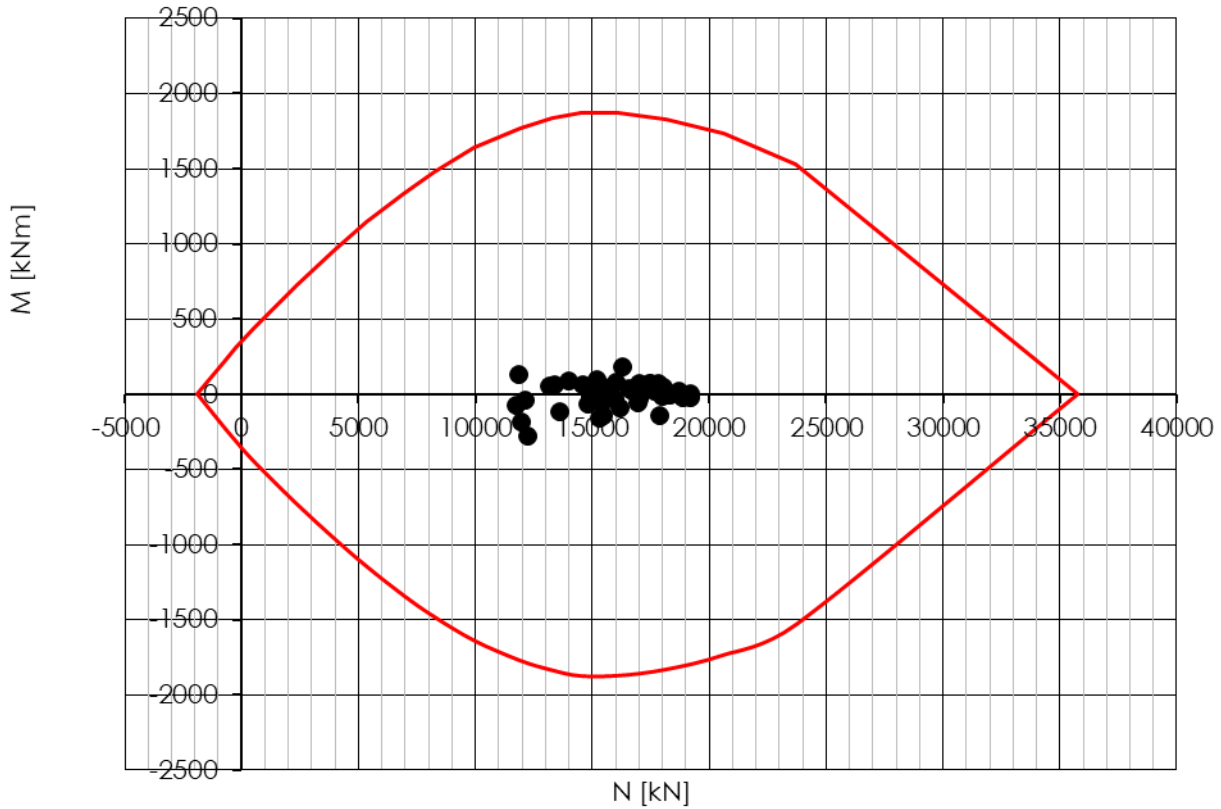


**Figura 52 - Dominio resistente SLU canna DX (B=3.60 m, H=0.40 m) - Fase Lungo Termine (Step 11)**

Verifica a taglio senza armatura specifica

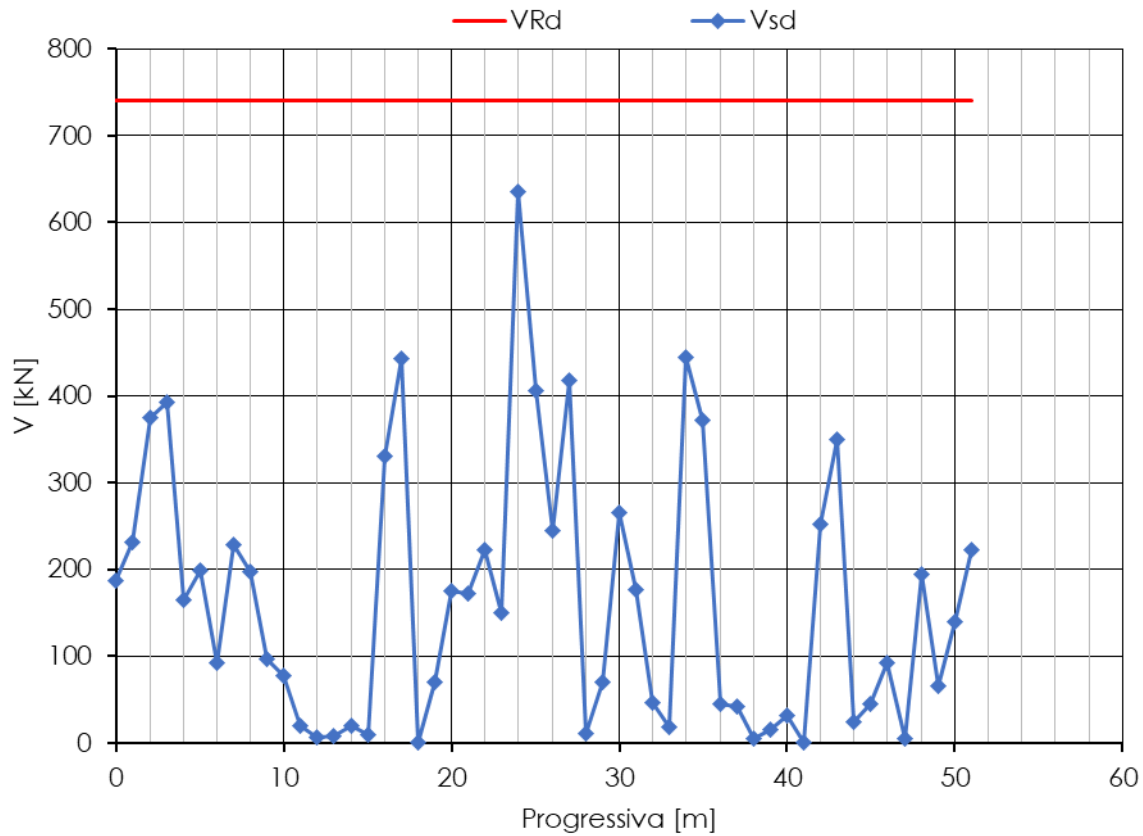


**Figura 53 - Verifica SLU taglio canna DX (B=1.80 m, H=0.40 m) - Fase Lungo Termine (Step 11)**



**Figura 54 - Dominio resistente SLU canna SX (B=3.60 m, H=0.40 m) - Fase Lungo Termine (Step 11)**

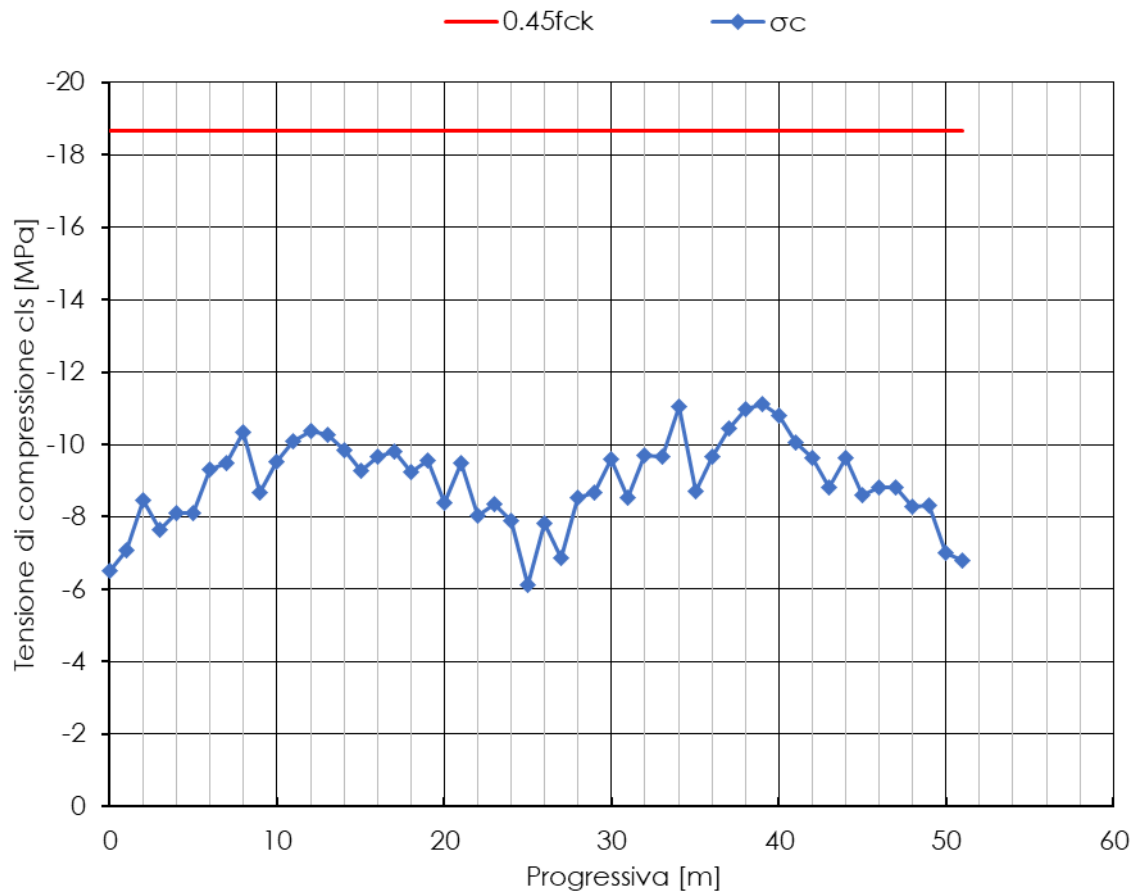
Verifica a taglio senza armatura specifica



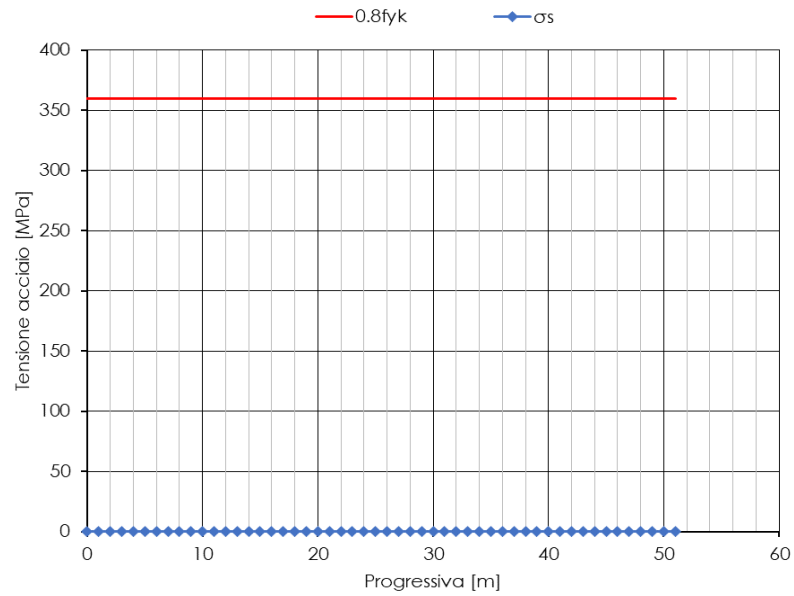
**Figura 55 - Verifica SLU taglio canna SX (B=1.80 m, H=0.40 m) - Fase Lungo termine (Step 11)**

### Verifiche SLE

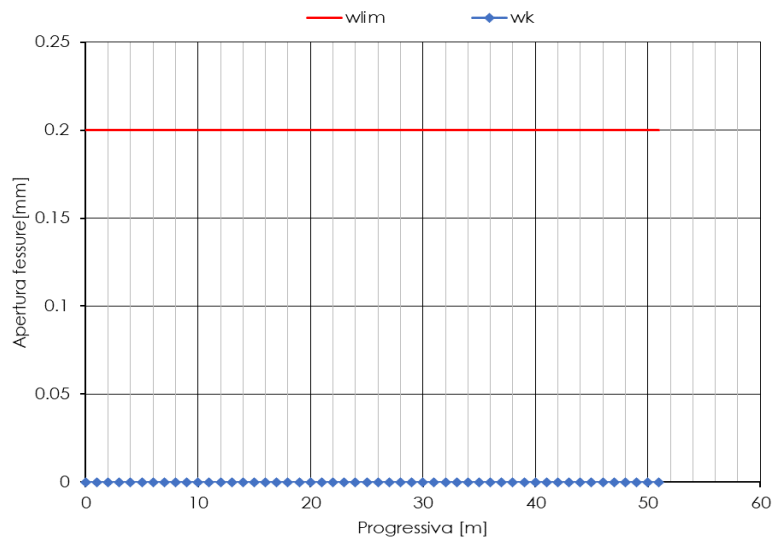
Le verifiche SLE risultano soddisfatte sia lato calcestruzzo che lato acciaio rispettando i valori limite imposti dalla normativa vigente [NTC 2018]. Poiché la sezione risulta interamente compressa non si ha l'apertura di fessure.



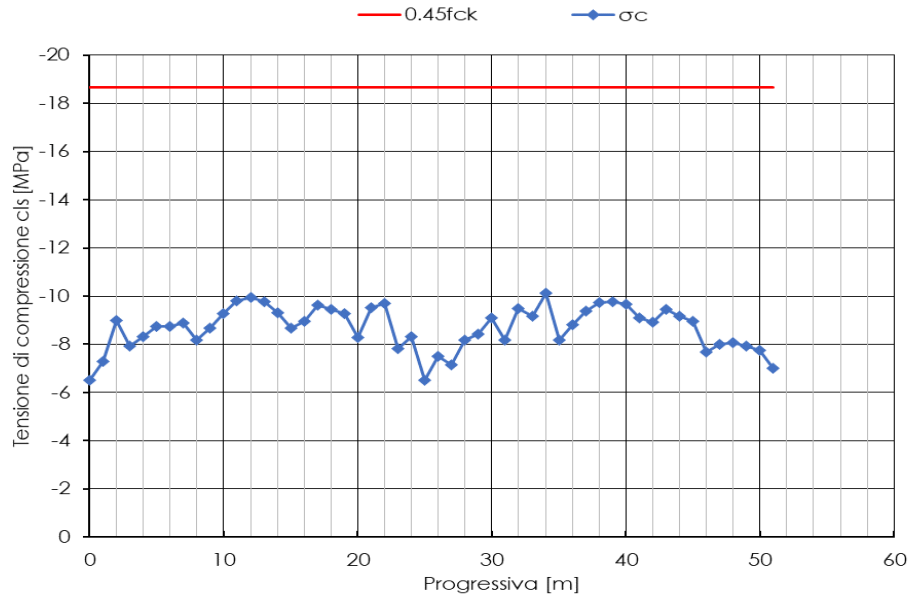
**Figura 56 - Verifiche SLE tensione cls canna DX – Fase Lungo Termine (Step 11)**



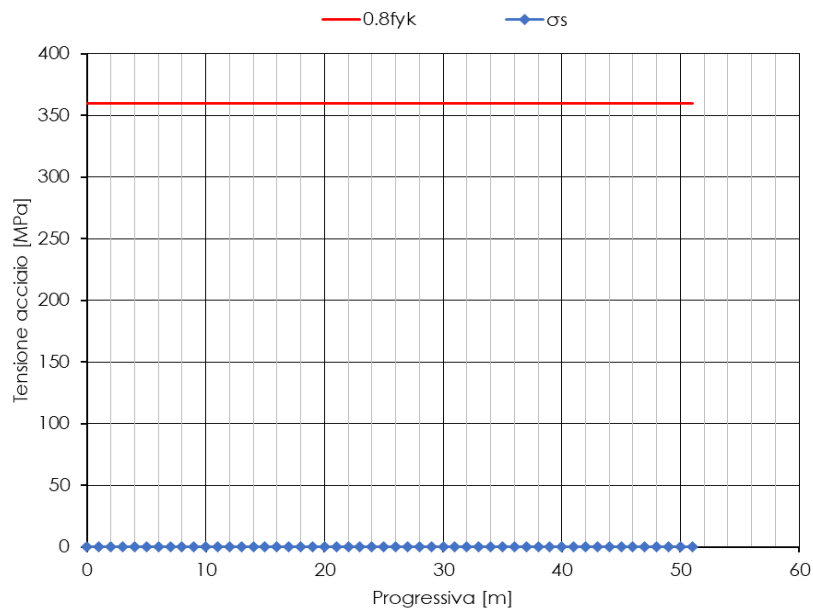
**Figura 57 - Verifiche SLE tensione acciaio canna DX – Fase Lungo Termine (Step 11)**



**Figura 58 - Verifiche SLE fessurazione canna DX – Fase Lungo Termine (Step 11)**

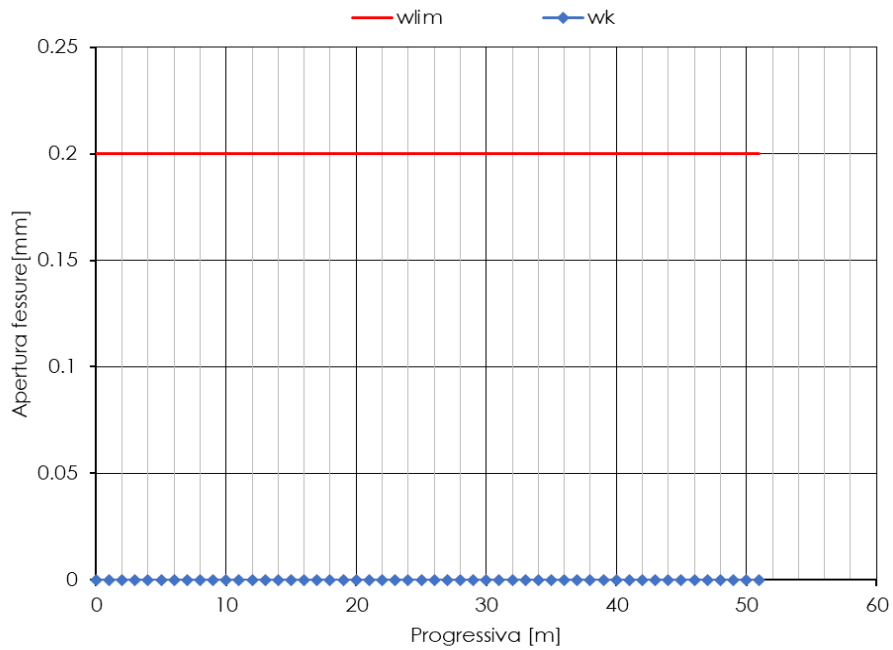


**Figura 59 - Verifiche SLE tensione cls canna SX – Fase Lungo Termine (Step 11)**



**Figura 60 - Verifiche SLE tensione acciaio canna SX – Fase Lungo Termine (Step 11)**





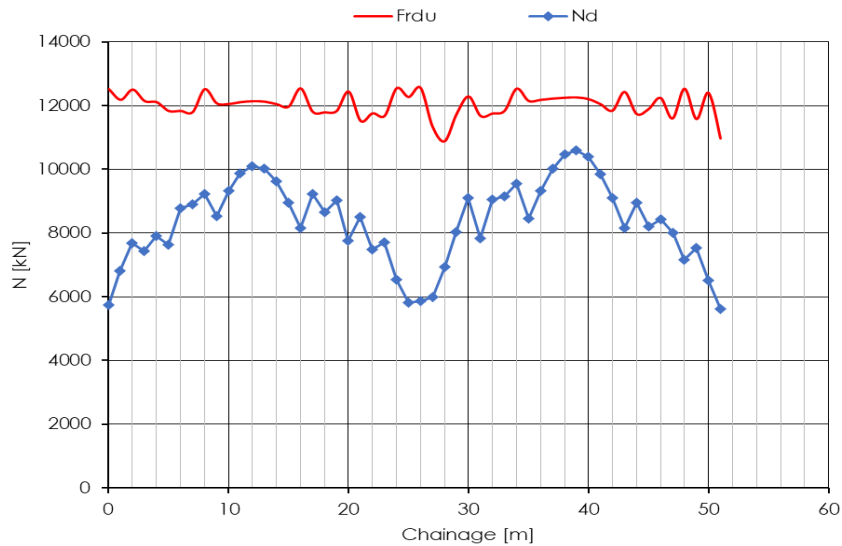
**Figura 61 - Verifiche SLE fessurazione canna SX – Fase Lungo Termine (Step 11)**

### Verifica dei giunti

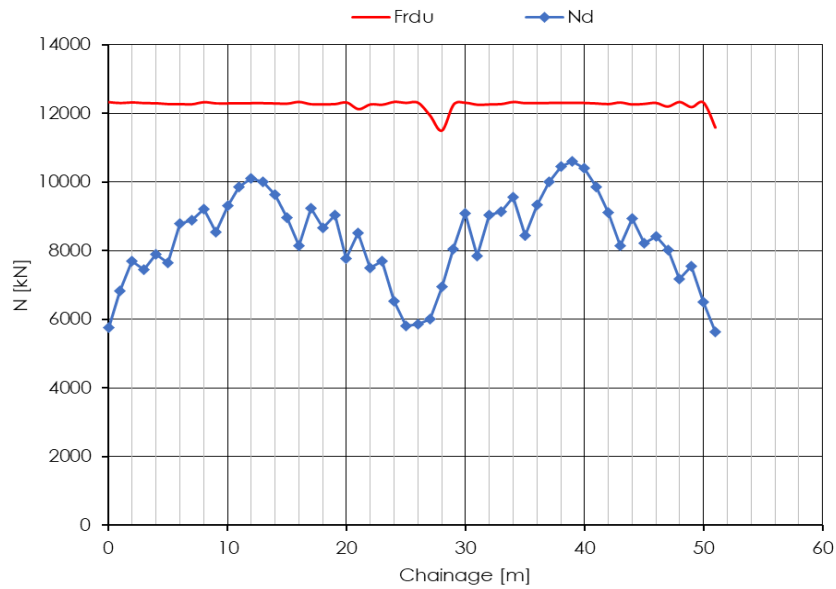
Si riportano le verifiche della pressione di contatto nel calcestruzzo in corrispondenza del giunto, tutte verificate risultando  $N_{SLU} < F_{rdu} < F_{max}$ .

Le verifiche sono state svolte ipotizzando un'eccentricità accidentale pari a 5 mm, considerando il "difetto" sia in estradosso che in intradosso.

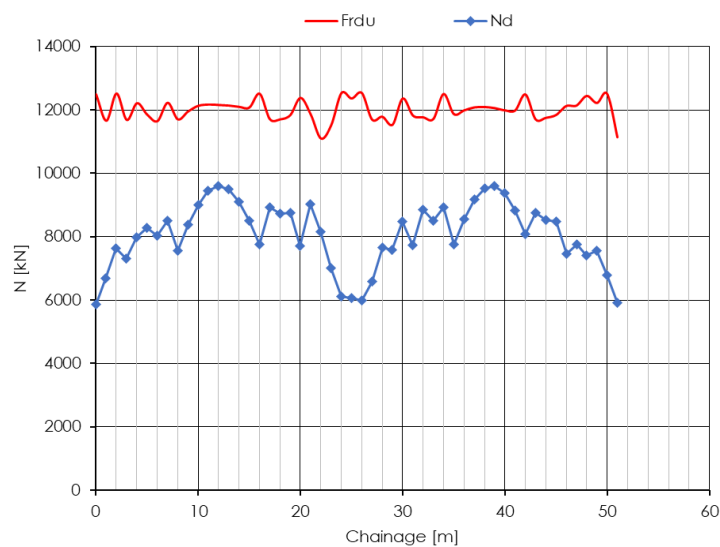
Di seguito si riportano i grafici relativi ai risultati della verifica; nel caso di  $F_{max}$  non è stato riportato il valore nei grafici poiché risulta sempre  $F_{rdu} < F_{max}$ .



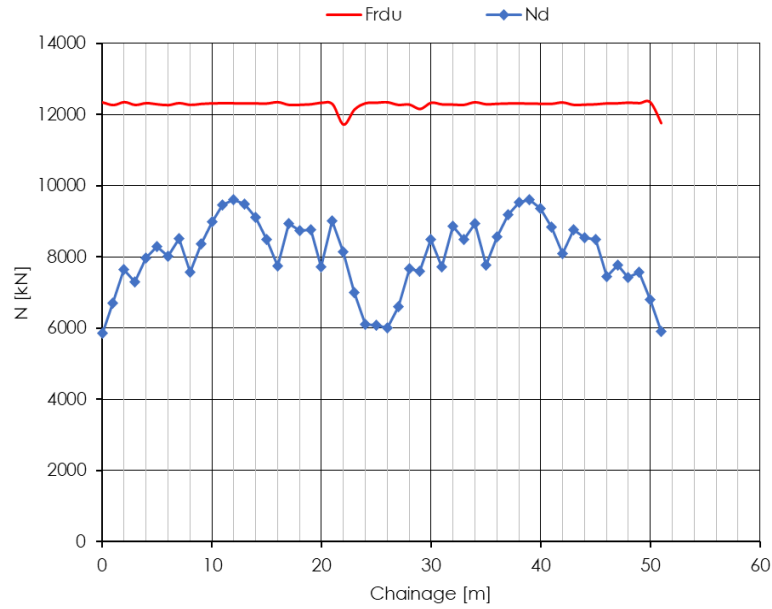
**Figura 62. Canna DX– Fase LT – Step 11 - Verifica delle pressioni di contatto "difetto" intradosso**



**Figura 63. Canna DX – Fase LT – Step 11 - Verifica delle pressioni di contatto “difetto” estradosso**



**Figura 64. Canna SX – Fase LT – Step 11 - Verifica delle pressioni di contatto “difetto” intradosso**



**Figura 65. Canna SX – Fase LT – Step 11 - Verifica delle pressioni di contatto “difetto” estradosso**

### Stabilità del fronte

La stabilità del fronte per la sezione in esame è stata analizzata con il metodo delle linee caratteristiche.

Nelle seguenti tabelle sono riportati i parametri di progetto adottati nell'analisi (corrispondenti alla combinazione A2+M2+R2 – SLU GEO).

**Tabella 17: Verifica stabilità del fronte Formazione Monte Sidone: dati di input**

Unità	H	$\sigma_0$	$\gamma$	$c'_d$	$\phi'_d$	$E'_d$
	[m]	[MPa]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[MPa]	[°]	[MPa]
LIV	390	10.14	26	1.153	34.8	9579

H = copertura rispetto al piano dei centri della galleria  
 $\sigma_0$  = tensione totale iniziale al livello del cavo  
 $\gamma$  = peso dell'unità di volume dell'ammasso  
 $c'_d$  = valore di progetto della coesione  
 $\phi'_d$  = valore di progetto dell'angolo di attrito  
 $E'_d$  = valore di progetto del modulo elastico dell'ammasso

L'analisi è stata condotta in assenza di un'apposita contropressione al fronte. Nella tabella seguente sono riportati per confronto i risultati in termini di convergenze al fronte e raggio plastico al fronte.

**Tabella 18: Risultati delle analisi in presenza e in assenza di pressione al fronte**

Sezione di analisi	$u_F$	$u_F / R_{eq}$	$R_{PF}$	$R_{PF} / R_{eq}$
	[m]	[%]	[m]	[-]
Senza pressione al fronte	0.005	0.12	5.43	1.19

$u_F$  = convergenza al fronte (soluzione cavità sferica)  
 $R_{PF}$  = raggio plastico al fronte  
 $R_P$  = raggio plastico finale al contorno del cavo  
 $R_{eq}$  = raggio di scavo equivalente della galleria (=4,55 m)

Le deformazioni attese risultano compatibili con scavo meccanizzato in modalità aperta, senza necessità dell'applicazione di una pressione al fronte.

### 10.3.3 Analisi n. 2 - TBM alte coperture in faglia (pk 78+920)

#### Interazione opera-terreno

#### *Modello geotecnico*

Il modello geotecnico di sottosuolo in corrispondenza della sezione di analisi è caratterizzato dalle Dolomie di S. Pietro dei Monti (SPM). In corrispondenza di tale sezione è prevista l'esecuzione di un intervento di drenaggio al fine di ridurre i carichi idraulici agenti sul rivestimento definitivo in condizioni di lungo termine. Cautelativamente, è stato comunque considerato un carico idraulico agente pari a 83 m.

La **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** riassume i dati di input che caratterizzano la sezione geotecnica utilizzata per l'analisi numerica. Per dettagli in merito ai valori assunti si rimanda al capitolo 8.

**Tabella 19 - Sezione geotecnica di calcolo**

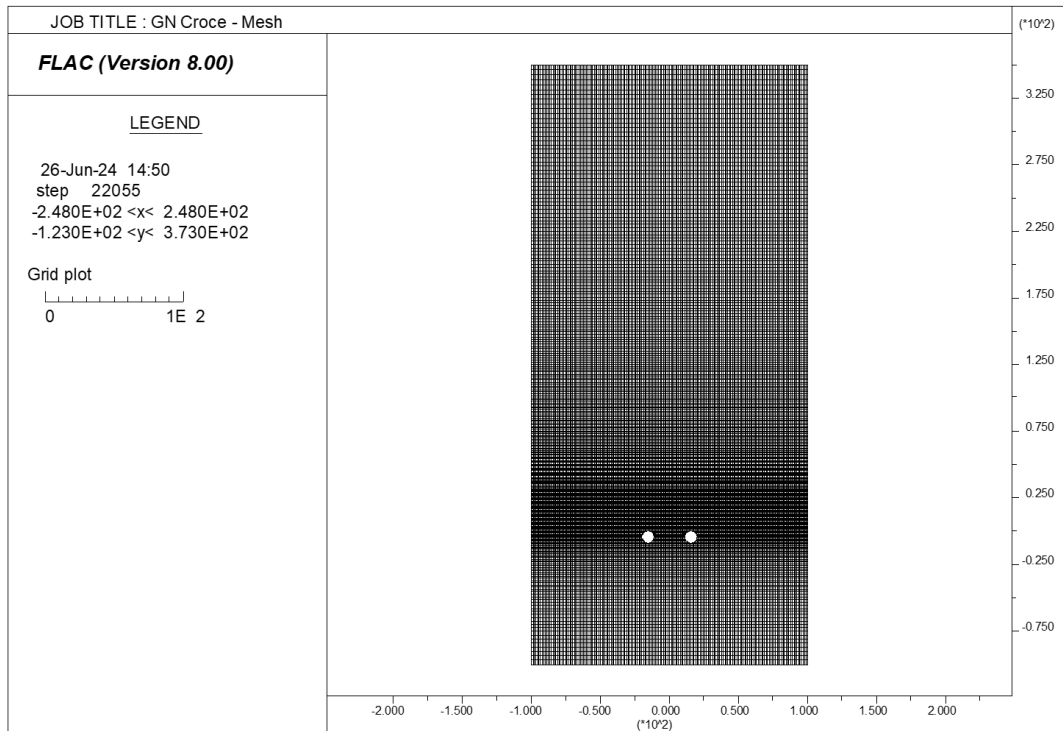
<i>Stratigrafia di calcolo</i>		C	Superficie piezometrica	$\gamma$	c' <sub>k</sub>	$\phi'$ <sub>k</sub>	E'	K <sub>0</sub>
Formazione	Profondità da p.c.							
[-]	[m da pc]	[m]	[m] da calotta	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kPa]	[°]	[MPa]	[-]
SPM	In tutto il modello	408	83	27	908	32	2800	0.7

C = copertura (rispetto alla calotta)  
 $\gamma$  = peso di volume  
 c'<sub>k</sub> = coesione drenata  
 $\phi'$ <sub>k</sub> = angolo di attrito interno  
 E' = modulo elastico  
 K<sub>0</sub> = coefficiente di spinta a riposo

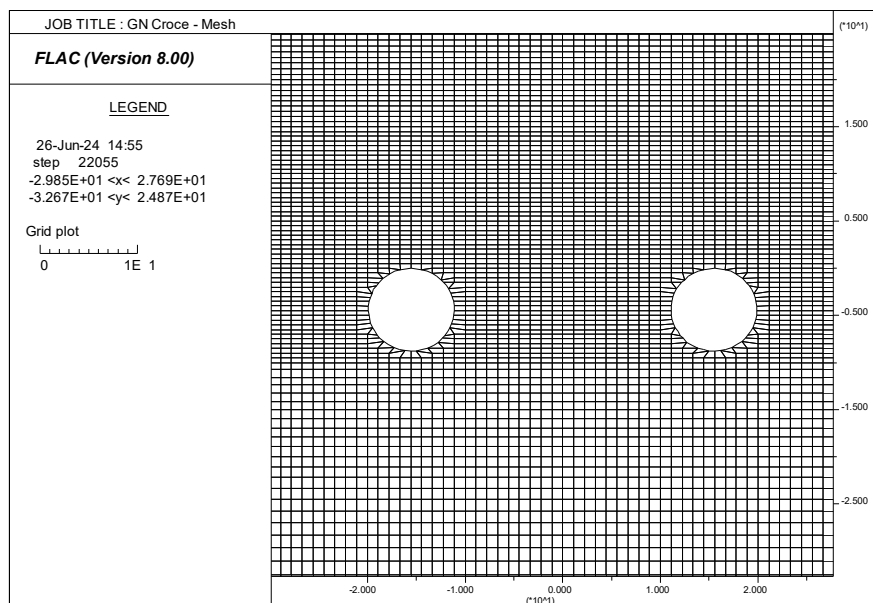
#### *Modello geometrico*

La mesh di calcolo è costituita da 180x300 di elementi rettangolari, opportunamente intensificati nelle zone di maggiore interesse in corrispondenza delle gallerie, in modo da seguire il più fedelmente possibile le geometrie locali delle strutture. Il modello è vincolato inferiormente con cerniere e lateralmente con carrelli.

La griglia presenta un'estensione laterale di 100 m (per una larghezza totale di 200 m) e un'altezza complessiva di 450 m; la restante parte di terreno è stata simulata con un carico applicato pari a 1566 kPa. I bordi del modello numerico sono stati collocati sufficientemente lontani dalla galleria (a distanza >3D con D=diametro della galleria), in modo tale che le condizioni di vincolo ivi definite non influenzino la modellazione.



**Figura 66 - Modello di calcolo - Geometria mesh**



**Figura 67 - Modello di calcolo - Geometria mesh in prossimità delle gallerie (zoom di figura 1).**

Il rivestimento della galleria è stato simulato utilizzando elementi tipo “liner”, aventi modello costitutivo elastico lineare.

Si riportano di seguito le caratteristiche del rivestimento in conci e della fresa scudata:

**Tabella 20 - Definizione delle caratteristiche del rivestimento della galleria**

<b>Caratteristiche conci dell’anello universale</b>	
Spessore dei conci di cls	40 cm
Classe di calcestruzzo utilizzato	C50/60
Modulo elastico	37278 MPa
Inerzia della sezione di cls	0,00533 m <sup>4</sup>

**Tabella 21 - Definizione delle caratteristiche della fresa scudata**

<b>Caratteristiche della fresa scudata</b>	
Spessore scudo	3 cm
Intercapedine tra l’esterno dello scudo e l’estradosso del concio	10 cm
Coefficiente di Poisson scudo	0.3
Modulo elastico scudo	200 GPa
Resistenza scudo $f_{yk}$	275 MPa
Distanza fronte-rivestimento	8 m
Intasamento a tergo con filler	



### *Fasi e percentuali di rilascio*

Al fine di tener conto della natura tridimensionale del problema, nelle analisi svolte in condizioni di deformazione piana lo scavo della galleria è stato simulato con il metodo delle forze di scavo equivalenti. In particolare, l'effetto dell'avanzamento dello scavo viene modellato rilasciando un sistema di forze applicate sul contorno del profilo di scavo). La riduzione delle forze di scavo a partire dalla condizione originaria è definita tramite un fattore di rilascio, funzione della distanza dal fronte (“rilascio forze di scavo”).

La seguente tabella schematizza le fasi di calcolo dell'analisi svolta:

**Tabella 22- Fasi di analisi**

<b>Fase</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Rilascio forze di scavo</b>
0	Creazione della geometria del modello	-
1	Inizializzazione dello stato tensionale geostatico in condizioni elastiche	-
2	Inizializzazione dello stato tensionale geostatico in condizioni plastiche (modello costitutivo di Mohr-Coulomb)	-
<b>SCAVO CANNA SINISTRA</b>		
3	Pre-convergenza del fronte	0.83
4	Convergenza per chiusura del gap scudo-roccia	-
5	Contatto con lo scudo	0.98
6	Installazione dell'anello universale	1.00
<b>SCAVO CANNA DESTRA</b>		
7	Pre-convergenza del fronte	0.83
8	Convergenza per chiusura del gap scudo-roccia	-
9	Contatto con lo scudo	0.98
10	Installazione dell'anello universale	1.00
<b>LUNGO TERMINE</b>		
11	Ripristino delle condizioni idrostatiche dell'acqua	-



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	B	106 di 156

### *Analisi e commento dei risultati*

Sono di seguito illustrati e commentati i risultati delle fasi di scavo, relative alla sezione di scavo in meccanizzato analizzata. I risultati dell'analisi numerica sono riportati in allegato per le fasi di calcolo più rappresentative. In particolare, l'allegato illustra le componenti verticale e orizzontale degli spostamenti totali cumulati, i vettori degli spostamenti totali, le plasticizzazioni al contorno del cavo e la tensione principale massima con le direzioni delle tensioni principali. Per le fasi pertinenti, riporta inoltre le caratteristiche della sollecitazione negli elementi strutturali del modello (liner).

#### FASE 3

Viene simulato il rilascio a cavo libero del fronte della galleria destra. Il campo degli spostamenti mostra spostamenti verticali pari a circa 23.4 mm in calotta e 26.6 mm in arco rovescio, mentre gli spostamenti orizzontali in piedritto sono pari a circa 16.5 mm. La fascia plastica ha un'estensione di 2 m.

#### FASE 5

Viene simulato il rilascio sullo scudo della galleria destra. Lo spostamento verticale in calotta è dell'ordine dei 36.7 mm mentre in arco rovescio è di circa 43.2 mm, mentre lo spostamento orizzontale ai piedritti è pari a circa 37.7 mm. La fascia plastica presenta un'estensione di 4 m.

#### FASE 6

Viene simulata l'installazione del rivestimento in conci della canna destra e uno scarico tensionale totale. Lo spostamento verticale in calotta è dell'ordine dei 37.2 mm mentre in arco rovescio è di circa 43.6 mm, mentre lo spostamento orizzontale ai piedritti è pari a circa 37.8 mm. La fascia plastica non subisce invece variazioni significative rispetto alla fase di analisi precedente.

#### FASE 7

Viene simulato il rilascio a cavo libero del fronte della galleria sinistra. Il campo degli spostamenti mostra spostamenti verticali paria circa 22.6 mm in calotta e 29.7 mm in arco rovescio, mentre gli spostamenti orizzontali in piedritto sono pari a circa 17.7 mm. La fascia plastica ha un'estensione di 2 m.

#### FASE 9

Viene simulato il rilascio sullo scudo della galleria sinistra. Lo spostamento verticale in calotta è dell'ordine dei 39.5 mm mentre in arco rovescio è di circa 44.4 mm, mentre lo spostamento orizzontale ai piedritti è pari a circa 39.9 mm. La fascia plastica presenta un'estensione di 4 metri.

#### FASE 10

Viene simulata l'installazione del rivestimento in conci della canna destra e uno scarico tensionale totale. Lo spostamento verticale in calotta è pari a circa 40.7 mm, mentre in arco rovescio è di circa 44.2 mm. Lo spostamento orizzontale ai piedritti è dell'ordine dei 40.0 mm. La fascia plastica non subisce significative variazioni rispetto alla fase precedente.



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	B	107 di 156

## FASE 11

Viene simulata la presenza della falda a lungo termine mediante l'applicazione di un carico distribuito perpendicolarmente agli elementi strutturali che costituiscono il rivestimento in conci prefabbricati. Lo spostamento verticale in calotta è pari a circa 42.0 mm, mentre in arco rovescio è di circa 45.5 mm. Lo spostamento orizzontale ai piedritti è dell'ordine dei 41.3 mm. La fascia plastica non subisce significative variazioni rispetto alla fase precedente.

### *Verifiche strutturali SLU del rivestimento definitivo*

La verifica strutturale del rivestimento definitivo prevede il confronto tra le sollecitazioni di calcolo, ottenute a partire dai risultati del modello numerico applicando i relativi coefficienti parziali, e le resistenze di calcolo che individuano il dominio resistente nel piano M,N.

Per la verifica a taglio, il valore di calcolo è ottenuto in accordo con la normativa vigente.

I rivestimenti definitivi delle gallerie di linea sono realizzati con elementi prefabbricati aventi classe di resistenza del calcestruzzo C50/60 e armatura costituita da 12  $\phi$  16 sia in intradosso che in estradosso.

Le tabelle seguenti sintetizzano le sollecitazioni ottenute, nelle zone significative del rivestimento definitivo della galleria. Le tabelle riportano le sollecitazioni derivanti dall'analisi numerica a metro di galleria, prive di fattori amplificativi, e le sollecitazioni adottate nelle verifiche strutturali: queste ultime risultano moltiplicate per il coefficiente  $\gamma_E=1.3$  (allo SLU) e per la lunghezza di due conci consecutivi  $2b=3.6$  m.

Considerare le sollecitazioni agenti su due conci adiacenti di due anelli consecutivi consente di condurre verifiche strutturali cautelative, tenendo conto del trasferimento del carico da un anello a quello adiacente. Nelle verifiche, pur considerando le sollecitazioni e l'area di calcestruzzo di due conci consecutivi, si considera in zona tesa e compressa l'armatura di un solo concio; questo metodo consente di tenere in conto della presenza del giunto tra due conci adiacenti e dunque la non perfetta collaborazione delle armature dei suddetti nell'assorbimento delle sollecitazioni.

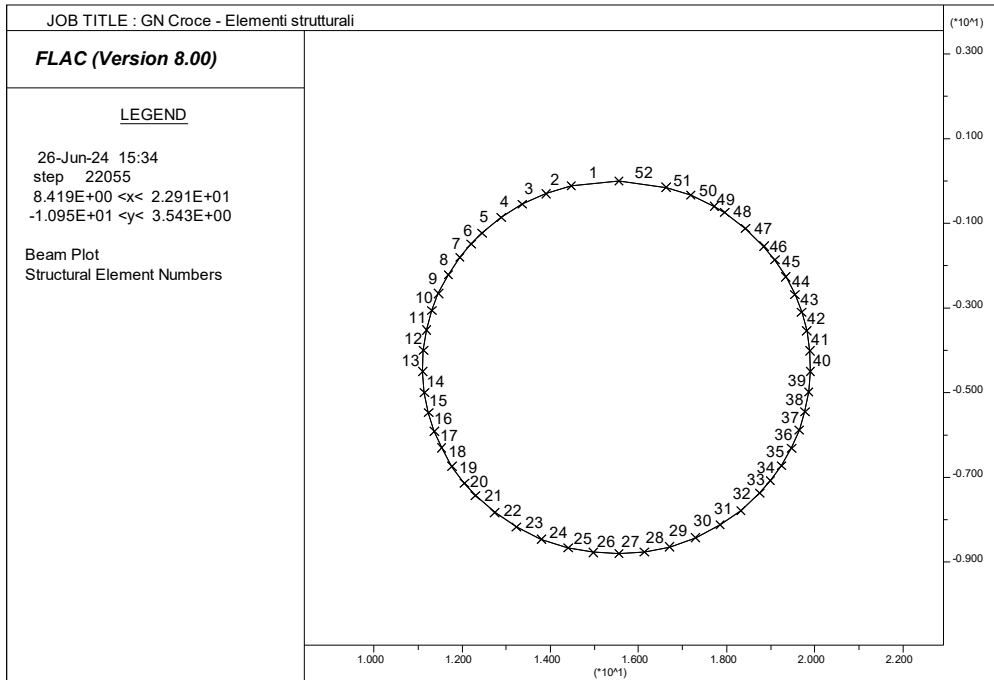
Le verifiche strutturali del rivestimento definitivo sono state condotte per la fase di lungo termine.



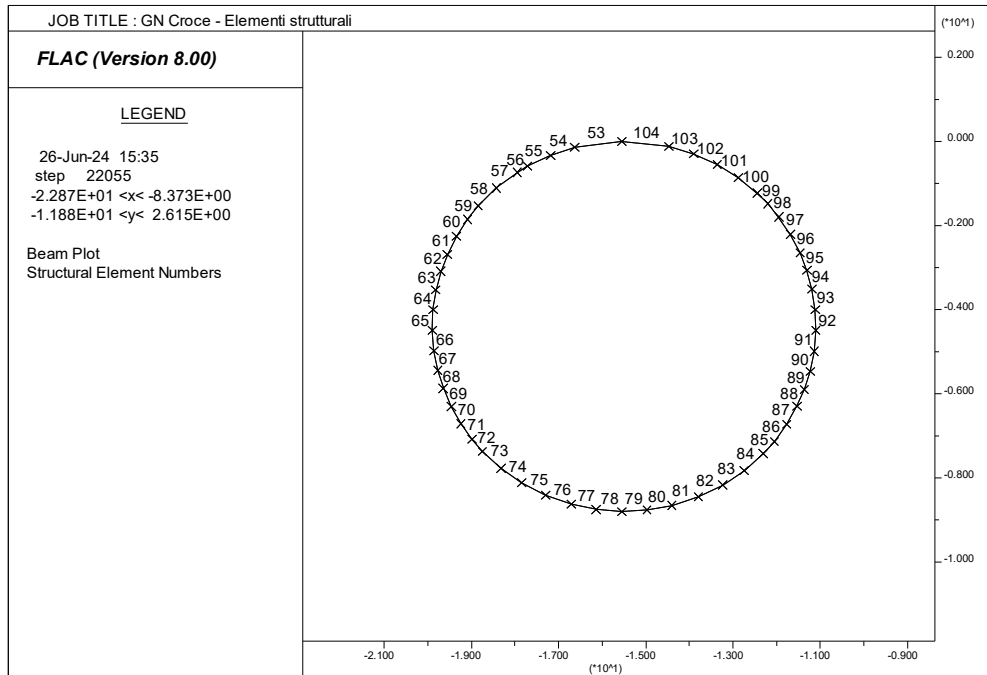
RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
**PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	B	108 di 156



**Figura 68 - Elementi liner canna destra**



**Figura 69 - Elementi liner canna sinistra**

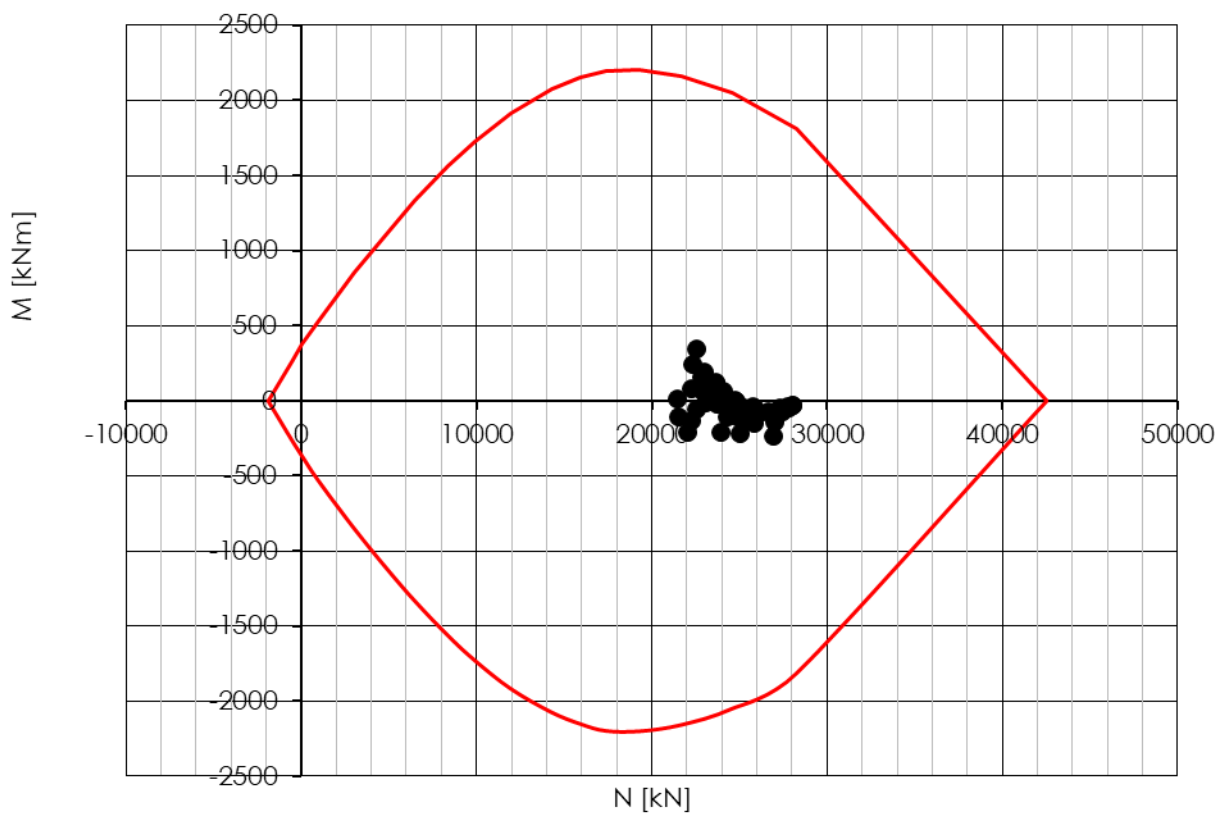
**Tabella 23 - Sollecitazioni nel rivestimento della canna destra**

Fase	Node	N	M	T	$\gamma_E \cdot 2b \cdot N$ [kN]	$\gamma_E \cdot 2b \cdot M$ [kNm]	$\gamma_E \cdot 2b \cdot T$ [kN]
		[kN/m]	[kNm/m]	[kN/m]			
11	1	4825	74.03	20.92	22581.00	346.46	97.91
	14	5993	-7.20	4.54	28047.24	-33.71	21.23
	27	5048	26.62	-25.04	23624.64	124.58	-117.19
	40	5520	-9.49	6.09	25833.60	-44.42	28.49

**Tabella 24 - Sollecitazioni nel rivestimento della canna sinistra**

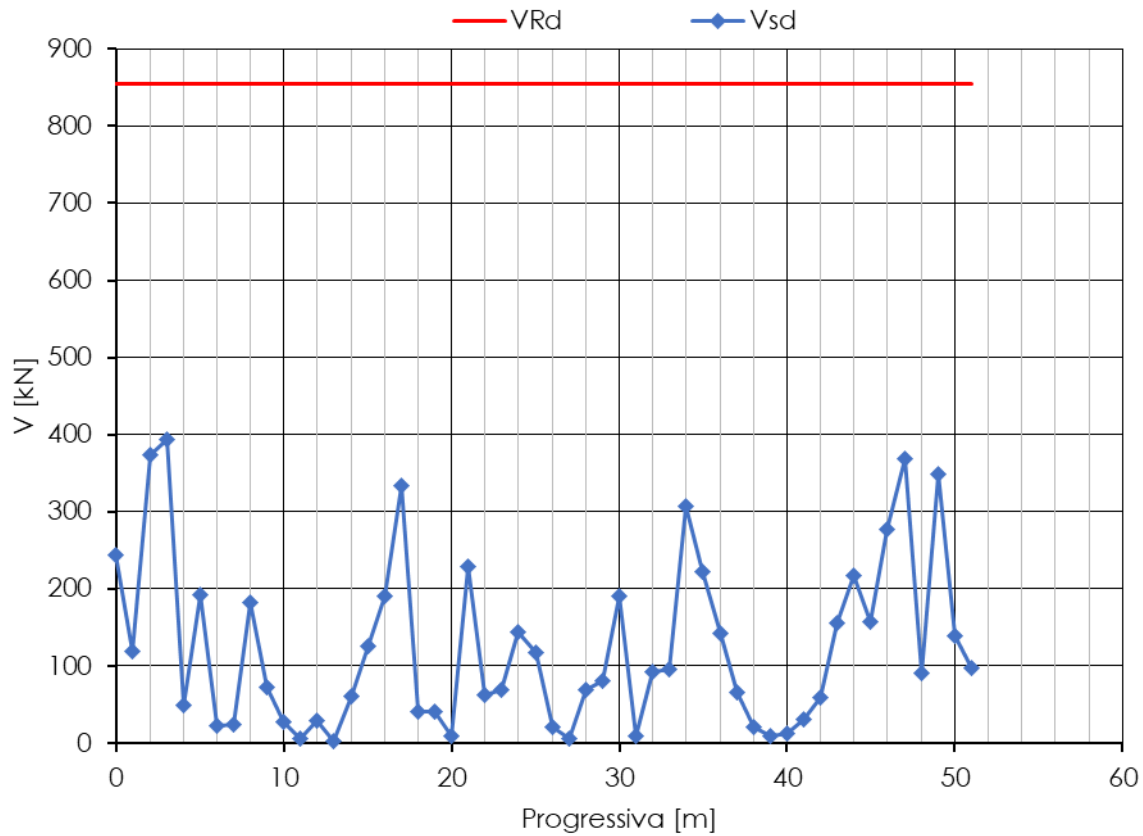
Fase	Node	N	M	T	$\gamma_E \cdot 2b \cdot N$ [kN]	$\gamma_E \cdot 2b \cdot M$ [kNm]	$\gamma_E \cdot 2b \cdot T$ [kN]
		[kN/m]	[kNm/m]	[kN/m]			
11	53	5131	53.73	40.19	24013.08	251.46	188.09
	66	4947	14.32	1.96	23151.96	67.02	9.17
	79	5533	11.05	-3.68	25894.44	51.71	-17.22
	92	4990	16.73	0.32	23353.20	78.30	1.51

Le verifiche sono state condotte considerando un copriferro nominale pari a 50 mm.

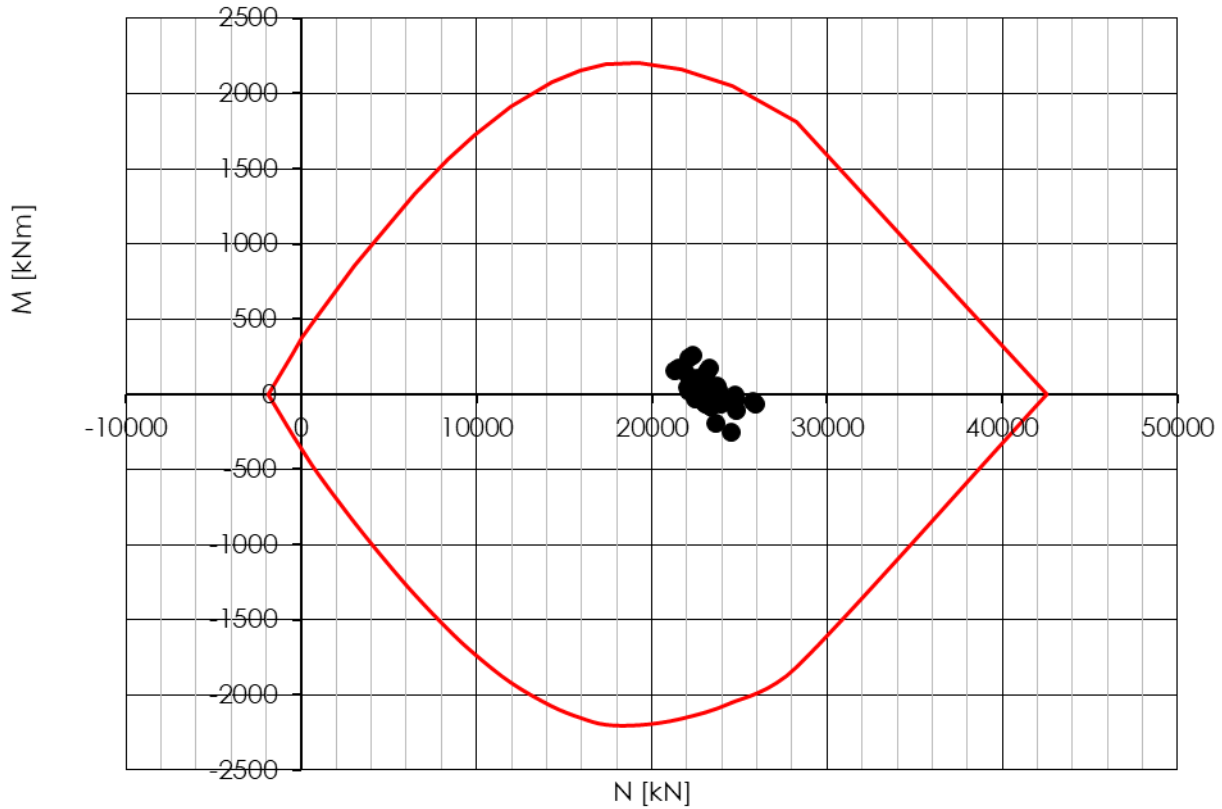


**Figura 70 - Dominio resistente SLU canna DX (B=3.60 m, H=0.40 m) - Fase Lungo Termine (Step 11)**

Verifica a taglio senza armatura specifica



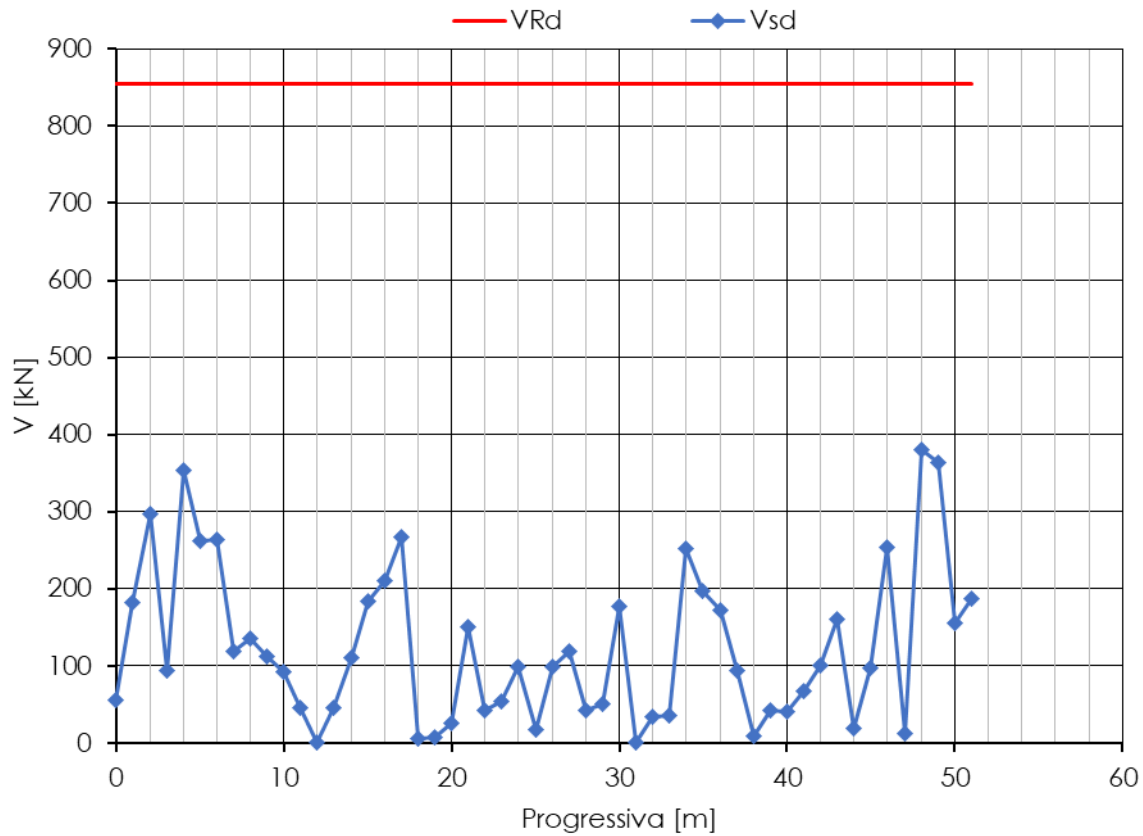
**Figura 71 - Verifica SLU taglio canna DX (B=1.80 m, H=0.40 m) - Fase Lungo Termine (Step 11)**



**Figura 72 - Dominio resistente SLU canna SX (B=3.60 m, H=0.40 m) - Fase Lungo Termine (Step 11)**



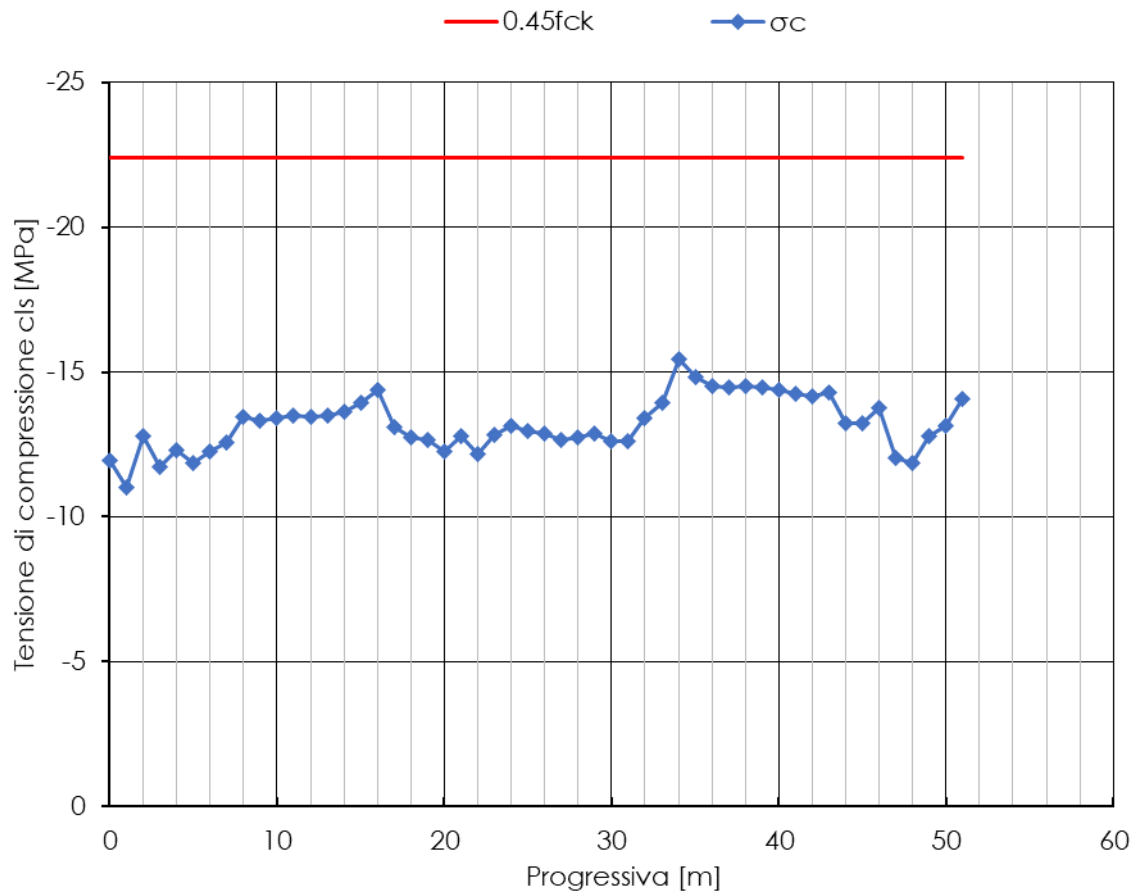
Verifica a taglio senza armatura specifica



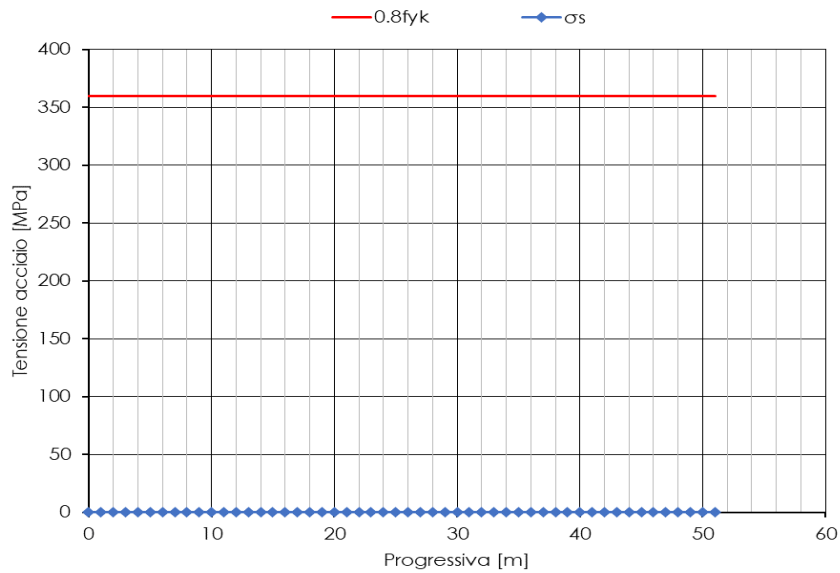
**Figura 73 - Verifica SLU taglio canna SX (B=1.80 m, H=0.40 m) - Fase Lungo termine (Step 11)**

*Verifiche SLE*

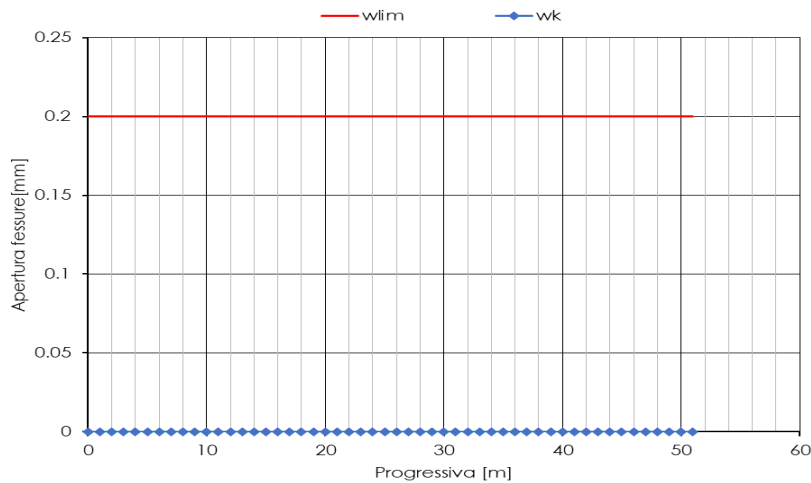
Le verifiche SLE risultano soddisfatte sia lato calcestruzzo che lato acciaio rispettando i valori limite imposti dalla normativa vigente [NTC 2018]. Poiché la sezione risulta interamente compressa non si ha l'apertura di fessure.



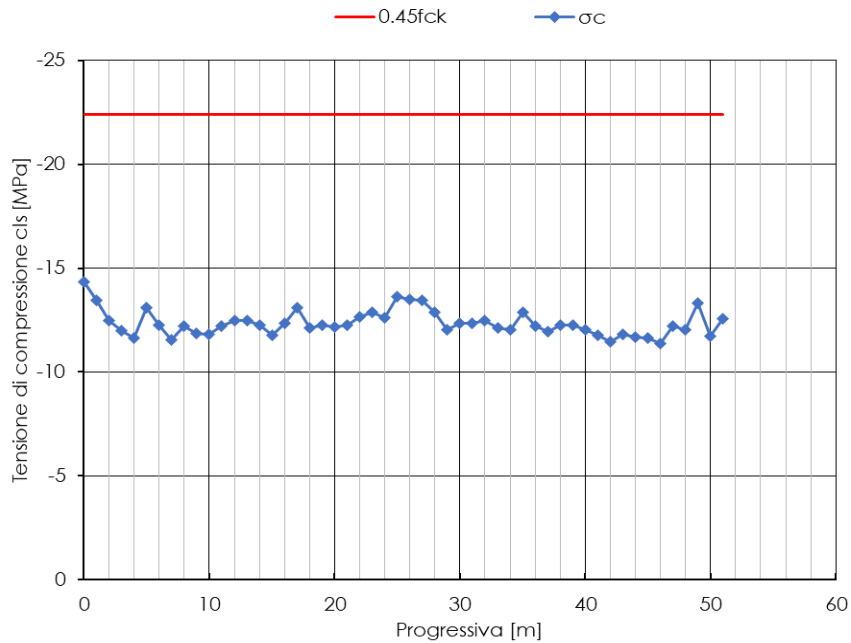
**Figura 74 - Verifiche SLE tensione cls canna DX – Fase Lungo Termine (Step 11)**



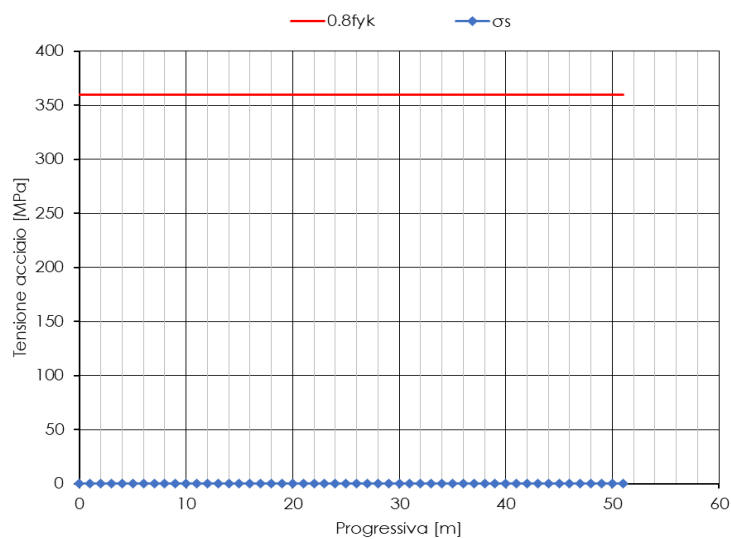
**Figura 75 - Verifiche SLE tensione acciaio canna DX – Fase Lungo Termine (Step 11)**



**Figura 76 - Verifiche SLE fessurazione canna DX – Fase Lungo Termine (Step 11)**



**Figura 77 - Verifiche SLE tensione cls canna SX – Fase Lungo Termine (Step 11)**



**Figura 78 - Verifiche SLE tensione acciaio canna SX – Fase Lungo Termine (Step 11)**



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	B	117 di 156

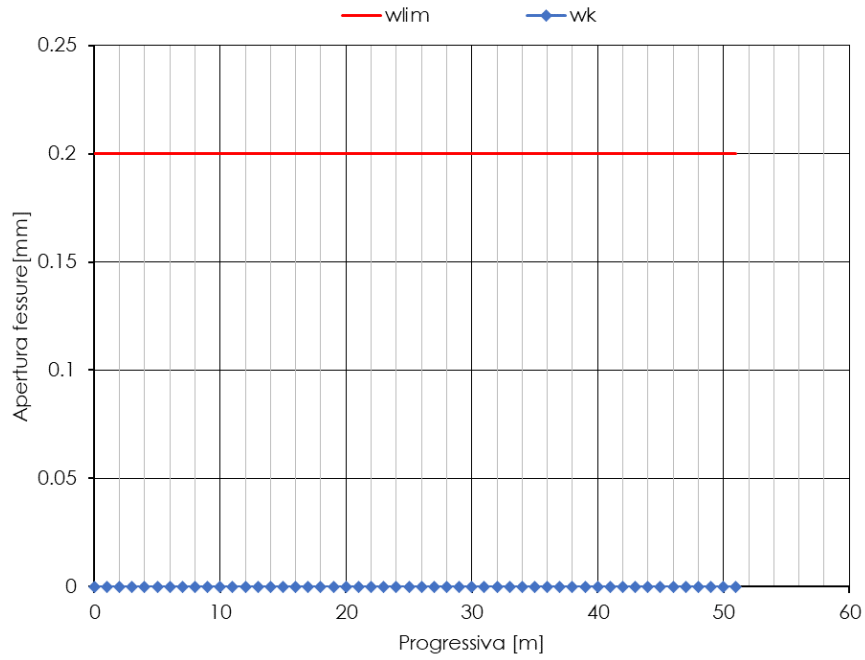


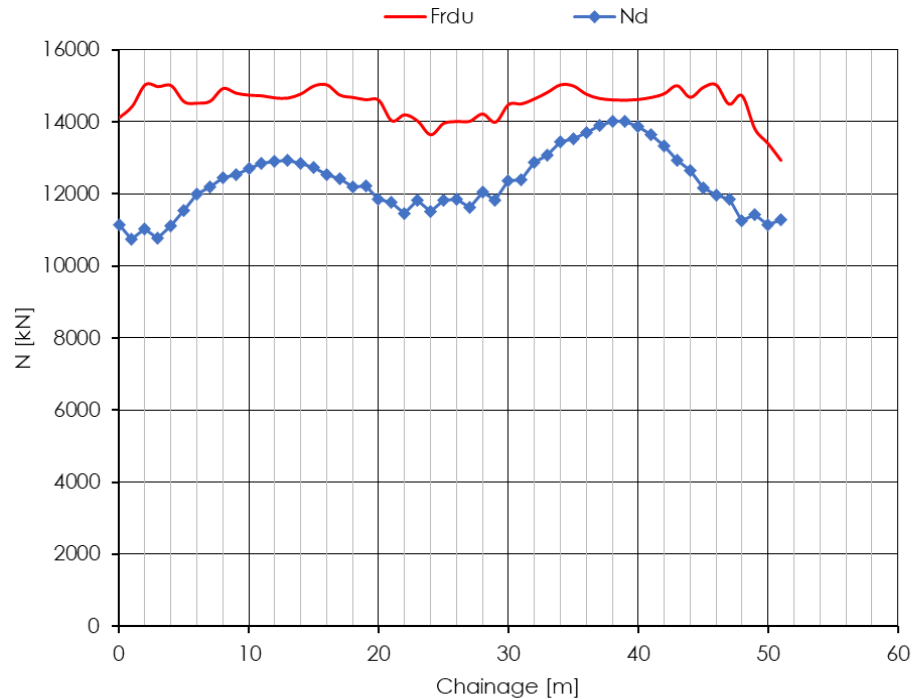
Figura 79 - Verifiche SLE fessurazione canna SX – Fase Lungo Termine (Step 11)

### Verifica dei giunti

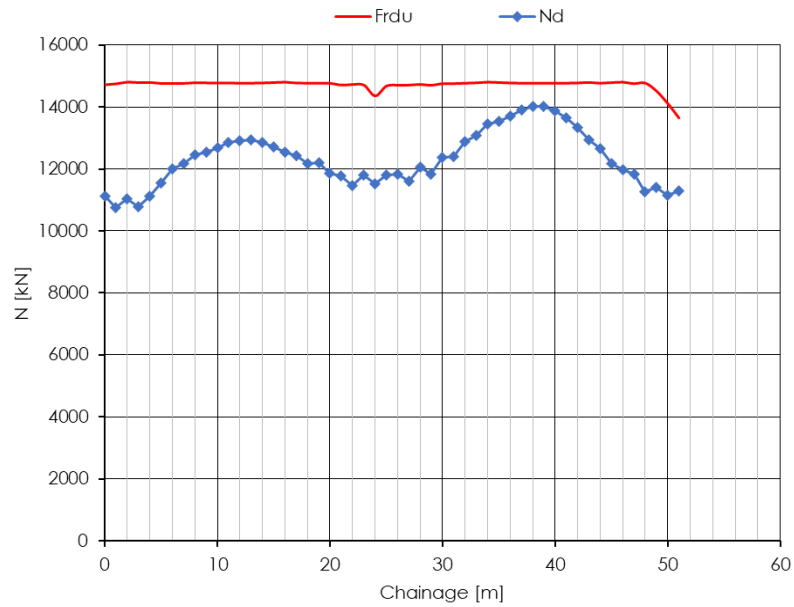
Si riportano le verifiche della pressione di contatto nel calcestruzzo in corrispondenza del giunto, tutte verificate risultando  $N_{SLU} < F_{rdu} < F_{max}$ .

Le verifiche sono state svolte ipotizzando un'eccentricità accidentale pari a 5 mm, considerando il "difetto" sia in estradosso che in intradosso.

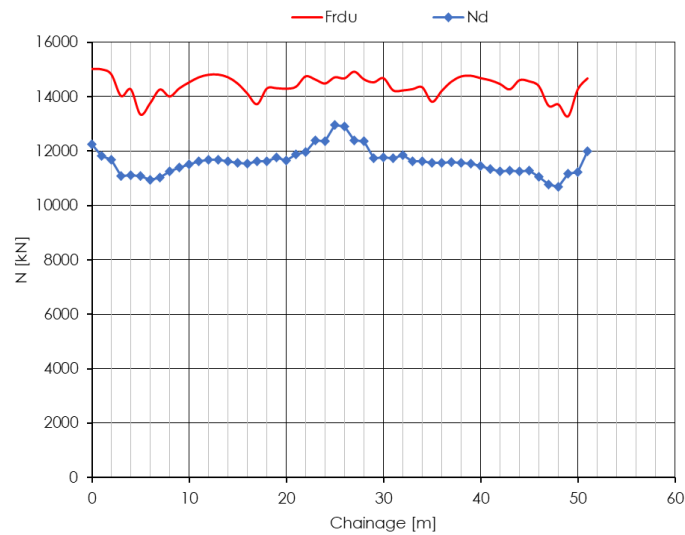
Di seguito si riportano i grafici relativi ai risultati della verifica; nel caso di  $F_{max}$  non è stato riportato il valore nei grafici poiché risulta sempre  $F_{rdu} < F_{max}$ .



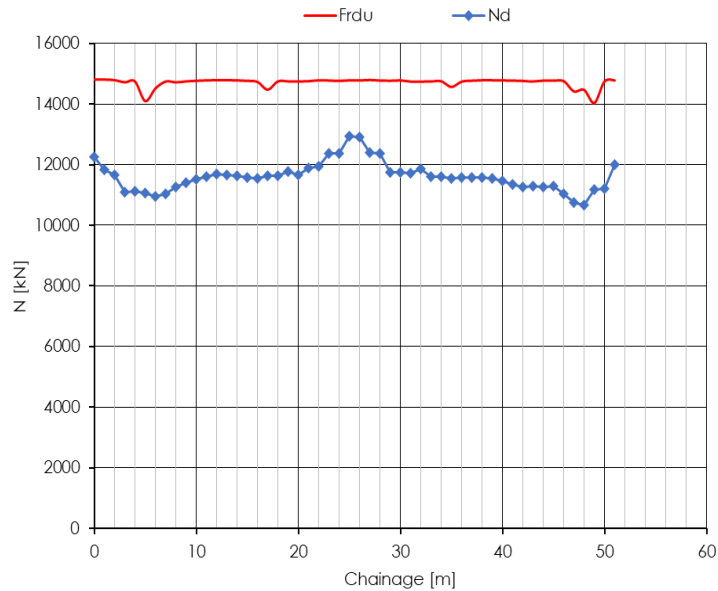
**Figura 80. Canna DX– Fase LT – Step 11 - Verifica delle pressioni di contatto "difetto" intradosso**



**Figura 81. Canna DX – Fase LT – Step 11 - Verifica delle pressioni di contatto “difetto” estradosso**



**Figura 82. Canna SX – Fase LT – Step 11 - Verifica delle pressioni di contatto “difetto” intradosso**



**Figura 83. Canna SX – Fase LT – Step 11 - Verifica delle pressioni di contatto “difetto” estradosso**

### Stabilità del fronte

La stabilità del fronte per la sezione in esame è stata analizzata con il metodo delle linee caratteristiche.

Nelle seguenti tabelle sono riportati i parametri di progetto adottati nell’analisi (corrispondenti alla combinazione A2+M2+R2 – SLU GEO).

**Tabella 25: Verifica stabilità del fronte Formazione Monte Sidone: dati di input**

Unità	H	$\sigma_0$	$\gamma$	$c'_d$	$\phi'_d$	$E'_d$
	[m]	[MPa]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[MPa]	[°]	[MPa]
SPM-do-zdf	408	11.02	27	0.726	26.6	2800

H = copertura rispetto al piano dei centri della galleria  
 $\sigma_0$  = tensione totale iniziale al livello del cavo  
 $\gamma$  = peso dell’unità di volume dell’ammasso  
 $c'_d$  = valore di progetto della coesione  
 $\phi'_d$  = valore di progetto dell’angolo di attrito  
 $E'_d$  = valore di progetto del modulo elastico dell’ammasso

L’analisi è stata condotta in assenza di un’apposita contropressione al fronte. Nella tabella seguente sono riportati per confronto i risultati in termini di convergenze al fronte e raggio plastico al fronte.



**Tabella 26: Risultati delle analisi in presenza e in assenza di pressione al fronte**

Sezione di analisi	$u_F$	$u_F / R_{eq}$	$R_{PF}$	$R_{PF} / R_{eq}$
	[m]	[%]	[m]	[-]
Senza pressione al fronte	0.045	0.98	7.05	1.55

$u_F$  = convergenza al fronte (soluzione cavità sferica)  
 $R_{PF}$  = raggio plastico al fronte  
 $R_P$  = raggio plastico finale al contorno del cavo  
 $R_{eq}$  = raggio di scavo equivalente della galleria (=4,55 m)

Le deformazioni attese risultano al limite della compatibilità con scavo meccanizzato in modalità aperta, ovvero senza necessità dell'applicazione di una pressione al fronte. Per tale tratta è stato previsto come eventuale l'avanzamento in modalità chiusa con la possibilità di applicare una pressione al fronte.

### 10.3.4 Analisi n. 3 - TBM basse coperture (pk 81+735)

#### Interazione opera-terreno

#### Modello geotecnico

Il modello geotecnico di sottosuolo in corrispondenza della sezione di analisi è caratterizzato dalla Conglomerati di monte villa (CMV) e (ORV).

La **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** riassume i dati di input che caratterizzano la sezione geotecnica utilizzata per l'analisi numerica. Per dettagli in merito ai valori assunti si rimanda al capitolo 8.

**Tabella 27 - Sezione geotecnica di calcolo**

<b>Stratigrafia di calcolo</b>		<b>C</b>	Superficie piezometrica	$\gamma$	$c'_k$	$\phi'_k$	$E'$	$K_0$
Formazione	Profondità da p.c.							
[-]	[m da pc]	[m]	[m] da calotta	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kPa]	[°]	[MPa]	[-]
CMV-i	0-34	21	19	20	6	28	120	0.53
ORV	34 -			19	3	25	140	0.58



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	B	122 di 156

$C$  = copertura (rispetto alla calotta)

$\gamma$  = peso per unità di volume

$c'_k$  = coesione drenata

$\phi'_k$  = angolo di attrito interno

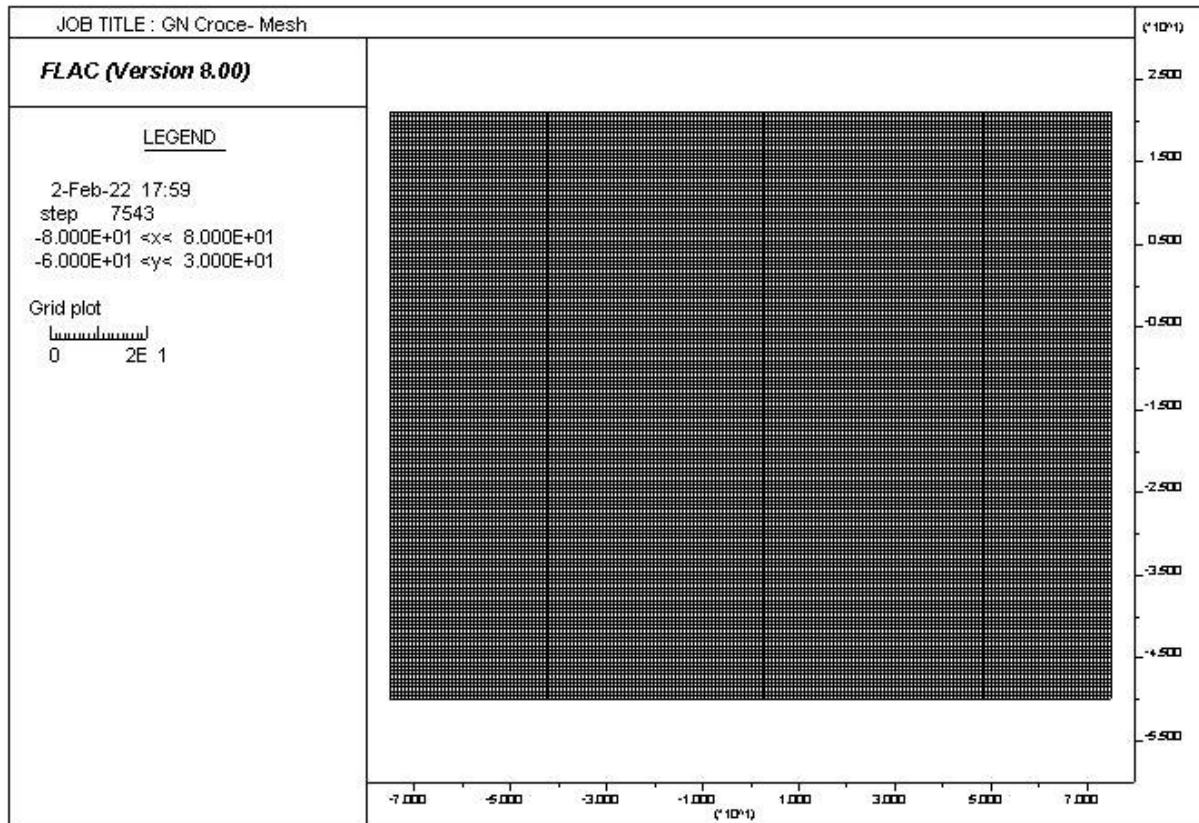
$E'$  = modulo elastico

$K_0$  = coefficiente di spinta a riposo

### Modello geometrico

La mesh di calcolo è costituita da 200x200 di elementi rettangolari, opportunamente intensificati nelle zone di maggiore interesse in corrispondenza delle gallerie, in modo da seguire il più fedelmente possibile le geometrie locali delle strutture. Lateralmente ed inferiormente il modello è vincolato con carrelli.

La griglia presenta un'estensione laterale di 75 m (per una larghezza totale di 150 m) e un'altezza complessiva di 75 m. I bordi del modello numerico sono stati collocati sufficientemente lontani dalla galleria (a distanza  $>3D$  con  $D$ =diametro della galleria), in modo tale che le condizioni di vincolo ivi definite non influenzino la modellazione.



**Figura 84 - Modello di calcolo - Geometria mesh**

Il rivestimento della galleria è stato simulato utilizzando elementi tipo “liner”, aventi modello costitutivo elastico lineare.

Si riportano di seguito le caratteristiche del rivestimento in conci e della fresa scudata:

**Tabella 28 - Definizione delle caratteristiche del rivestimento della galleria**

<b>Caratteristiche conci dell'anello universale</b>	
Spessore dei conci di cls	40 cm
Classe di calcestruzzo utilizzato	C35/45
Modulo elastico	34077 MPa
Inerzia della sezione di cls	0,00533 m <sup>4</sup>

**Tabella 29 - Definizione delle caratteristiche della fresa scudata**

<b>Caratteristiche della fresa scudata</b>	
Spessore scudo	3 cm
Intercapedine tra l'esterno dello scudo e l'estradosso del concio	10 cm
Coefficiente di Poisson scudo	0.3
Modulo elastico scudo	200 GPa
Resistenza scudo fyk	275 MPa
Distanza fronte-rivestimento	8 m
Intasamento a tergo con filler	

### *Fasi e percentuali di rilascio*

Al fine di tener conto della natura tridimensionale del problema, nelle analisi svolte in condizioni di deformazione piana lo scavo della galleria è stato simulato con il metodo delle forze di scavo equivalenti. In particolare, l'effetto dell'avanzamento dello scavo viene modellato rilasciando un sistema di forze applicate sul contorno del profilo di scavo). La riduzione delle forze di scavo a partire dalla condizione originaria è definita tramite un fattore di rilascio, funzione della distanza dal fronte ("rilascio forze di scavo").

L'analisi svolta è caratterizzata da due differenti obiettivi: il primo è mirato alla definizione della conca di subsidenza indotta dallo scavo delle gallerie considerando un volume perso dello 0.4 %, il secondo mira invece a definire la massima sollecitazione possibile agente sui rivestimenti.

La seguente tabella schematizza le fasi di calcolo dell'analisi svolta:

**Tabella 30- Fasi di analisi (valutazione della subsidenza)**

Fase	Descrizione	Rilascio forze di scavo
0	Creazione della geometria del modello	-
1a	Inizializzazione dello stato tensionale geostatico in condizioni elastiche	-
2a	Inizializzazione dello stato tensionale geostatico in condizioni plastiche (modello costitutivo di Mohr-Coulomb)	-
SCAVO CANNA SINISTRA		
3a	Pre-convergenza del fronte	0.31
4a	Installazione dell'anello universale	1.0
SCAVO CANNA DESTRA		
5a	Pre-convergenza del fronte	0.31
6a	Installazione dell'anello universale	1.0
LUNGO TERMINE		
5b	Fase di flusso per riequilibrare le pp al contorno di scavo	-

**Tabella 31 Fasi di analisi**

Fase	Descrizione	Rilascio forze di scavo
0	Creazione della geometria del modello	-
1	Inizializzazione dello stato tensionale geostatico in condizioni elastiche	-
2	Inizializzazione dello stato tensionale geostatico in condizioni plastiche (modello costitutivo di Mohr-Coulomb)	-
SCAVO CANNA DESTRA		
3	Pre-convergenza del fronte	-
4	Convergenza per chiusura del gap scudo-roccia	-
5	Contatto con lo scudo	-
6	Installazione dell'anello universale	1.00
SCAVO CANNA SINISTRA		
7	Pre-convergenza del fronte	-
8	Convergenza per chiusura del gap scudo-roccia	-
9	Contatto con lo scudo	-
10	Installazione dell'anello universale	1.00
LUNGO TERMINE		
11	Ripristino delle condizioni idrostatiche dell'acqua	-

### *Analisi e commento dei risultati*

Sono di seguito illustrati e commentati i risultati delle fasi di scavo, relative alla sezione di scavo in meccanizzato analizzata. I risultati dell'analisi numerica sono riportati in allegato per le fasi di calcolo più rappresentative. In particolare, l'allegato illustra le componenti verticale e orizzontale degli spostamenti totali cumulati, i vettori degli spostamenti totali, le plasticizzazioni al contorno del cavo e la tensione principale massima con le direzioni delle tensioni principali. Per le fasi pertinenti, riporta inoltre le caratteristiche della sollecitazione negli elementi strutturali del modello (liner).



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
**PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	B	127 di 156

#### FASE 3a

Viene simulato il rilascio a cavo libero del fronte della galleria destra. Il campo degli spostamenti mostra spostamenti verticali nulli in calotta e in arco rovescio. Gli spostamenti orizzontali in piedritto sono anchessi nulli.

#### FASE 4a

Viene simulata l'installazione del rivestimento in conci della canna destra e uno scarico tensionale totale. Lo spostamento verticale in calotta è dell'ordine dei 2.0 mm mentre in arco rovescio è di circa 9.0 mm, mentre lo spostamento orizzontale ai piedritti è pari a circa 2.5 mm. La fascia plastica presenta un'estensione di pochi decimetri.

#### FASE 5a

Viene simulato il rilascio a cavo libero del fronte della galleria sinistra. Il campo degli spostamenti mostra spostamenti verticali è nullo sia in arco rovescio che in calotta, gli spostamenti orizzontali in piedritto sono nulli.

#### FASE 6a

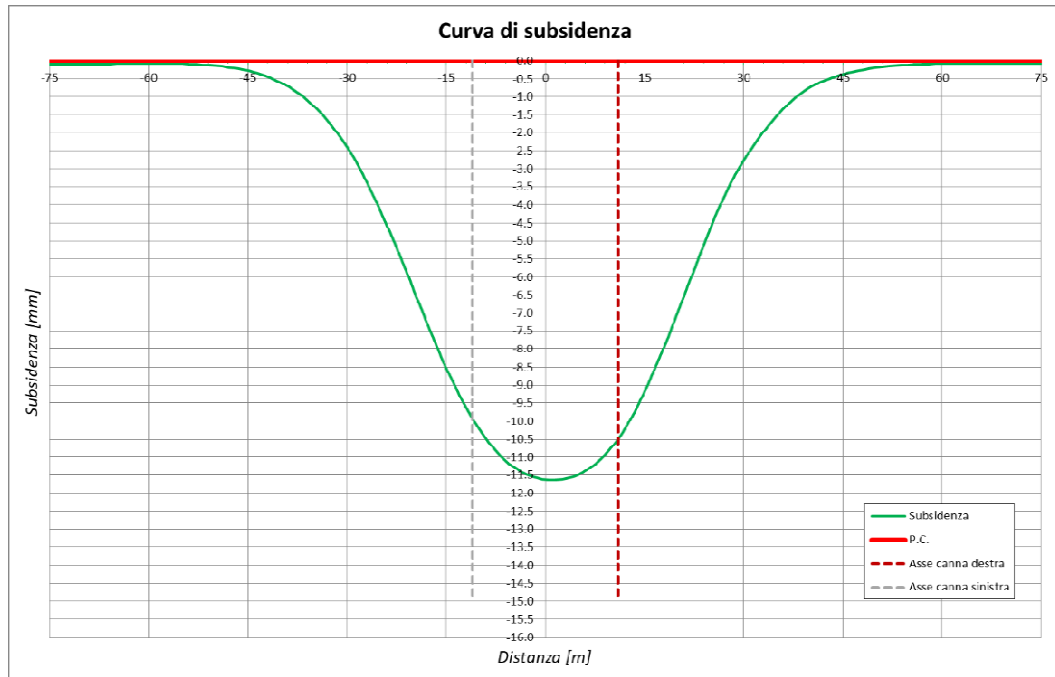
Viene simulata l'installazione del rivestimento in conci della canna destra e uno scarico tensionale totale. Lo spostamento verticale in calotta è pari a circa 2.0 mm, mentre in arco rovescio è di circa 9.0 mm. Lo spostamento orizzontale ai piedritti è dell'ordine dei 2.5 mm. La fascia plastica presenta un'estensione di pochi decimetri.

#### FASE 7a

Viene simulata la presenza della falda a lungo termine mediante l'applicazione di un carico distribuito perpendicolarmente agli elementi strutturali che costituiscono il rivestimento in conci prefabbricati. Lo spostamento verticale in calotta in arco rovescio e sui piedritti non subisce significative variazioni rispetto alla fase precedente. La fascia plastica non subisce significative variazioni rispetto alla fase precedente.

#### *Valutazione della subsidenza a seguito della realizzazione delle due gallerie*

Dall'analisi numerica condotta è stato possibile definire la conca di subsidenza indotta in superficie in seguito allo scavo delle due gallerie. La figura seguente riporta gli spostamenti superficiali ottenuti dall'analisi numerica nella fase di calcolo 7a, che rappresenta la condizione più gravosa in termini di spostamenti superficiali.



**Figura 85 - Curva di subsidenza indotta dallo scavo delle due gallerie**

Si osserva che lo scavo delle due gallerie ha un'influenza superficiale ridotta: il massimo valore della subsidenza si ottiene in corrispondenza della canna destra ed è pari a circa 11.5 mm. Pertanto, la realizzazione delle due gallerie non avrà una significativa influenza in superficie.





RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
**PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	B	129 di 156

*Verifiche strutturali SLU del rivestimento definitivo*

La verifica strutturale del rivestimento definitivo prevede il confronto tra le sollecitazioni di calcolo, ottenute a partire dai risultati del modello numerico applicando i relativi coefficienti parziali, e le resistenze di calcolo che individuano il dominio resistente nel piano M,N.

Per la verifica a taglio, il valore di calcolo è ottenuto in accordo con la normativa vigente.

I rivestimenti definitivi delle gallerie di linea sono realizzati con elementi prefabbricati aventi classe di resistenza del calcestruzzo C35/45 e armatura costituita da 12  $\phi$  16 sia in intradosso che in estradosso.

Le tabelle seguenti sintetizzano le sollecitazioni ottenute, nelle zone significative del rivestimento definitivo della galleria. Le tabelle riportano le sollecitazioni derivanti dall'analisi numerica a metro di galleria, prive di fattori amplificativi, e le sollecitazioni adottate nelle verifiche strutturali: queste ultime risultano moltiplicate per il coefficiente  $\gamma_E=1.3$  (allo SLU) e per la lunghezza di due conci consecutivi  $2b=3.0$  m.

Considerare le sollecitazioni agenti su due conci adiacenti di due anelli consecutivi consente di condurre verifiche strutturali cautelative, tenendo conto del trasferimento del carico da un anello a quello adiacente. Nelle verifiche, pur considerando le sollecitazioni e l'area di calcestruzzo di due conci consecutivi, si considera in zona tesa e compressa l'armatura di un solo concio; questo metodo consente di tenere in conto della presenza del giunto tra due conci adiacenti e dunque la non perfetta collaborazione delle armature dei suddetti nell'assorbimento delle sollecitazioni.

Le verifiche strutturali del rivestimento definitivo sono state condotte per la fase di lungo termine.



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	B	130 di 156

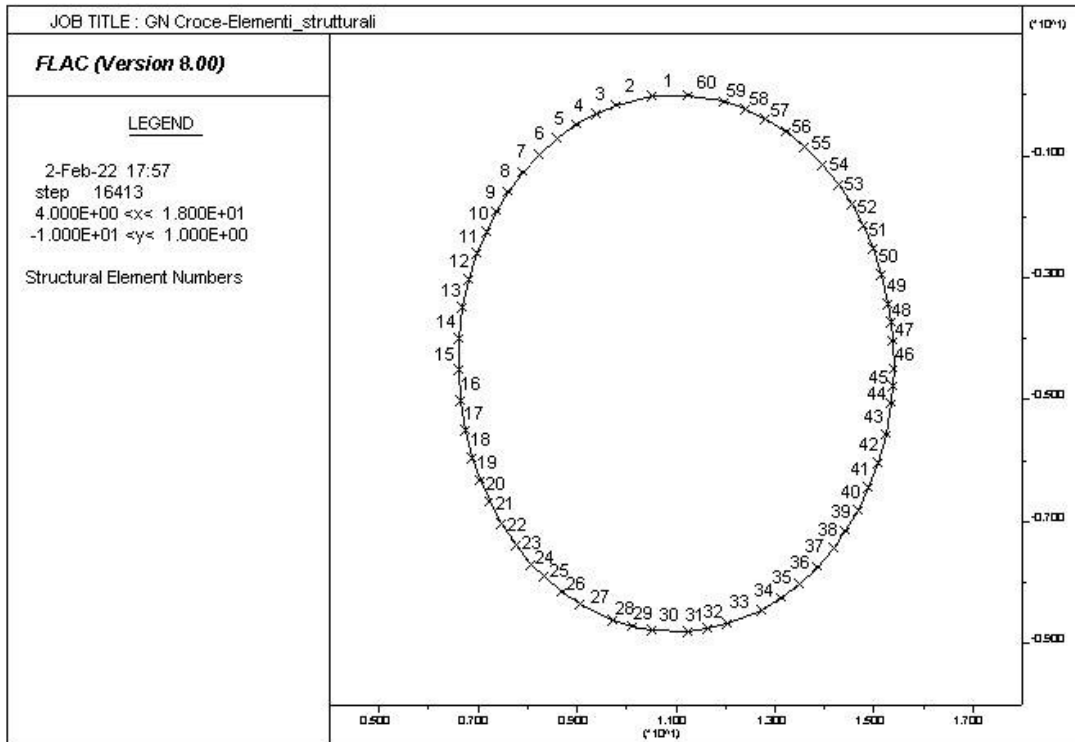
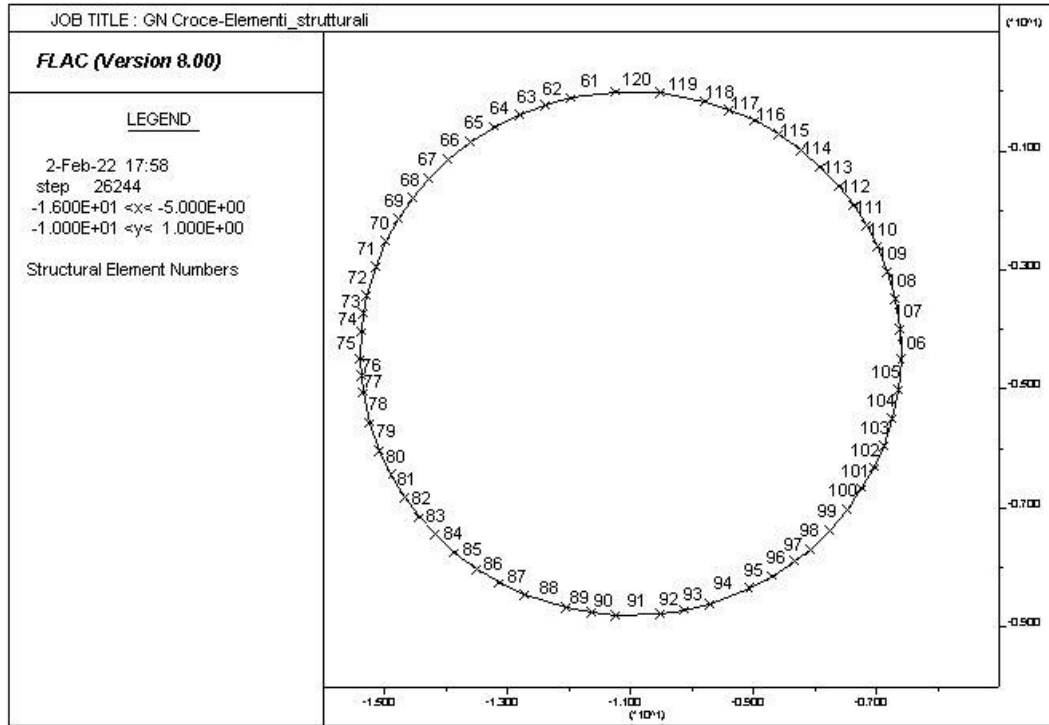


Figura 86 - Elementi liner canna destra



**Figura 87 - Elementi liner canna sinistra**

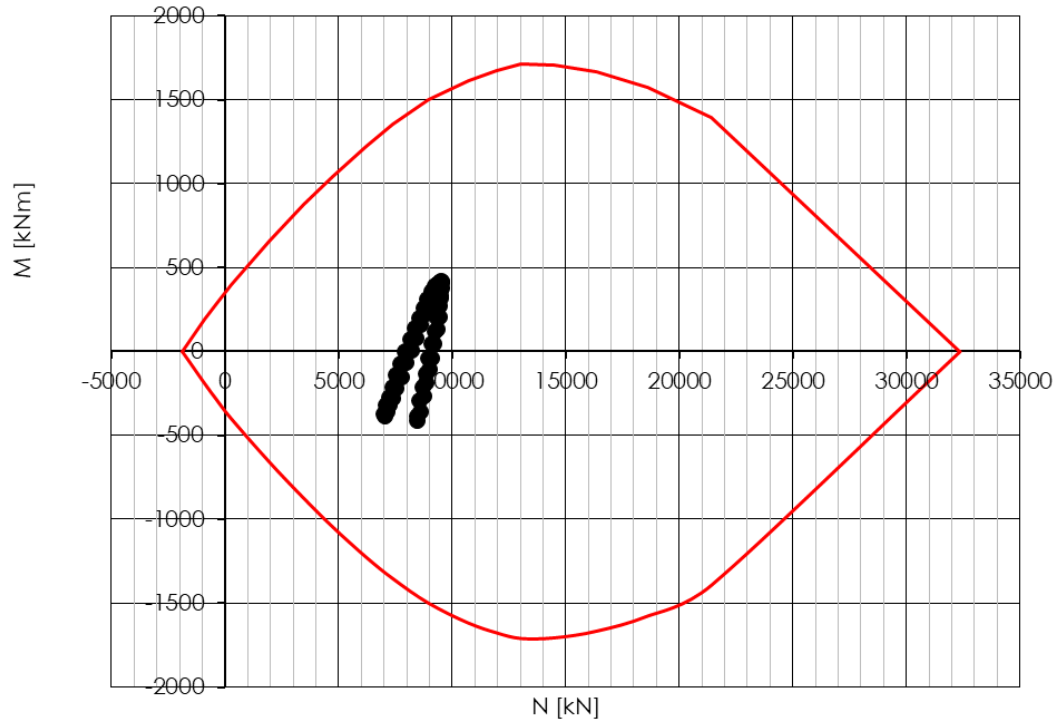
**Tabella 32 - Sollecitazioni nel rivestimento della canna destra**

Fase	Node	N [kN/m]	M [kNm/m]	T [kN/m]	$\gamma_F \cdot 2b \cdot N$ [kN]	$\gamma_F \cdot 2b \cdot M$ [kNm]	$\gamma_F \cdot 2b \cdot T$ [kN]
11	1	1504	80.43	6.311	7038.72	376.4124	29.53548
	15	1999	-79.89	3.904	9355.32	-373.8852	18.27072
	30	1793	91.59	-1.629	8391.24	428.6412	-7.62372
	45	2020	-89.09	-3.024	9453.6	-416.9412	-14.15232

**Tabella 33 - Sollecitazioni nel rivestimento della canna sinistra**

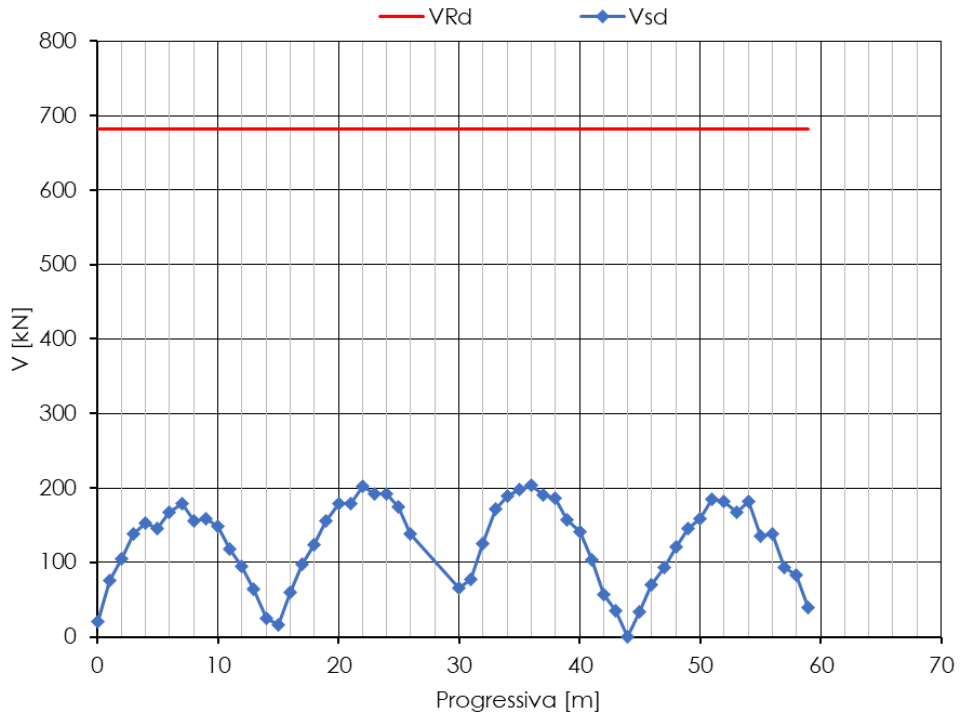
Fase	Node	N [kN/m]	M [kNm/m]	T [kN/m]	$\gamma_F \cdot 2b \cdot N$ [kN]	$\gamma_F \cdot 2b \cdot M$ [kNm]	$\gamma_F \cdot 2b \cdot T$ [kN]
11	120	1496	79.36	-4.496	5834.4	7001.28	371.4048
	75	2010	-86.45	7.192	7839	9406.8	-404.586
	90	1804	88.37	-14.03	7035.6	8442.72	413.5716
	105	2024	-84.28	3.604	7893.6	9472.32	-394.4304

Le verifiche sono state condotte considerando un copriferro nominale pari a 5 cm.

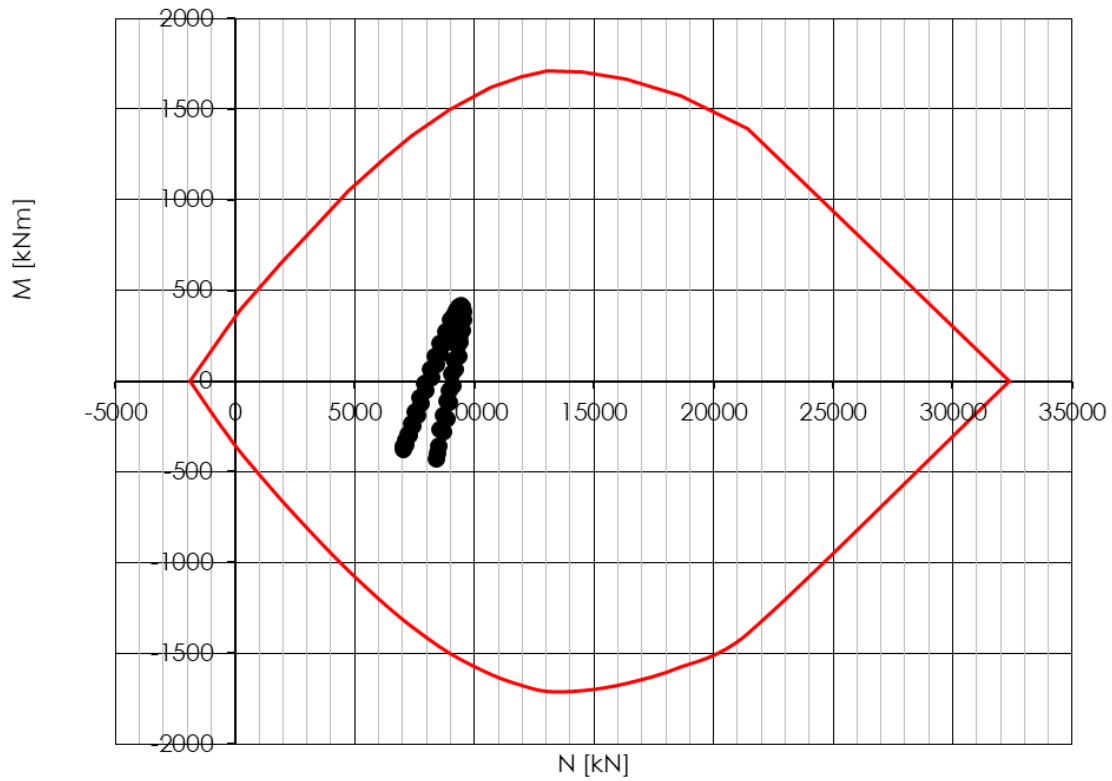


**Figura 88 - Dominio resistente SLU canna DX (B=3.60 m, H=0.40 m) - Fase Lungo Termine (Step 11)**

Verifica a taglio senza armatura specifica

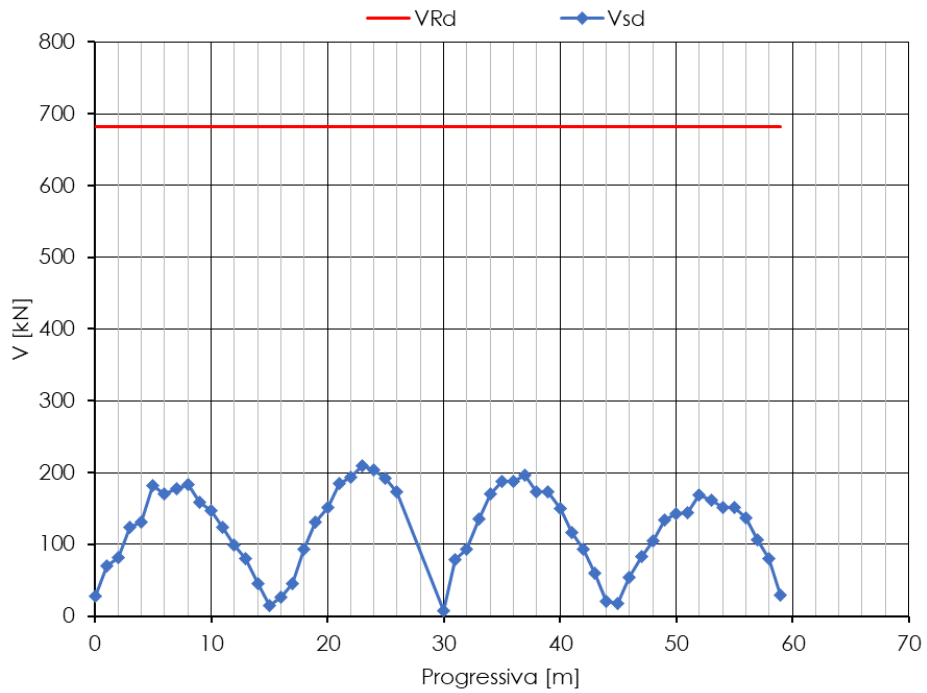


**Figura 89 - Verifica SLU taglio canna DX (B=1.80 m, H=0.40 m) - Fase Lungo Termine (Step 11)**



**Figura 90 - Dominio resistente SLU canna SX (B=3.60 m, H=0.40 m) - Fase Lungo Termine (Step 11)**

Verifica a taglio senza armatura specifica

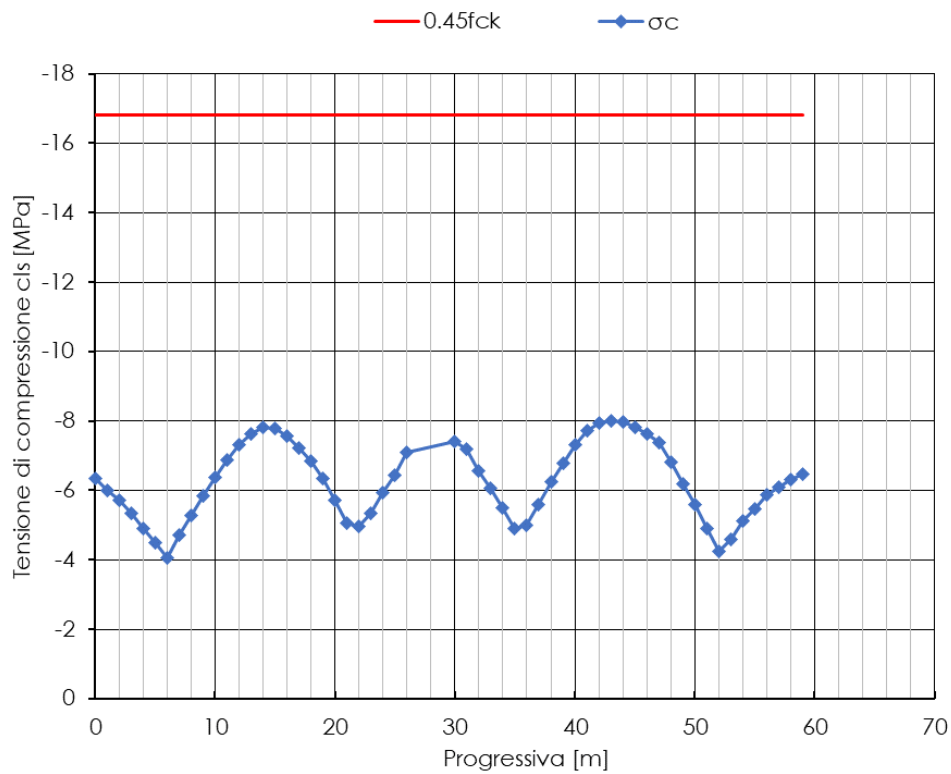


**Figura 91 - Verifica SLU taglio canna SX (B=1.80 m, H=0.40 m) - Fase Lungo termine (Step 11)**

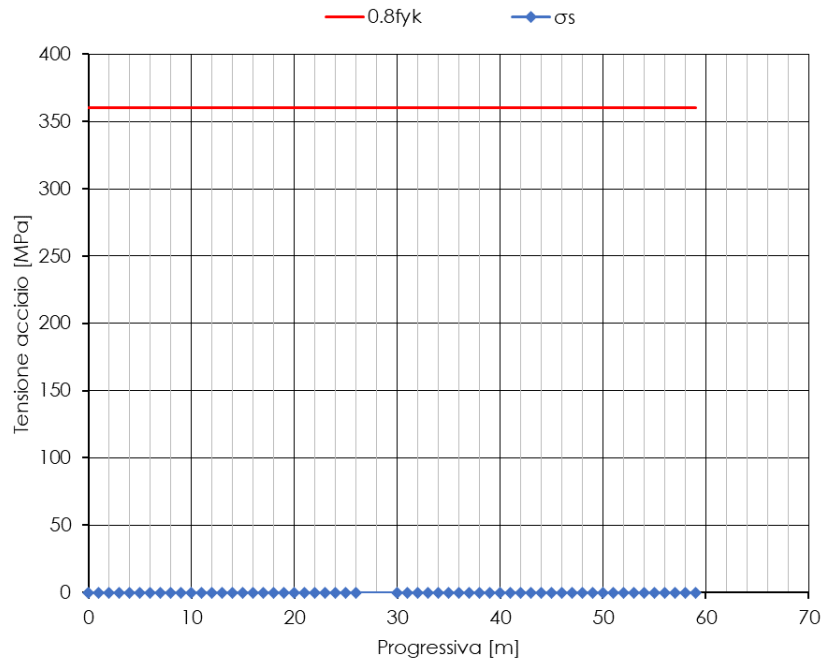


### Verifiche SLE

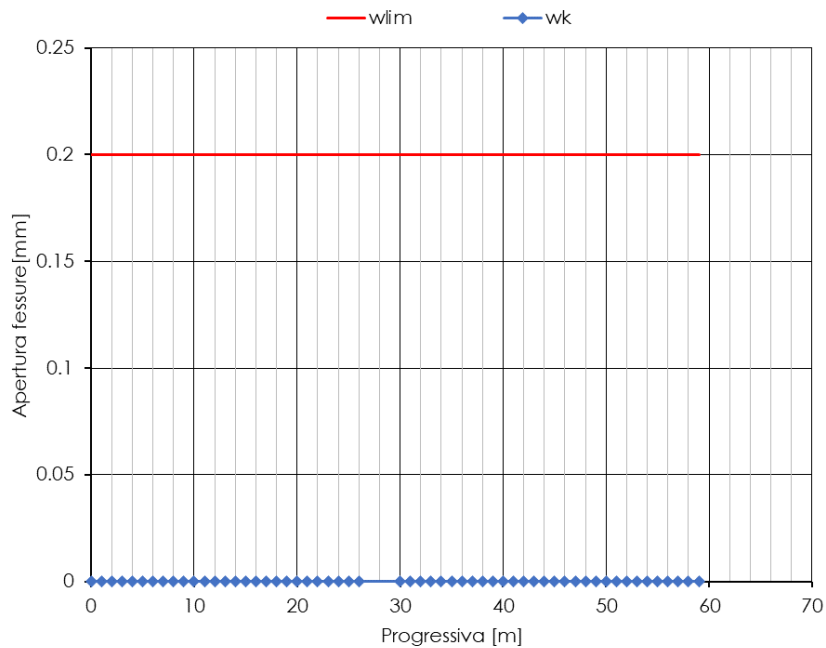
Le verifiche SLE risultano soddisfatte sia lato calcestruzzo che lato acciaio rispettando i valori limite imposti sia dalla normativa vigente [NTC 2018]. Poiché la sezione risulta interamente compressa non si ha l'apertura di fessure.



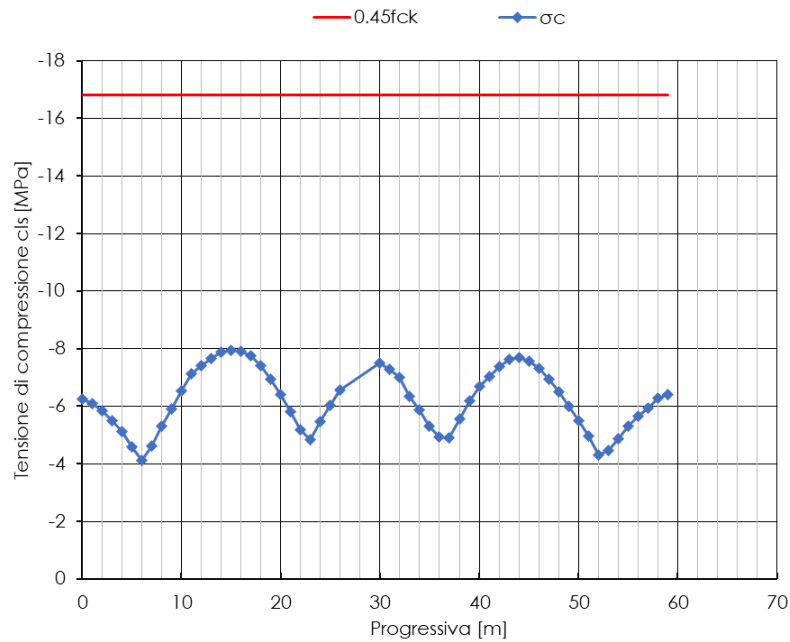
**Figura 92 - Verifiche SLE tensione cls canna DX – Fase Lungo Termine (Step 11)**



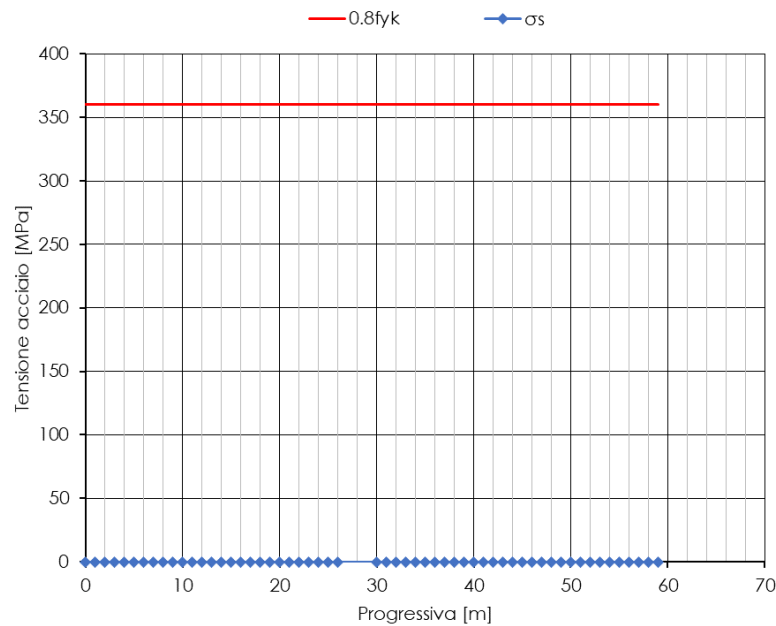
**Figura 93 - Verifiche SLE tensione acciaio canna DX – Fase Lungo Termine (Step 11)**



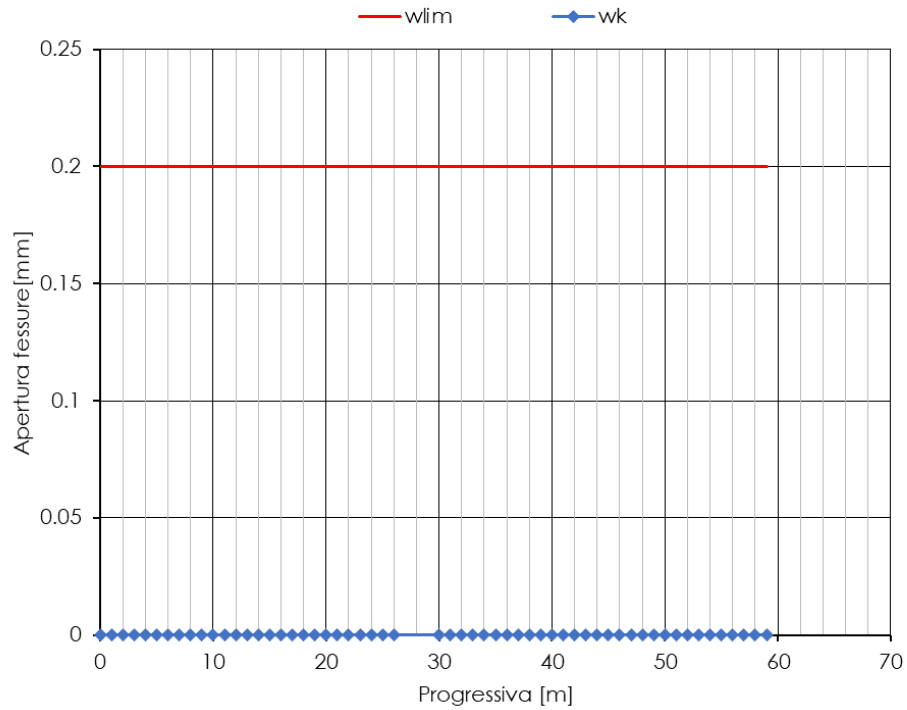
**Figura 94 - Verifiche SLE fessurazione canna DX – Fase Lungo Termine (Step 11)**



**Figura 95 - Verifiche SLE tensione cls canna SX – Fase Lungo Termine (Step 11)**



**Figura 96 - Verifiche SLE tensione acciaio canna SX – Fase Lungo Termine (Step 11)**



**Figura 97 - Verifiche SLE fessurazione canna SX – Fase Lungo Termine (Step 11)**

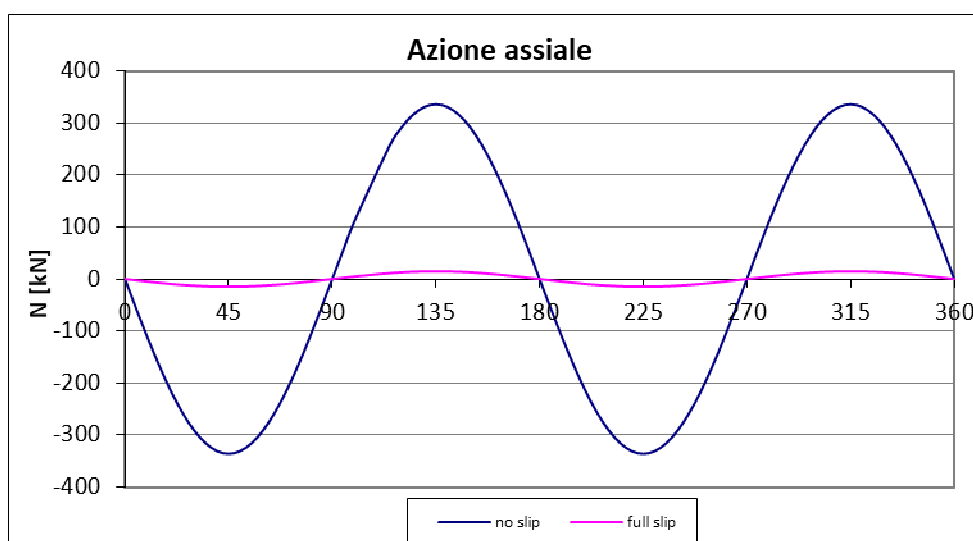
*Analisi in condizione sismiche e incrementi delle azioni interne del rivestimento definitivo*

Utilizzando il metodo di calcolo pseudo-statico si definisce la deformazione di taglio massima alla quota di riferimento della galleria, attraverso la quale è possibile valutare in forma chiusa l'incremento di sollecitazioni nel rivestimento definitivo; in particolare si è fatto riferimento alla formulazione di Wang nella condizione, maggiormente cautelativa, di scorrimento impedito all'interfaccia terreno-rivestimento.

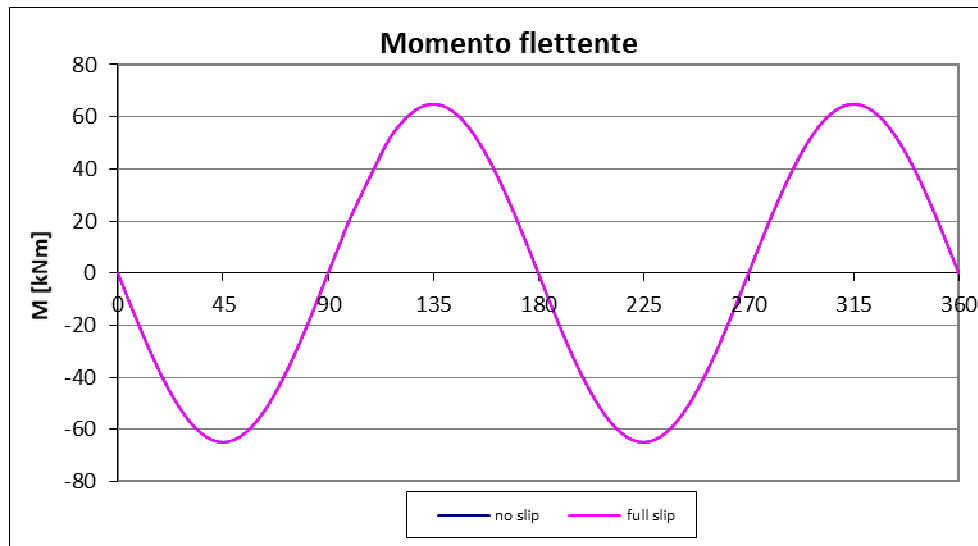
EARTHQUAKE PARAMETERS			
accelerazione di progetto max	amax	[g]	0.258
PGV/PGA	PGV/amax	[cm/s/g]	65923
riduzione	rid	[-]	<b>0.8</b>
peak ground velocity	PGV	[m/s]	<b>170.0819</b>
vel app. propagazione onde taglio	Cm	[m/s]	<b>336.44</b>
max deformazione taglio TAO max	$\gamma_{max}$	[-]	<b>0.000376</b>
Accelerazione di progetto	ag	[g]	0.172
Amplificazione classe di suolo	$S_c$	-	<b>1.5</b>
Amplificazione topografica	$S_T$	-	<b>1</b>
Periodo $T_c$	$T_c$	[s]	<b>420</b>
max deformazione taglio	$\gamma_{max}$	[-]	<b>0.404426</b>
$\tau_{max}$ sisma	$\tau_{max}$	[kPa]	<b>86.69</b>
Gmax da Vs	Gmax	[-]	<b>230769</b>

Figura 98 – parametri sismici

Nel seguito si riportano gli incrementi di sollecitazioni sismiche stimate con la formulazione di Wang (Figura 99 e Figura 100) nelle due ipotesi di scorrimento libero e perfetta aderenza all'interfaccia terreno-rivestimento (nel caso di momento flettente esse coincidono):



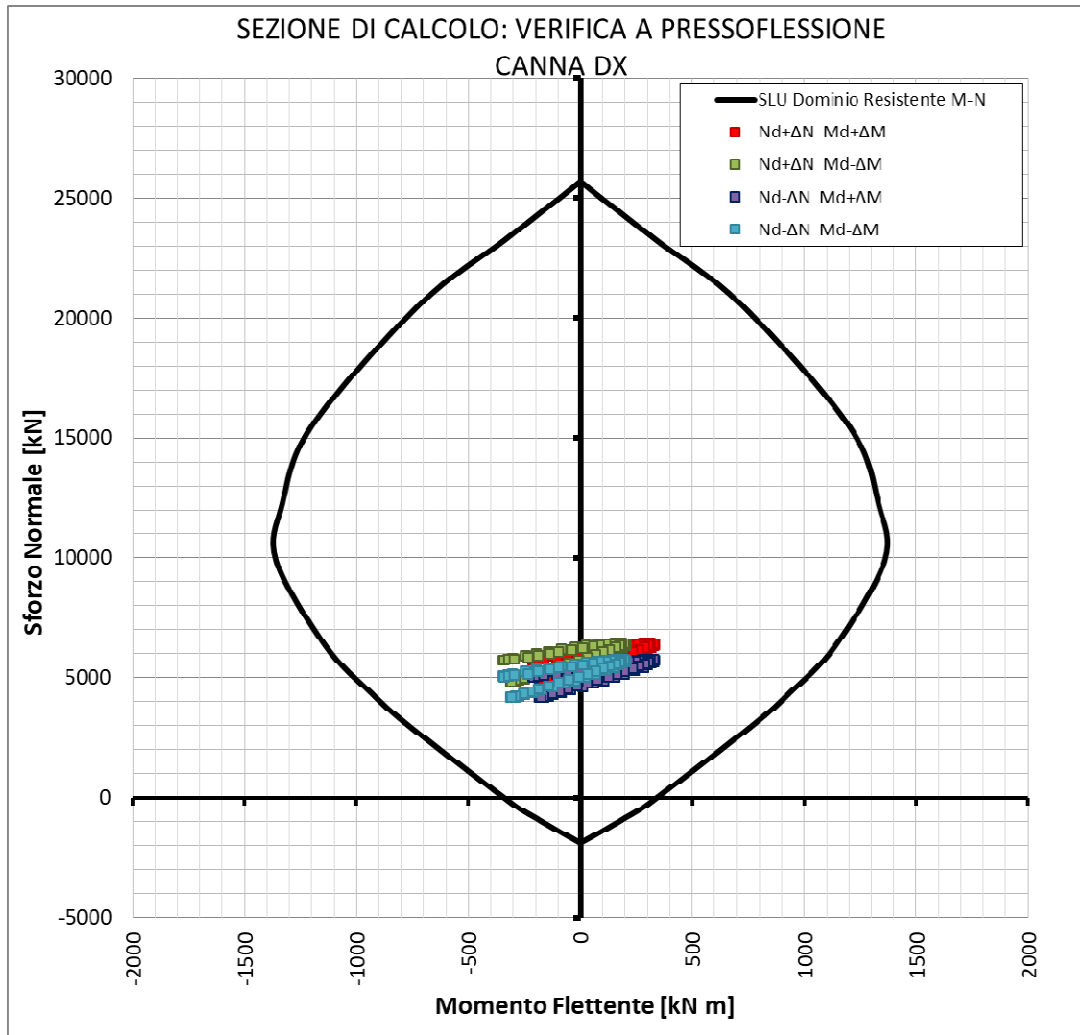
**Figura 99 - Analisi sismica pseudo-statica in forma chiusa – incrementi di sforzo assiale**



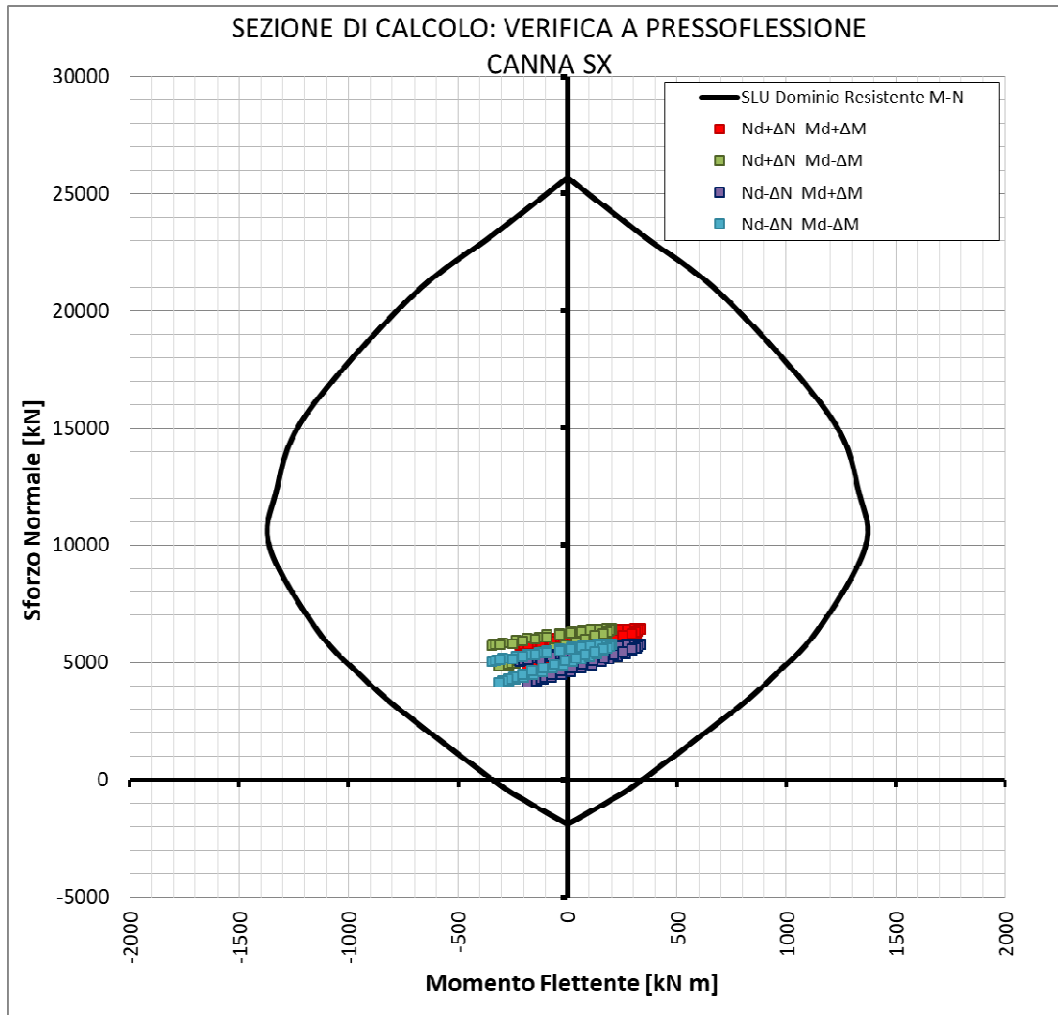
**Figura 100 - Analisi sismica pseudo-statica in forma chiusa – incrementi di momento flettente**

Gli incrementi di sollecitazioni sismiche si sommano, per ogni punto lungo la circonferenza definita dal rivestimento della TBM, alle sollecitazioni statiche (SLE) derivanti dall'ultima fase di calcolo statica.

Nel seguito si riportano i domini di resistenza, per entrambe le canne, per la sezione del rivestimento definitivo considerando le sollecitazioni statiche maggiorate degli incrementi sismici (sono considerate quattro combinazioni nelle quali si alternano i segni di sforzo normale e momento flettente):



**Figura 101- Dominio di resistenza M-N canna DX**



**Figura 102- Dominio di resistenza M-N canna SX**

Come si evince dai domini sopra riportati, le sollecitazioni incrementate del contributo sismico non comportano una modifica del progetto delle armature e delle relative incidenze previsto per le condizioni statiche.

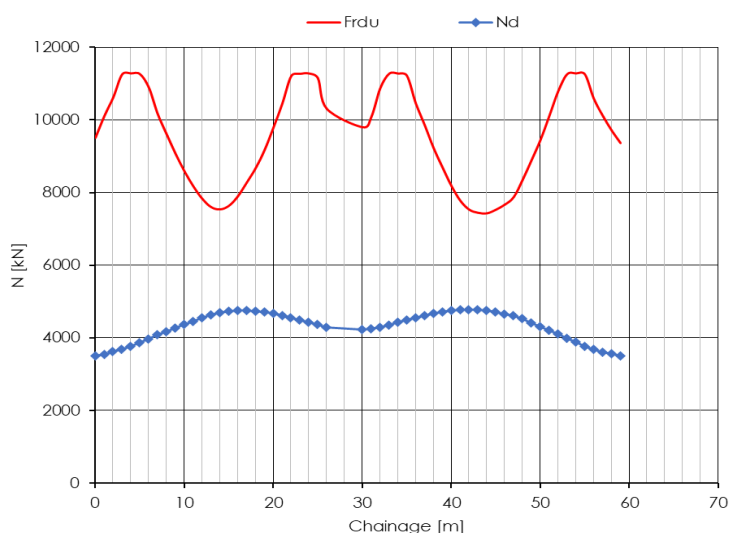


### Verifica dei giunti

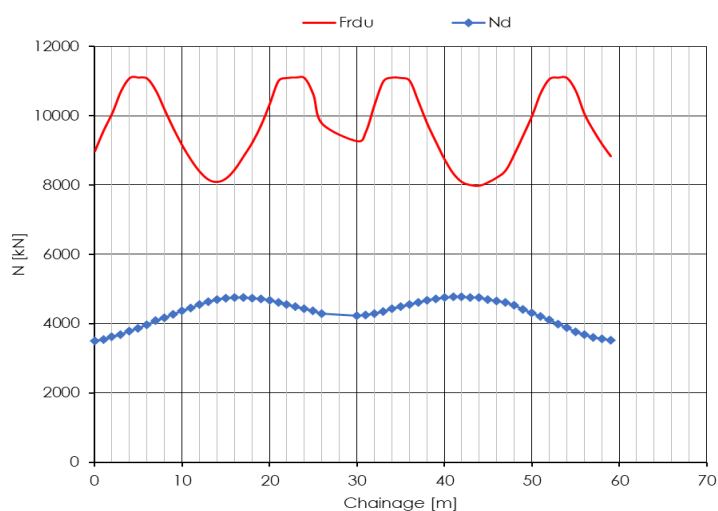
Si riportano le verifiche della pressione di contatto nel calcestruzzo in corrispondenza del giunto, tutte verificate risultando  $N_{SLU} < F_{rdu} < F_{max}$ .

Le verifiche sono state svolte ipotizzando un'eccentricità accidentale pari a 5 mm, considerando il "difetto" sia in estradosso che in intradosso.

Di seguito si riportano i grafici relativi ai risultati della verifica; nel caso di  $F_{max}$  non è stato riportato il valore nei grafici poiché risulta sempre  $F_{rdu} < F_{max}$ .



**Figura 103. Canna DX– Fase LT – Step 11 - Verifica delle pressioni di contatto "difetto" intradosso**



**Figura 104. Canna DX – Fase LT – Step 11 - Verifica delle pressioni di contatto "difetto" estradosso**

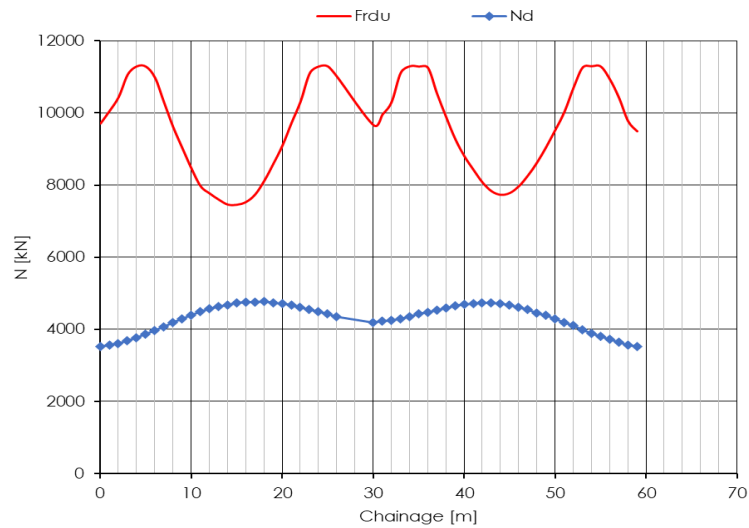


Figura 105. Canna SX – Fase LT – Step 11 - Verifica delle pressioni di contatto “difetto” intradosso

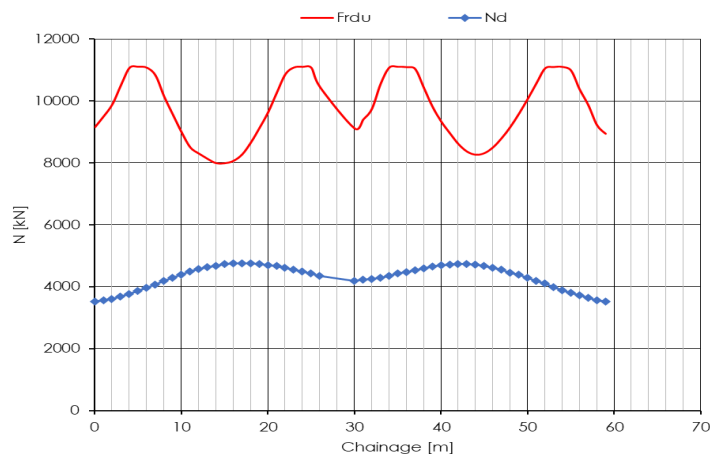


Figura 106. Canna SX – Fase LT – Step 11 - Verifica delle pressioni di contatto “difetto” estradosso

### 10.3.5 Spinte per l'avanzamento della TBM

Il valore di spinta maggiore, sia in condizioni ordinarie che in condizioni di sbloccaggio, si ottiene all'interno della formazione ORV (sezione 5) dove è prevista l'adozione di conci con Rck 45. Per le tratte in cui è prevista l'adozione di conci con Rck superiore, essendo le spinte compressive minori, non si ritiene necessaria la verifica.

#### Spinta in condizioni ordinarie per conci

La spinta della macchina in condizioni ordinarie è stata calcolata sulla base dei carichi ottenuti sullo scudo dalle analisi di diagnosi (sezione 5) all'interno della formazione ORV. Nel seguito si riportano le formulazioni adottate per la valutazione della spinta complessiva per il dimensionamento della TBM (si è fatto riferimento alle formulazioni proposte in "Mechanised Shield Tunneling" B. Miadl, M. Herrenknecht, L. Anheuser).

Nel dettaglio la spinta complessiva deve tenere conto di quattro singoli termini:

$$\Sigma W = W_{sh} + W_{sk} + W_{exc} + W_{sup}$$

$W_{sh}$  = forza dovuta alla presenza delle spazzole e del cutting edge

$W_{sk}$  = forza dovuta all'attrito macchina-terreno

$W_{sup}$  = forza di pressione da applicare al fronte

$W_{exc}$  = forza necessaria allo scavo

I quattro contributi sono di seguito esplicitati:

- forza attrito macchina/terreno:

$$W_{sk} = \mu [2\pi \cdot R \cdot L (\sigma_{media}) + F_{sh}]$$

dove:

$\mu$  è il coefficiente di attrito metallo/terreno

$R$  è il raggio di scavo

$L$  è la lunghezza dello scudo

$\sigma_{media}$  è la pressione del terreno sul rivestimento

$F_{sh}$  è il peso della macchina

La forza attrito macchina/terreno è stata determinata sulla base della pressione agente sullo scudo derivante dall'analisi di diagnosi con il metodo delle linee caratteristiche. Tale forza è funzione del coefficiente di attrito  $\mu$ , per il quale, nel caso di scavo in terreni sciolti, possono assumersi valori in un range compreso tra 0,30 e 0,40. Scavi in contesti simili hanno evidenziato la possibilità di ridurre tale valore adottando speciali lubrificanti in bentonite al contorno dello scudo metallico finalizzati a ridurre l'attrito rispetto al profilo di scavo arrivando fino a valori pari a 0,15.

Nella valutazione della forza di attrito è stato cautelativamente assunto un valore pari a 0,40.

- pressione da applicare al fronte:

$$W_{sup} = A_{exc} \cdot P_{fronte}$$

dove:

$P_{fronte}$  è la pressione applicata al fronte

$A_{exc}$  è l'area di scavo

Nel caso in esame non è stata considerata al fine di massimizzare la spinta, una pressione al fronte pari a 5 bar.

- forza necessaria allo scavo:

$$W_{exc} = n^{\circ}Cutter \cdot P_{cutter}$$

dove:

$n^{\circ}Cutter$  rappresenta il numero complessivo di cutter

$P_{cutter}$  = è la forza sviluppata da ciascun cutter

Sono stati considerati 100 utensili di scavo (disc cutters) installati al fronte e una Forza di Scavo agente sul singolo disco pari a 200 kN.

- forza data dalla presenza delle spazzole e del cutting edge:

$$W_{sh} = 2\pi \cdot R \cdot (p_{sh} \cdot t + p_{sp})$$

dove:

$p_{sh}$  è la forza sul cutting edge, pari a 10 kN/m<sup>2</sup>

$t$  è lo spessore del cutting edge, ipotizzato pari a 1.2 m

$p_{sp}$  è la forza dovuta alle spazzole, pari a 1 kN/m

Il contributo indotto dalle resistenze offerte dal cutting edge e dalle spazzole di coda è assunto costante per l'intera tratta, considerando peraltro il modesto peso nel bilancio totale della spinta richiesta (ca 500 kN).

La somma delle suddette componenti di forza di spinta per il caso in esame conduce ad un valore di spinta complessiva pari a circa 82185 kN (con riferimento, come detto, ad un coefficiente di attrito pari a 0.40).

#### Spinta per sbloccaggio macchina

La spinta della macchina in condizioni di sblocco è stata calcolata come la spinta in condizioni ordinarie ma considerando un coefficiente di attrito  $\mu$  pari a 0.55.

Si ottiene in tali condizioni una spinta necessaria per lo sbloccaggio della macchina pari a 98957 kN.

### 10.3.6 Verifica dei conci in fase di spinta

#### Verifica pressioni di contatto

Di seguito sono elencate le ipotesi adottate per la valutazione della spinta delle piastre sul giunto circonferenziale. Sarà cura dell'appaltatore aggiornare tali ipotesi sulla base della reale configurazione della macchina adottata.

Si adotteranno 21 piastre di spinta disposte a gruppi di tre per ciascun concio. Le dimensioni della piastra di calcolo sono pari a 28.75 x 90 cm, dove 28.75 cm è pari alla larghezza del giunto.

**Tabella 34. Dati geometrici e carichi spinta ordinaria**

Numero piastre di spinta:	$n_{\text{piastre}}$ :	21	
Numero di piastre di spinta su ogni concio:	$n_c$ :	3	
Spinta totale della macchina:	$S_T$ :	82185	kN
Spinta di progetto su ogni piastra:	$S_M$ :	4696	kN
Dimensione della piastra di ripartizione in direzione radiale:	$b_1 =$	0,2875	m
Dimensione della piastra di ripartizione in direzione circonferenziale:	$d_1 =$	0,90	m

**Tabella 35. Dati geometrici e carichi spinta di sbloccaggio**

Numero piastre di spinta:	$n_{\text{piastre}}$ :	21	
Numero di piastre di spinta su ogni concio:	$n_c$ :	3	
Spinta totale della macchina:	$S_T$ :	98957	kN
Spinta di progetto su ogni piastra:	$S_M$ :	4712	kN
Dimensione della piastra di ripartizione in direzione radiale:	$b_1 =$	0,2875	m
Dimensione della piastra di ripartizione in direzione circonferenziale:	$d_1 =$	0,90	m

La verifica delle pressioni di contatto in fase di spinta è svolta sia per la fase di spinta in condizioni ordinarie che di sbloccaggio adottando come azione i valori di spinta calcolati nel precedente paragrafo amplificati per 1.2 nel caso di spinta ordinaria e per 1.0 nel caso delle condizioni di sbloccaggio.



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	B	150 di 156

Per quanto riguarda il coefficiente parziale per la resistenza del calcestruzzo  $\gamma_c$  verrà assunto pari a 1.5 nel caso di spinta ordinaria e per 1.2 nel caso delle condizioni di sbloccaggio.

La forza applicata dalla piastra di spinta è stata considerata in asse al concio con un'eccentricità accidentale pari a 30 mm.

La verifica è soddisfatta in quanto:

*Condizioni ordinarie*

$$N \leq F_{rd} \leq F_{max}$$

dove:

$$N = 4696 \text{ kN}$$

$$F_{rd} = A_{c0} \cdot f_{cd} \cdot (A_{c1}/A_{c0})^{0.5} = 5054 \text{ kN}$$

$$F_{max} = 3 \cdot f_{cd} \cdot A_{c0} = 10000 \text{ kN}$$

*Condizioni di sblocco*

$$N \leq F_{rd} \leq F_{max}$$

dove:

$$N = 4712 \text{ kN}$$

$$F_{rd} = A_{c0} \cdot f_{cd} \cdot (A_{c1}/A_{c0})^{0.5} = 6318 \text{ kN}$$

$$F_{max} = 3 \cdot f_{cd} \cdot A_{c0} = 12501 \text{ kN}$$

Dai risultati si vede come la forza agente su una singola piastra risulta compatibile con le caratteristiche di resistenza della sezione.

### 10.3.7 Verifiche conci in fase di scassero

#### Scasseratura e prima movimentazione

Nella fase di scasseratura i conci sono soggetti all'azione del peso proprio ( $PP$ ), alla maggiorazione per carichi dinamici (+50% del peso proprio) ed alla forza di adesione del cassero ( $S$ ) che, sulla base di esperienze analoghe, può essere valutata in circa 5 kN/m<sup>2</sup>. Ipotizzando che il concio venga sollevato centralmente, con riferimento allo schema seguente, ipotizzando una luce centrale (che simula un incastro diffuso) pari a 0.80 m e considerando una lunghezza del concio pari a 1.8 m, si ottiene:

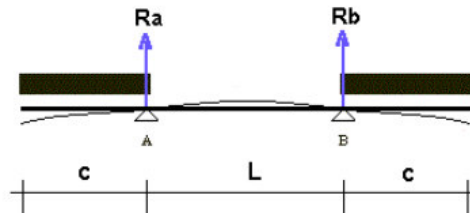


Figura 107 Fase di scasseratura - Schema statico

$$L = 0,8 \text{ m}$$

$$C = 1,48 \text{ m}$$

$$PP = 18 \text{ kN/m (peso proprio)}$$

$$\Delta PP = 9 \text{ kN/m (incremento dovuto all'effetto dinamico/vibrazioni)}$$

$$P_A = 9 \text{ kN/m (incremento dovuto all'aderenza tra concio e cassero di } 5 \text{ kN/m}^2)$$

$$P_{\text{tot}} = 54 \text{ kN/m}$$

da cui :

$$M_{1,\text{max}} = 59,1 \text{ kNm}$$

$$V_{1,\text{max}} = 79,9 \text{ kN}$$

Verifiche SLU

La verifica strutturale prevede il confronto tra le sollecitazioni di calcolo amplificate con i relativi coefficienti parziali e le resistenze di calcolo definite dal dominio resistente nel piano M, N. In particolare, si considera uno sforzo normale N nullo.

Per la verifica a taglio, il valore di calcolo è ottenuto in accordo con la normativa vigente (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

Considerando un coefficiente amplificativo  $\gamma_g$  pari a 1.3 si ottiene:

$$M_d = 76,9 \text{ kNm}$$

$$V_d = 104 \text{ kN}$$

Nell'ipotesi che in fase di scasseratura il concio non abbia raggiunto la resistenza finale di progetto, si riportano nel seguito le verifiche statiche condotte ipotizzando una resistenza di scasseratura minima di  $15 \text{ N/mm}^2$ .

Si considera un'armatura principale costituita da  $12 + 12$  barre  $\text{Ø}16$ , mentre si trascura l'armatura a taglio, trattando il concio alla stregua di una sezione non armata. Si ottiene quindi

$$M_{rd} = 284,8 \text{ kNm} > M_d$$



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	B	152 di 156

$$V_{rd} = 175 \text{ kN} > V_d$$

Verifiche SLE

Le verifiche SLE risultano soddisfatte sia lato calcestruzzo che lato acciaio rispettando i valori limite imposti sia dalla normativa vigente che dal Manuale di Progettazione RFI:

$$\sigma_{ct} = 1.25 \leq f_{ctm,j} / 1.2 = 1.34 \text{ MPa}$$

Limitazione delle tensioni nel calcestruzzo:

$$\sigma_c = 2.18 \leq 0.45 * f_{ck,j} = 5.4$$

Limitazione delle tensioni nell'acciaio:

$$\sigma_s = 80.3 \leq 0.8 * f_{yk} = 360$$





RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
**PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	B	153 di 156

## 10.4 Azioni di mitigazione dei potenziali rischi

### *Instabilità del fronte e del cavo*

Nel caso di scavo in meccanizzato, fenomeni di instabilità possono interessare lo scavo della galleria Croce nelle tratte a bassa copertura nei depositi alluvionali e non è da escludere anche nel caso attraverso di zone intensamente fratturate tra le pk 78+800 ca e 78+970 ca. In queste tratte si prevede l'avanzamento in modalità EPB (eventuale nella zona intensamente fratturata predetta), con applicazione della pressione al fronte.

### *Fenomeni di subsidenza/interferenza con opere preesistenti*

#### Basse coperture

Nel caso di scavo meccanizzato, nelle tratte interessate da potenziali interferenze con opere preesistenti, è previsto l'avanzamento in modalità EPB. Laddove le analisi eseguite a riguardo hanno evidenziato un danno alle preesistenze non trascurabile (categoria di danno maggiore di 2) sono stati previsti interventi di salvaguardia atti a riportare il livello di danno ad un livello trascurabile.

Ove presente tale rischio sarà previsto, inoltre, un sistema di monitoraggio in superficie.

### *Venute d'acqua in galleria*

Il potenziale rischio di venute d'acqua concentrate e con portate significative in fase di scavo dipende dalla conducibilità idraulica dei materiali attraversati e dal carico idraulico. Le formazioni rocciose attraversate sono caratterizzate da permeabilità per fratturazione bassa/media. In considerazione delle suddette caratteristiche di permeabilità, il rischio di venute d'acqua significative in fase di scavo è basso o molto basso.

In considerazione di quanto sopra, e dei livelli piezometrici presunti, il rischio di venute d'acqua in fase di scavo è stimato generalmente basso. Il rischio è classificato medio solo in tratte molto limitate e relative alle zone di faglia, ai passaggi stratigrafici e alle zone tettonizzate dove è possibile un aumento delle permeabilità e nella zona in cui le gallerie attraversano i Calcari di Rocca di Livernà per effetto di fenomeni di carsismo.

In presenza di carichi idraulici fino a 4-5 bar la pressione del fronte esercitata dalla macchina in modalità EPB è in grado di scongiurare il moto idraulico. Per carichi idraulici superiori, o in tratte dove è presente tale rischio ma non è previsto l'avanzamento in modalità EPB, il rischio sarà mitigato con drenaggio preventivo e controllato eseguito dalla macchina.

### *Carico idraulico elevato*

Tale rischio riguarda la tratta ad alte coperture dove, viste le incertezze legate al modello idrogeologico, la quota di falda risulta presunta sulla base delle misure piezometriche disponibili. Al fine di mitigare tale rischio, qualora le risultanze dessero evidenza di carichi idraulici maggiori rispetto a quelli considerati nelle analisi numeriche, in tali tratte è stato prevista la possibilità di eseguire drenaggi radiali di lungo termine.



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
**PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	B	154 di 156

Per il dettaglio delle in cui è previsto l'intervento di drenaggio di lungo termine eventuale si rimanda all'elaborato "Profilo Geotecnico" (Rif. [34]).

### ***Rischio cavità carsiche***

Tale rischio è presente all'interno della formazione LIV (Calcari di Rocca di Livernà).

Le problematiche dovute all'intercettazione di cavità carsiche sono connesse principalmente al rischio di venute d'acqua elevate, anche a pressione elevata, e al rischio di fenomeni di instabilità locale del cavo in fase di scavo. Per la gestione del rischio "cavità carsiche" la TBM sarà attrezzata in modo tale da individuarne la presenza, la posizione e la geometria, in anticipo rispetto all'attraversamento. La macchina sarà perciò equipaggiata in modo tale da poter eseguire:

- indagini in continuo in avanzamento di tipo geofisico (ad esempio, sistema BEAM e/o sistema ISP, Integrated Seismic Prediction e/o similari).
- perforazioni al fronte e/o in una posizione qualunque lungo tutto il perimetro della testa, anche con preventer, con registrazione in continuo dei parametri di perforazione per l'esecuzione di diagrafie,

La cavità sarà riempita con idoneo materiale di riempimento, attraverso tubi di iniezione appositamente predisposti e realizzati mediante il sistema di perforazione suddetto. La macchina attraverserà il tratto con il rigido controllo dei parametri di avanzamento. Al fine del trattamento dell'eventuale cavità carsica incontrata, dovrà essere possibile drenare l'eventuale acqua presente al suo interno, anche con potenziamento dell'impianto di eduazione delle acque. Nella successiva fase di progettazione sarà definita una procedura specifica per l'attraversamento di tali contesti.

## **11 FASE DI VERIFICA E MESSA A PUNTO DEL PROGETTO**

### **11.1 Monitoraggio in corso d'opera**

Nella fase realizzativa dovrà essere posto in opera un adeguato programma di monitoraggio, volto a verificare le previsioni progettuali e ad affinare le soluzioni tecniche nell'ambito delle variabilità indicate in progetto.

Il programma di monitoraggio deve prevedere:

- il controllo dei principali parametri macchina desunti direttamente in fase di scavo dalla fresa tra cui: pressione di supporto del fronte di scavo, densità del materiale nella camera di scavo, pressione e volume del materiale di intasamento iniettato a tergo dei conci, peso e volume del materiale scavato, condizionamento del terreno;
- il monitoraggio dello stato tensionale nel rivestimento definitivo mediante barrette estensimetriche saldate sui ferri di armatura dei conci e celle di carico tra i giunti longitudinali degli stessi.



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
**PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	B	155 di 156

Nelle tratte a bassa copertura sono previsti:

- il controllo dei cedimenti al piano campagna mediante installazione di capisaldi su sezioni di livellazione topografica;
- il controllo degli spostamenti e delle deformazioni indotte dallo scavo della galleria al piano campagna mediante di assestimetri ed inclinometri
- il controllo delle pressioni interstiziali mediante monitoraggio piezometrico.

In presenza di edifici interferenti è inoltre previsto il controllo topografico degli spostamenti sugli edifici interferenti;

Per ulteriori dettagli e per le frequenze delle letture si rimanda agli elaborati specialistici allegati al progetto.

Il sistema di monitoraggio dovrà essere predisposto in modo tale da garantire l'esame tempestivo e continuativo dei dati rilevati e la trasmissione sistematica dei dati e delle elaborazioni, avendo precedentemente definito ed assegnato le responsabilità per la lettura, l'elaborazione e l'interpretazione dei dati di monitoraggio, nonché per la loro distribuzione.

Le grandezze individuate come rappresentative dovranno essere rilevate e controllate con un sistema di misura che abbia un grado di precisione compatibile con i valori attesi per le grandezze sopra dette.



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
**PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	B	156 di 156

## 12 CONCLUSIONI

Nella presente relazione sono state affrontate le problematiche progettuali connesse alla realizzazione della galleria Croce della nella tratta Finale Ligure – Andora, nell’ambito del raddoppio della linea Genova - Ventimiglia.

La progettazione delle opere in sotterraneo è stata condotta secondo il metodo ADECO-RS (Rif. [17]), articolandosi nelle seguenti fasi:

1. Fase conoscitiva: questa fase è stata dedicata allo studio e all’analisi del contesto geologico e geotecnico in cui saranno realizzate le gallerie, che ha portato alla definizione del modello geotecnico di sottosuolo utilizzato per le successive fasi del progetto.
2. Fase di diagnosi: in questa fase è stata eseguita la valutazione della risposta deformativa dell’ammasso allo scavo in assenza di interventi di stabilizzazione, per la determinazione delle categorie di comportamento; sulla base delle analisi condotte il tracciato della galleria è stato suddiviso in tratte omogenee.
3. Fase di terapia: si prevede di realizzare lo scavo con metodo meccanizzato. La soluzione progettuale è stata analizzata verificandone adeguatezza ed efficacia in tutte le fasi costruttive previste ed in condizioni di esercizio.

Il progetto è completato dal piano di monitoraggio da predisporre ed attuare nella fase realizzativa, nel quale sono individuati i valori delle grandezze fisiche a cui riferirsi in corso d’opera per controllare la risposta deformativa dell’ammasso e della galleria al procedere dello scavo, verificarne la rispondenza con le previsioni progettuali e mettere a punto le sezioni tipo individuate nell’ambito delle variabilità previste.



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	B	1

## ALLEGATO 1

<b>TITOLO</b>	Analisi con il metodo delle linee caratteristiche
<b>TIPO DI DOCUMENTO:</b>	Documento - Formato A4
<b>CODIFICA:</b>	-
<b>PAGINE:</b>	40
<b>DATA:</b>	-
<b>SORGENTE:</b>	-
<b>NOTE:</b>	-



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA  
**PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE ANDORA**

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
L371	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	2

**INDICE**

1	SEZIONE 1 .....	3
1.1	FASE DI DIAGNOSI .....	3
2	SEZIONE 2 .....	7
2.1	FASE DI DIAGNOSI .....	7
3	SEZIONE 3 .....	11
3.1	FASE DI DIAGNOSI .....	11
4	SEZIONE 4 .....	<b>ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.</b>
4.1	FASE DI DIAGNOSI .....	<b>ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.</b>
5	SEZIONE 5 .....	<b>ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.</b>
5.1	FASE DI DIAGNOSI .....	<b>ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.</b>
5.2	FASE DI TERAPIA .....	<b>ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.</b>
5.2.1	ANALISI A1+M1+R1 .....	<i>Errore. Il segnalibro non è definito.</i>
6	SEZIONE 6 .....	<b>ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.</b>
6.1	FASE DI DIAGNOSI .....	<b>ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.</b>
7	SEZIONE 7 .....	15
7.1	FASE DI DIAGNOSI .....	15
8	SEZIONE 8 .....	19
8.1	FASE DI DIAGNOSI .....	19
9	SEZIONE 9 .....	23
9.1	FASE DI DIAGNOSI .....	23
10	SEZIONE 10 .....	27
10.1	FASE DI DIAGNOSI .....	27
10.2	FASE DI TERAPIA .....	31
10.2.1	ANALISI A1+M1+R1 .....	31
11	SEZIONE 11 .....	37
11.1	FASE DI DIAGNOSI .....	37

# 1 SEZIONE 1

## 1.1 FASE DI DIAGNOSI

```

#####          CALCOLO GALLERIE CON METODO
#####          CONVERGENZA-CONFINAMENTO
#####          SOLUTORE TRANSFER-MATRIX

#####          VERSIONE 4 (2003)
#####          ##

RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA
GALLERIA NATURALE CASTELLARI
LINEE CARATTERISTICHE DEL CAVO E DEL FRONTE - COPERTURA 400m - SPM (400)

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

DATI ANALISI

R galleria [m] ..... 4.65000

PARAMETRI GEOTECNICI .....
Tensione originaria [MPa] ..... 10.80000
Modulo di Young [MPa] ..... 15600.00000
Coefficiente di Poisson ..... 0.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] ..... 27.00000
Pressione interstiziale falda indisturbata [MPa] ..... 0.00000
Pressione interstiziale al bordo scavo B.T. [MPa] ..... 0.00000
Raggio influenza idraulica galleria B.T. [m] ..... 4.65000
Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa] ..... 0.00000
Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m] ..... 4.65000
RESISTENZA ROCCIA .....
Coesione picco [MPa] ..... 2.26400
Angolo attrito picco [°] ..... 42.00000
Coesione residua [MPa] ..... 2.26400
Angolo attrito residuo [MPa] ..... 42.00000
Angolo dilatanza [°] ..... 0.00000
Modulo di softening apparente Ha [MPa] ..... 0.00000
Modulo di softening H [MPa] ..... 0.00000

RISULTATO ANALISI FRONTE DI SCAVO

Press. fine calcolo curva galleria [MPa] ..... 0.018930
Spostamento radiale galleria [m] ..... 0.004696
Raggio plastico galleria [m] ..... 5.351096
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] ..... 0.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] ..... 0.002187
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] ..... 0.001314
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ..... 0.001362
Raggio plastico fronte sferico [m] ..... 4.863412

RISULTATO ANALISI GALLERIA

Pressione fine calcolo [MPa] ..... 0.018930
Spot. radiale galleria fine calcolo [m] ..... 0.004696
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] ..... 5.351096
    
```

Figura 1 – output di calcolo

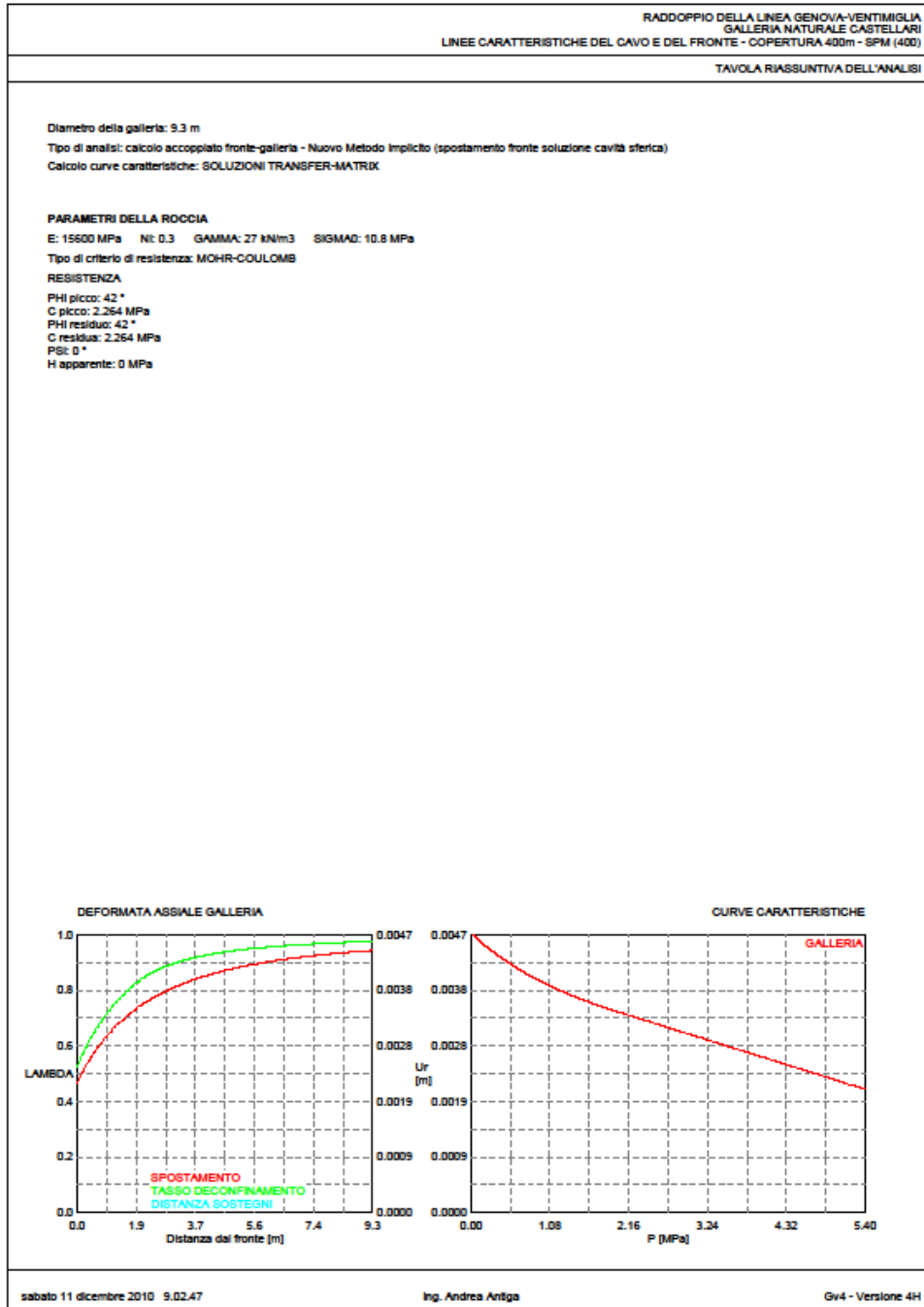


Figura 2 – Tavola Riassuntiva



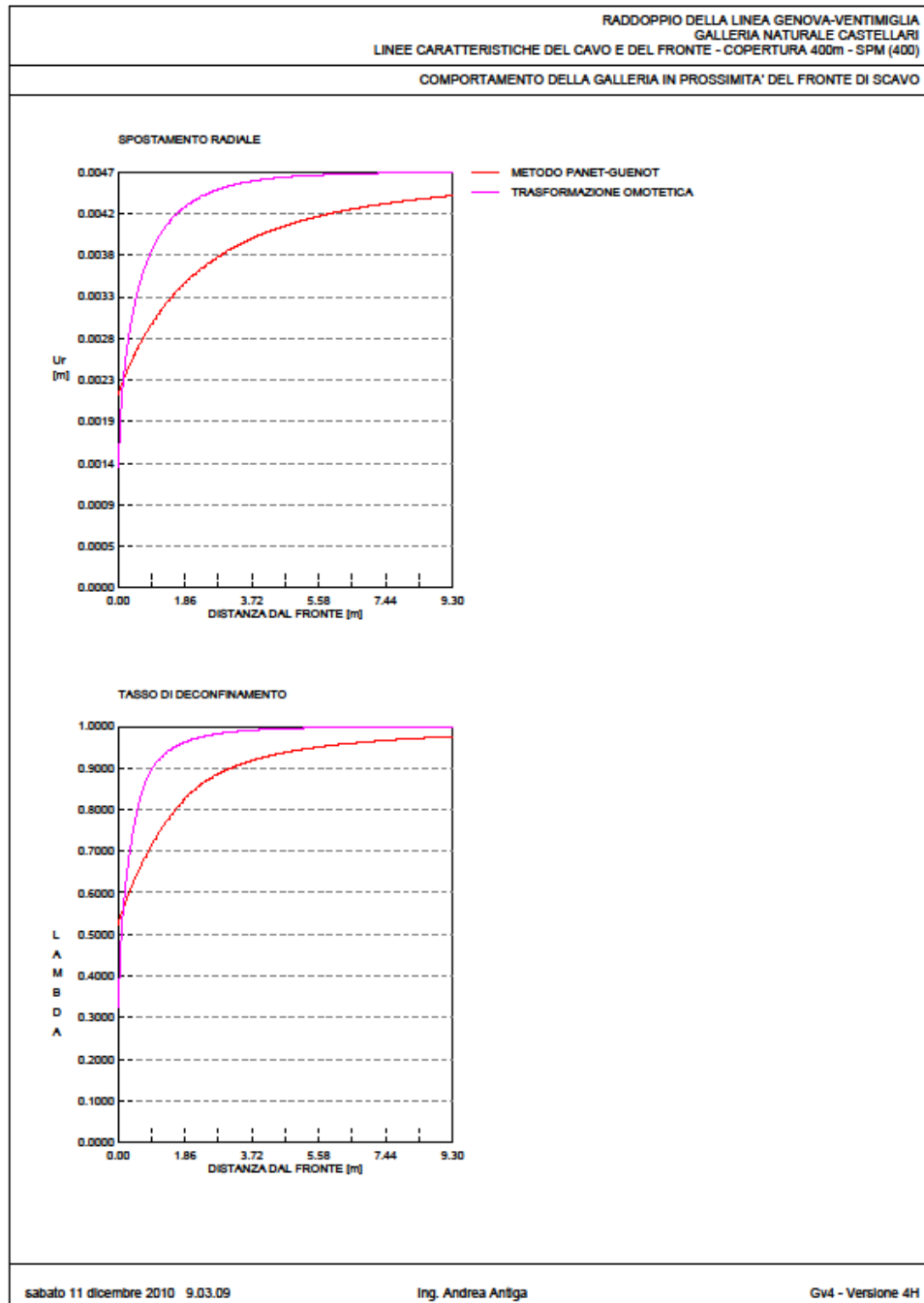


Figura 3 – deformata longitudinale

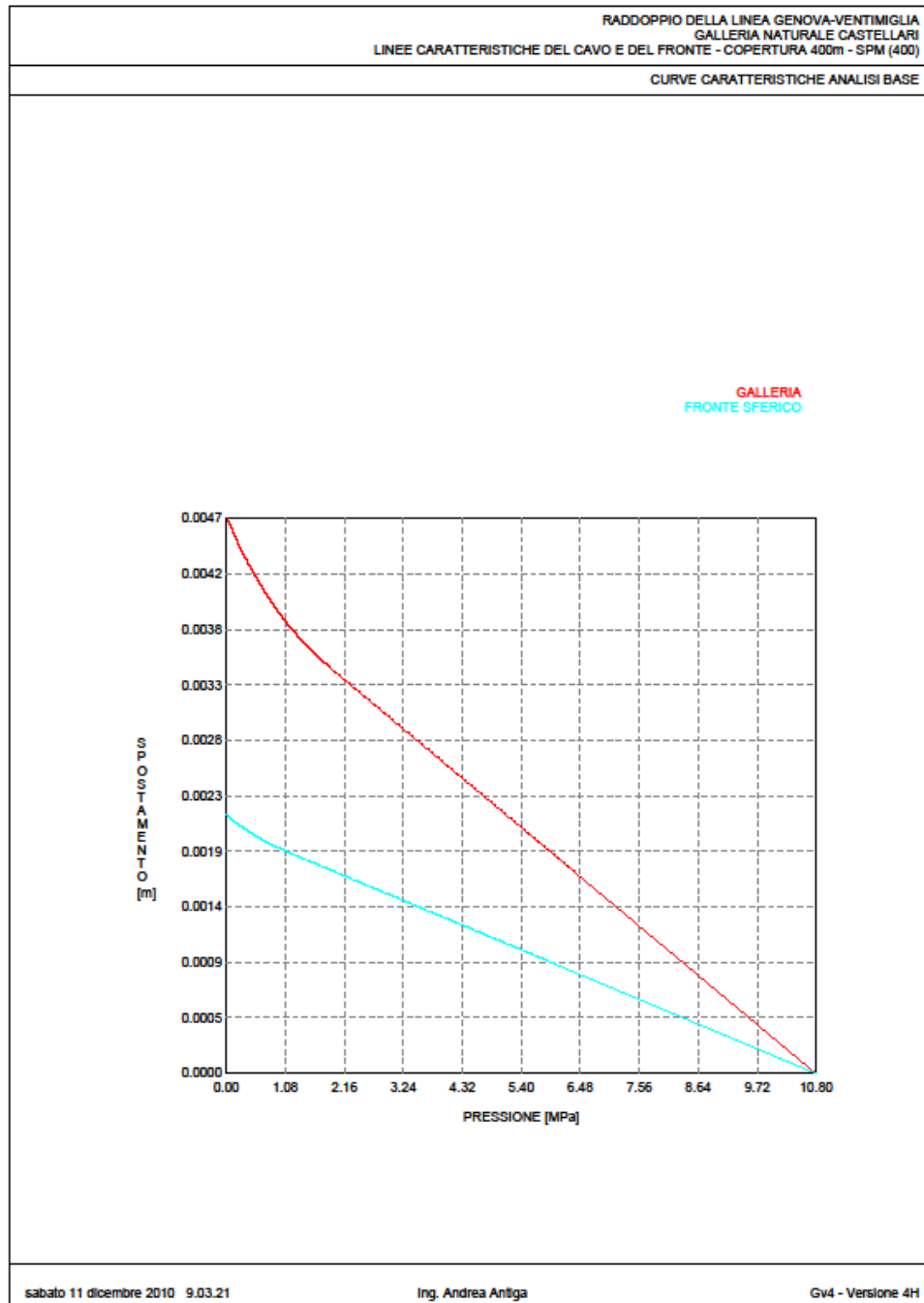


Figura 4 – curve caratteristiche

## 2 SEZIONE 2

### 2.1 FASE DI DIAGNOSI

```

#####                CALCOLO GALLERIE CON METODO
#####                CONVERGENZA-CONFINAMENTO
#####                SOLUTORE TRANSFER-MATRIX

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

VERSIONE 4 (2003)

RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA
GALLERIA NATURALE CASTELLARI
LINEE CARATTERISTICHE DEL CAVO E DEL FRONTE - COPERTURA 413m - LIV-c (418)

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

D A T I   A N A L I S I

R galleria [m] ..... 4.65000

PARAMETRI GEOTECNICI .....
Tensione originaria [MPa] ..... 10.86800
Modulo di Young [MPa] ..... 15300.00000
Coefficiente di Poisson ..... 3.00000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] .. 26.00000
Pressione interstiziale falda indisturbata [MPa] .. .00000
Pressione interstiziale al bordo scavo B.T. [MPa].. .00000
Raggio influenza idraulica galleria B.T. [m] ..... 4.65000
Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa].. .00000
Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m] ..... 4.65000
RESISTENZA ROCCIA
Coesione picco [MPa] ..... 1.95100
Angolo attrito picco [°] ..... 45.00000
Coesione residua [MPa] ..... 1.95100
Angolo attrito residuo [MPa] ..... 45.00000
Angolo dilatanza [°] ..... .00000
Modulo di softening apparente Ha [MPa] ..... .00000
Modulo di softening H [MPa] ..... .00000

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

Press. fine calcolo curva galleria [MPa] ..... .017876
Spostamento radiale galleria [m] ..... .004853
Raggio plastico galleria [m] ..... 5.337548
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] ..... .000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] ..... .002263
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] ..... .001302
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ... .001407
Raggio plastico fronte sferico [m] ..... 4.875964

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

Pressione fine calcolo [MPa] ..... .017876
Spot. radiale galleria fine calcolo [m] ..... .004853
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] ..... 5.337548

```

Figura 5 – output di calcolo

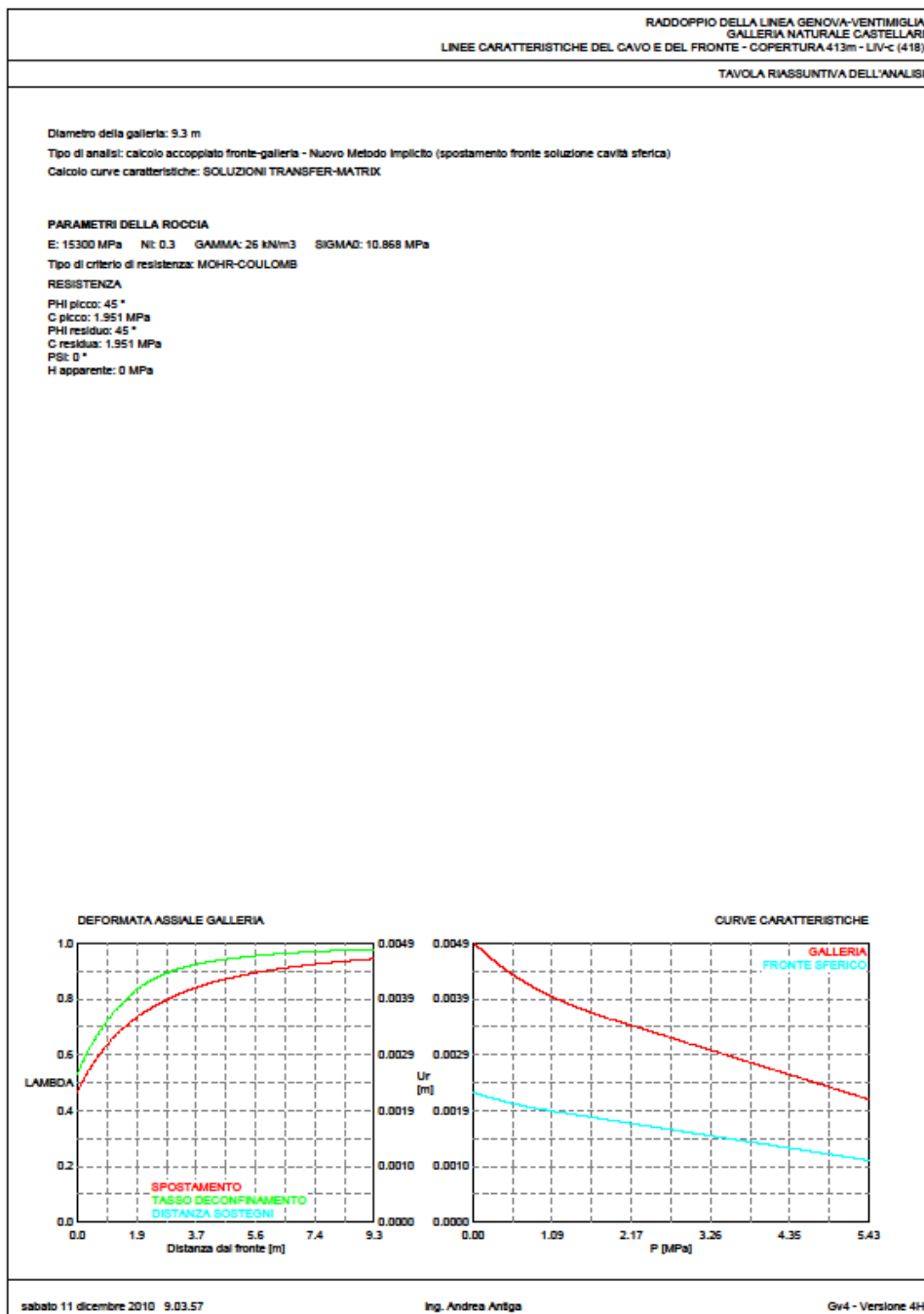


Figura 6 – Tavola Riassuntiva

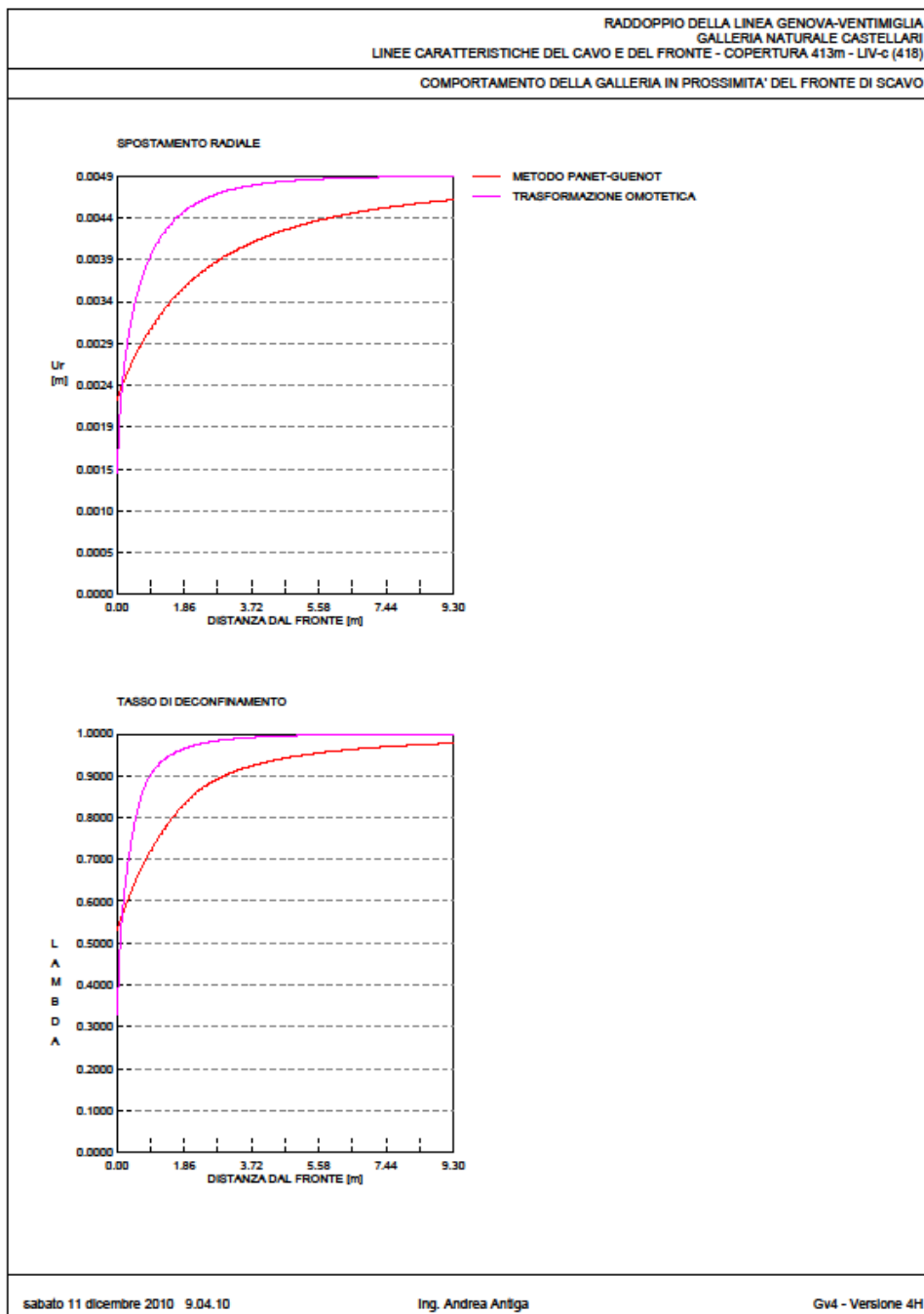


Figura 7 – deformata longitudinale

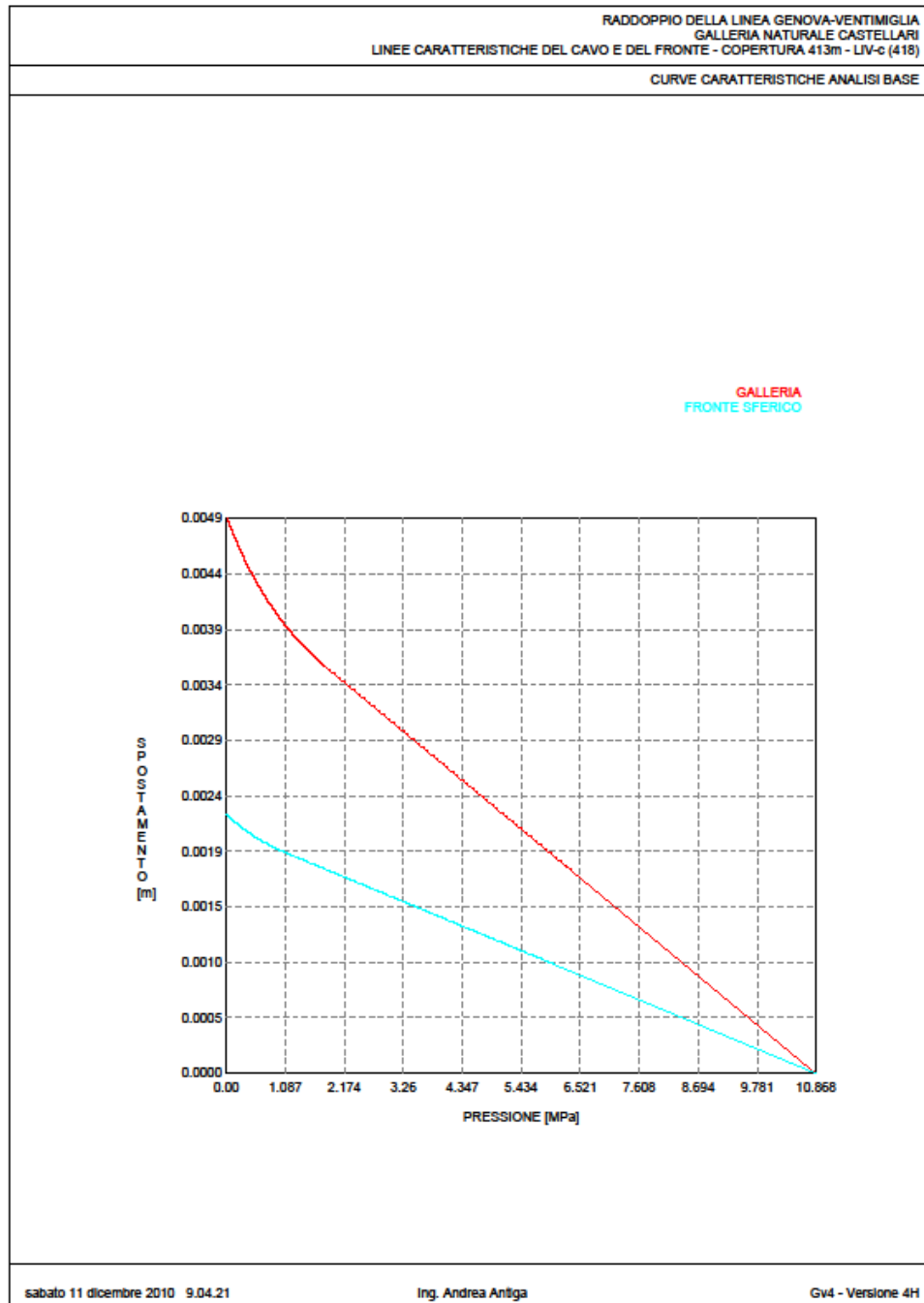


Figura 8 – curve caratteristiche

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
L371	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	2

### 3 SEZIONE 3

#### 3.1 FASE DI DIAGNOSI

```

#####
#####          CALCOLO GALLERIE CON METODO
#####          CONVERGENZA-CONFINAMENTO
#####          SOLUTORE TRANSFER-MATRIX
#####
#####          VERSIONE 4 (2003)
#####          ##

RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA
GALLERIA NATURALE CASTELLARI
LINEE CARATTERISTICHE DEL CAVO E DEL FRONTE - COPERTURA 123m - LIV-c (100)

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

D A T I   A N A L I S I

R galleria [m] ..... 4.65000

PARAMETRI GEOTECNICI .....
Tensione originaria [MPa] ..... 3.19800
Modulo di Young [MPa] ..... 11000.00000
Coefficiente di Poisson ..... 0.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] ..... 26.00000
Pressione interstiziale falda indisturbata [MPa] ..... 0.00000
Pressione interstiziale al bordo scavo B.T. [MPa] ..... 0.00000
Raggio influenza idraulica galleria B.T. [m] ..... 4.65000
Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa] ..... 0.00000
Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m] ..... 4.65000
RESISTENZA ROCCIA .....
Coesione picco [MPa] ..... 0.83700
Angolo attrito picco [°] ..... 54.00000
Coesione residua [MPa] ..... 0.83700
Angolo attrito residuo [MPa] ..... 54.00000
Angolo dilatanza [°] ..... 0.00000
Modulo di softening apparente Ha [MPa] ..... 0.00000
Modulo di softening H [MPa] ..... 0.00000

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

Press. fine calcolo curva galleria [MPa] ..... 0.002796
Spostamento radiale galleria [m] ..... 0.001762
Raggio plastico galleria [m] ..... 4.757557
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] ..... 0.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] ..... 0.000878
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] ..... 0.000591
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ..... 0.000511
Raggio plastico fronte sferico [m] ..... 4.650000

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

Pressione fine calcolo [MPa] ..... 0.002796
Spot. radiale galleria fine calcolo [m] ..... 0.001762
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] ..... 4.757557

```

Figura 9 – output di calcolo





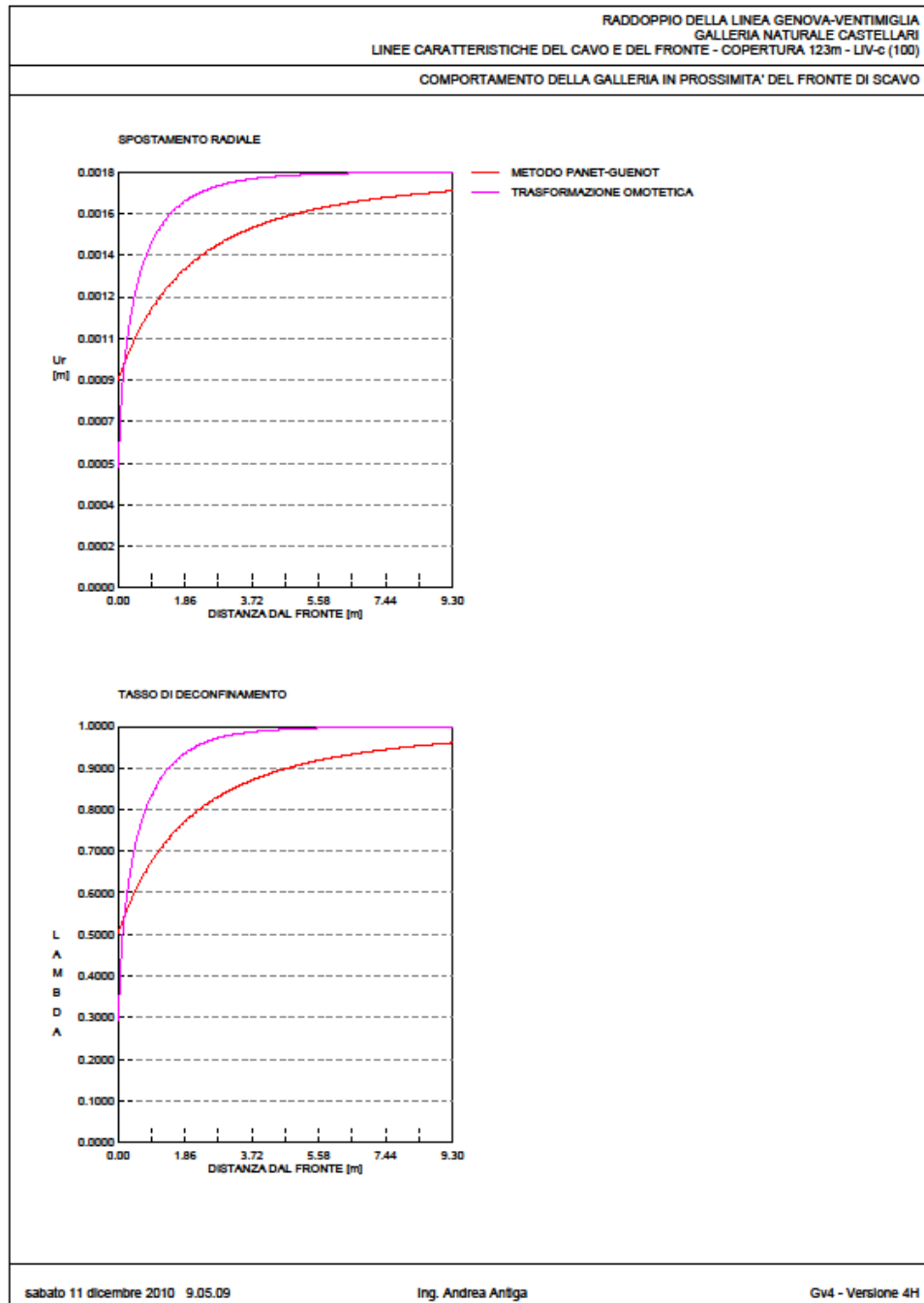


Figura 11 – deformata longitudinale

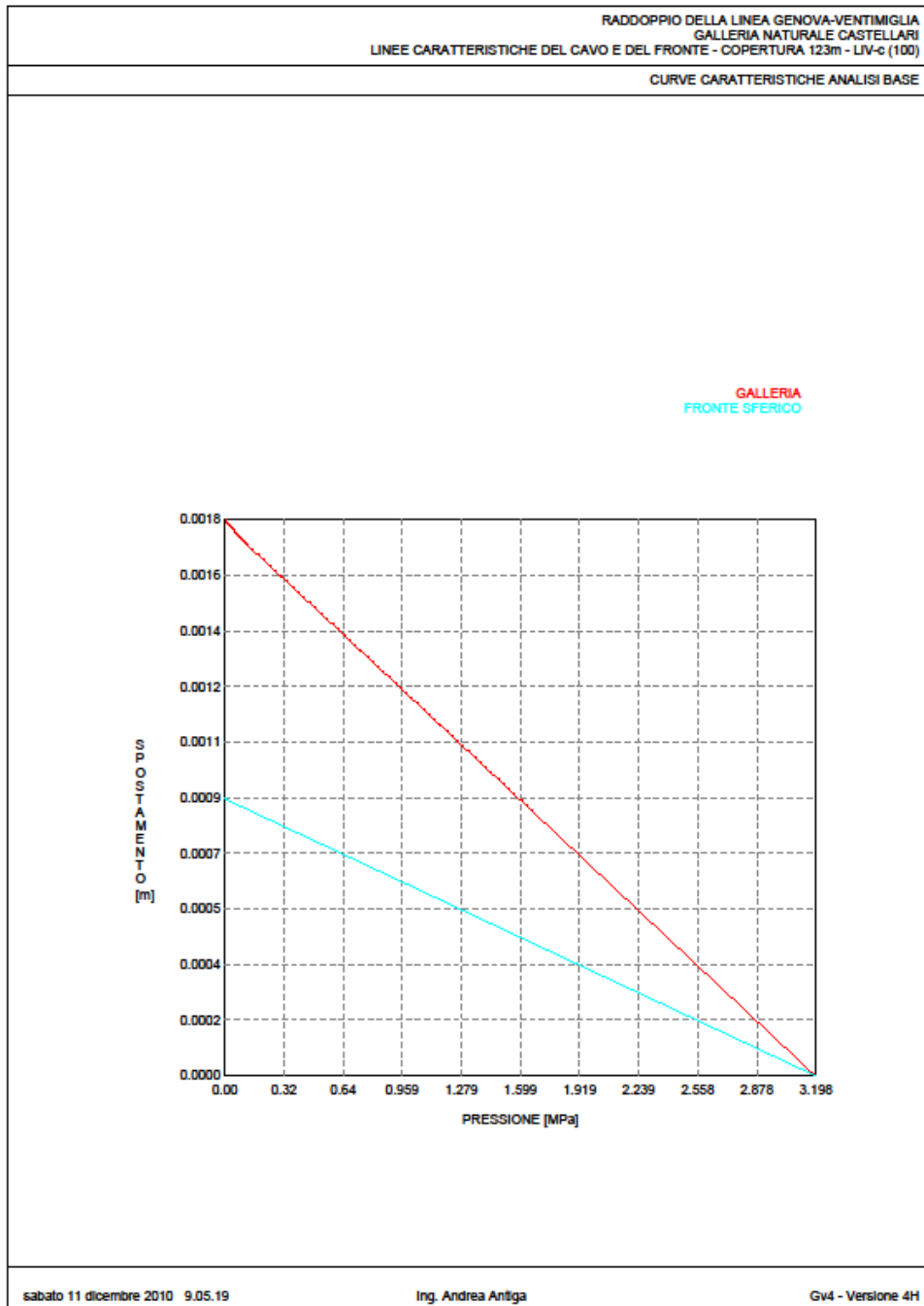


Figura 12 – curve caratteristiche

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
L371	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	2

## 4 SEZIONE 7

### 4.1 FASE DI DIAGNOSI

```

#####          CALCOLO GALLERIE CON METODO
#####          CONVERGENZA-CONFINAMENTO
#####          SOLUTORE TRANSFER-MATRIX

#####          VERSIONE 4 (2003)
#####          ##

RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA
GALLERIA NATURALE CROCE
LINEE CARATTERISTICHE DEL CAVO E DEL FRONTE - COPERTURA 70m - ALN-scc (64)

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

D A T I   A N A L I S I

R galleria [m] ..... 4.65000

PARAMETRI GEOTECNICI .....
Tensione originaria [MPa] ..... 1.82000
Modulo di Young [MPa] ..... 600.00000
Coefficiente di Poisson ..... 3.00000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] .. 26.00000
Pressione interstiziale falda indisturbata [MPa] .. .00000
Pressione interstiziale al bordo scavo B.T. [MPa].. .00000
Raggio influenza idraulica galleria B.T. [m] ..... 4.65000
Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa].. .00000
Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m] ..... 4.65000
RESISTENZA ROCCIA .....
Coesione picco [MPa] ..... .15700
Angolo attrito picco [°] ..... 35.00000
Coesione residua [MPa] ..... .15700
Angolo attrito residuo [MPa] ..... 35.00000
Angolo dilatanza [°] ..... .00000
Modulo di softening apparente Ha [MPa] ..... .00000
Modulo di softening H [MPa] ..... .00000

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

Press. fine calcolo curva galleria [MPa] ..... .080156
Spostamento radiale galleria [m] ..... .038190
Raggio plastico galleria [m] ..... 7.732925
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] ..... .000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] ..... .015126
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] ..... .003800
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ... .011075
Raggio plastico fronte sferico [m] ..... 5.809441

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

Pressione fine calcolo [MPa] ..... .080156
Spot. radiale galleria fine calcolo [m] ..... .038190
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] ..... 7.732925
  
```

Figura 13 – output di calcolo

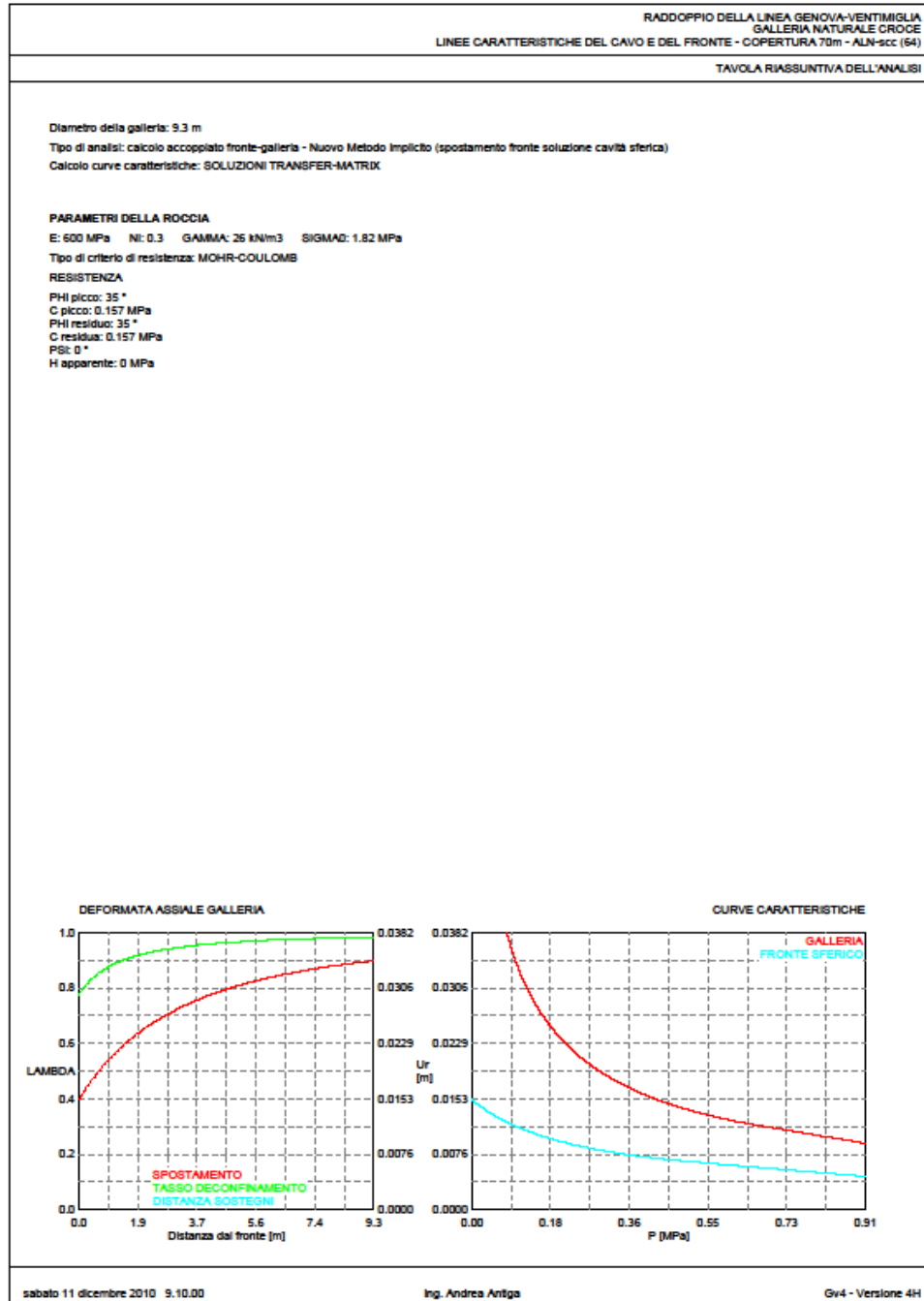
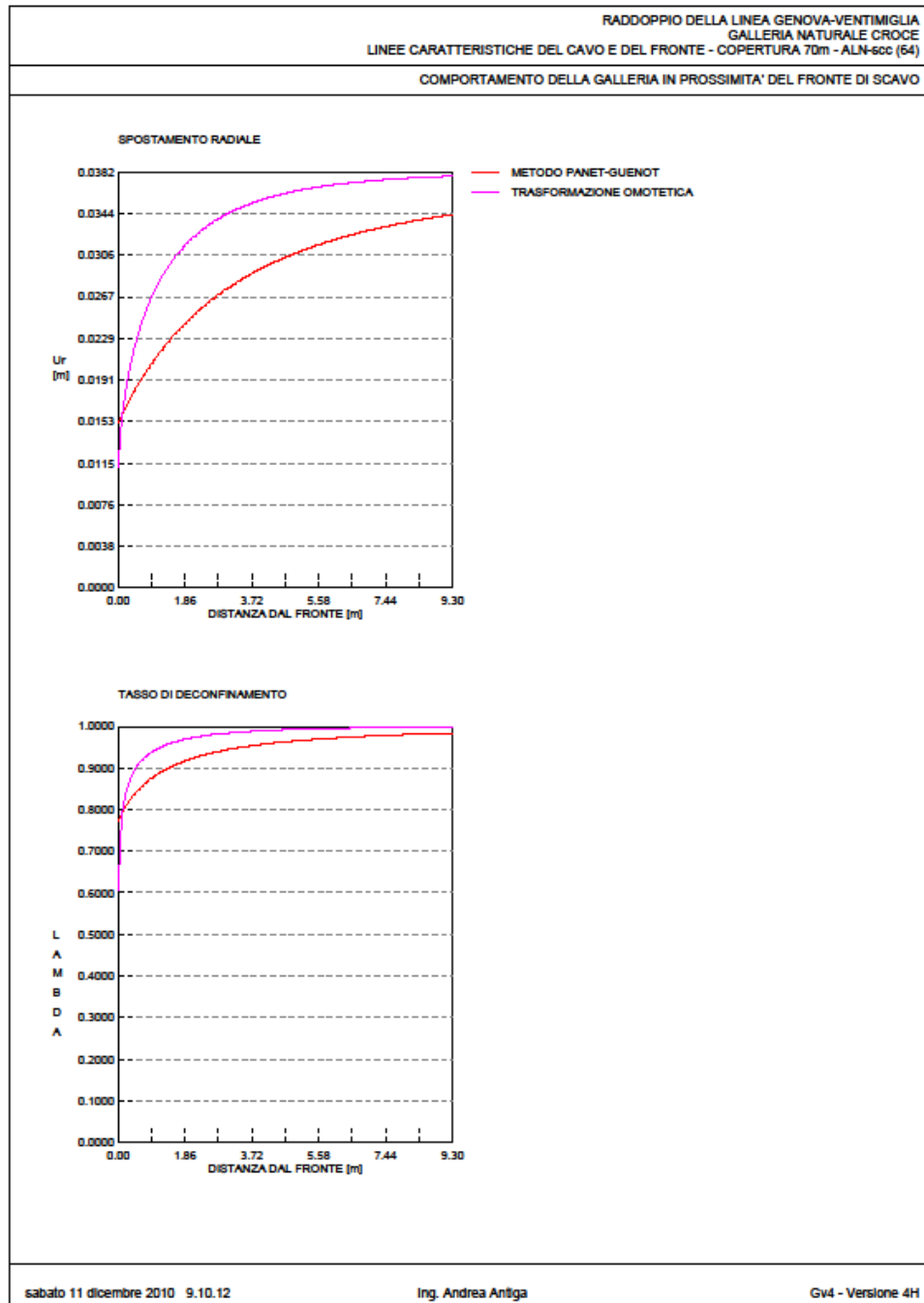


Figura 14 – Tavola Riassuntiva



**Figura 15– deformata longitudinale**

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
L371	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	2

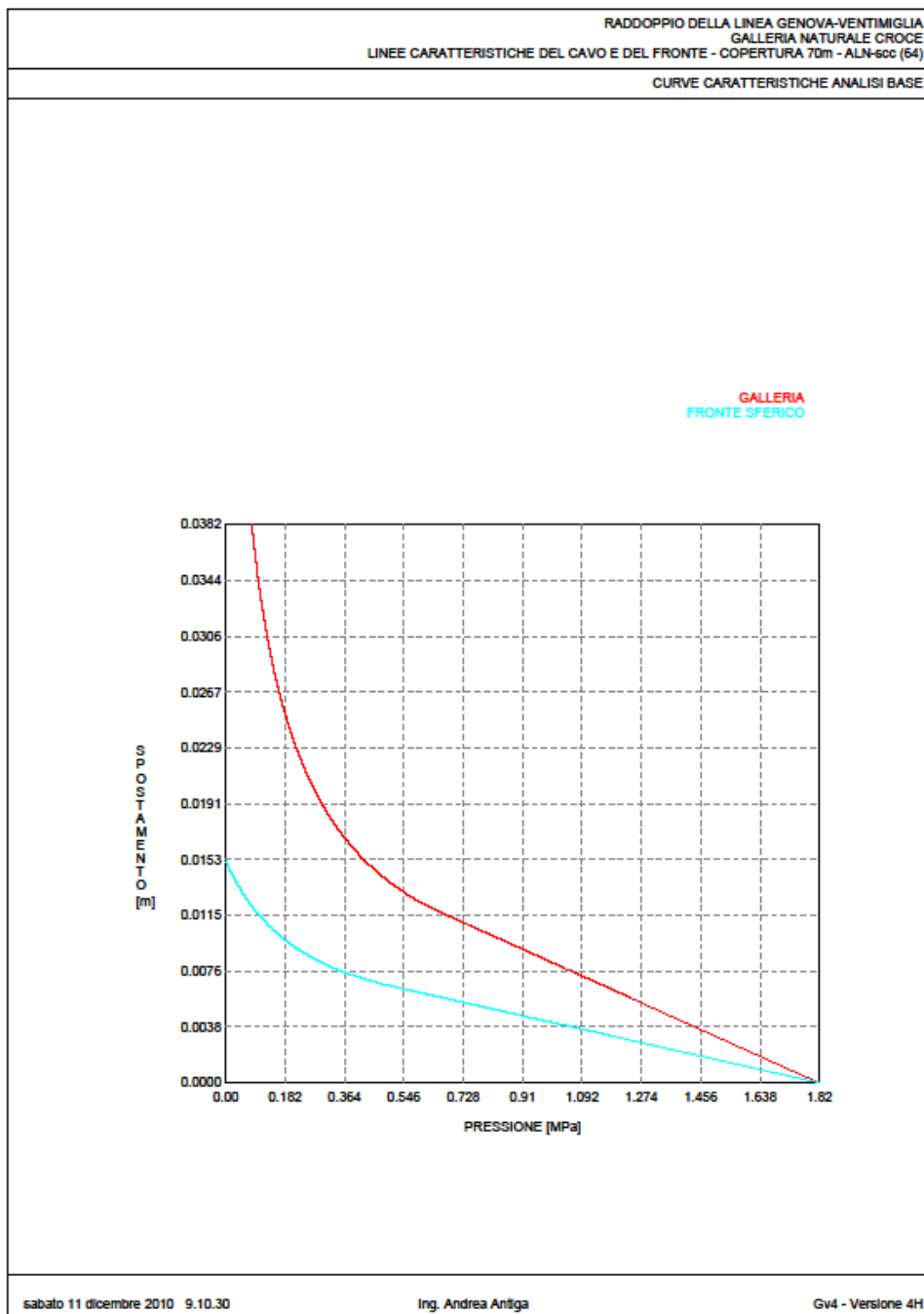


Figura 16– curve caratteristiche



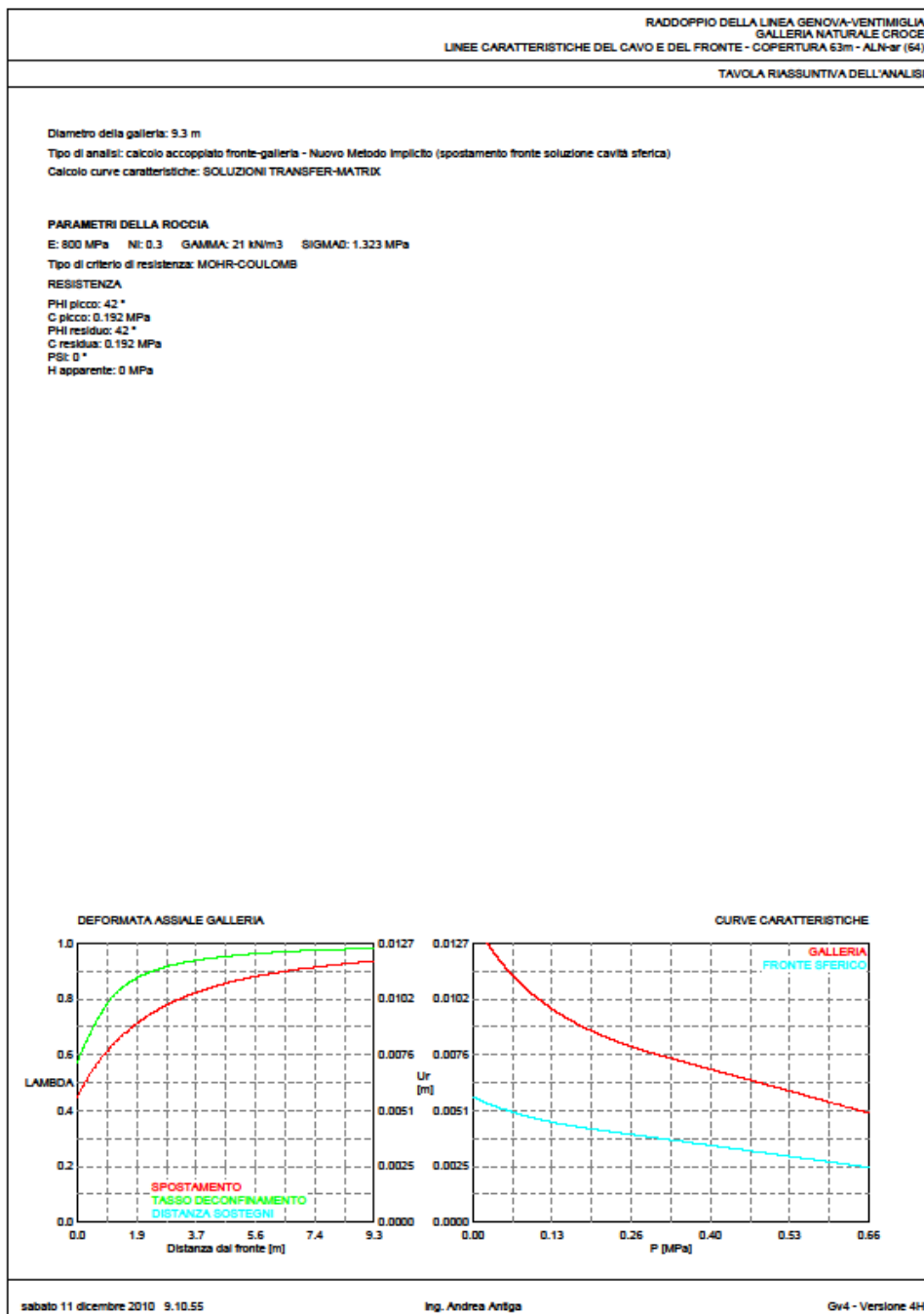


Figura 18 – Tavola Riassuntiva



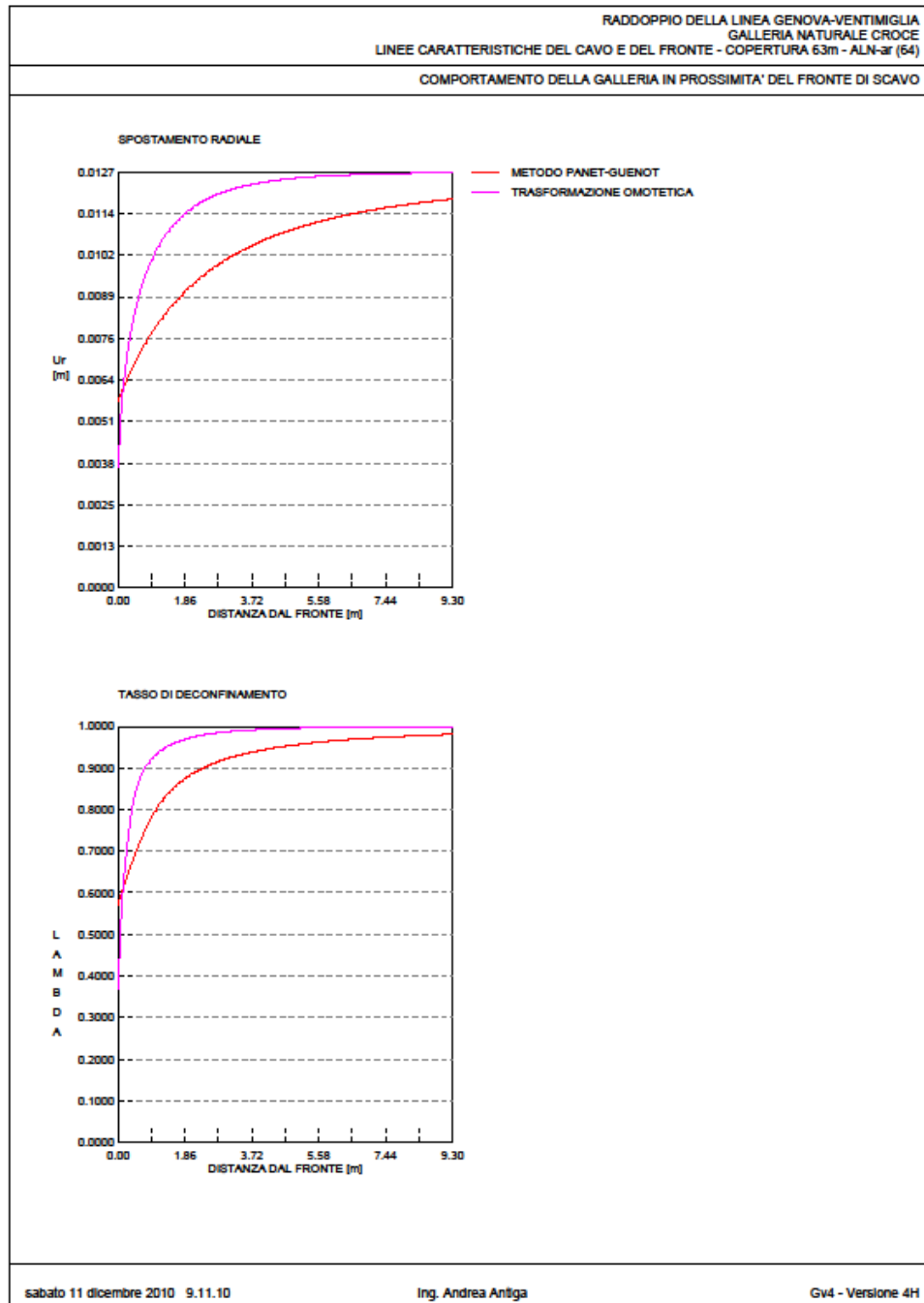


Figura 19– deformata longitudinale

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
L371	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	2

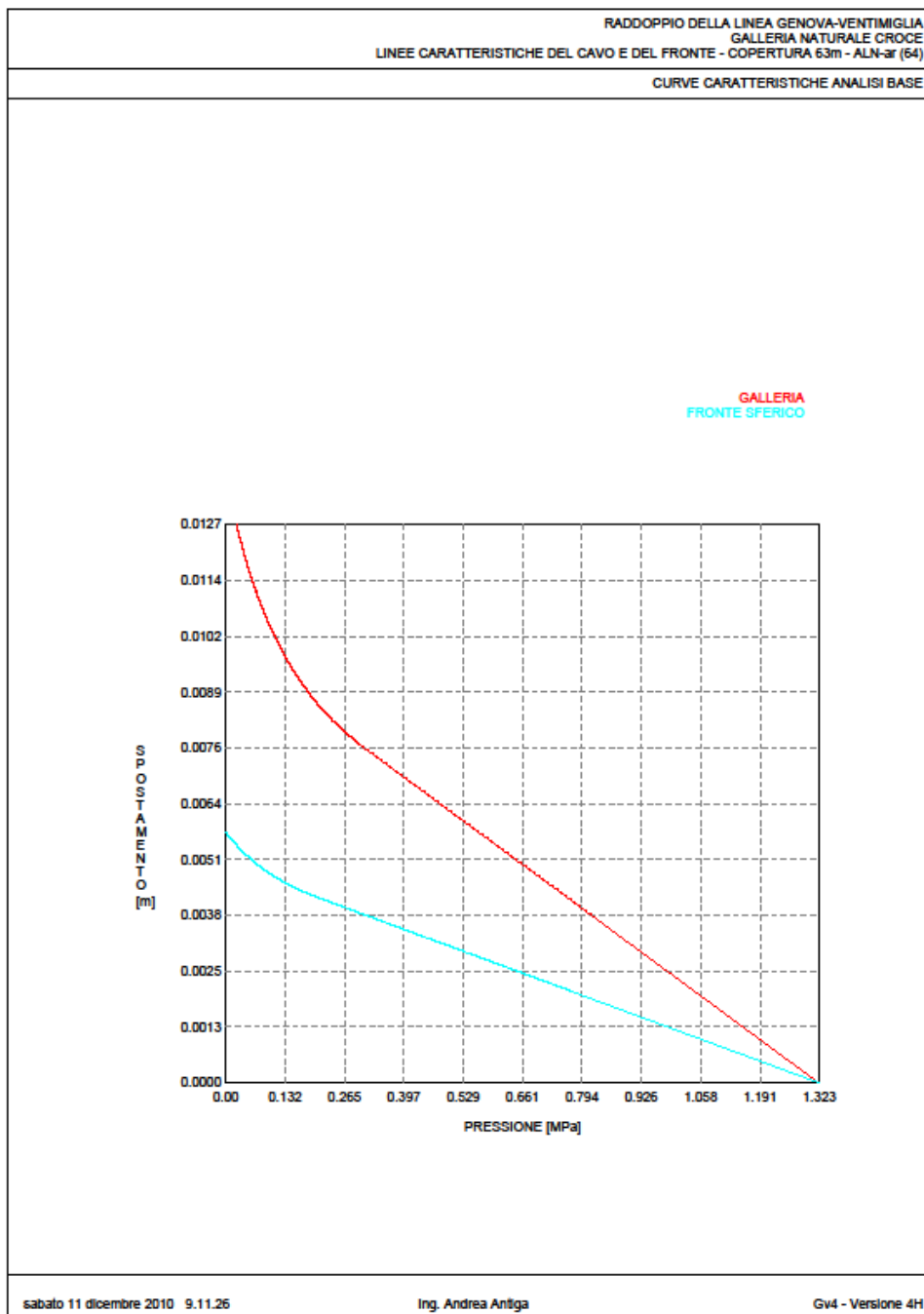


Figura 20– curve caratteristiche



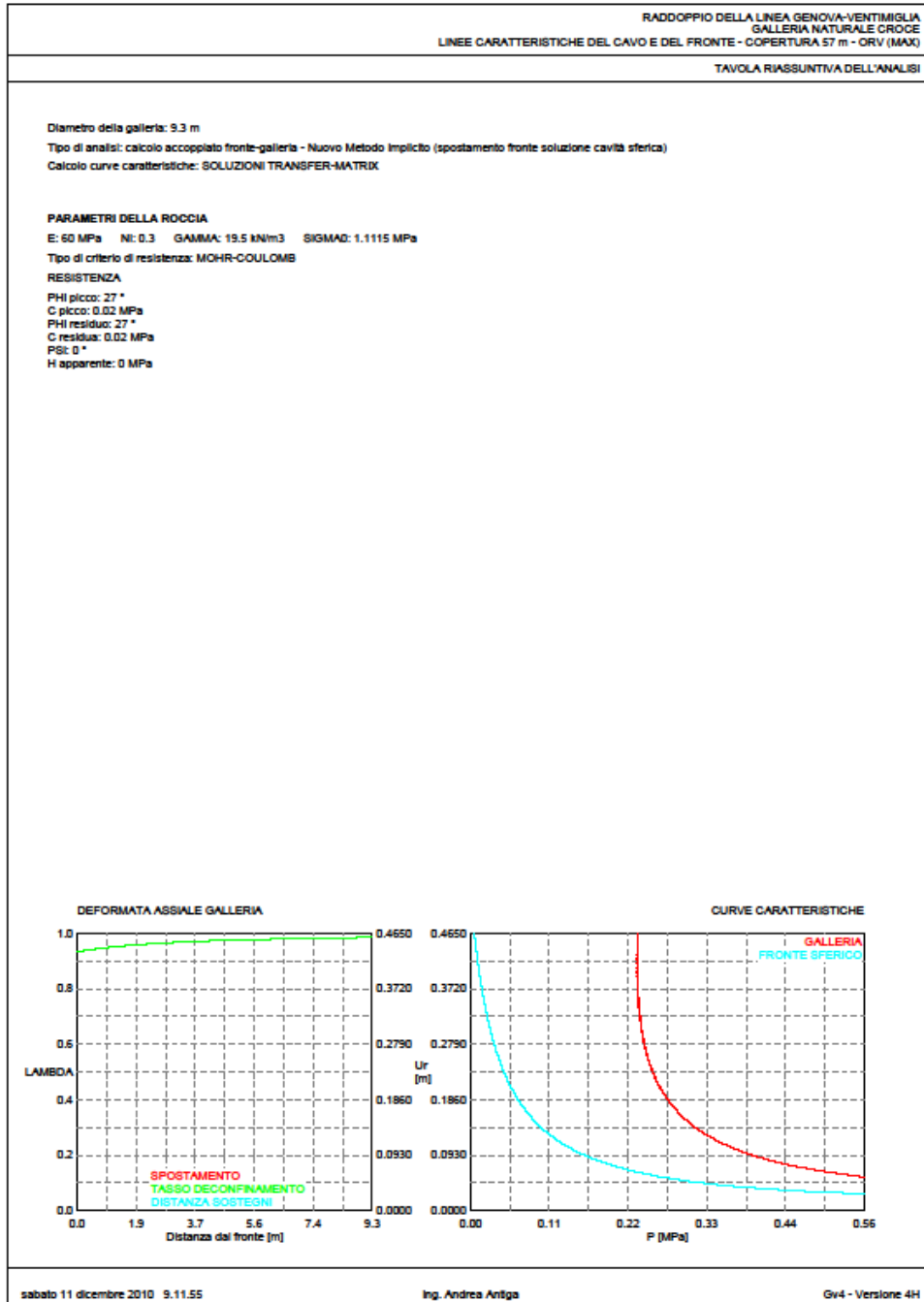
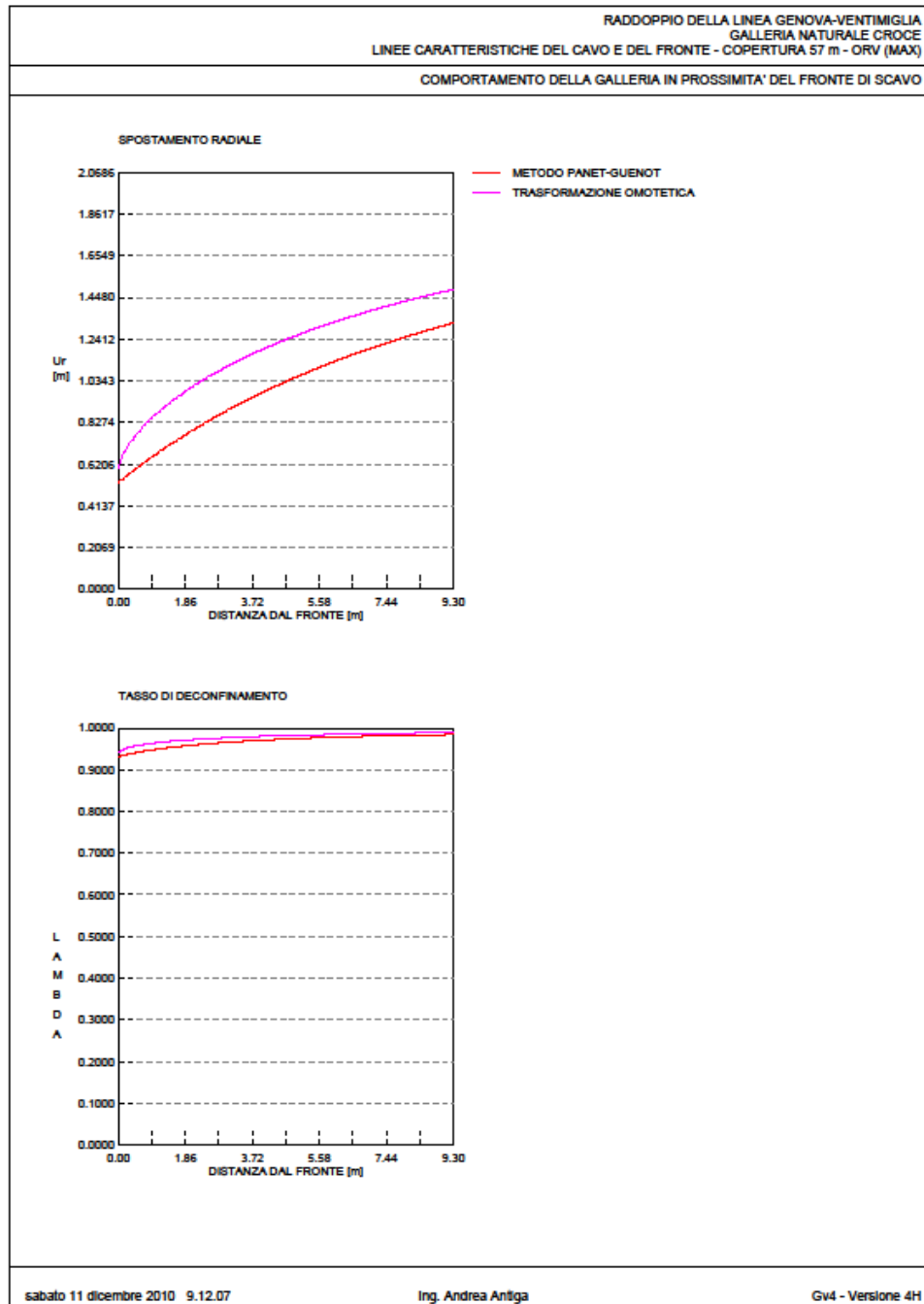


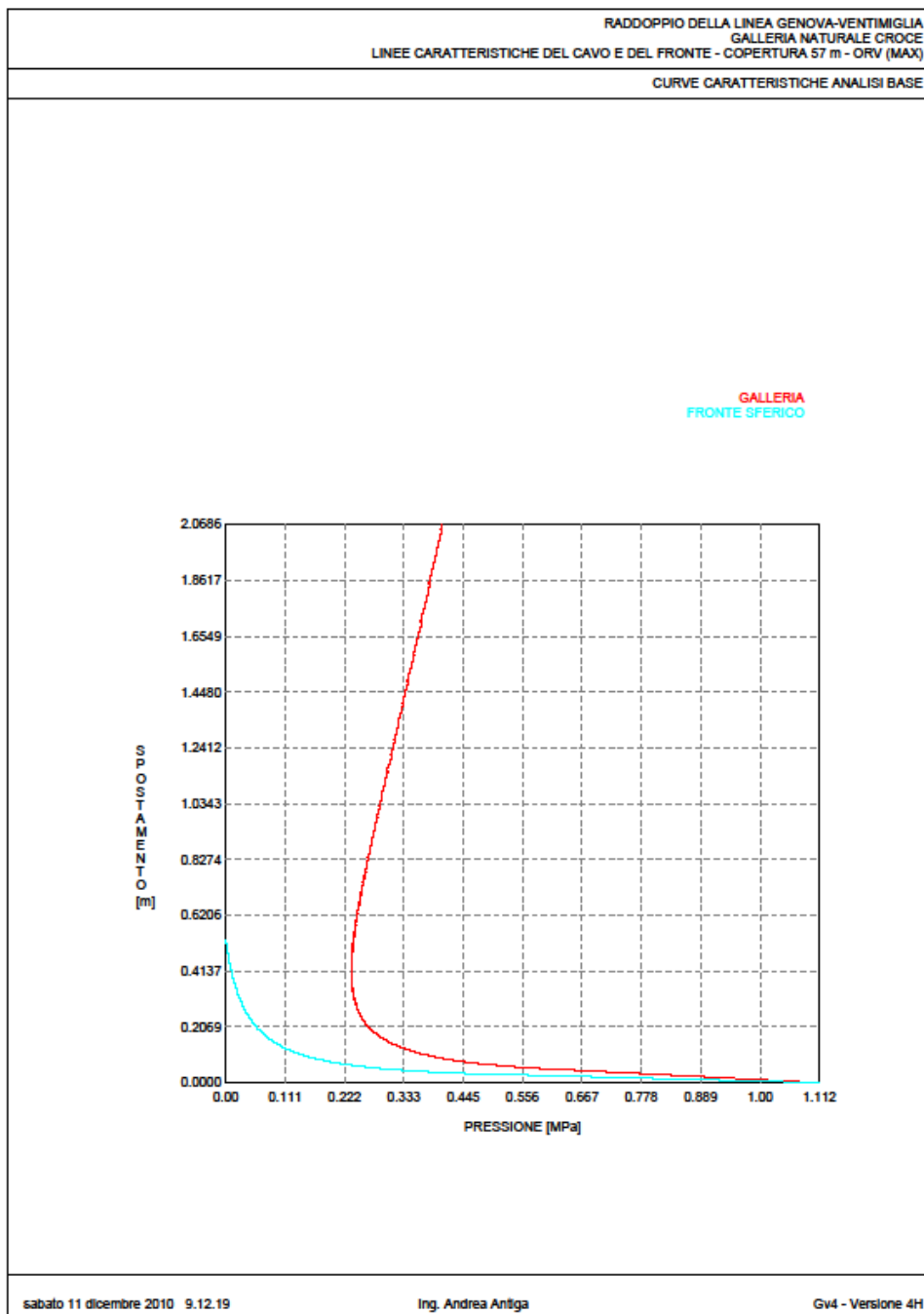
Figura 22– Tavola Riassuntiva



**Figura 23– deformata longitudinale**

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
L371	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	2



**Figura 24– curve caratteristiche**

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
L371	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	2

## 7 SEZIONE 10

### 7.1 FASE DI DIAGNOSI

```

#####          CALCOLO GALLERIE CON METODO
#####          CONVERGENZA-CONFINAMENTO
#####          SOLUTORE TRANSFER-MATRIX

#####          VERSIONE 4 (2003)
#####          ##

RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA
GALLERIA NATURALE CROCE
LINEE CARATTERISTICHE DEL CAVO E DEL FRONTE - COPERTURA 403 m - SFM-do-ZDF (385)

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

D A T I   A N A L I S I

R galleria [m] ..... 4.65000

PARAMETRI GEOTECNICI .....
Tensione originaria [MPa] ..... 11.01600
Modulo di Young [MPa] ..... 800.00000
Coefficiente di Poisson ..... 0.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] ..... 27.00000
Pressione interstiziale falda indisturbata [MPa] ..... 0.00000
Pressione interstiziale al bordo scavo B.T. [MPa] ..... 0.00000
Raggio influenza idraulica galleria B.T. [m] ..... 4.65000
Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa] ..... 0.00000
Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m] ..... 4.65000
RESISTENZA ROCCIA .....
Coesione picco [MPa] ..... 0.56900
Angolo attrito picco [°] ..... 25.00000
Coesione residua [MPa] ..... 0.56900
Angolo attrito residuo [MPa] ..... 25.00000
Angolo dilatanza [°] ..... 0.00000
Modulo di softening apparente Ha [MPa] ..... 0.00000
Modulo di softening H [MPa] ..... 0.00000

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

Press. fine calcolo curva galleria [MPa] ..... 0.296697
Spostamento radiale galleria [m] ..... 0.571075
Raggio plastico galleria [m] ..... 15.638794
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] ..... 0.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] ..... 0.172567
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] ..... 0.056822
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ..... 0.165612
Raggio plastico fronte sferico [m] ..... 8.170875

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

Pressione fine calcolo [MPa] ..... 0.296697
Spost. radiale galleria fine calcolo [m] ..... 0.571075
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] ..... 15.638794

```

Figura 25– output di calcolo

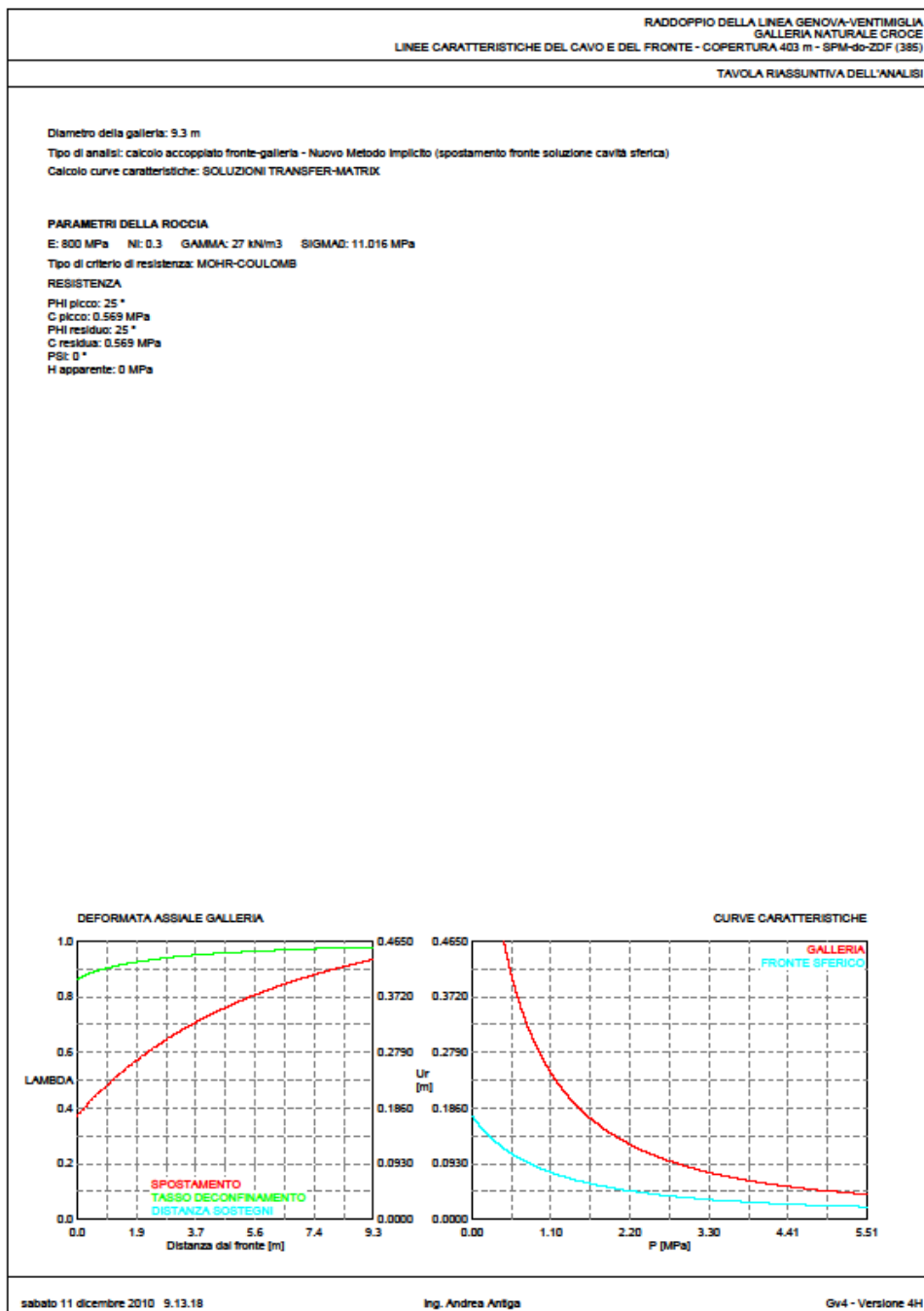


Figura 26 – Tavola Riassuntiva



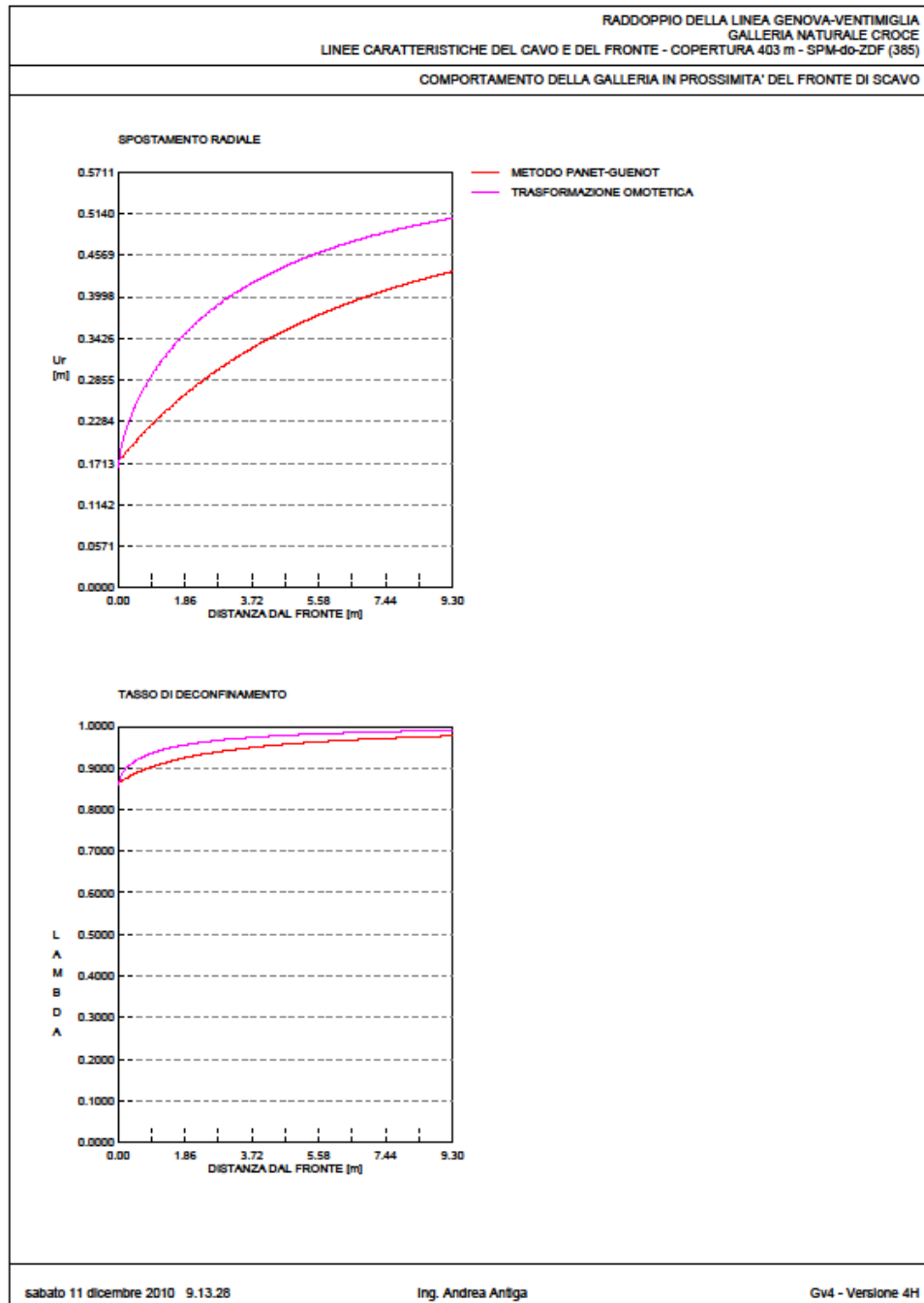
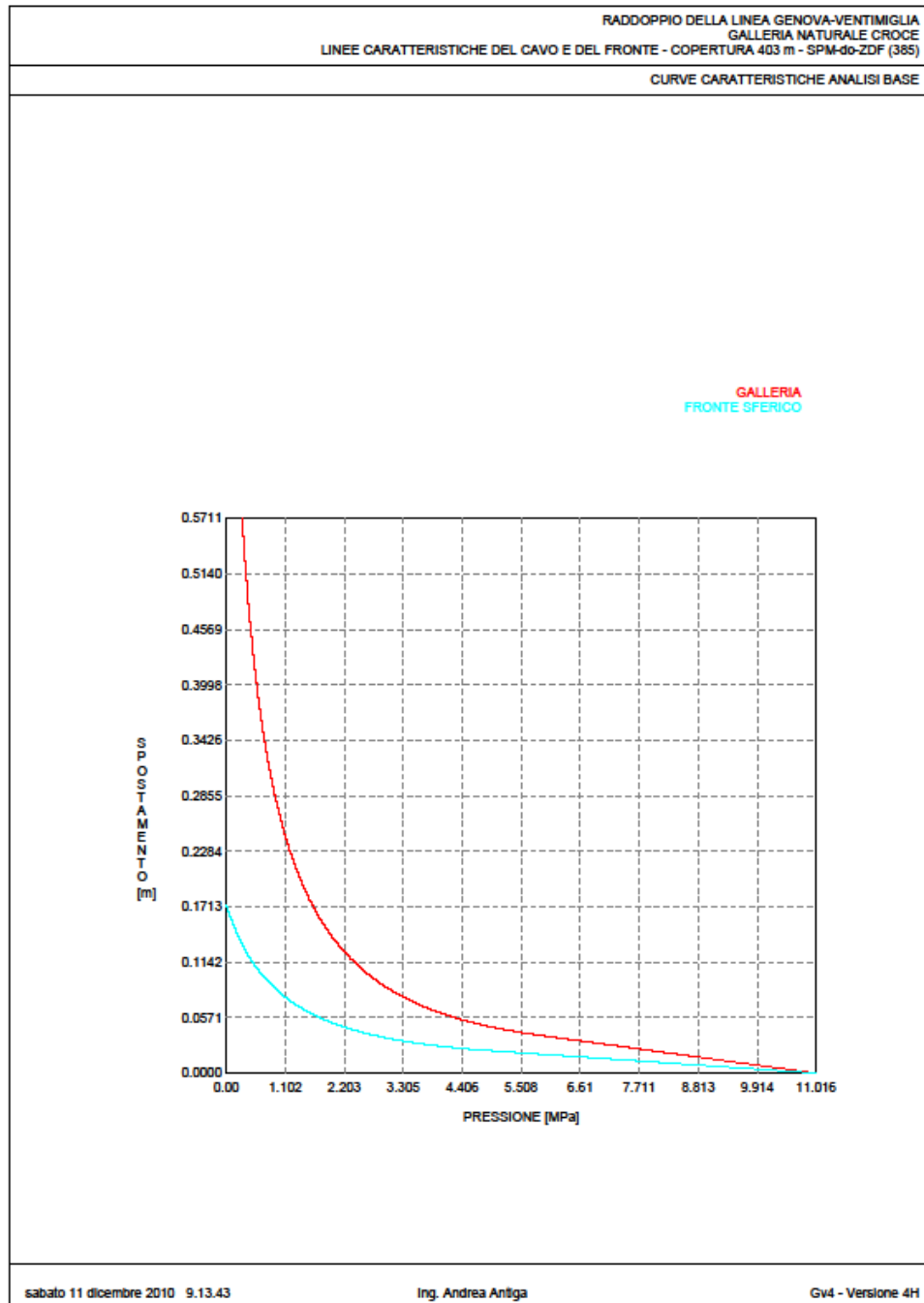


Figura 27– deformata longitudinale



**Figura 28– curve caratteristiche**



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA  
**PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE ANDORA**

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
L371	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	2

## 7.2 FASE DI TERAPIA

### 7.2.1 ANALISI AI+MI+RI

```

#####          CALCOLO GALLERIE CON METODO
#####          CONVERGENZA-CONFINAMENTO
###           SOLUTORE TRANSFER-MATRIX
###
###          ##### ## ## ##
###          ##### ## ## ##
###          ### ## ## ##
#####          ## ## ## ##
#####          ##### #####
#####          ##
  
```

VERSIONE 4 (2003)

RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA  
 GALLERIA NATURALE CROCE  
 LINEE CARATTERISTICHE DEL CAVO E DEL FRONTE - COPERTURA 403 m - SPM-do-ZDF (385)

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

#### D A T I A N A L I S I

```

R galleria [m] ..... 4.65000

PARAMETRI GEOTECNICI -----
Tensione originaria [MPa] ..... 11.01600
Modulo di Young [MPa] ..... 800.00000
Coefficiente di Poisson ..... .30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] . 27.00000
Pressione interstiziale falda indisturbata [MPa] .. .00000
Pressione interstiziale al bordo scavo B.T. [MPa].. .00000
Raggio influenza idraulica galleria B.T. [m] ..... 4.65000
Pressione interstiziale al bordo scavo L.T. [MPa].. .00000
Raggio influenza idraulica galleria L.T. [m] ..... 4.65000
RESISTENZA ROCCIA
Coesione picco [MPa] ..... .56900
Angolo attrito picco [°] ..... 25.00000
Coesione residua [MPa] ..... .56900
Angolo attrito residuo [MPa] ..... 25.00000
Angolo dilatanza [°] ..... .00000
Modulo di softening apparente Ha [MPa] ..... .00000
Modulo di softening H [MPa] ..... .00000

FRESA SCUDATA -----
Spessore scudo metallico [m] ..... .03000
Gioco tra scudo e roccia [m] ..... .05000
Pressione sul fronte di scavo [MPa] ..... .00000
Coefficiente di Poisson acciaio scudo ..... .30000
Modulo Young acciaio scudo [MPa] ..... 200000.00000
Resistenza acciaio scudo [MPa] ..... 261.90000
Intasamento con filler (1=si,0=no) ..... 1

RIVESTIMENTO DEFINITIVO -----
Distanza dal fronte alla messa in opera [m] ..... 8.00000
Spessore CLS [m] ..... .40000
Modulo Young CLS [MPa] ..... 34077.00000
Coefficiente di Poisson CLS ..... .20000
Resistenza compressione CLS [MPa] ..... 23.33000
Opzione calcolo rivestimento ..... 0
[0 prerivestimenti non collaboranti a lungo termine]
[1 prerivestimenti collaboranti a lungo termine]
Gioco radiale posa in opera rivestimento [m] ..... .10000
  
```

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

```

Press. fine calcolo curva galleria [MPa] ..... .296697
Spostamento radiale galleria [m] ..... .571075
Raggio plastico galleria [m] ..... 15.638794
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] ..... .000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] ..... .172567
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] ..... .056822
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ... .165612
Raggio plastico fronte sferico [m] ..... 8.170875
  
```

STATO GALLERIA AL FRONTE DI SCAVO (PER FRESA SCUDATA) -----

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
L371	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	2

Metodo Panet-Guenot  
 U [m] : .17257  
 LAMBDA : .86429

Trasformazione Omotetica  
 U [m] : .16561  
 LAMBDA : .85764

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica  
 U [m] : .17257  
 LAMBDA : .86429

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns  
 U [m] : .05682  
 LAMBDA : .61355

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica  
 U [m] : .16561  
 LAMBDA : .85764

STATO GALLERIA ALLA MESSA IN OPERA DEL RIVESTIMENTO -----

Metodo Panet-Guenot  
 U [m] : .41711  
 LAMBDA : .97343

Trasformazione Omotetica  
 U [m] : .49475  
 LAMBDA : .98852

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica  
 U [m] : .28284  
 LAMBDA : .93248

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns  
 U [m] : .21963  
 LAMBDA : .90015

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica  
 U [m] : .27889  
 LAMBDA : .93081

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

Pressione fine calcolo [MPa] ..... .296697  
 Spost. radiale galleria fine calcolo [m] ..... .571075  
 Raggio plastico galleria fine calcolo [m] ..... 15.638794

FRESA SCUDATA -----  
 Raggio plastico al punto di equilibrio [m] ..... 10.07499  
 Pressione al punto di equilibrio [MPa] ..... 1.21127  
 Spostamento al punto di equilibrio [m] ..... .17482  
 Convergenza radiale scudo [m] ..... .00225  
 Tensione scudo [MPa] ..... 107.35436  
 Coefficiente di sicurezza scudo ..... 2.43958  
 Pressione rottura scudo [MPa] ..... 1.68423  
 Rigidezza scudo [MPa] ..... 1426.46768

RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) -----  
 Raggio plastico punto di equilibrio [m] ..... 10.14703  
 Pressione punto di equilibrio [MPa] ..... 1.20239  
 Spostamento punto di equilibrio [MPa] ..... .22646  
 Spostamento galleria alla messa in opera [m] ..... .22482  
 Convergenza radiale rivestimento [m] ..... .00164  
 Tensione CLS [MPa] ..... 14.30601  
 Coefficiente di sicurezza CLS ..... 1.63078  
 Pressione rottura CLS [MPa] ..... 1.96084  
 Rigidezza anello CLS [MPa] ..... 3333.66955  
 Tasso di deconfinamento alla messa in opera ..... .932481

**Figura 29– output di calcolo**

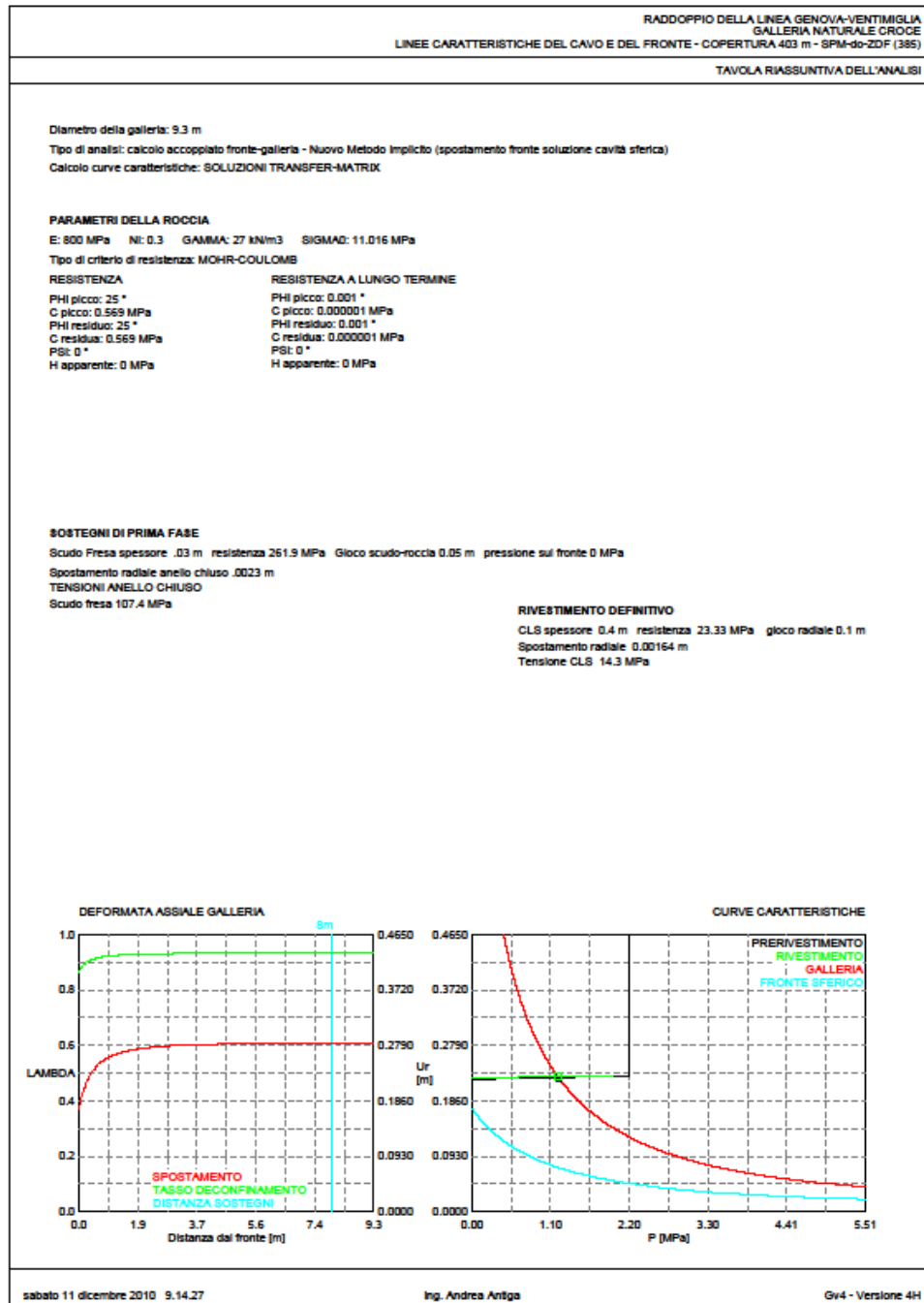
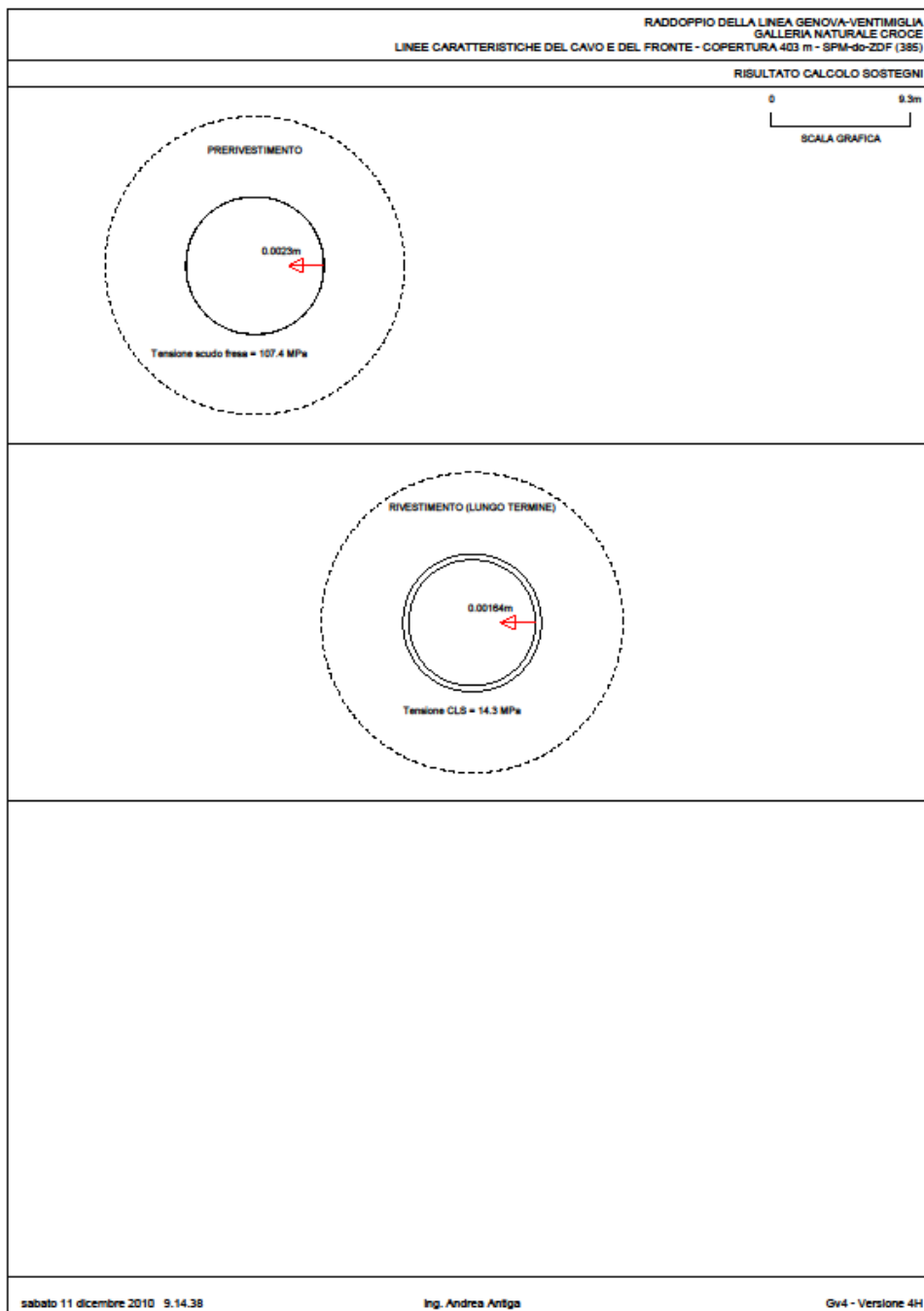


Figura 30– Tavola Riassuntiva

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
L371	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	2



**Figura 31 – Risultati Sostegni**

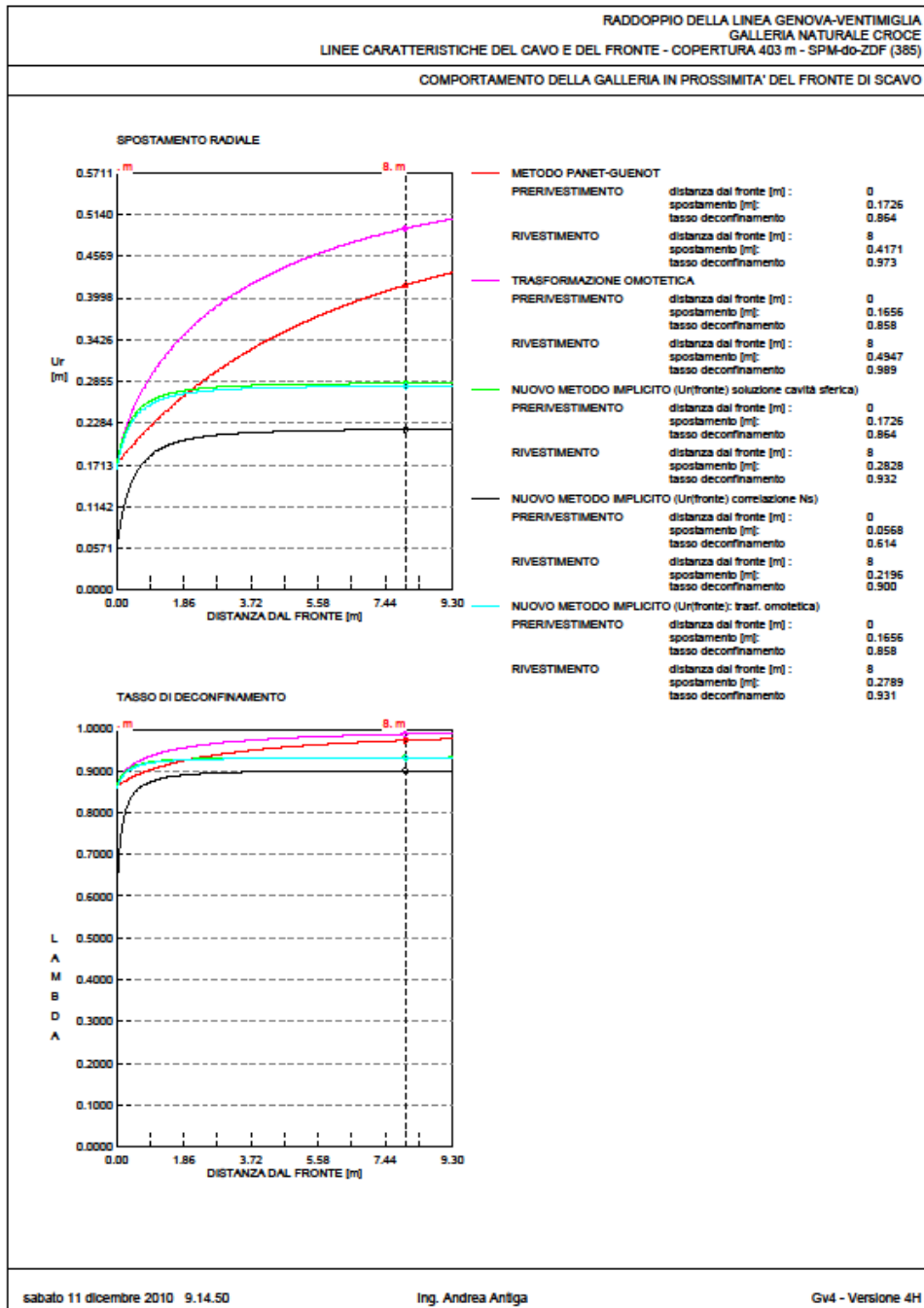


Figura 32 – Deformata Longitudinale

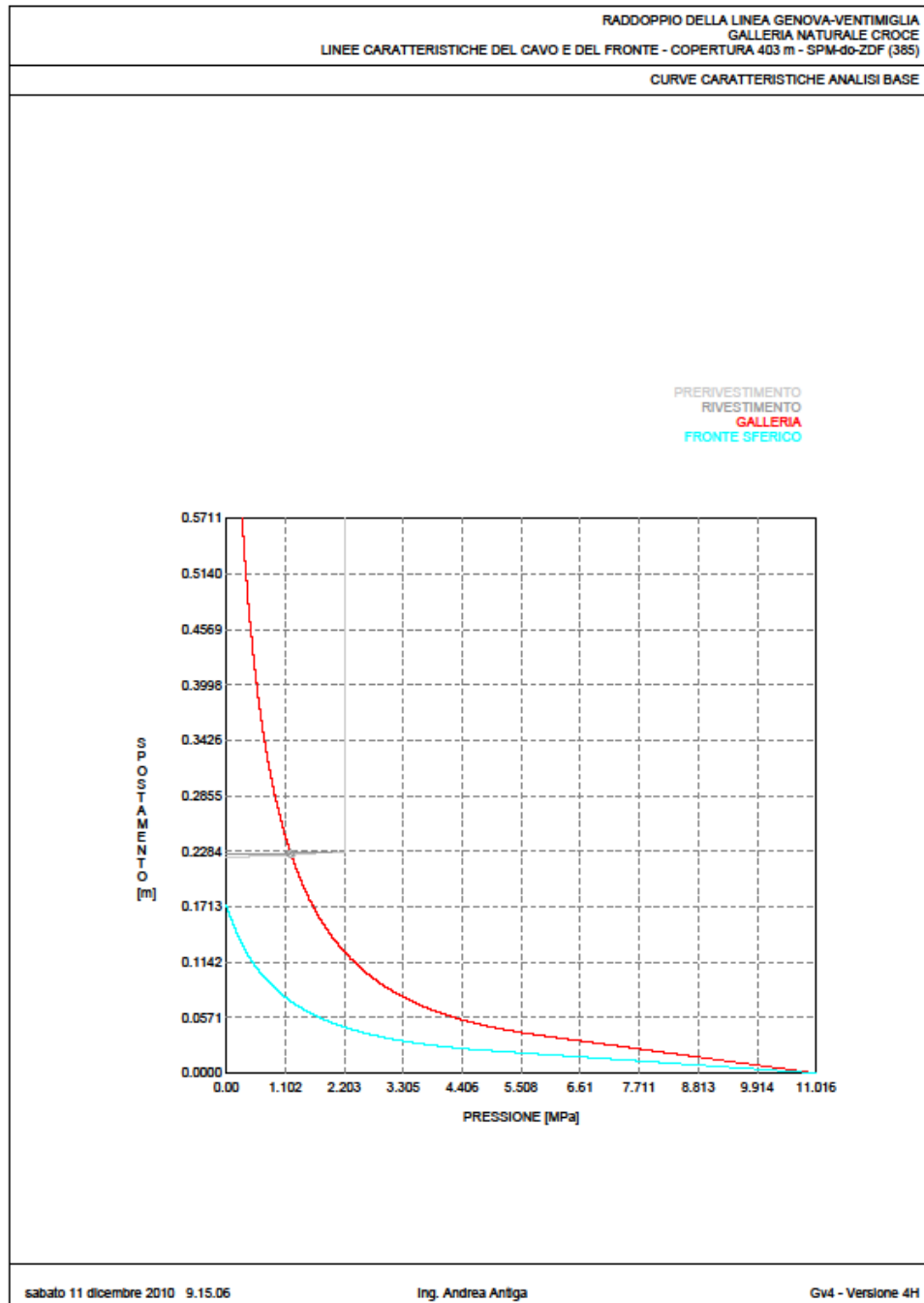


Figura 33 – Curve Caratteristiche





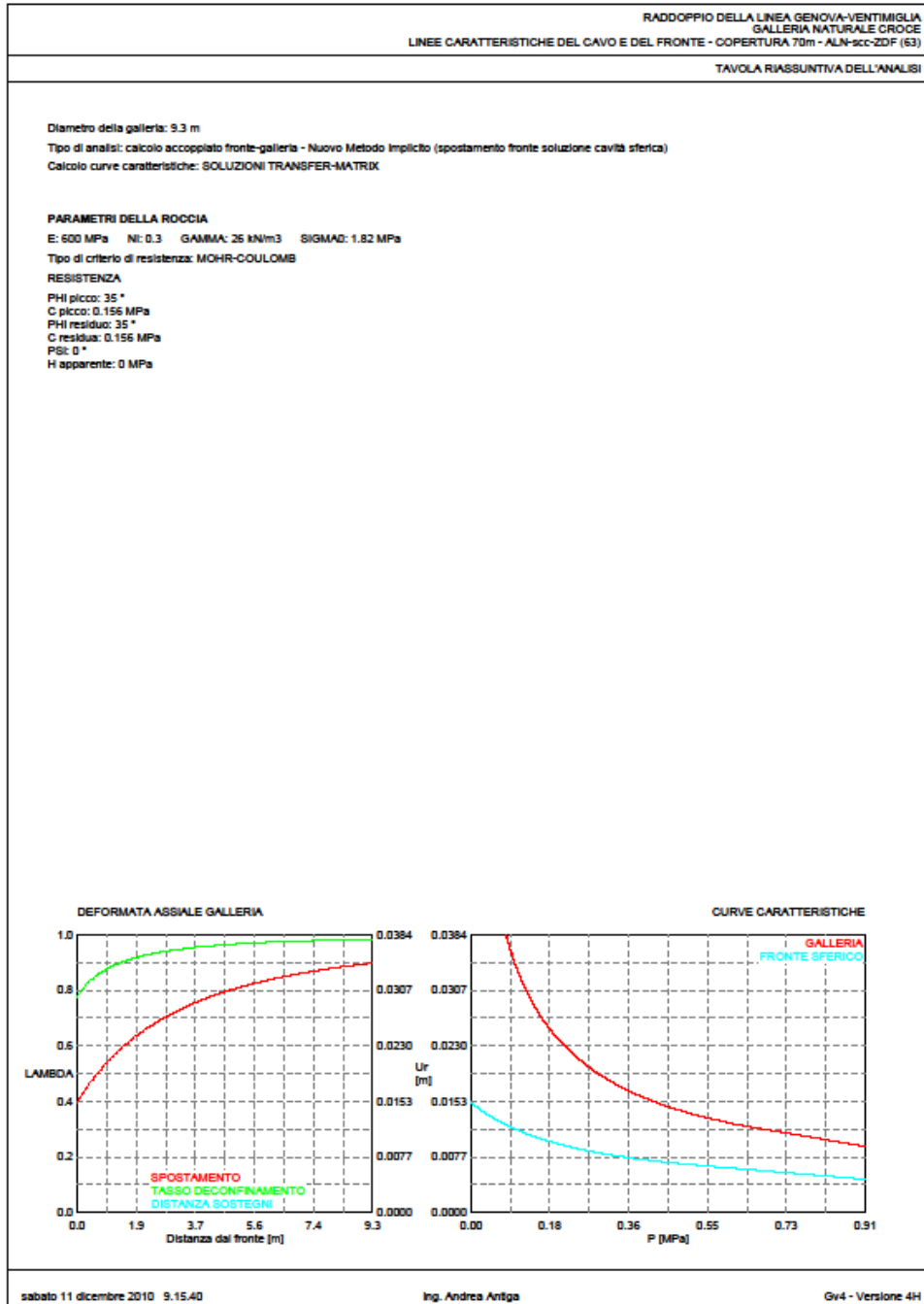


Figura 35– Tavola Riassuntiva

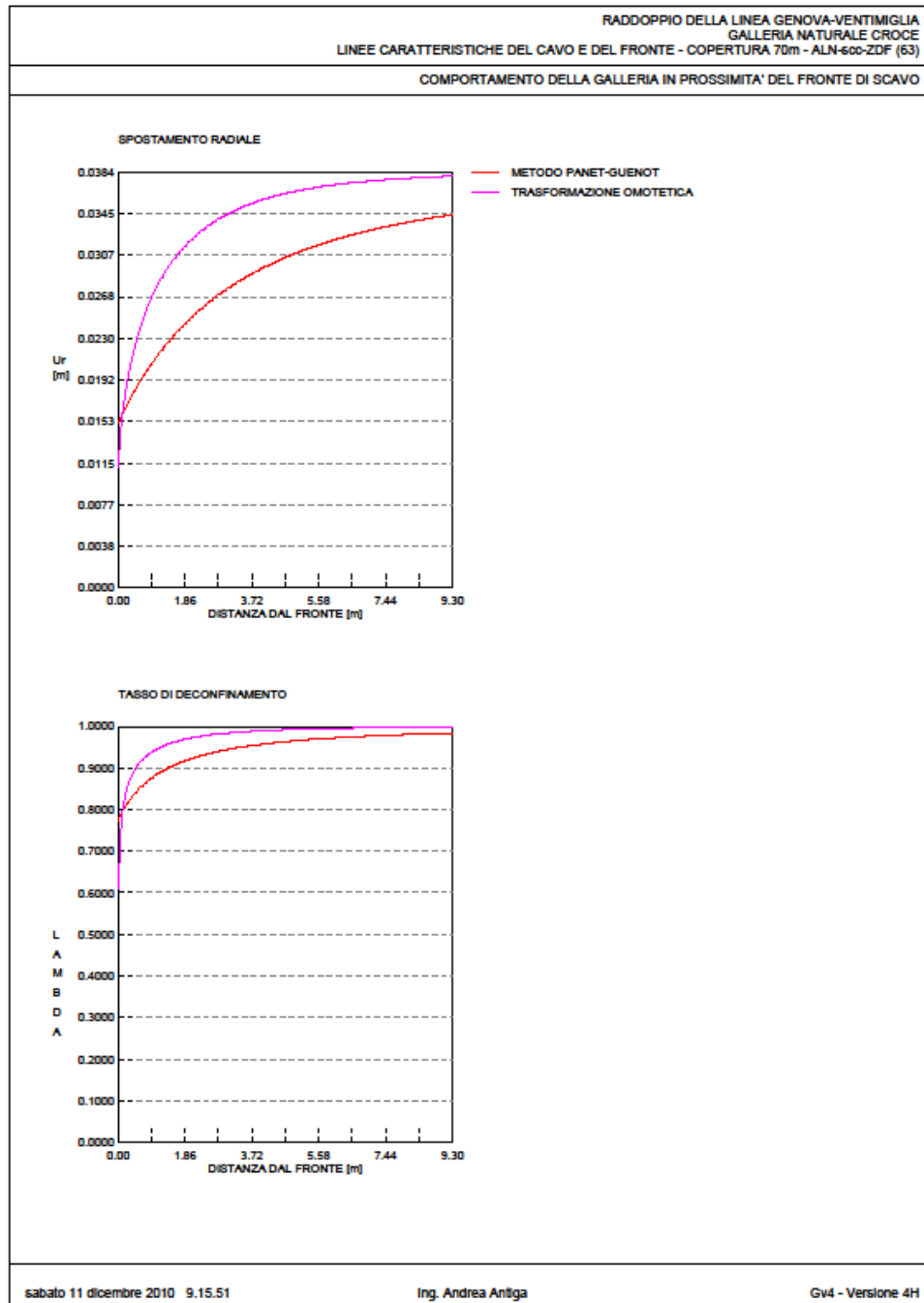
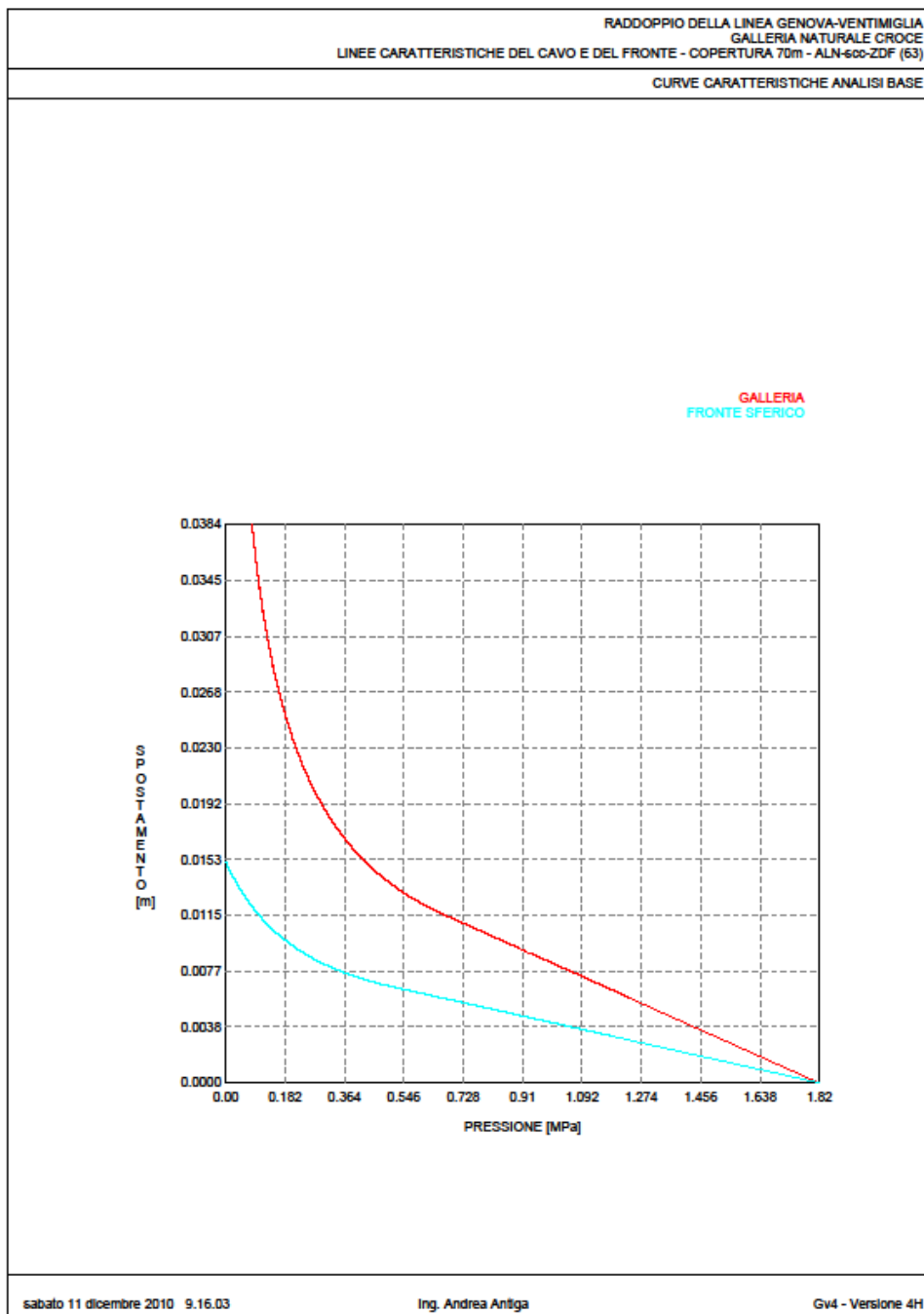


Figura 36– deformata longitudinale



**Figura 37– curve caratteristiche**



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
**PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	B	2

## ALLEGATO 2

<b>TITOLO</b>	Risultati delle analisi terreno - struttura
<b>TIPO DI DOCUMENTO:</b>	Documento - Formato A4
<b>CODIFICA:</b>	-
<b>PAGINE:</b>	153
<b>DATA:</b>	-
<b>SORGENTE:</b>	-
<b>NOTE:</b>	-



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

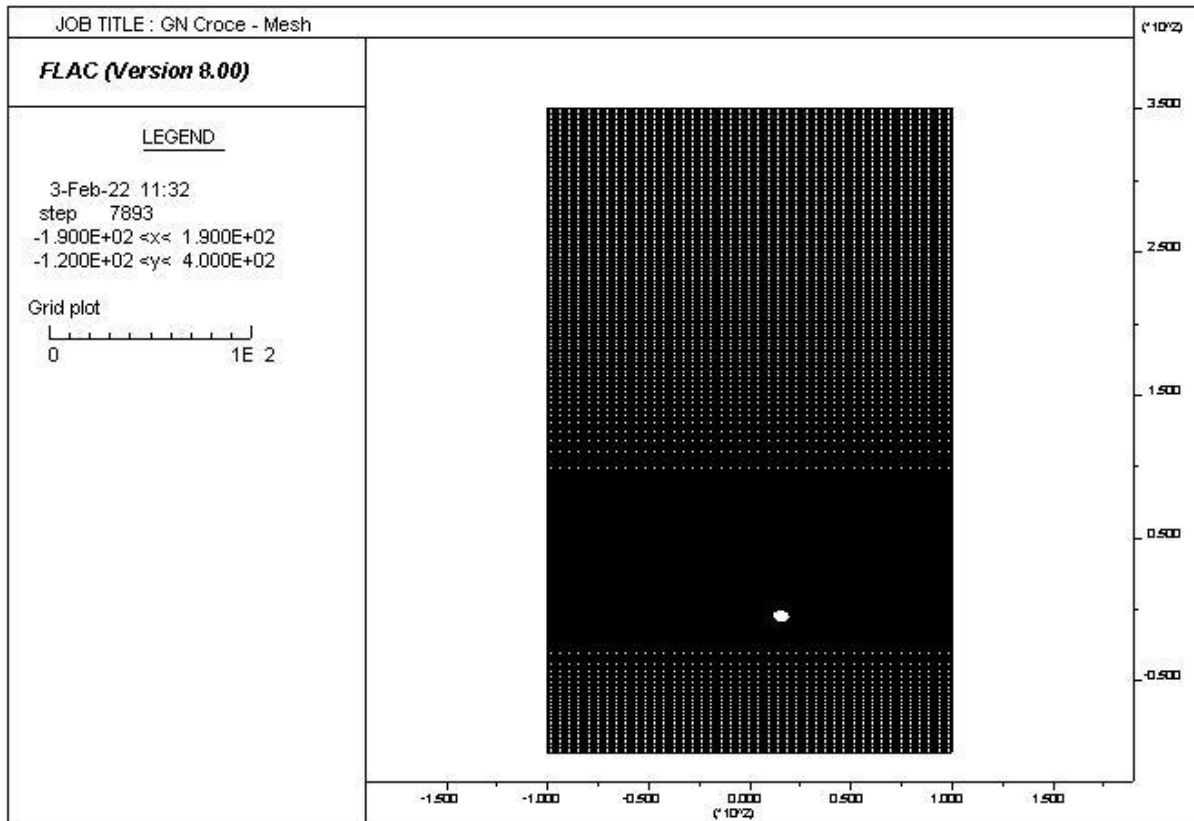
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

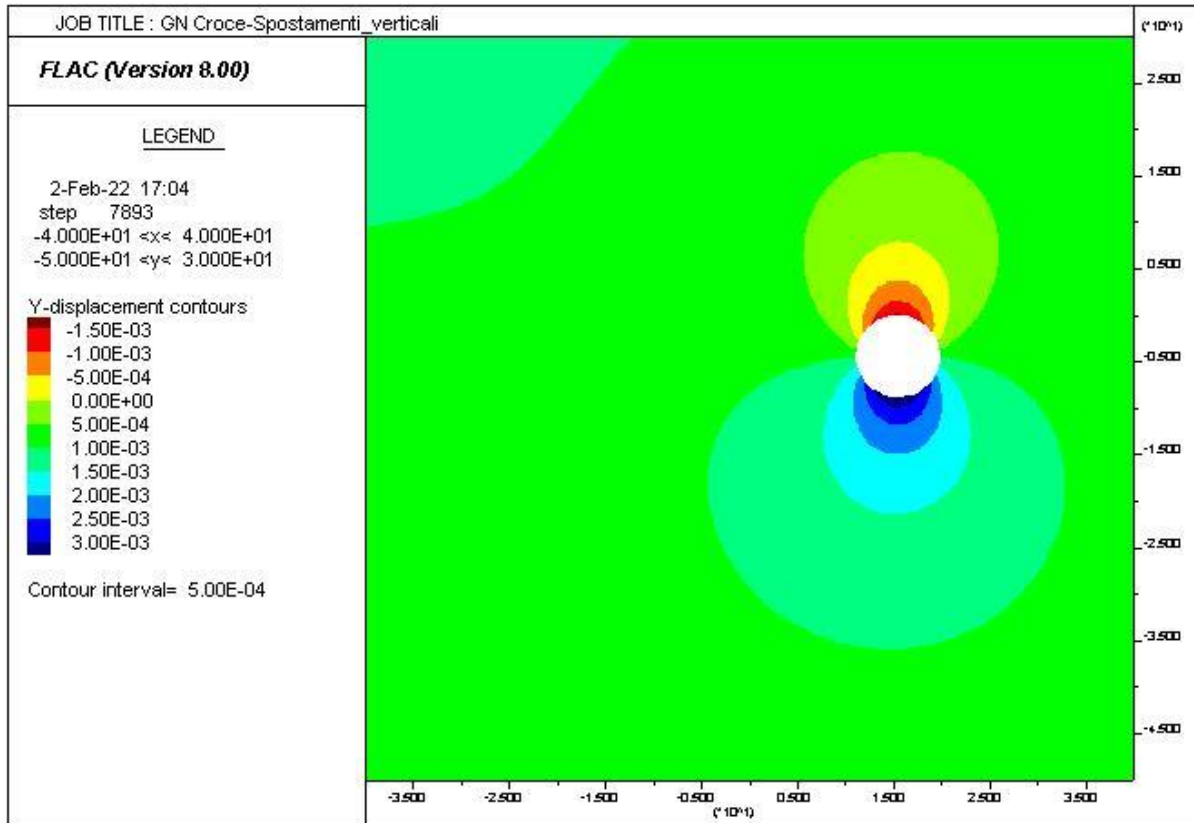
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

## 1 ALLEGATO 2

### 1.1 ANALISI N. 1 - TBM alte coperture (pk 79+200)

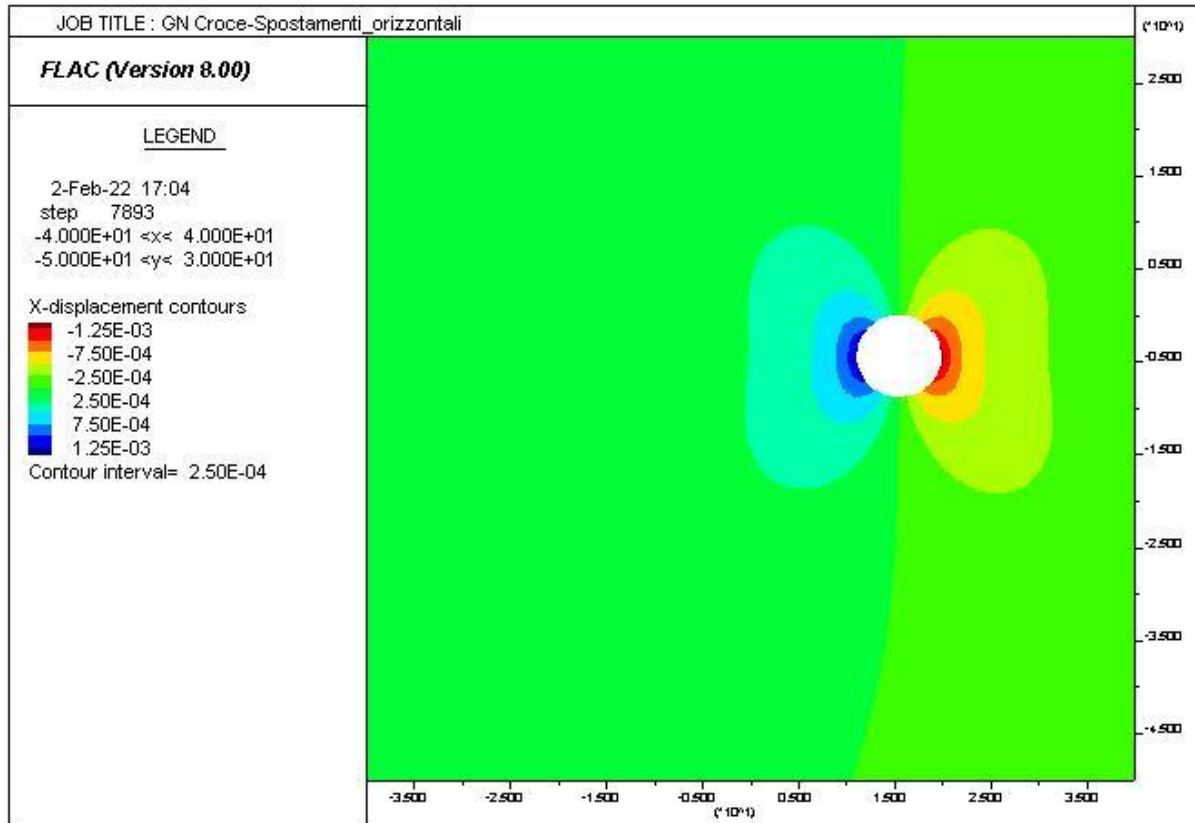
FASE 3





RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3



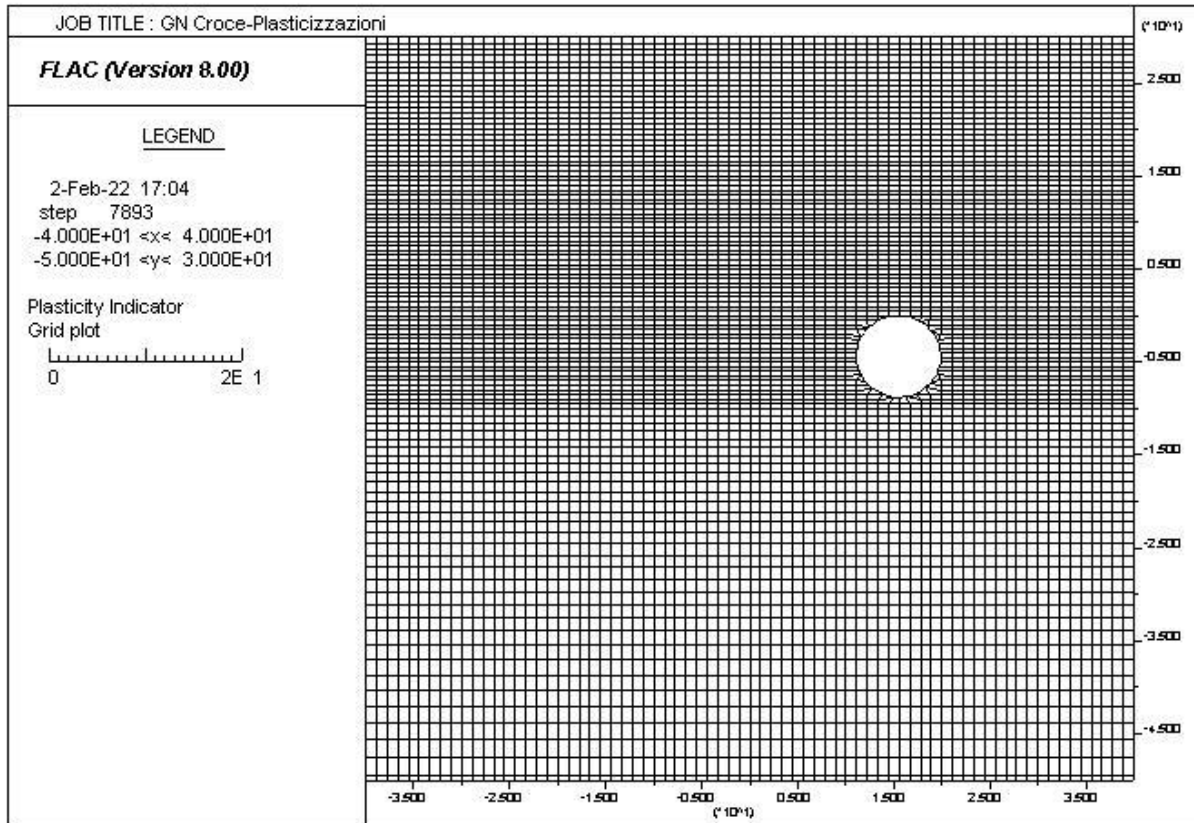


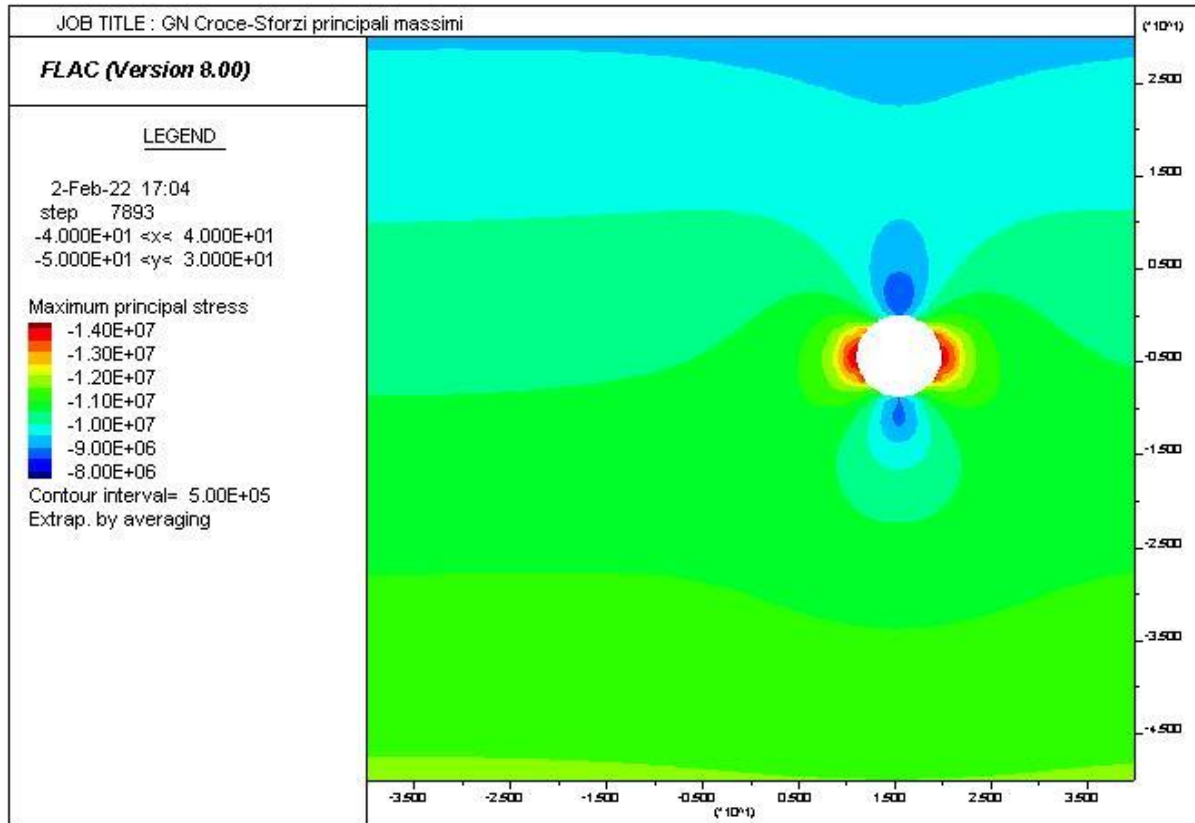


RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

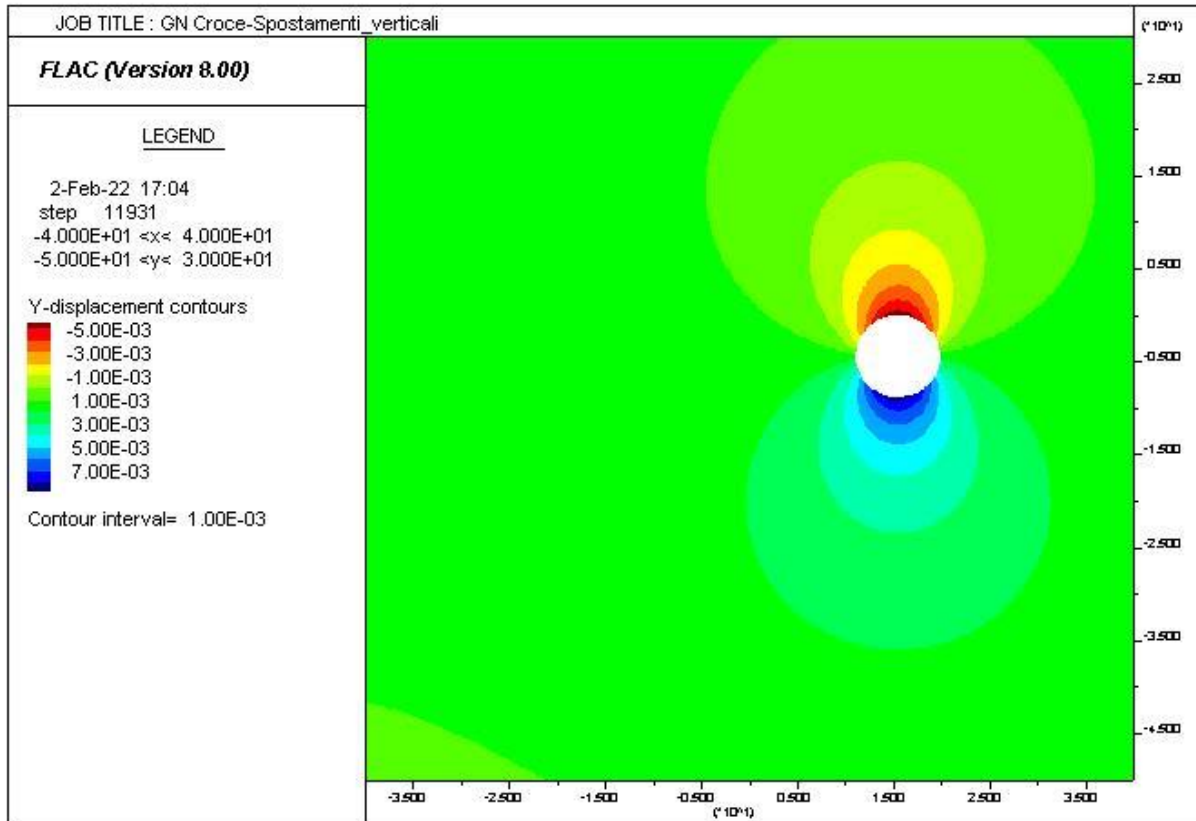
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3





FASE 5

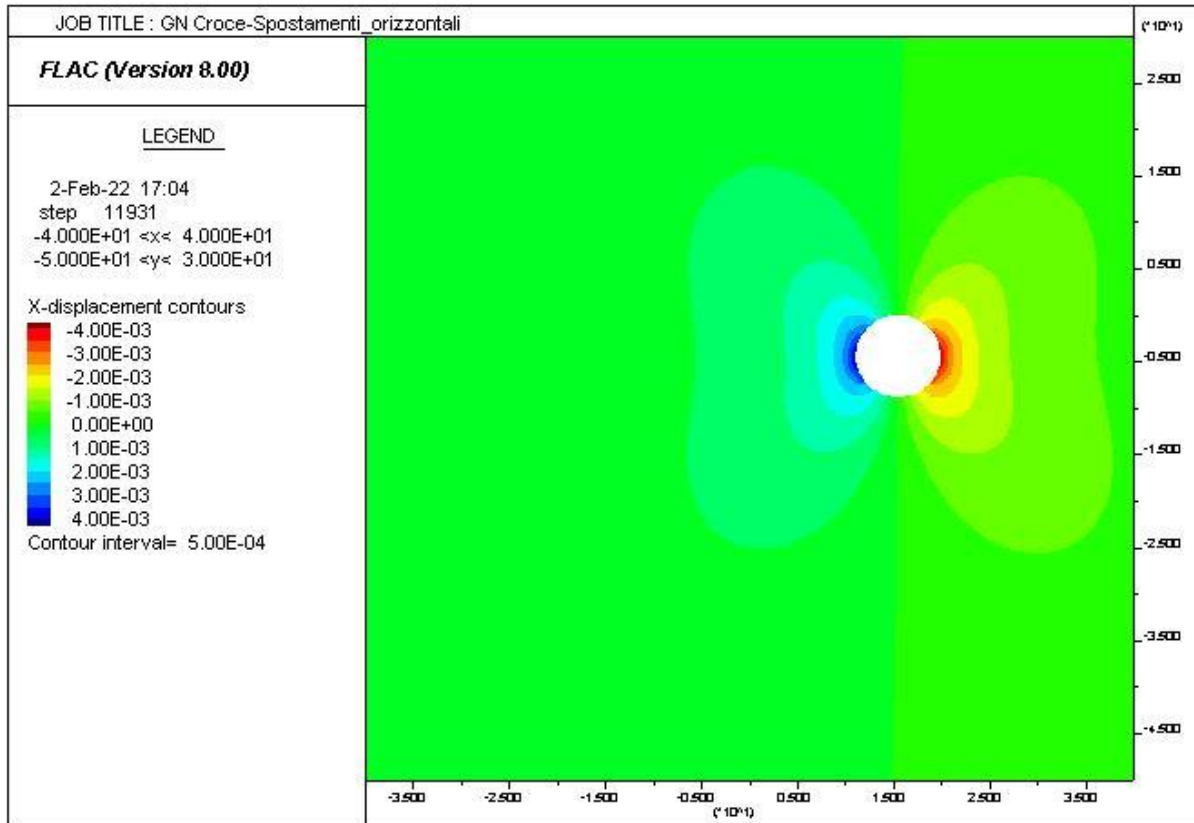




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

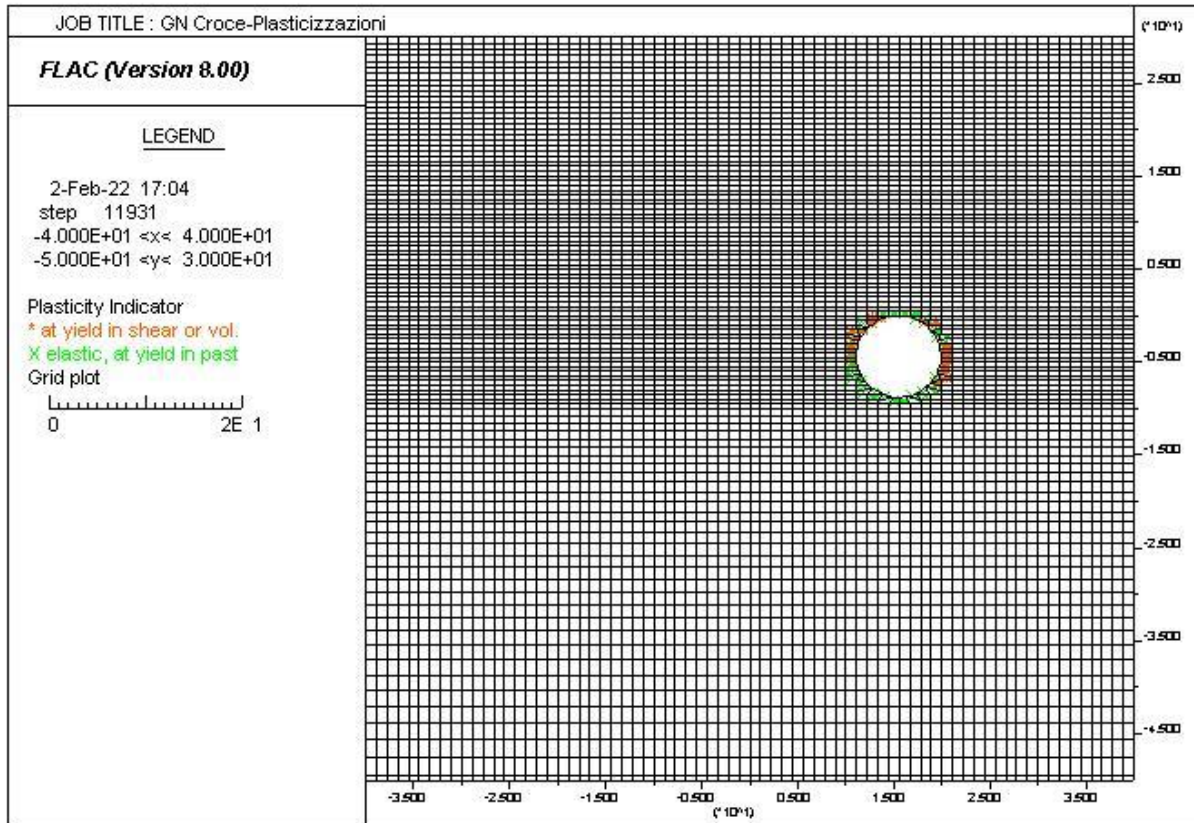


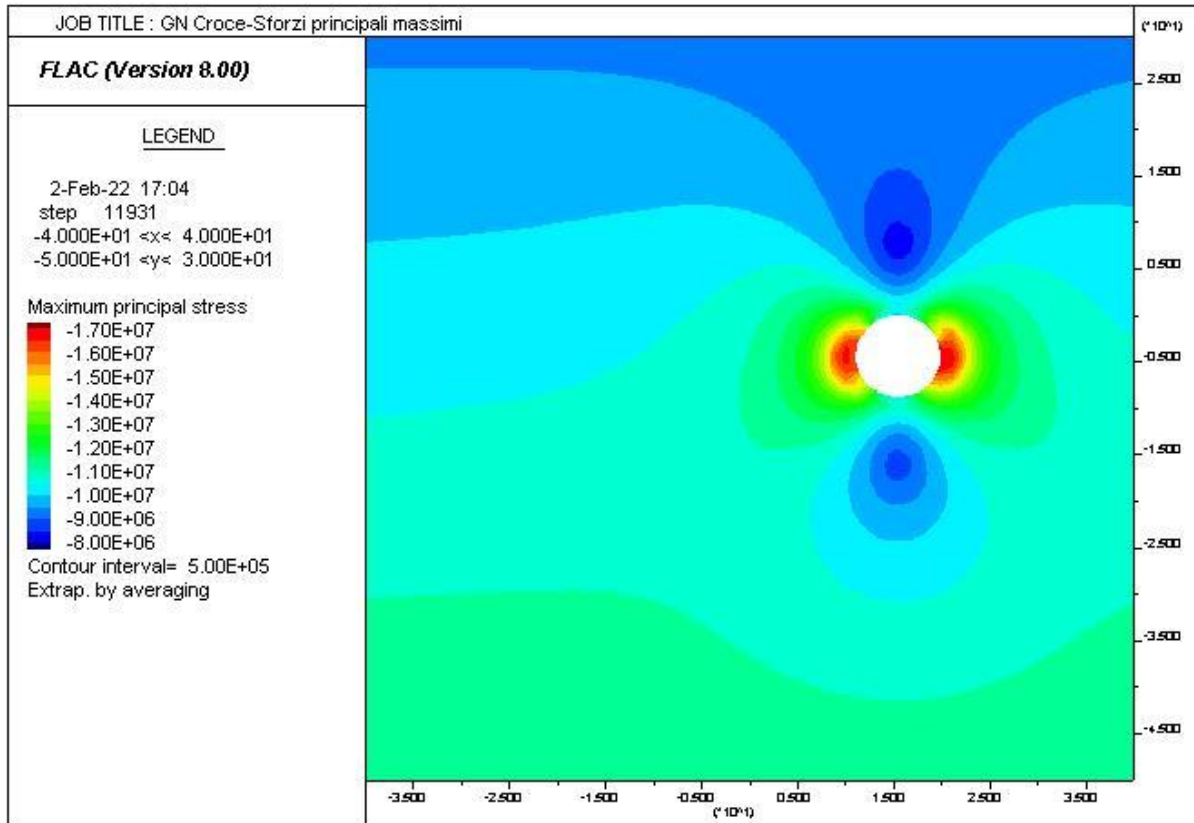


RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3





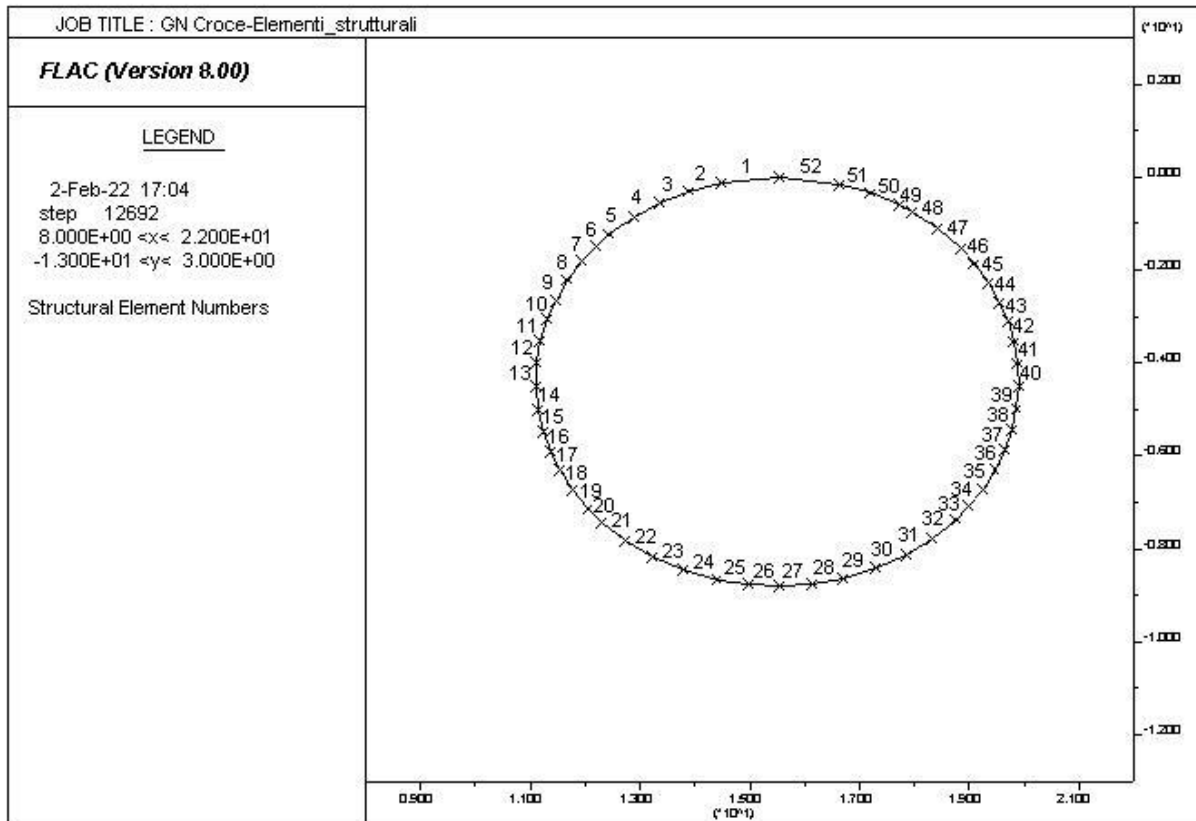


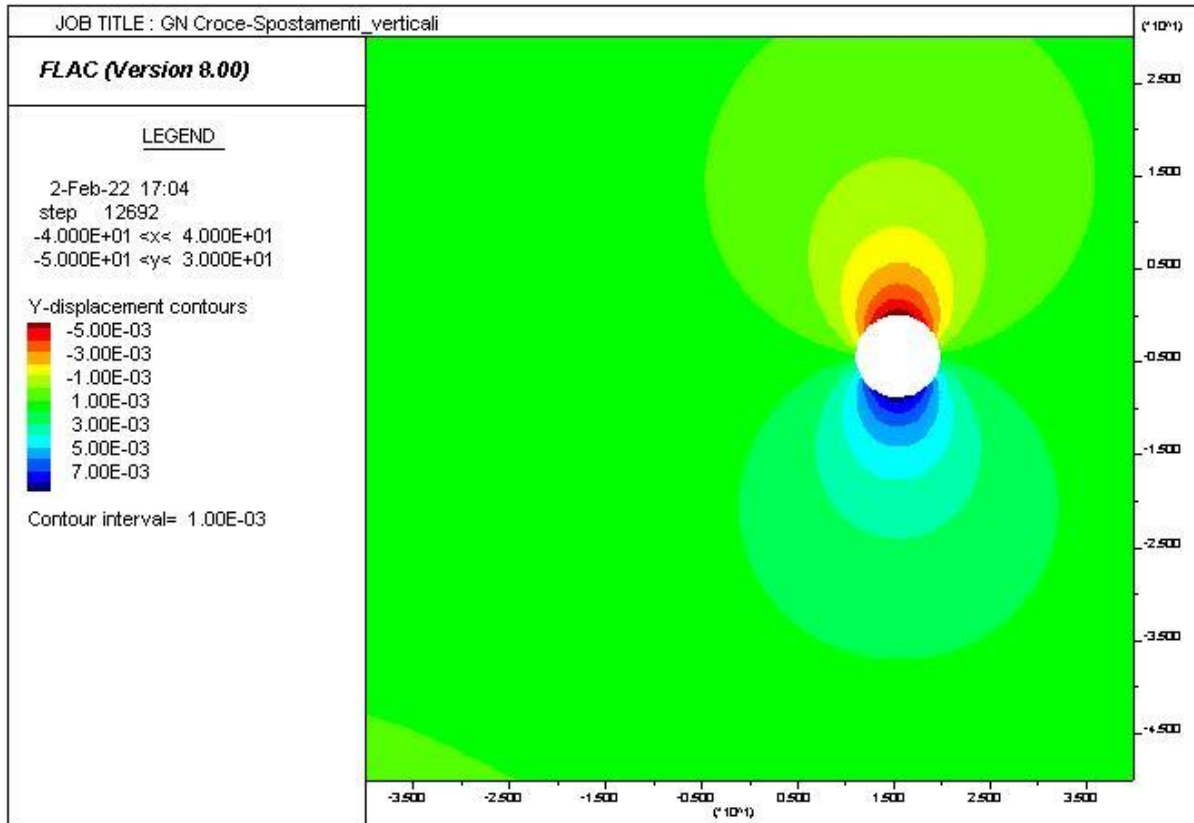
RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
**PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

FASE 6





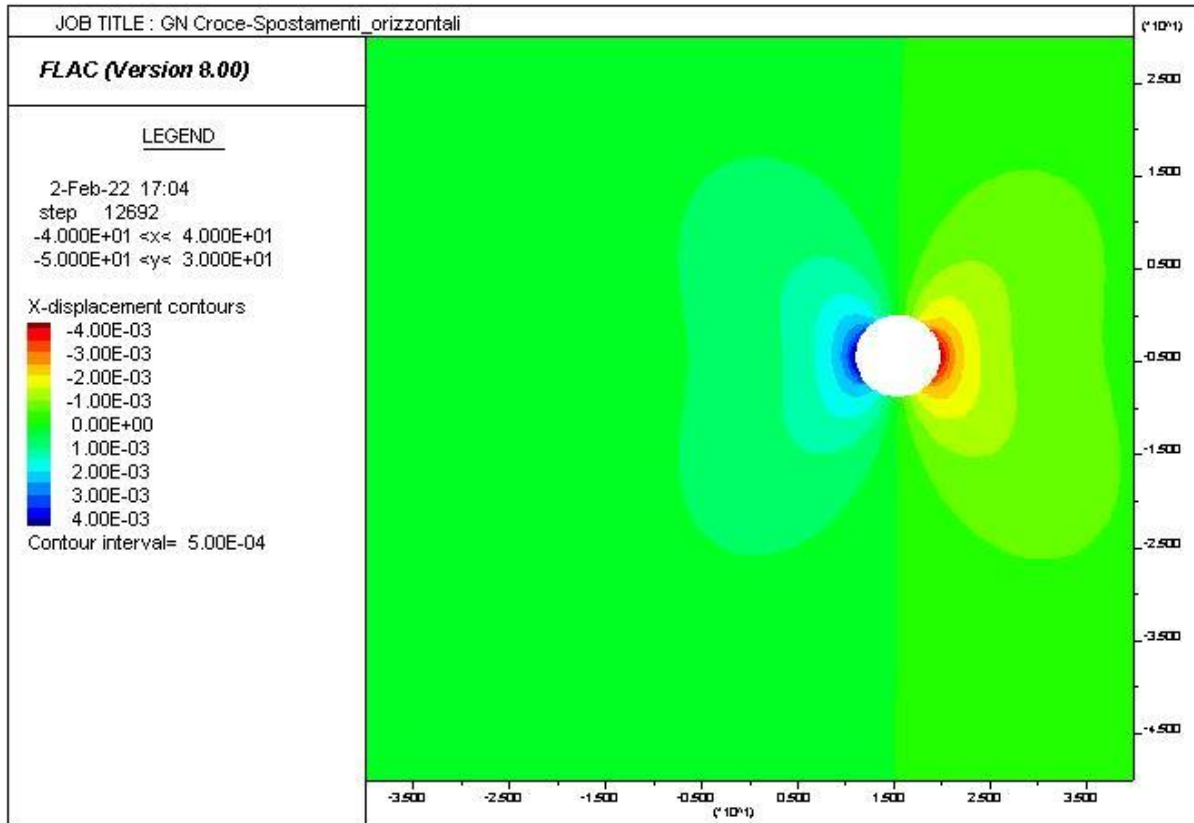




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

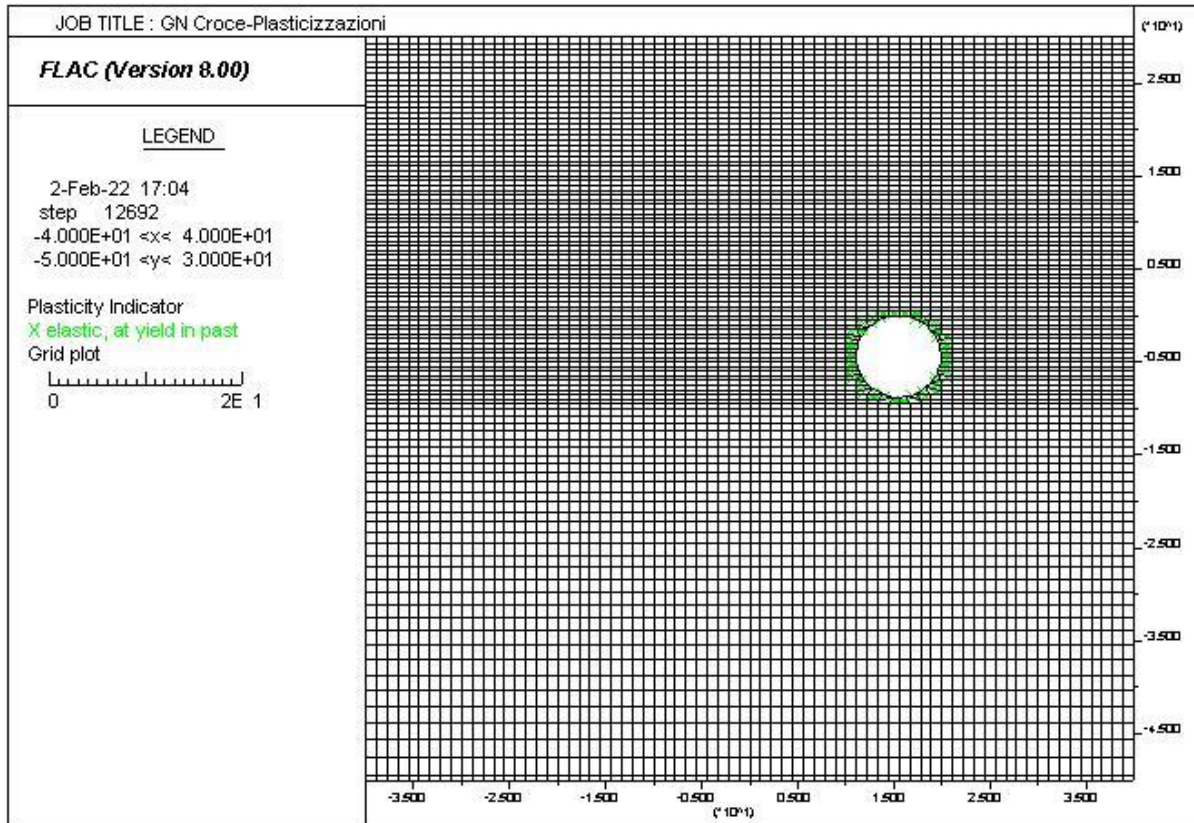




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

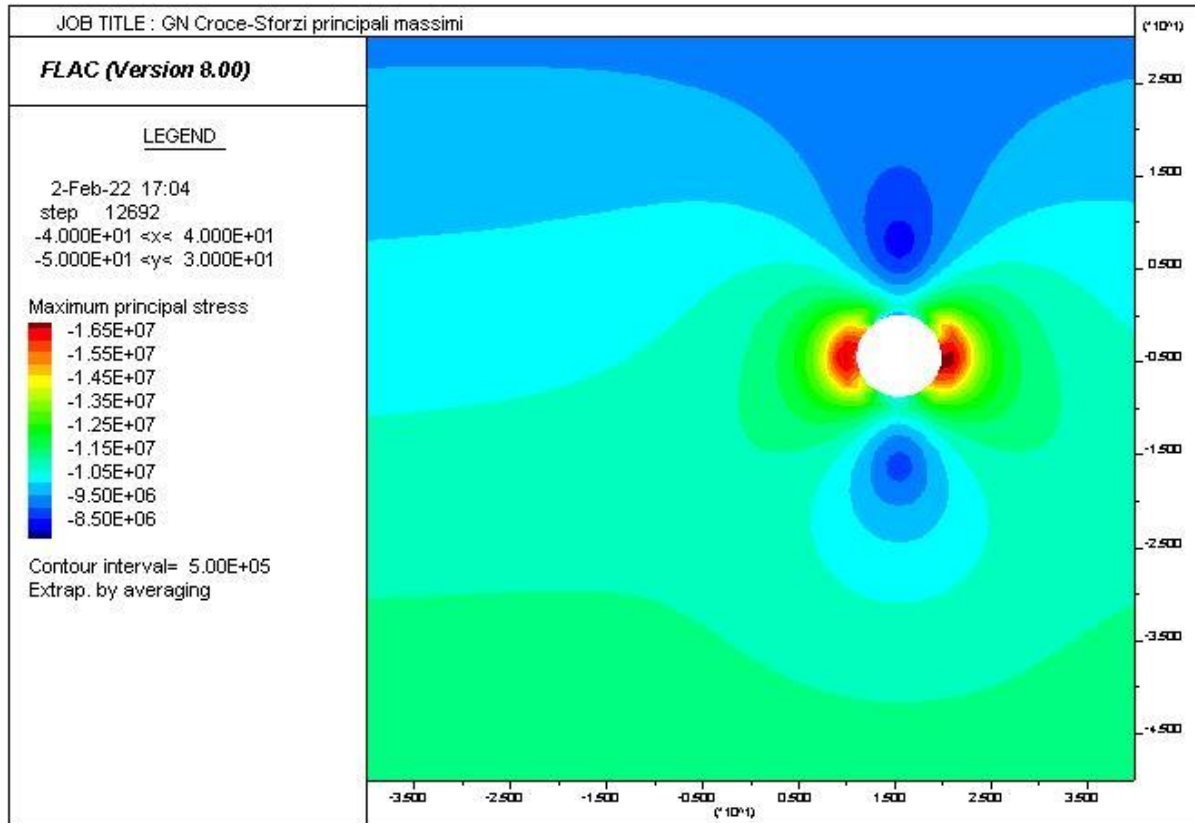
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3



RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

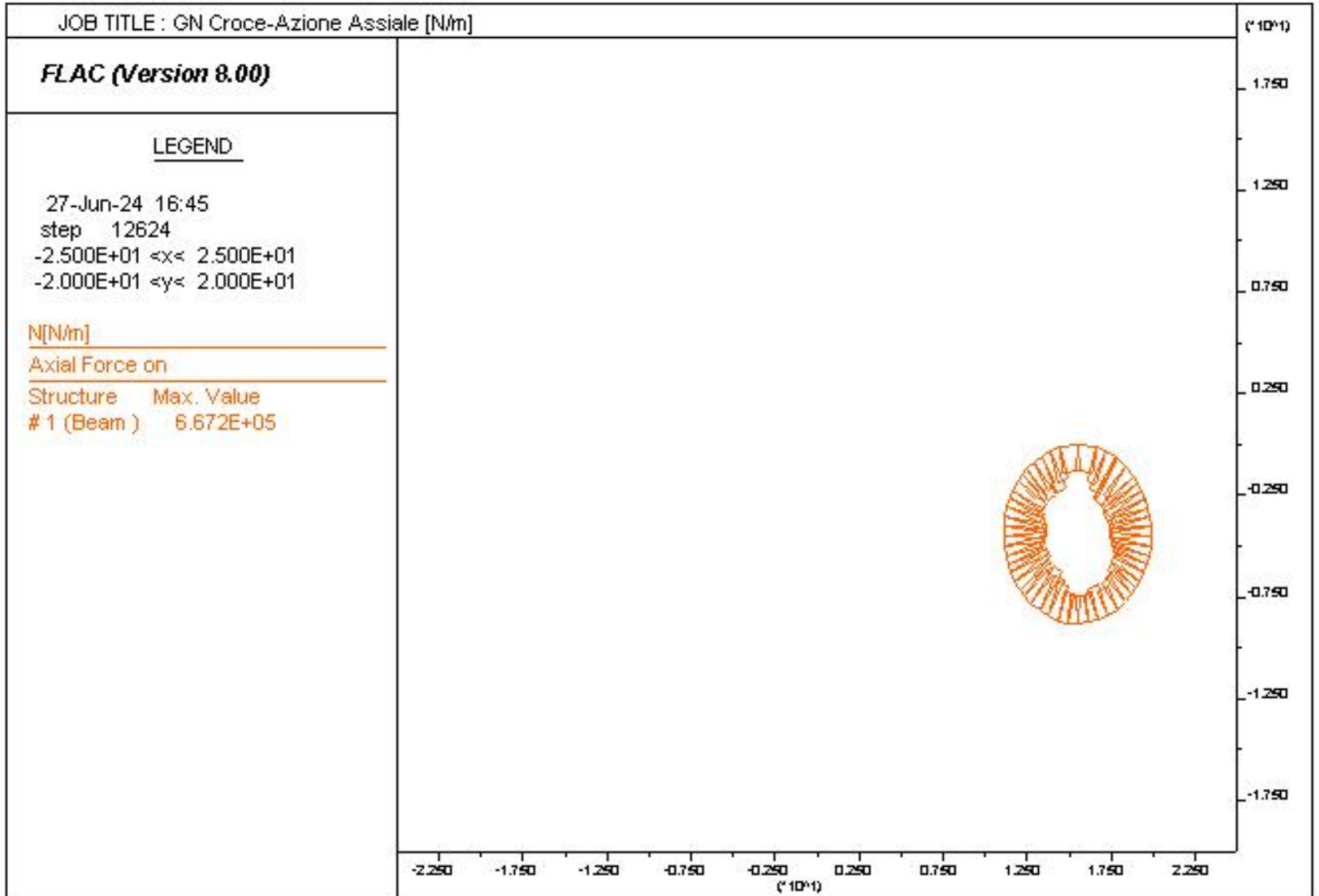




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

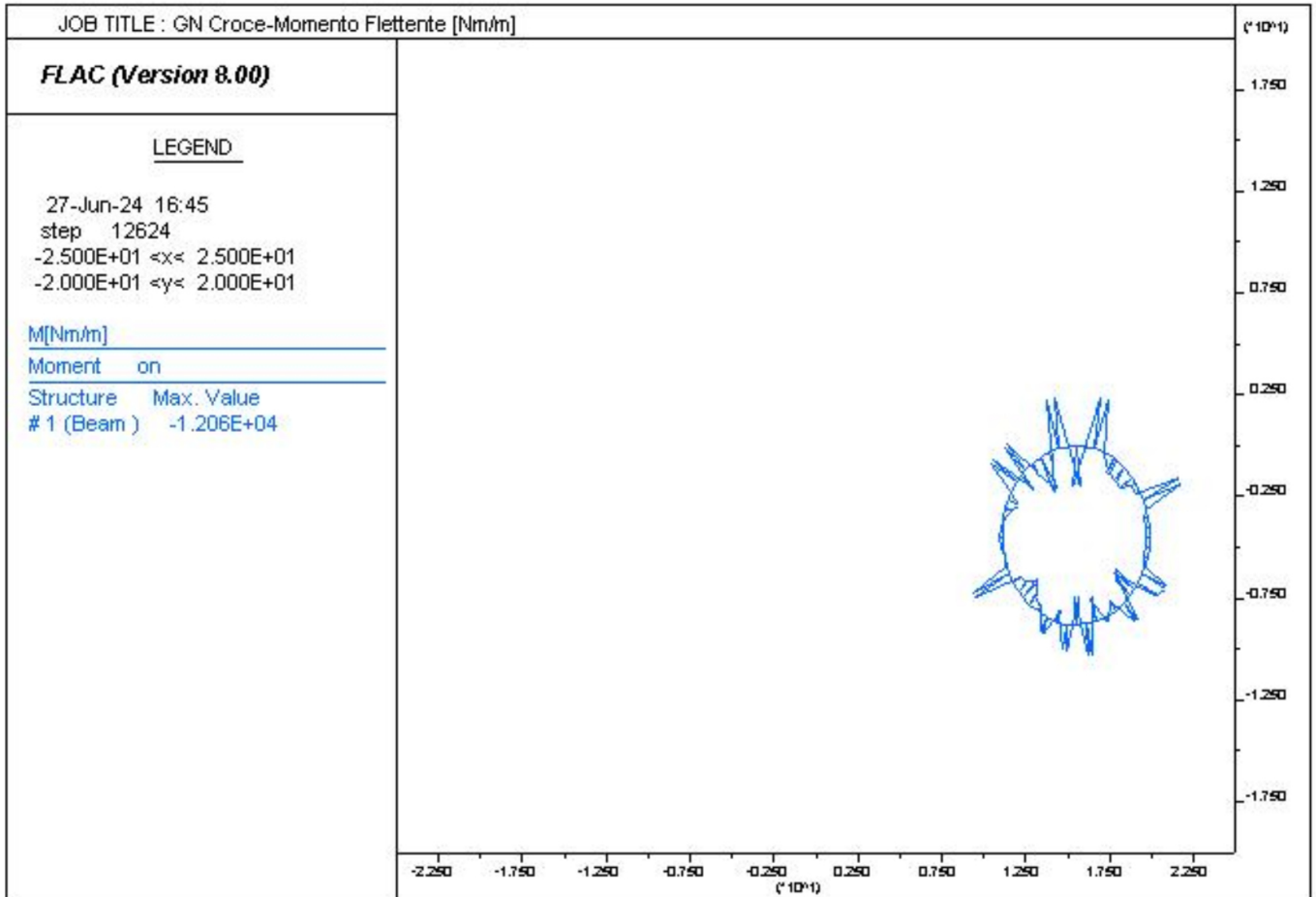




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3





RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

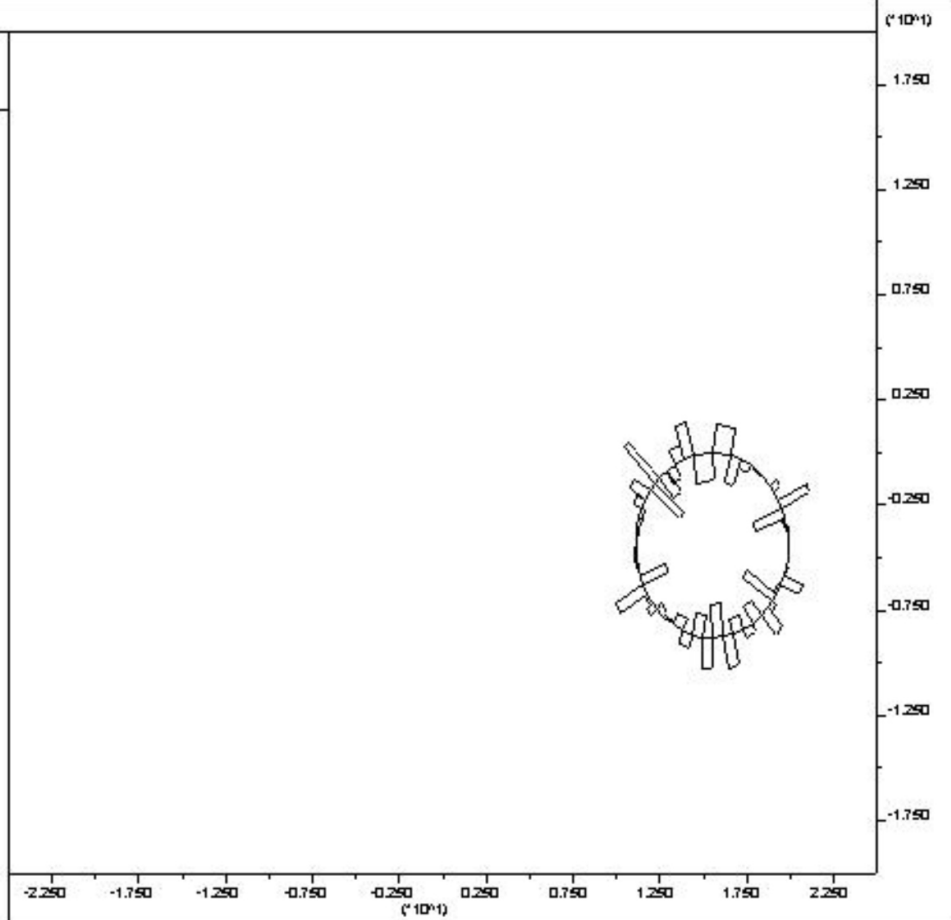
JOB TITLE : GN Croce-Taglio [N/m]

**FLAC (Version 8.00)**

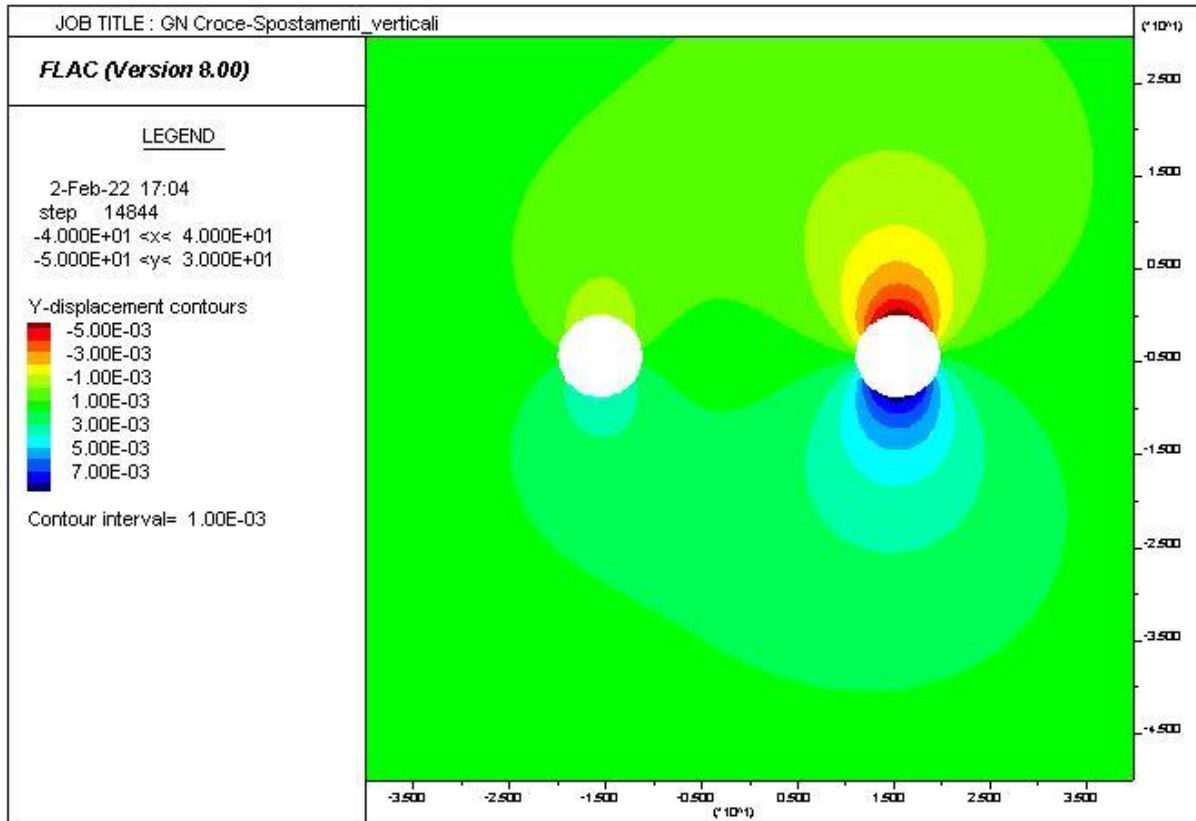
LEGEND

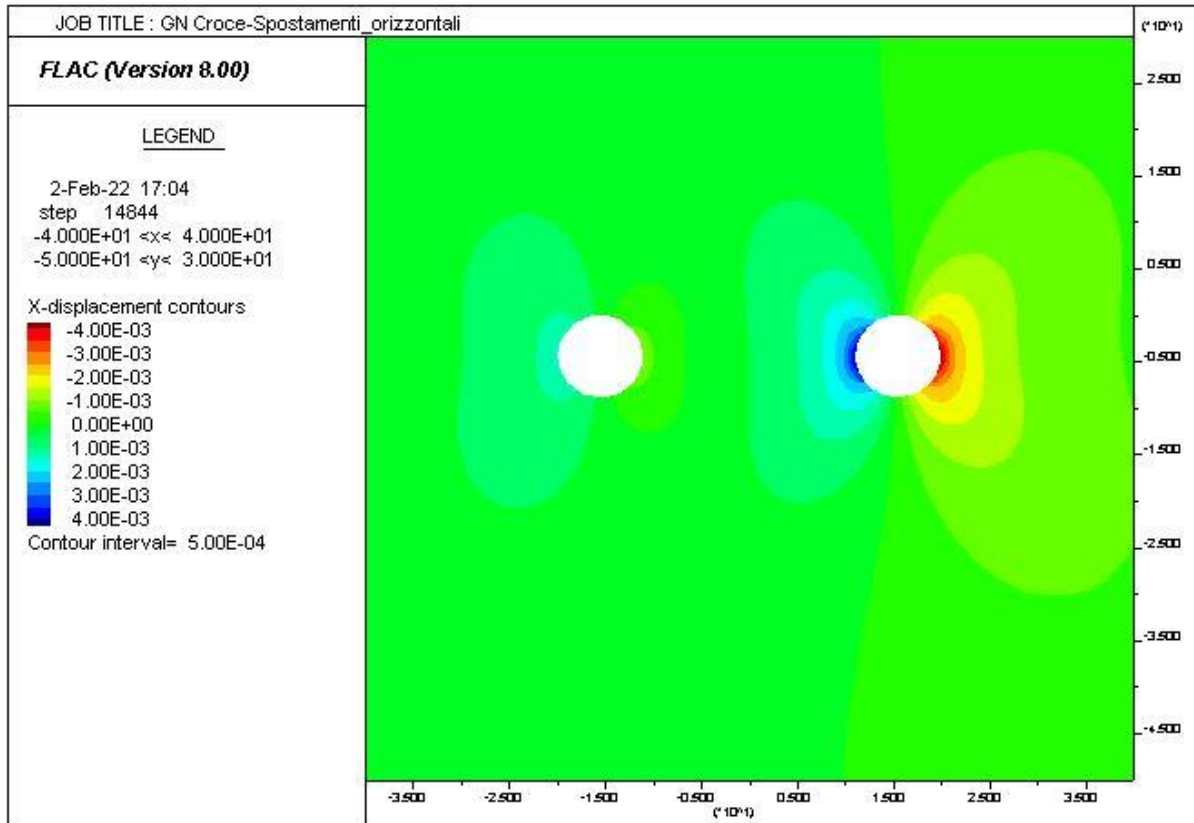
27-Jun-24 16:45  
step 12624  
-2.500E+01 <=x< 2.500E+01  
-2.000E+01 <=y< 2.000E+01

T[N/m]  
Shear Force on  
Structure Max. Value  
# 1 (Beam ) -3.851E+04



FASE 7





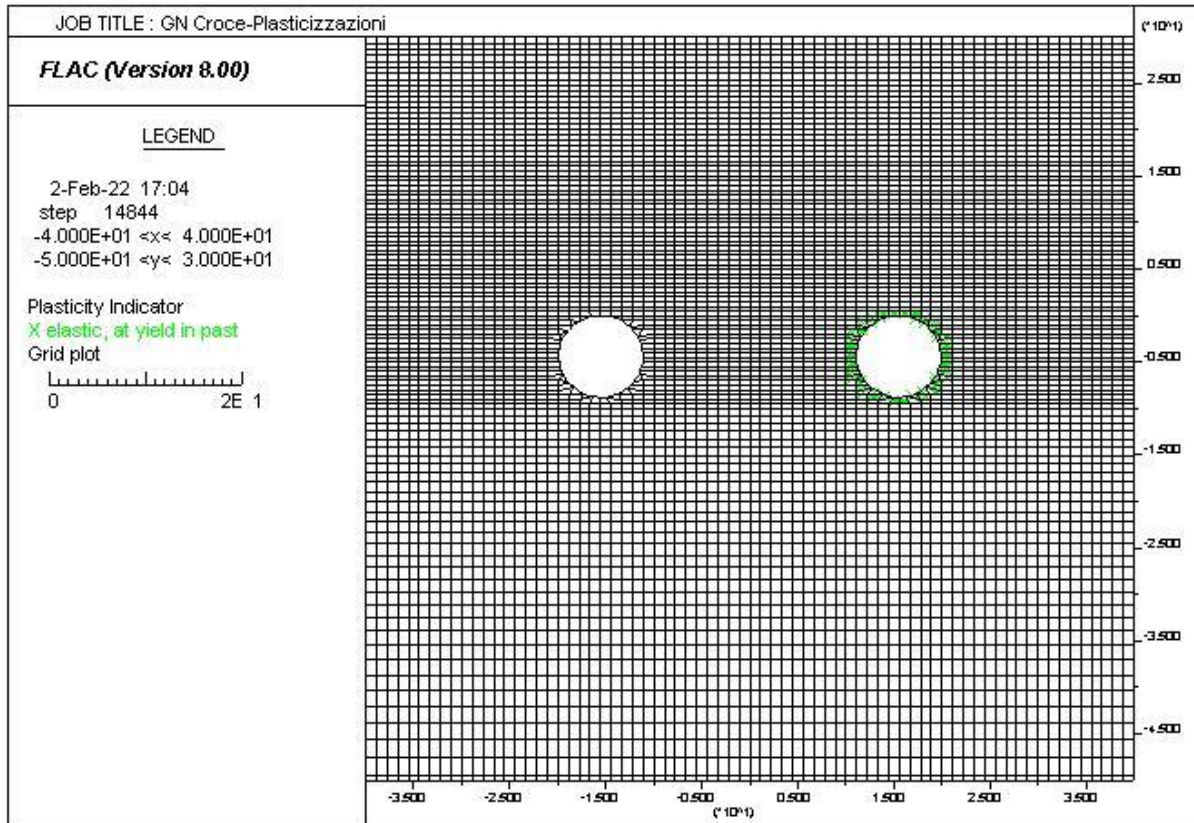


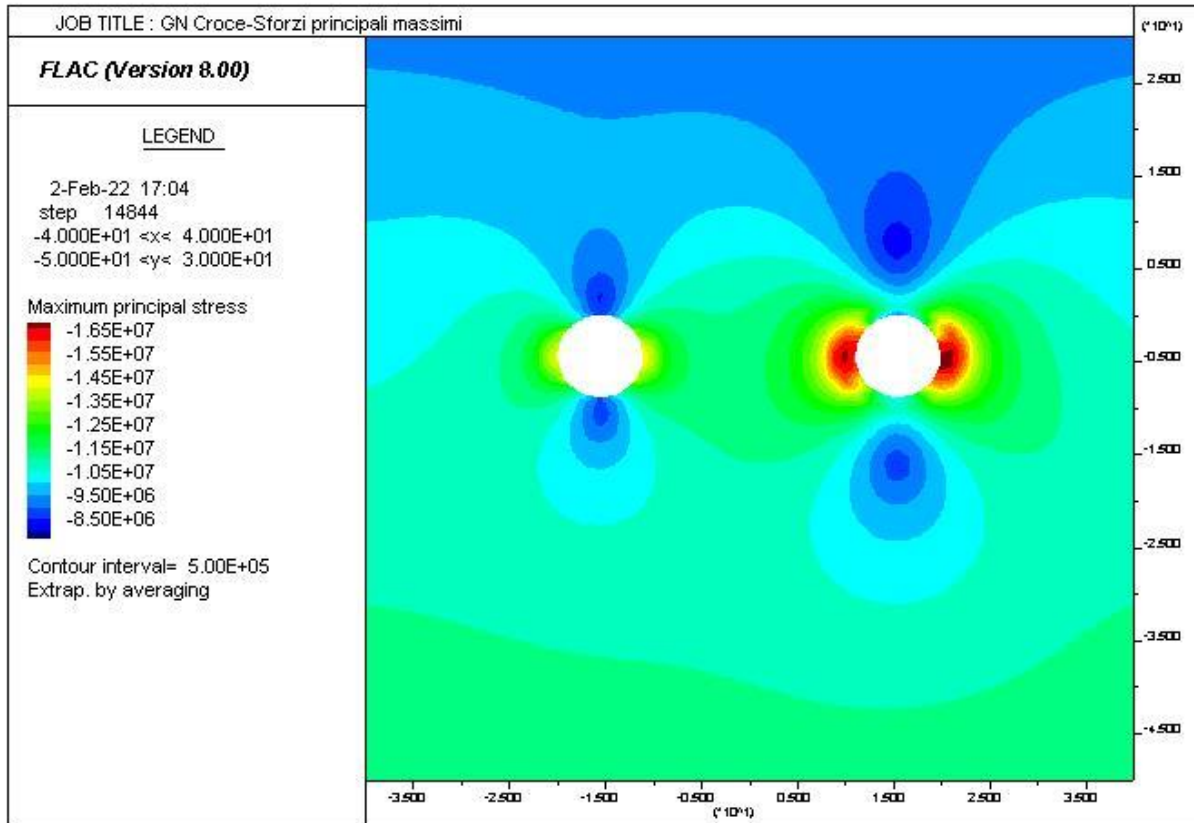


RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3





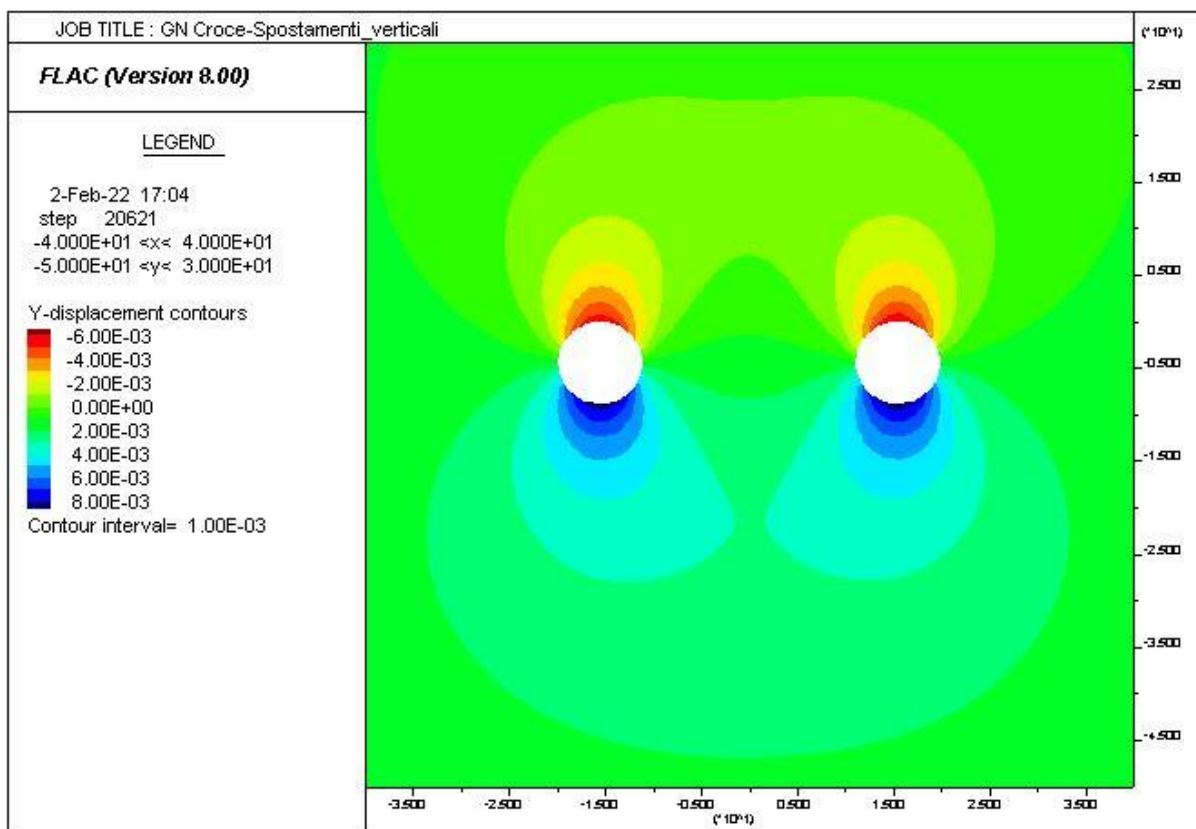


RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

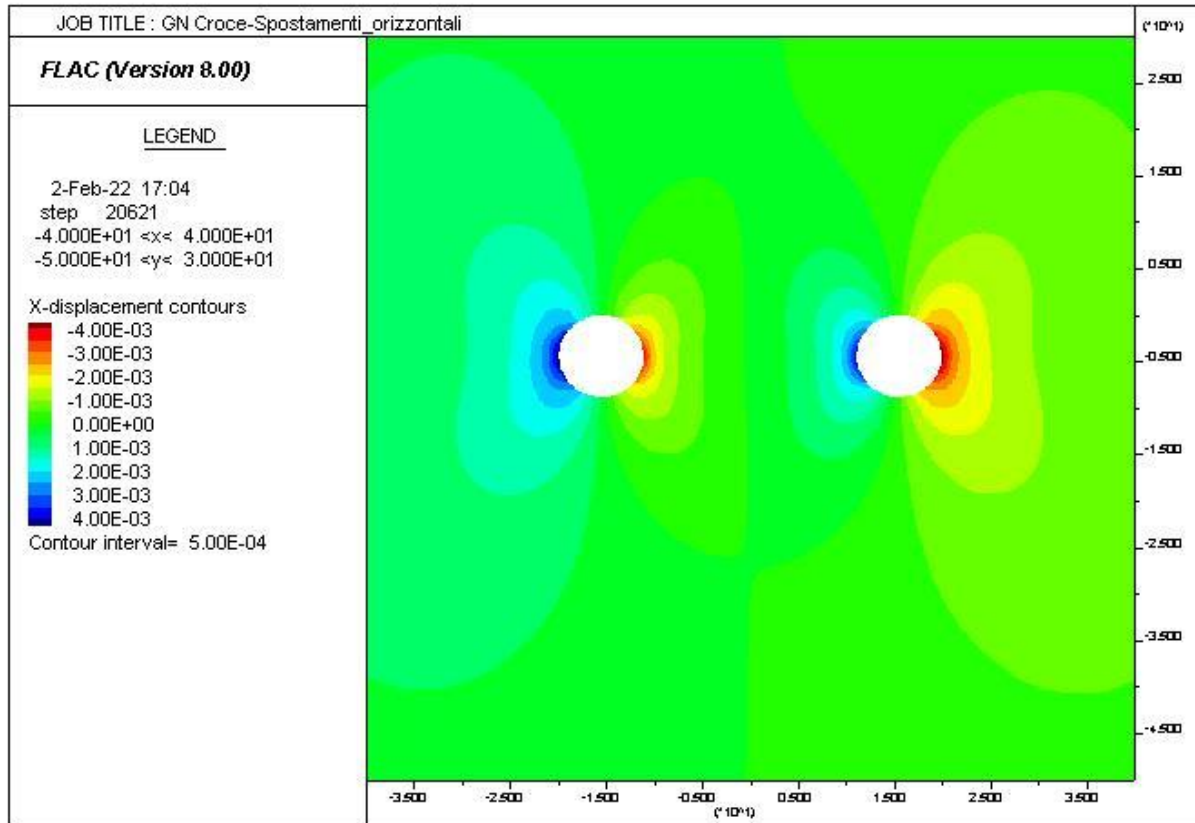
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

FASE 9



RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

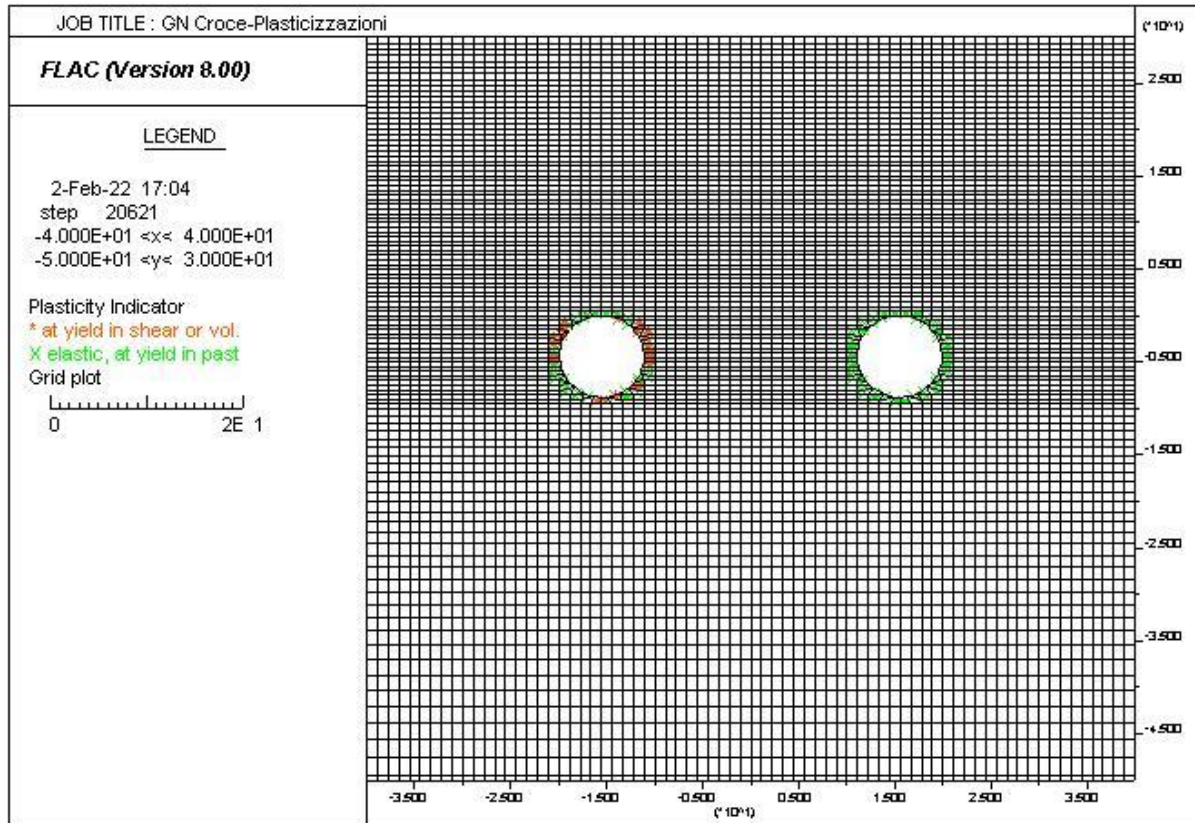


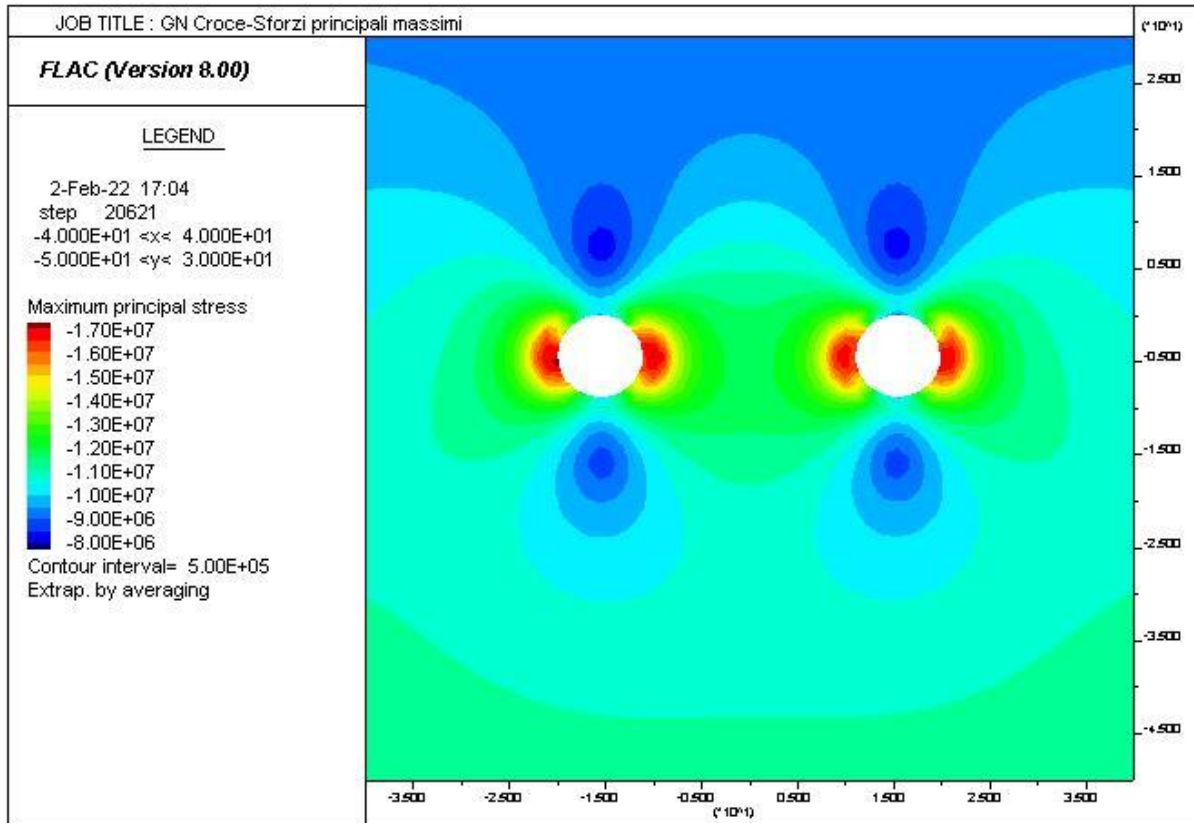


RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3





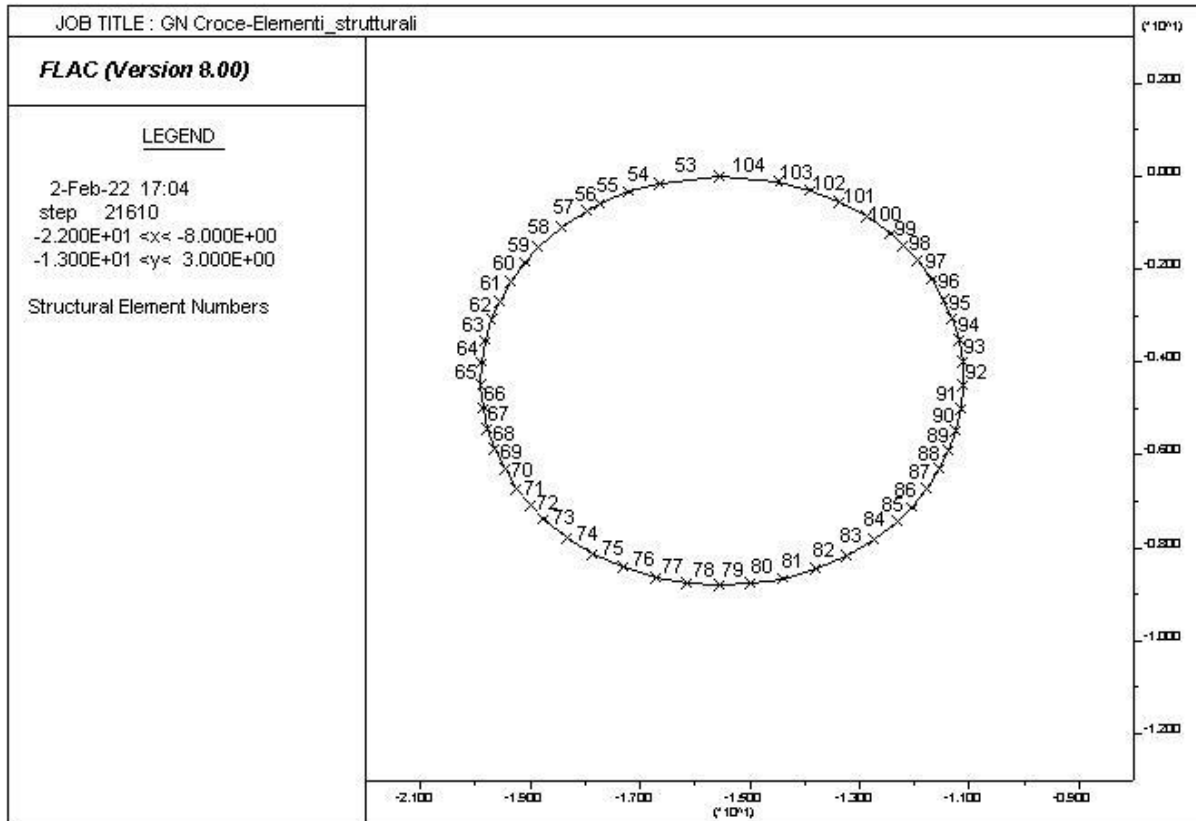


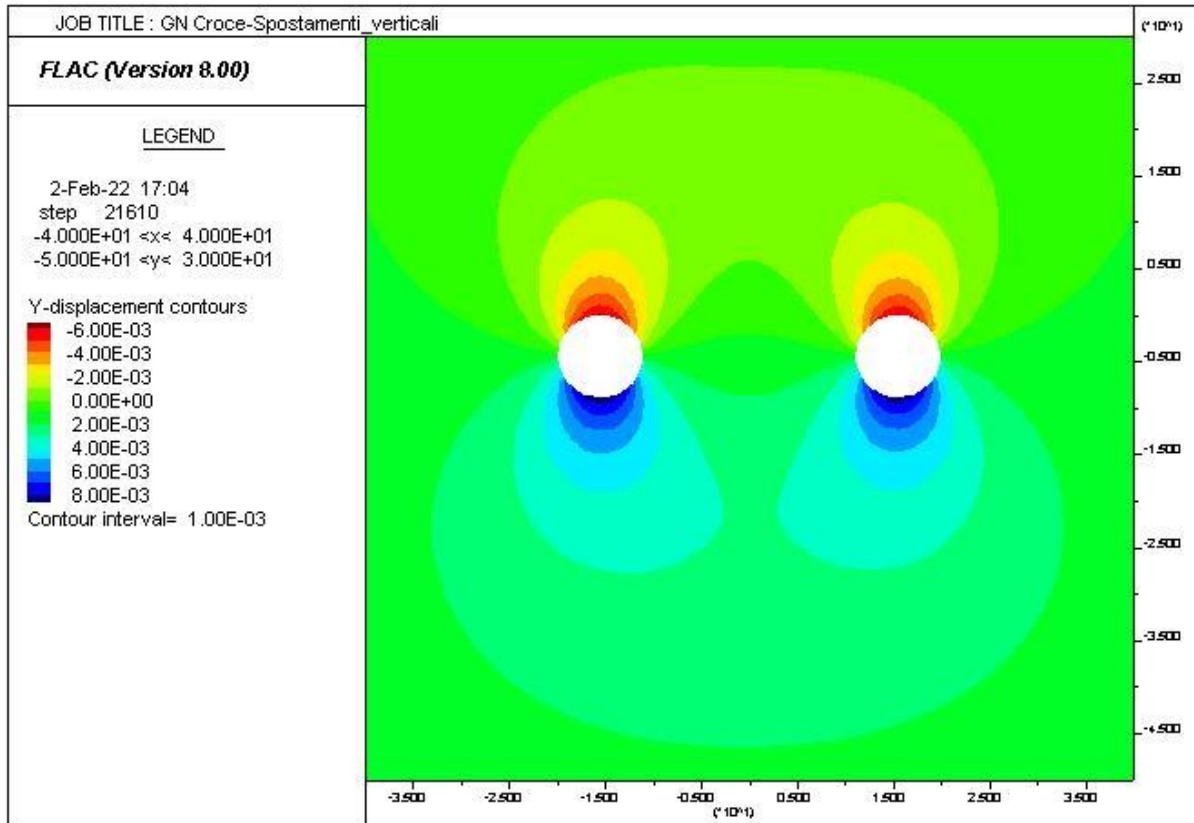
RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
**PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA NATURALE CROCE

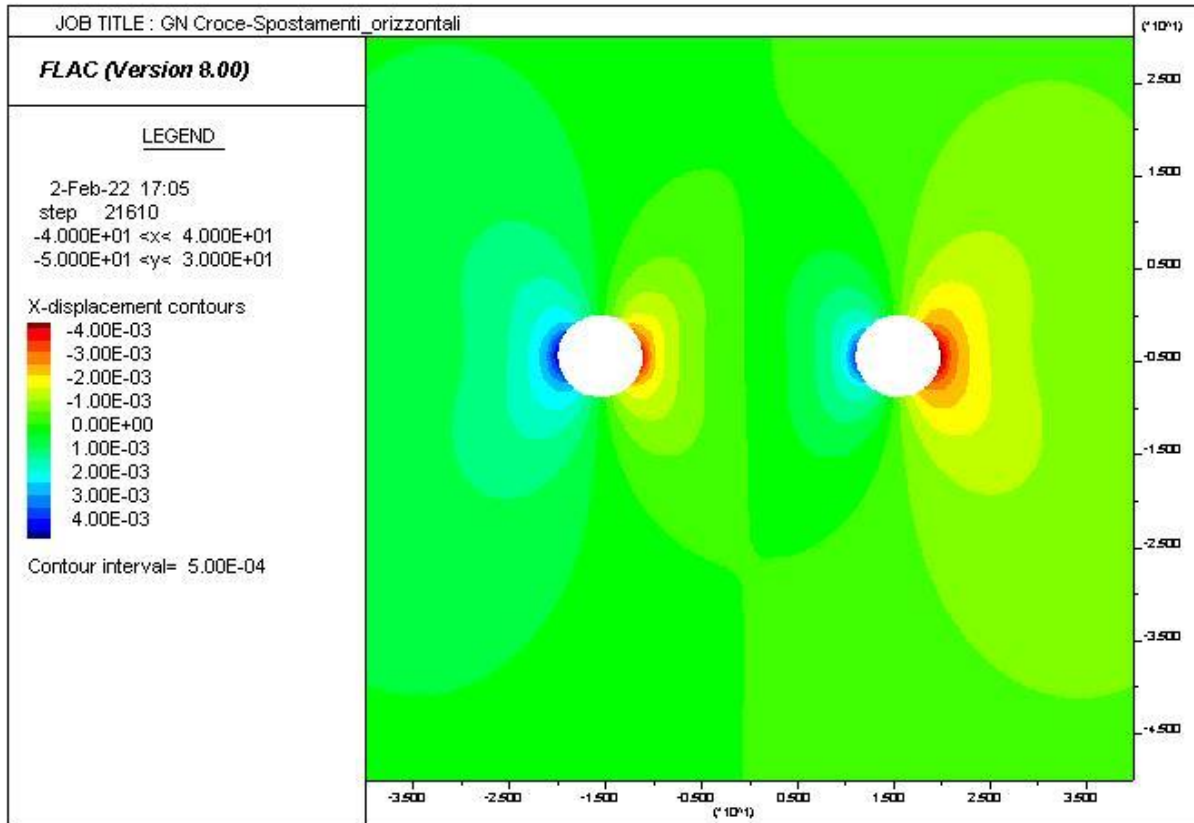
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

FASE 10







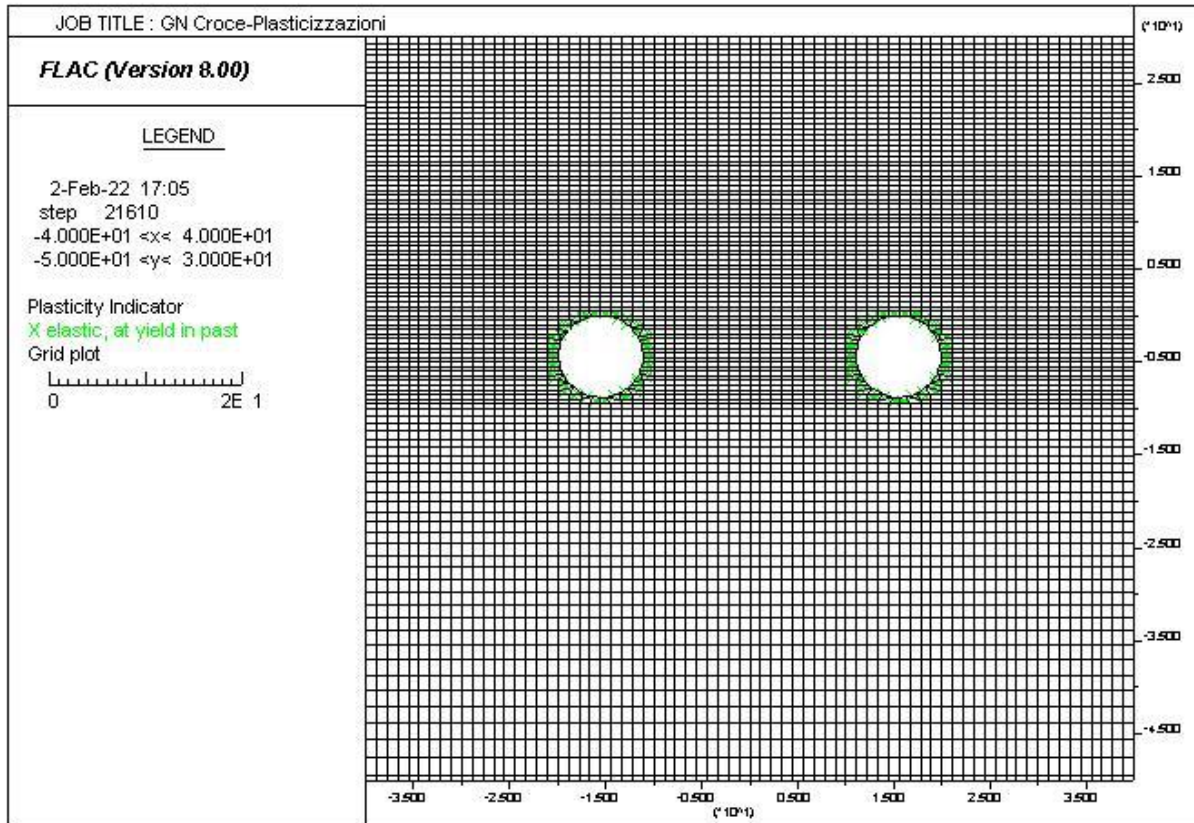


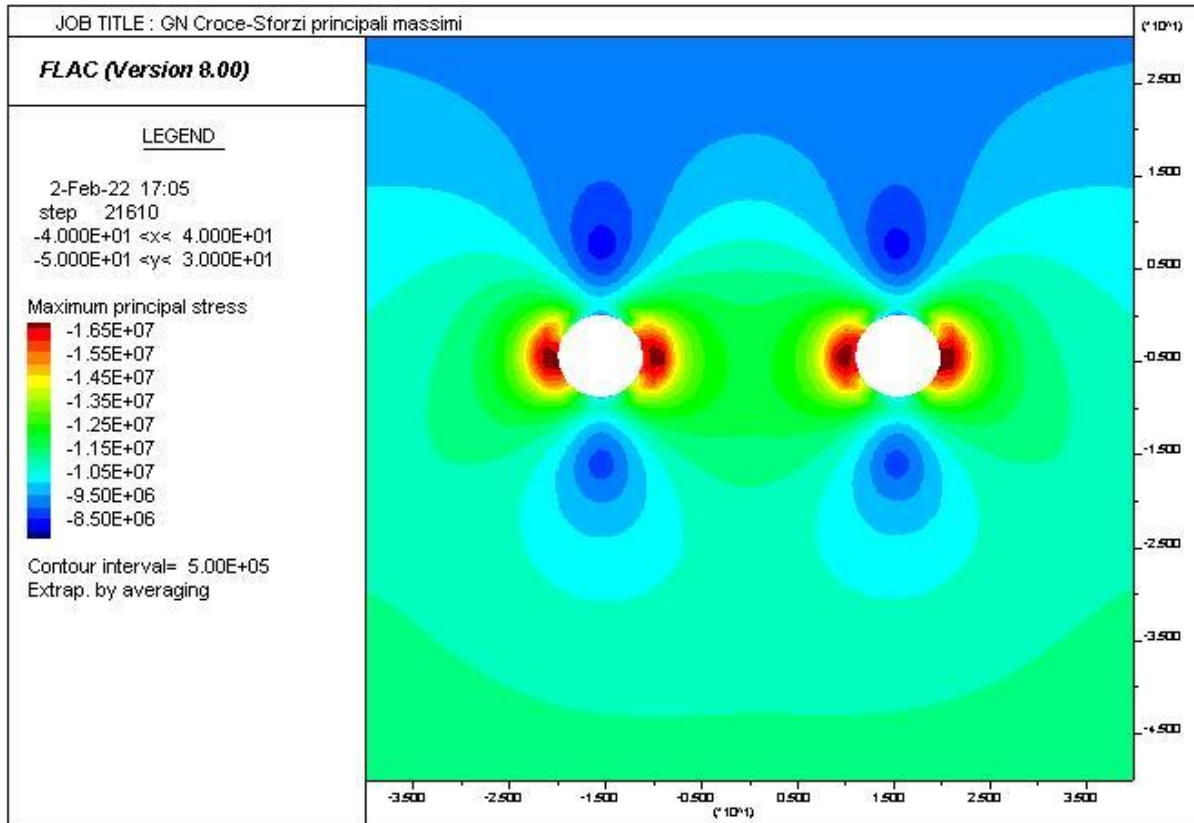


RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3



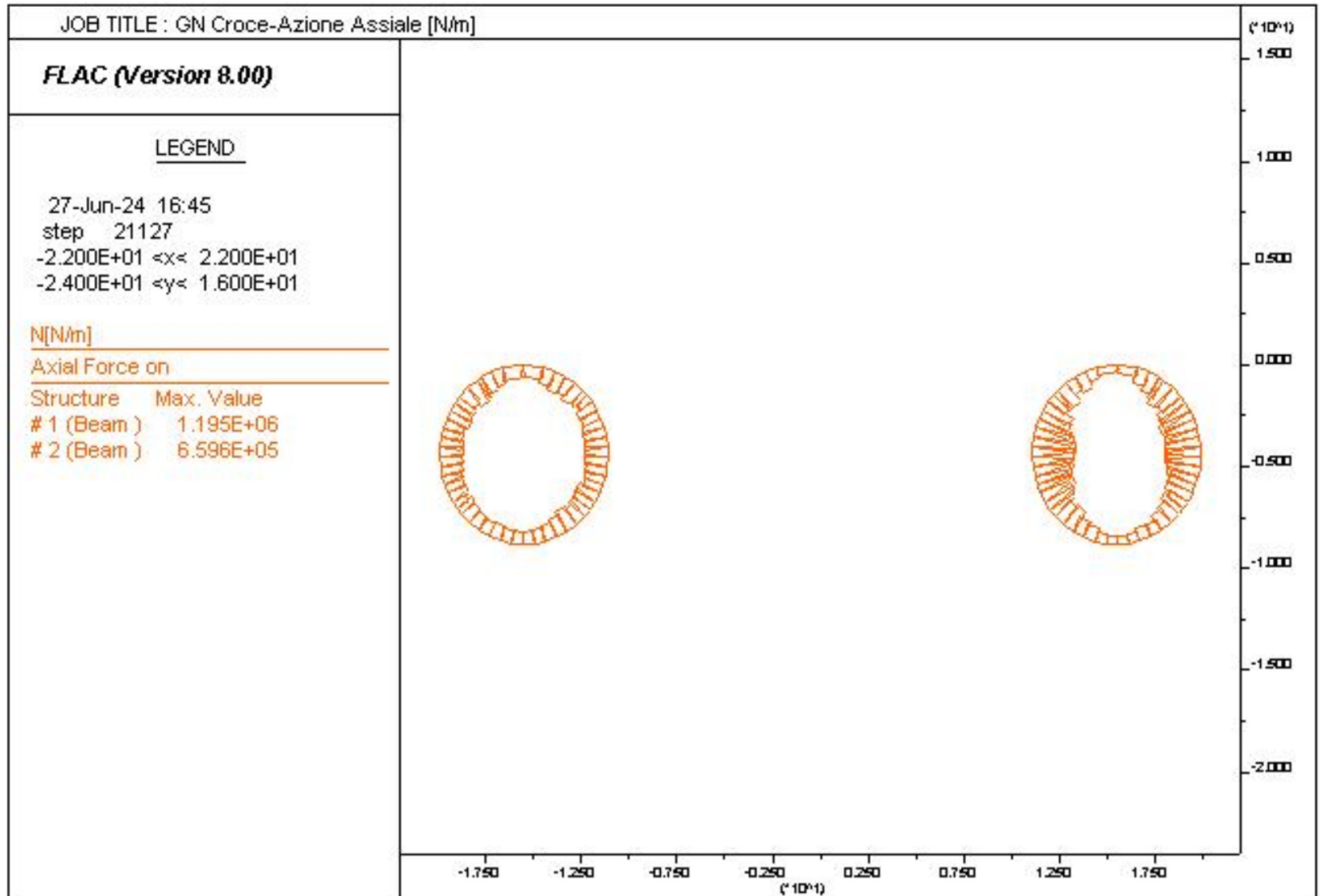




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
**PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

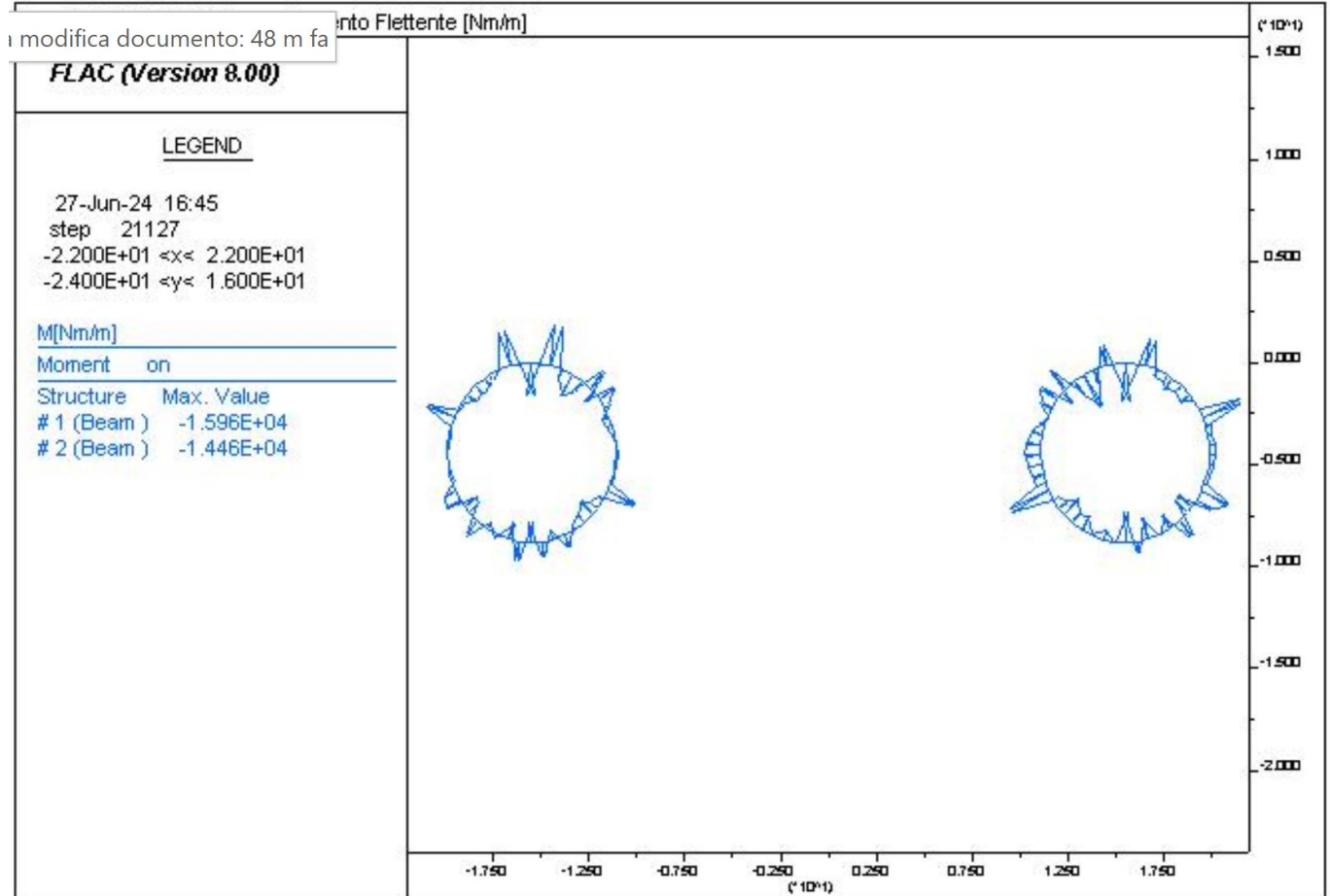




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3





RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

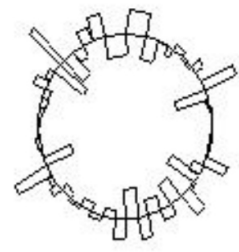
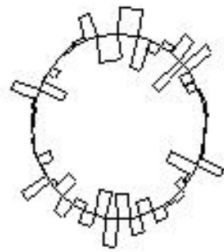
JOB TITLE : GN Croce-Taglio [N/m]

**FLAC (Version 8.00)**

LEGEND

27-Jun-24 16:45  
step 21127  
-2.200E+01 <x< 2.200E+01  
-2.400E+01 <y< 1.600E+01

T[N/m]  
Shear Force on  
Structure Max. Value  
# 1 (Beam) -4.157E+04  
# 2 (Beam) 3.450E+04



-1.750 -1.250 -0.750 -0.250 0.250 0.750 1.250 1.750  
(\*10^1)

(\*10^1)  
1.500  
1.000  
0.500  
0.000  
-0.500  
-1.000  
-1.500  
-2.000

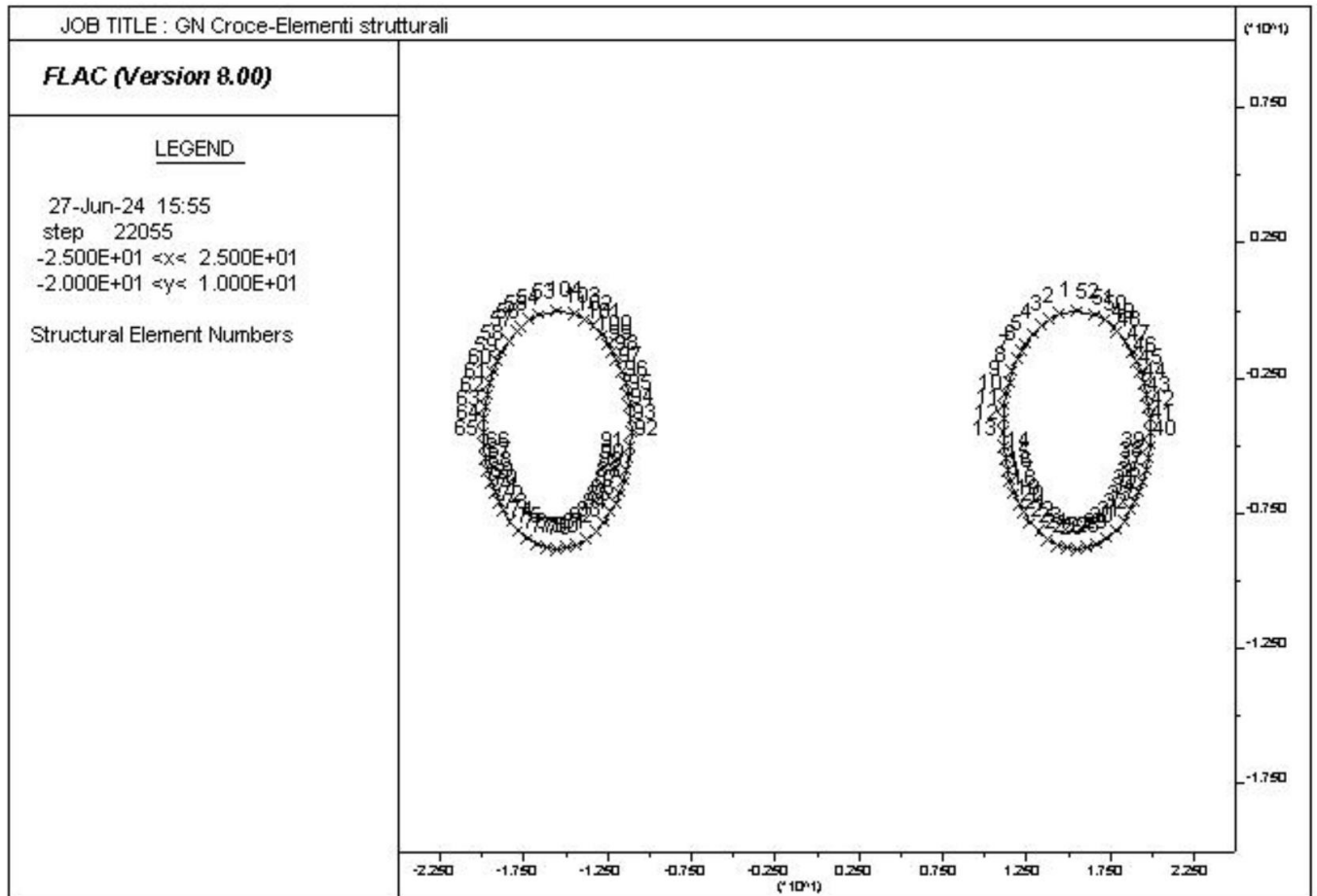


RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

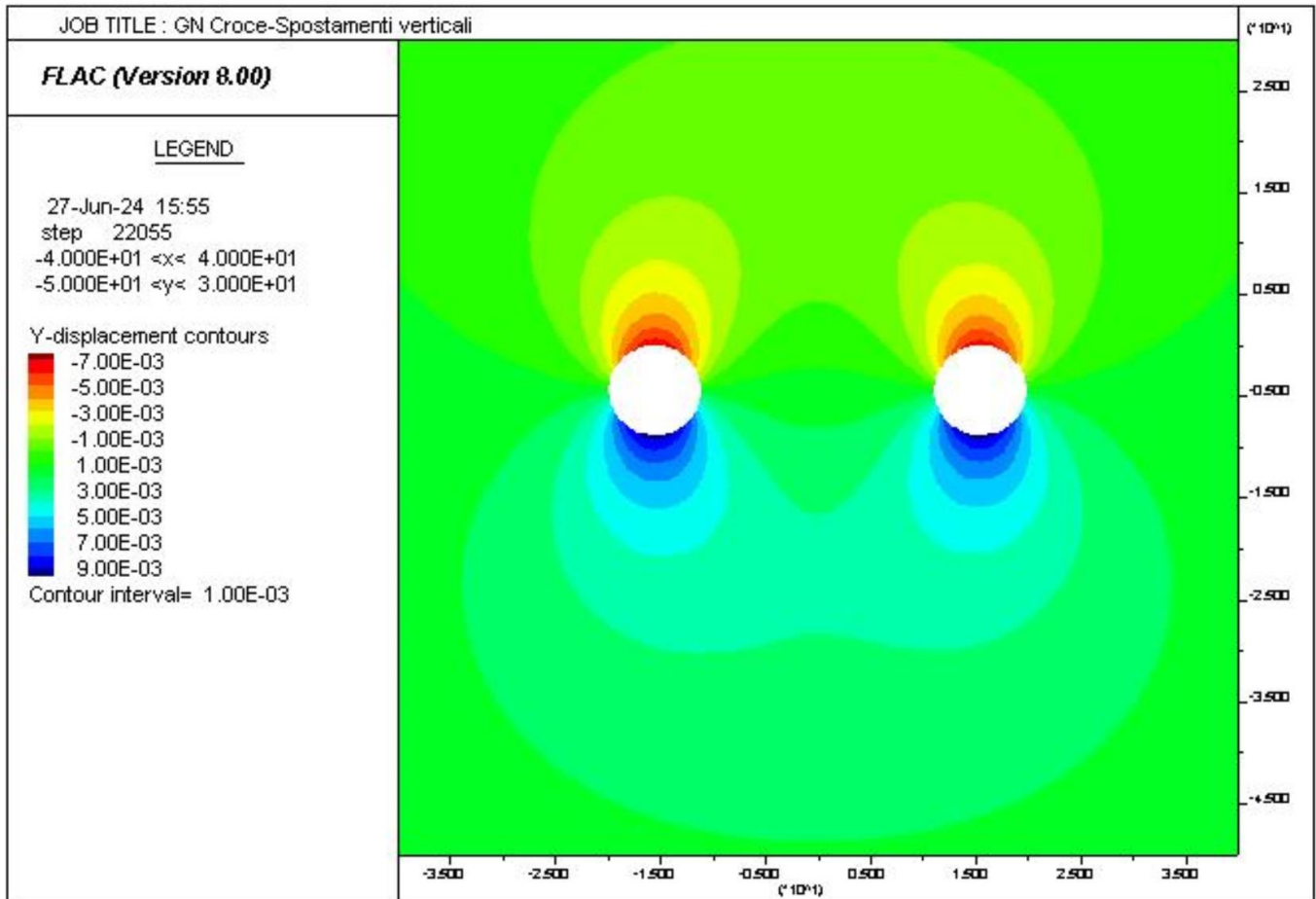
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

FASE 11



RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3





RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

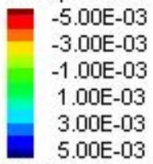
JOB TITLE : GN Croce-Spostamenti orizzontali

**FLAC (Version 8.00)**

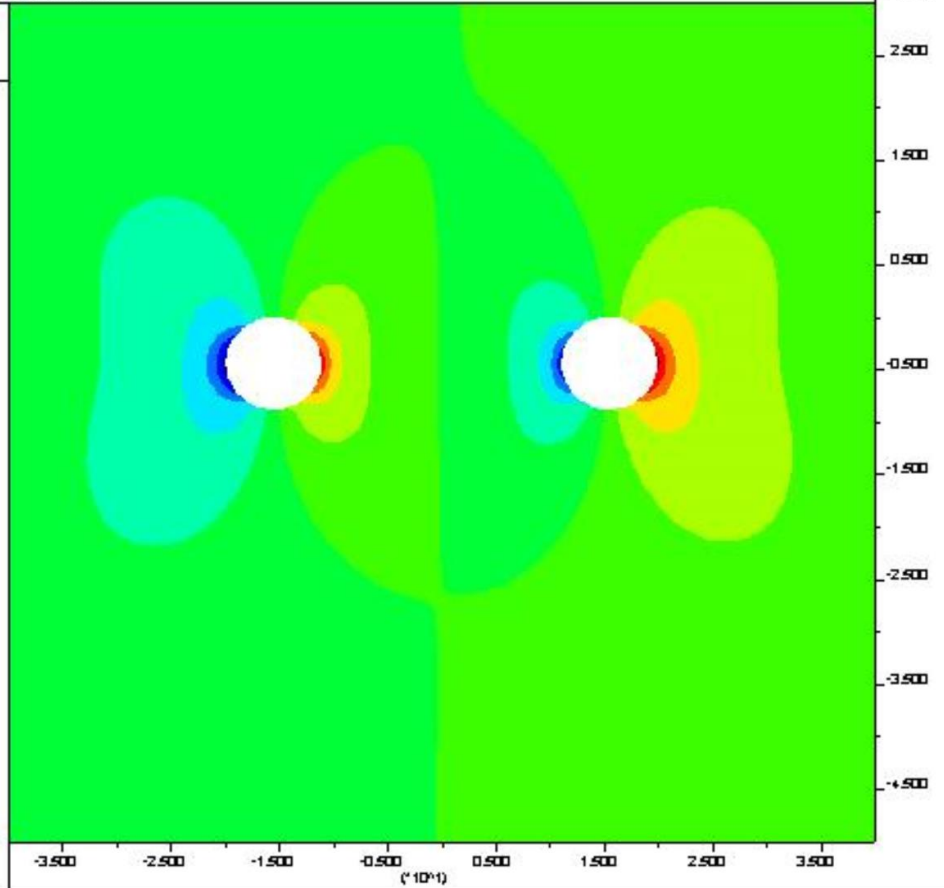
LEGEND

27-Jun-24 15:55  
 step 22055  
 -4.000E+01 <x< 4.000E+01  
 -5.000E+01 <y< 3.000E+01

X-displacement contours



Contour interval= 1.00E-03

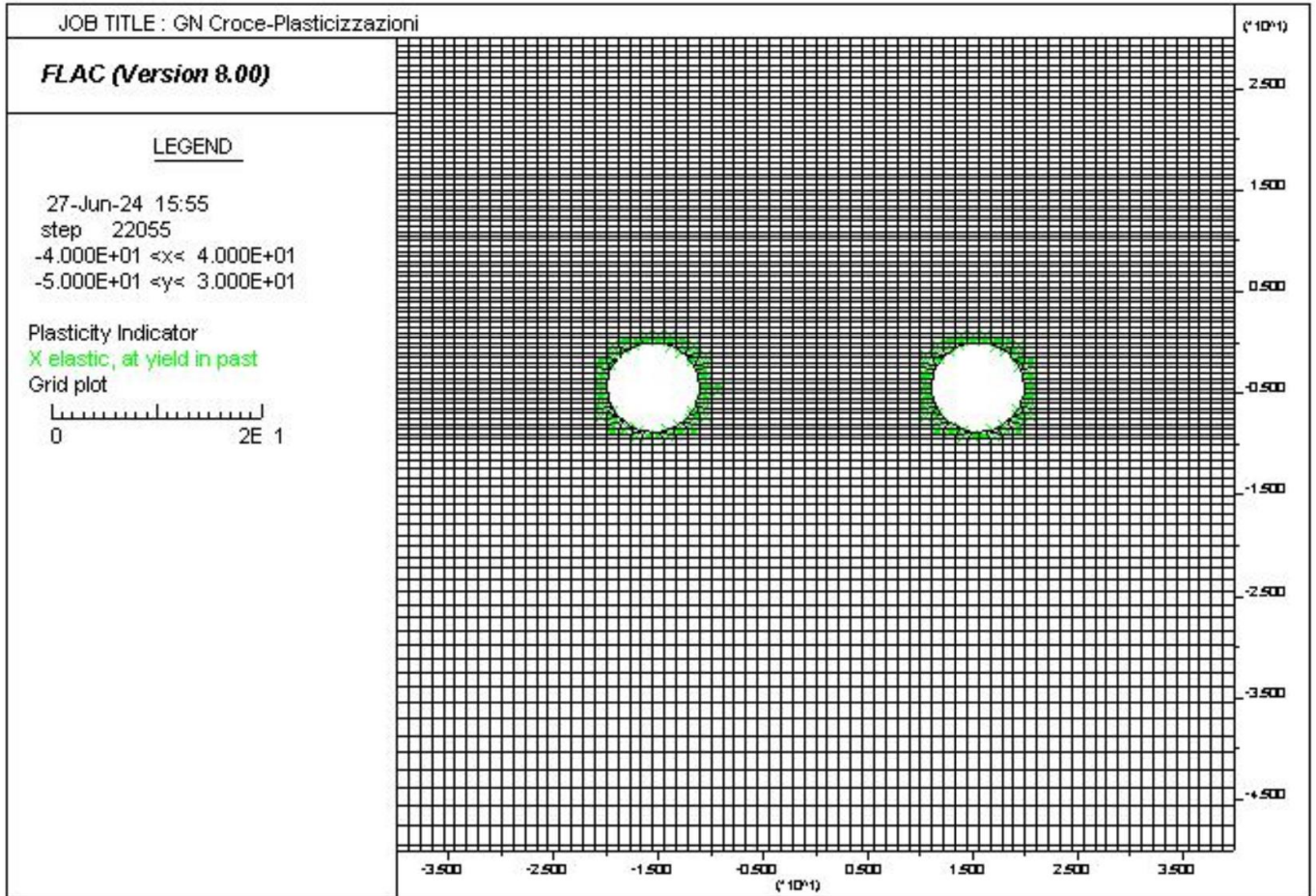




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

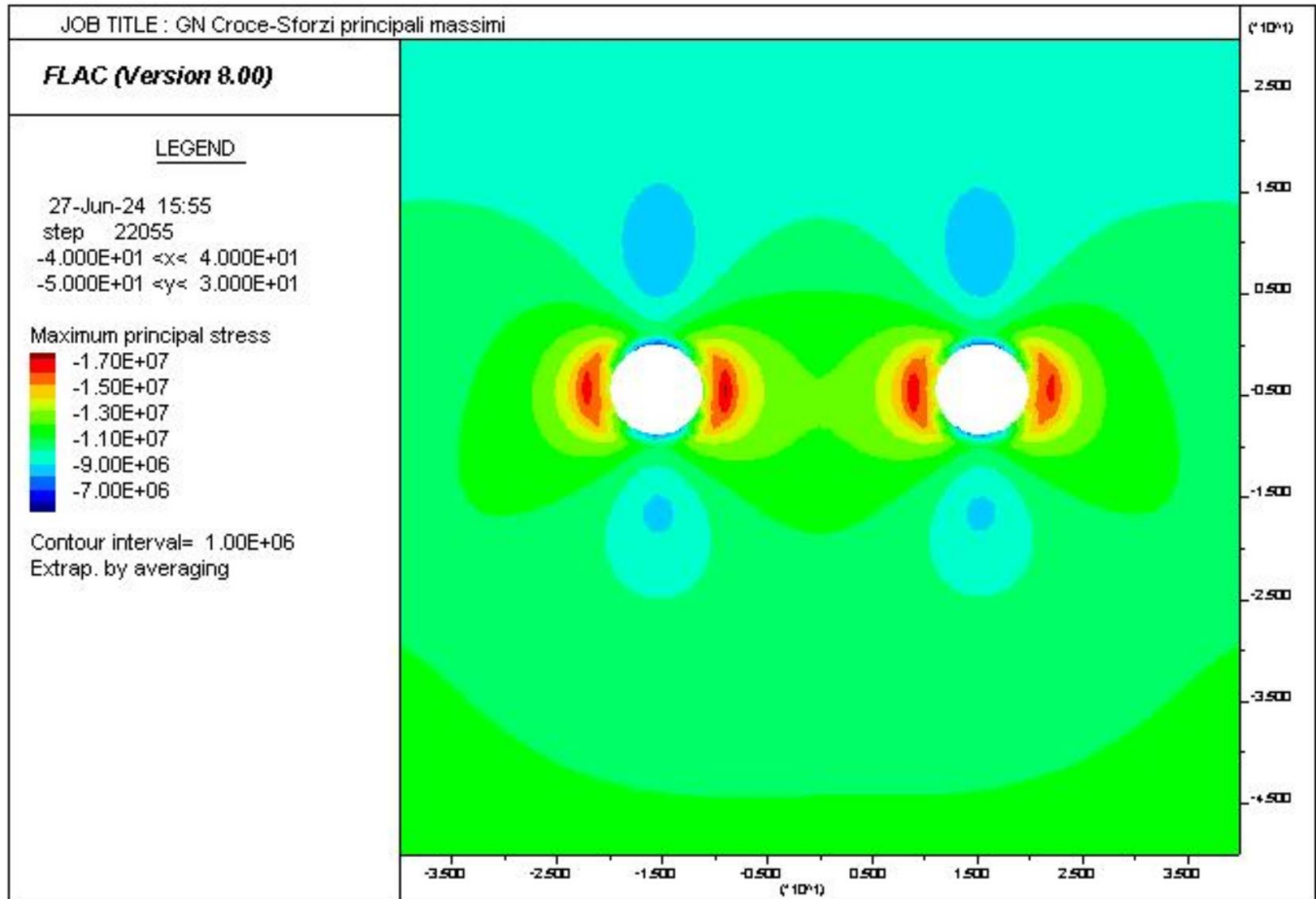
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3



RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3





RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

JOB TITLE : GN Croce-Azione Assiale [N/m]

FLAC (Version 8.00)

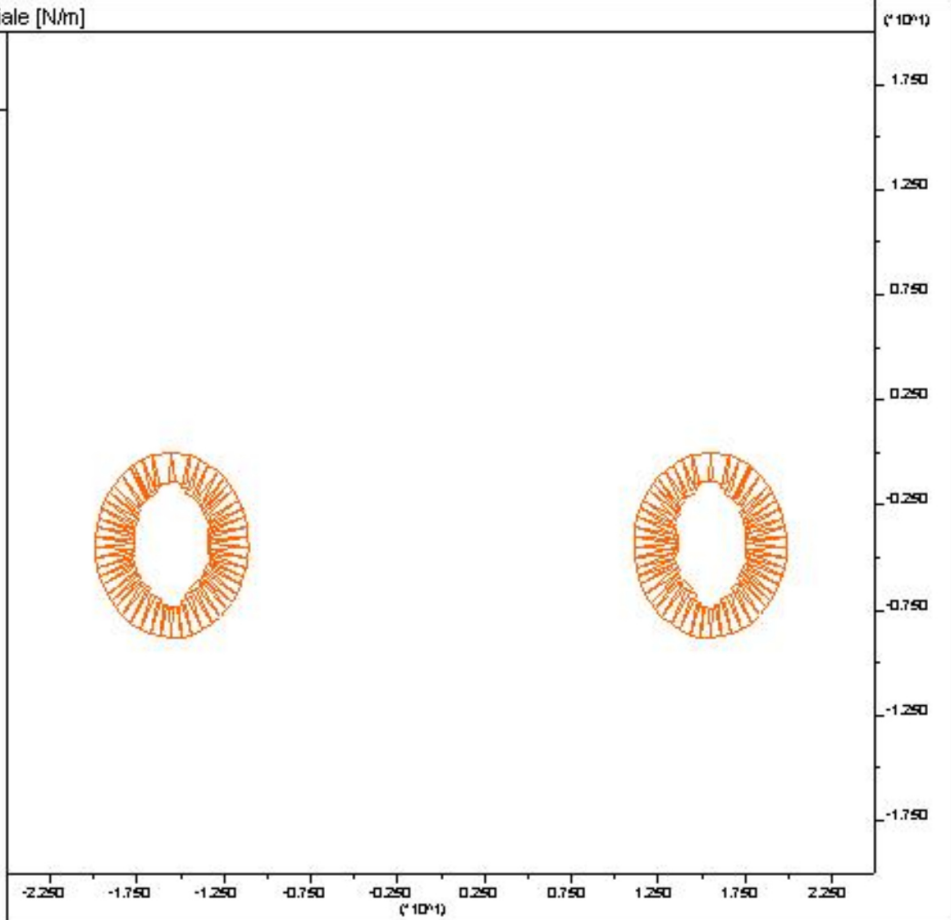
LEGEND

27-Jun-24 15:55  
step 22055  
-2.500E+01 <x< 2.500E+01  
-2.000E+01 <y< 2.000E+01

N[N/m]

Axial Force on

Structure	Max. Value
# 1 (Beam )	4.531E+06
# 2 (Beam )	4.104E+06





RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

JOB TITLE : GN Croce-Momento Flettente [Nm/m]

( $\cdot 10^4$ )

**FLAC (Version 8.00)**

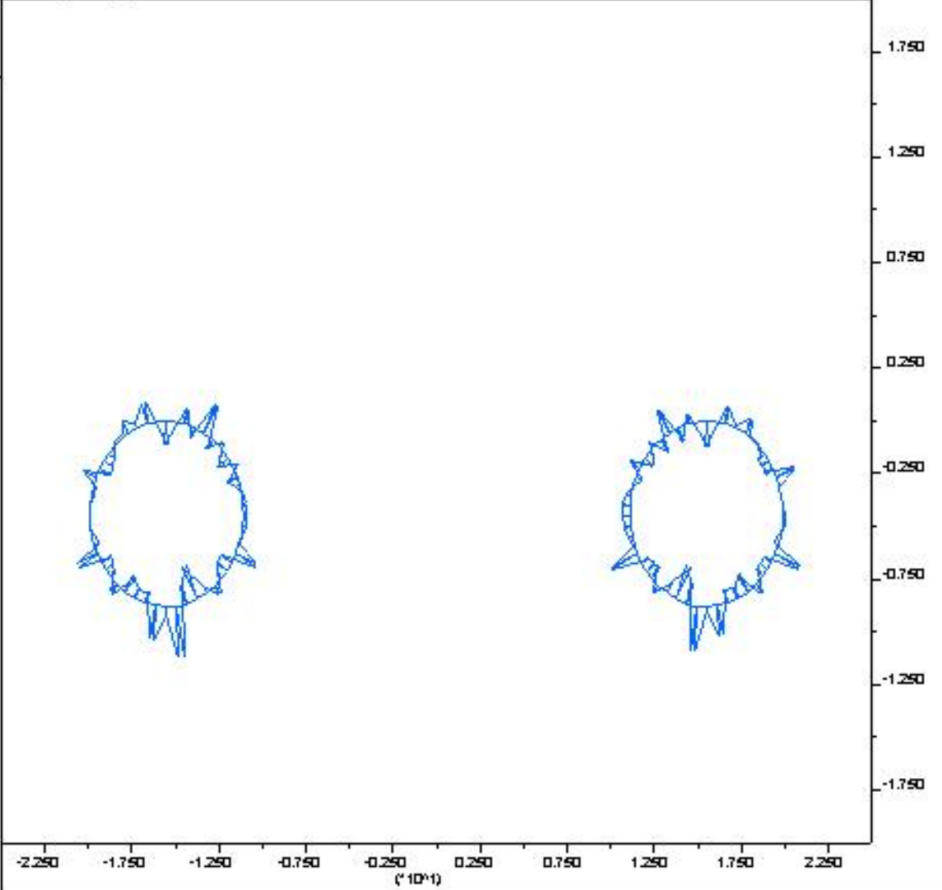
LEGEND

27-Jun-24 15:55  
step 22055  
-2.500E+01 <x< 2.500E+01  
-2.000E+01 <y< 2.000E+01

M[Nm/m]

Moment on

Structure	Max. Value
# 1 (Beam )	-5.255E+04
# 2 (Beam )	-5.959E+04

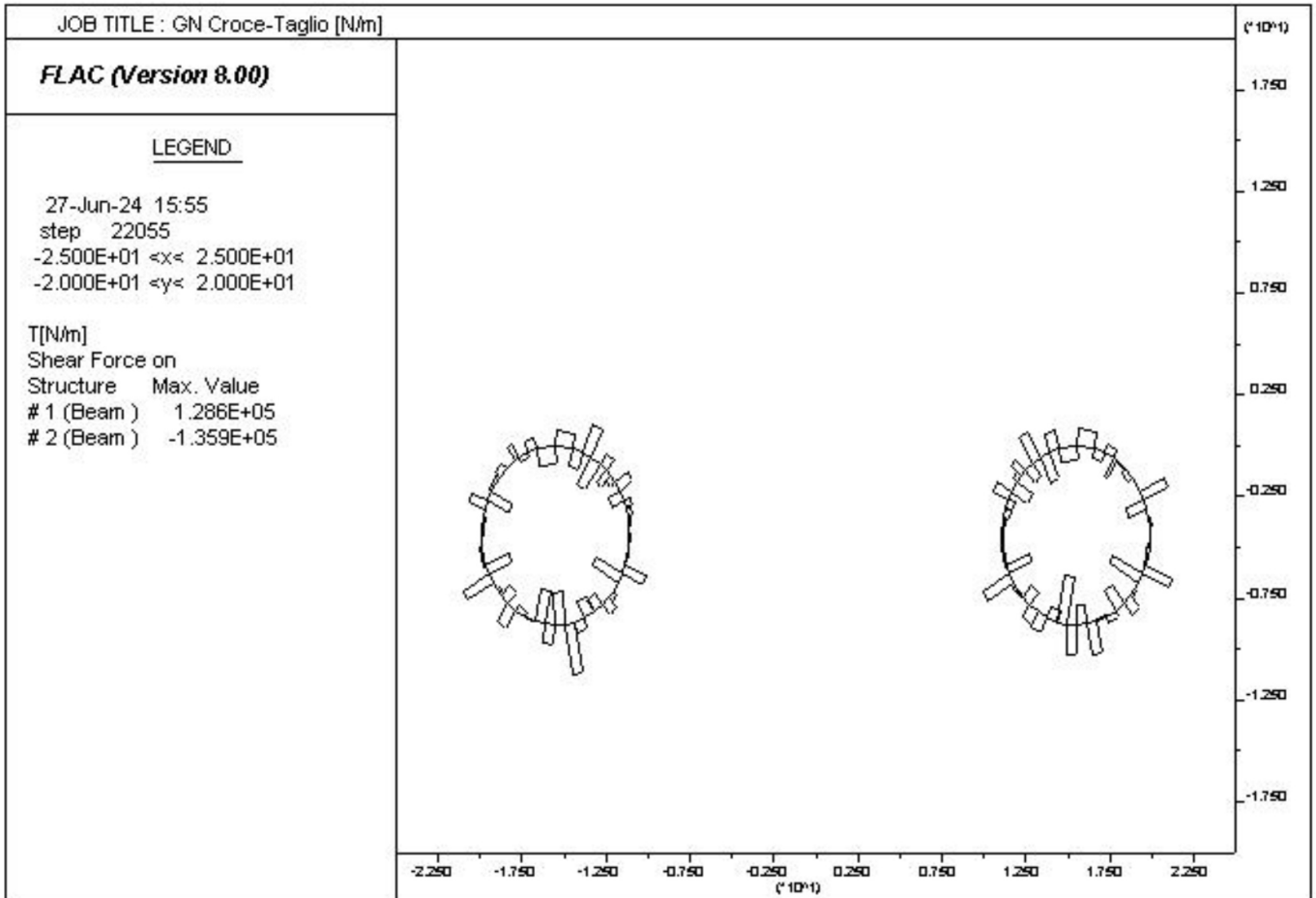




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
**PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3





RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
**PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

Si riportano di seguito le sollecitazioni ottenute dal modello numerico.

Elem	<b>Nk</b> kN/m	<b>Mk</b> kN m/m	<b>Tk</b> kN/m
104	-2504	-16.01	-40.04
103	-2860	13.62	49.52
102	-3267	-34.2	-80.15
101	-3121	13.94	84.09
100	-3406	-6.126	-35.13
99	-3538	8.843	42.65
98	-3427	16.87	19.71
97	-3634	-7.078	-48.8
96	-3230	13.74	42.32
95	-3578	4.639	-20.85
94	-3845	-3.142	-16.72
93	-4037	-5.247	-4.368
92	-4104	-4.61	1.277
91	-4055	-3.682	1.77
90	-3891	-1.656	4.185
89	-3633	-0.6591	2.147
88	-3310	-30.74	-70.72
87	-3815	15.98	94.68
86	-3733	15.88	-0.026
85	-3743	9.972	-15.01
84	-3294	-12.43	-37.44
83	-3856	9.46	36.71
82	-3482	39.72	47.59
81	-2993	19.33	-31.99
80	-2611	-59.57	-135.9
79	-2596	-9.245	86.72
78	-2561	-39.83	-52.46
77	-2817	12.27	89.37
76	-3277	10.77	-2.414
75	-3244	20.27	15.1
74	-3626	-12.8	-56.62
73	-3303	9.367	37.68
72	-3788	13.18	9.821
71	-3632	14.9	4.076
70	-3819	-29.64	-94.96



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

69	-3317	7.616	79.5
68	-3657	3.271	-9.763
67	-3920	-0.9124	-8.899
66	-4072	-1.494	-1.104
65	-4104	0.1671	3.476
64	-4002	3.513	6.787
63	-3773	3.476	-0.2662
62	-3458	-19.71	-53.9
61	-3741	15.91	74.92
60	-3649	13.43	-5.08
59	-3626	9.524	-9.754
58	-3186	-2.37	-19.9
57	-3318	-3.019	-1.105
56	-3171	-14.37	-41.59
55	-3233	-6.099	13.99
54	-2903	-23.92	-29.98
53	-2528	27.6	47.7
52	-2456	-18.56	-45.72
51	-2911	-3.769	25.08
50	-3288	-17.74	-23.63
49	-3180	-2.574	55.22
48	-3378	-1.397	1.923
47	-3262	9.175	17.37
46	-3753	10.5	3.282
45	-3801	12.34	4.035
44	-3940	-26.94	-82.64
43	-3650	0.008271	62.4
42	-3983	0.9349	1.79
41	-4217	-1.8	-5.556
40	-4314	-3.251	-3.26
39	-4279	-2.606	1.154
38	-4113	1.385	8.583
37	-3830	4.651	7.645
36	-3480	-38.72	-92.24
35	-3946	12.21	108.9
34	-3703	12.32	0.2052
33	-3861	10.88	-3.865
32	-3319	-14.17	-42.78
31	-3638	23.53	64.66
30	-3201	11.75	-18.67





RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

29	-3291	15.14	5.291
28	-2791	-35.21	-86.33
27	-2484	-5.723	50.56
26	-2506	-52.55	-80.94
25	-2562	22.16	128.6
24	-2968	41.22	30.18
23	-3436	13.51	-43.44
22	-3886	-9.706	-39.02
21	-3347	15.61	42.36
20	-3864	14.51	-2.966
19	-3906	10.89	-7.174
18	-4080	-37.77	-98.58
17	-3611	-3.173	81.13
16	-3987	-5.002	-4.408
15	-4280	-7.359	-5.073
14	-4472	-9.137	-3.403
13	-4531	-9.684	-1.091
12	-4442	-6.803	5.799
11	-4210	1.383	17.86
10	-3890	10.5	21.19
9	-3481	-14.52	-50.95
8	-3824	14.89	60.16
7	-3506	7.553	-18.03
6	-3600	-7.108	-42.09
5	-3425	19.06	46.02
4	-3062	-27.92	-81.88
3	-3220	18.62	77.88
2	-2780	-10.69	-49.04
1	-2402	30.82	38.16



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
**PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

Si riportano di seguito le sollecitazioni in termini di sforzo normale e momento flettente e le verifiche tensionali sul calcestruzzo e sull'acciaio allo SLE. Si riportano inoltre le verifiche a fessurazione.

Elem	$\sigma_{c,min}$	$\sigma_{c,max}$	$\sigma_{s,min}$	$\sigma_{s,max}$	$0.45f_{ck}$	$0.8f_{yk}$	wk [mm]	wk lim [mm]	wk lim > wk
	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa			
104	-6.52	-5.40	-94.98	-83.83	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
103	-7.29	-6.33	-106.86	-97.37	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
102	-8.98	-6.57	-128.56	-104.73	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
101	-7.92	-6.94	-116.29	-106.58	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
100	-8.32	-7.89	-123.75	-119.48	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
99	-8.73	-8.11	-129.41	-123.24	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
98	-8.75	-7.56	-128.24	-116.48	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
97	-8.90	-8.40	-132.22	-127.29	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
96	-8.17	-7.21	-120.11	-110.54	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
95	-8.68	-8.35	-129.37	-126.14	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
94	-9.26	-9.04	-138.38	-136.19	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
93	-9.79	-9.42	-145.97	-142.31	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
92	-9.93	-9.61	-148.14	-144.93	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
91	-9.78	-9.52	-146.07	-143.50	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
90	-9.32	-9.20	-139.51	-138.35	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
89	-8.67	-8.62	-129.95	-129.49	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
88	-8.96	-6.80	-128.89	-107.48	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
87	-9.64	-8.52	-141.78	-130.65	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
86	-9.44	-8.33	-138.82	-127.76	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
85	-9.26	-8.56	-137.12	-130.17	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
84	-8.28	-7.40	-121.94	-113.28	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
83	-9.51	-8.85	-140.98	-134.38	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
82	-9.69	-6.89	-138.16	-110.49	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
81	-7.80	-6.44	-113.60	-100.13	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
80	-8.31	-4.12	-113.98	-72.47	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
79	-6.50	-5.85	-95.91	-89.47	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
78	-7.50	-4.69	-105.32	-77.57	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
77	-7.14	-6.27	-104.86	-96.31	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
76	-8.18	-7.42	-120.76	-113.25	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
75	-8.44	-7.01	-122.89	-108.77	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
74	-9.08	-8.18	-133.93	-125.01	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
73	-8.19	-7.53	-121.20	-114.67	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
72	-9.48	-8.55	-139.84	-130.66	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
71	-9.17	-8.12	-134.87	-124.49	-18.675	360	0	0.2	VERIF.



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
**PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. ALLEGATO  
 IV01 00 D 07 CL GN 05 00 001 A 3

70	-10.13	-8.05	-146.68	-126.03	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
69	-8.16	-7.63	-121.09	-115.78	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
68	-8.82	-8.59	-131.71	-129.43	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
67	-9.36	-9.30	-140.28	-139.65	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
66	-9.75	-9.64	-145.91	-144.87	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
65	-9.77	-9.76	-146.59	-146.48	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
64	-9.65	-9.40	-144.12	-141.67	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
63	-9.10	-8.86	-135.93	-133.50	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
62	-8.92	-7.54	-130.34	-116.60	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
61	-9.46	-8.35	-139.12	-128.03	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
60	-9.16	-8.21	-134.97	-125.61	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
59	-8.97	-8.30	-132.79	-126.15	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
58	-7.67	-7.50	-114.58	-112.93	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
57	-8.00	-7.79	-119.52	-117.42	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
56	-8.05	-7.04	-118.23	-108.22	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
55	-7.91	-7.48	-117.56	-113.31	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
54	-7.75	-6.07	-111.99	-95.32	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
53	-6.99	-5.05	-99.88	-80.65	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
52	-6.50	-5.19	-94.16	-81.23	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
51	-7.06	-6.80	-105.25	-102.62	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
50	-8.45	-7.20	-123.58	-111.22	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
49	-7.66	-7.48	-114.44	-112.65	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
48	-8.09	-7.99	-121.10	-120.13	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
47	-8.09	-7.44	-119.67	-113.27	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
46	-9.30	-8.56	-137.66	-130.34	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
45	-9.48	-8.61	-140.01	-131.42	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
44	-10.33	-8.43	-150.06	-131.29	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
43	-8.69	-8.69	-130.33	-130.32	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
42	-9.51	-9.45	-142.54	-141.89	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
41	-10.10	-9.97	-151.20	-149.94	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
40	-10.38	-10.15	-155.17	-152.90	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
39	-10.28	-10.09	-153.69	-151.87	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
38	-9.84	-9.74	-147.34	-146.37	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
37	-9.28	-8.95	-138.37	-135.13	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
36	-9.65	-6.92	-137.74	-110.77	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
35	-9.82	-8.96	-145.15	-136.64	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
34	-9.25	-8.38	-136.51	-127.92	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
33	-9.57	-8.81	-141.65	-134.07	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
32	-8.40	-7.40	-123.44	-113.57	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
31	-9.49	-7.83	-138.09	-121.70	-18.675	360	0	0.2	VERIF.



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
**PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. ALLEGATO  
 IV01 00 D 07 CL GN 05 00 001 A 3

30	-8.03	-7.21	-118.39	-110.20	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
29	-8.37	-7.30	-122.78	-112.23	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
28	-7.88	-5.40	-111.92	-87.39	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
27	-6.11	-5.71	-90.69	-86.70	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
26	-7.81	-4.12	-107.78	-71.17	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
25	-6.88	-5.32	-99.20	-83.76	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
24	-8.52	-5.61	-120.33	-91.61	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
23	-8.65	-7.70	-127.39	-117.98	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
22	-9.59	-8.91	-142.13	-135.37	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
21	-8.52	-7.42	-124.94	-114.07	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
20	-9.71	-8.69	-143.02	-132.91	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
19	-9.68	-8.91	-143.26	-135.67	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
18	-11.04	-8.38	-158.84	-132.52	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
17	-8.71	-8.48	-130.04	-127.83	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
16	-9.67	-9.31	-144.10	-140.61	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
15	-10.45	-9.93	-155.38	-150.25	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
14	-10.97	-10.32	-162.86	-156.49	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
13	-11.13	-10.44	-165.15	-158.41	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
12	-10.81	-10.33	-160.97	-156.23	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
11	-10.07	-9.97	-150.80	-149.84	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
10	-9.63	-8.89	-142.55	-135.24	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
9	-8.80	-7.78	-129.35	-119.23	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
8	-9.63	-8.58	-141.72	-131.35	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
7	-8.61	-8.08	-127.81	-122.55	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
6	-8.82	-8.32	-131.02	-126.06	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
5	-8.82	-7.48	-128.93	-115.65	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
4	-8.27	-6.31	-119.06	-99.60	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
3	-8.32	-7.01	-121.46	-108.48	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
2	-6.99	-6.24	-102.98	-95.54	-18.675	360	0	0.2	VERIF.
1	-6.80	-4.63	-96.50	-75.03	-18.675	360	0	0.2	VERIF.



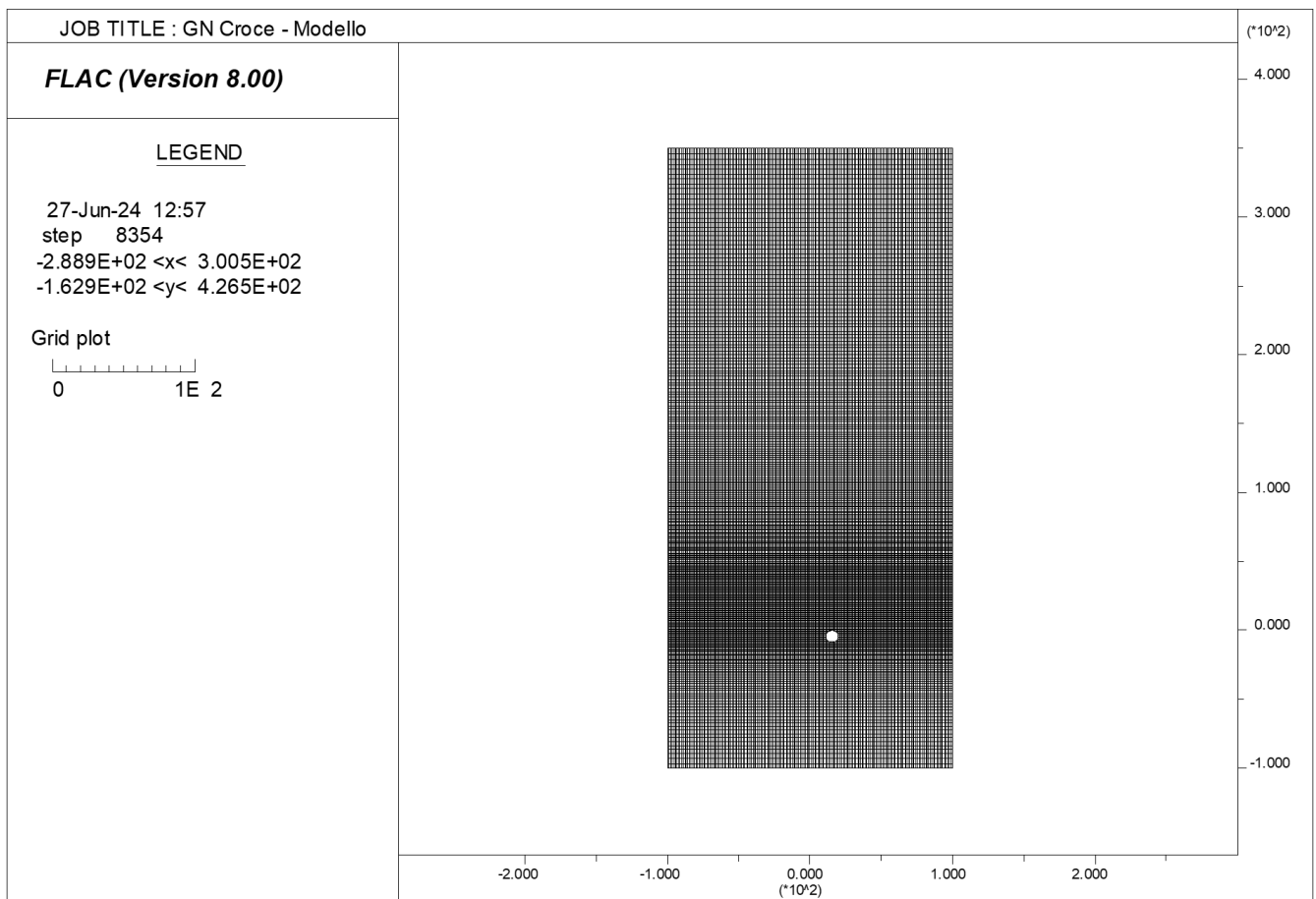
RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

1.2 ANALISI N. 2 - TBM alte coperture in faglia (pk 78+920)

FASE 3





RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

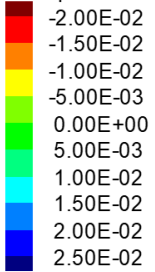
JOB TITLE : GN Croce - Spostamenti verticali

FLAC (Version 8.00)

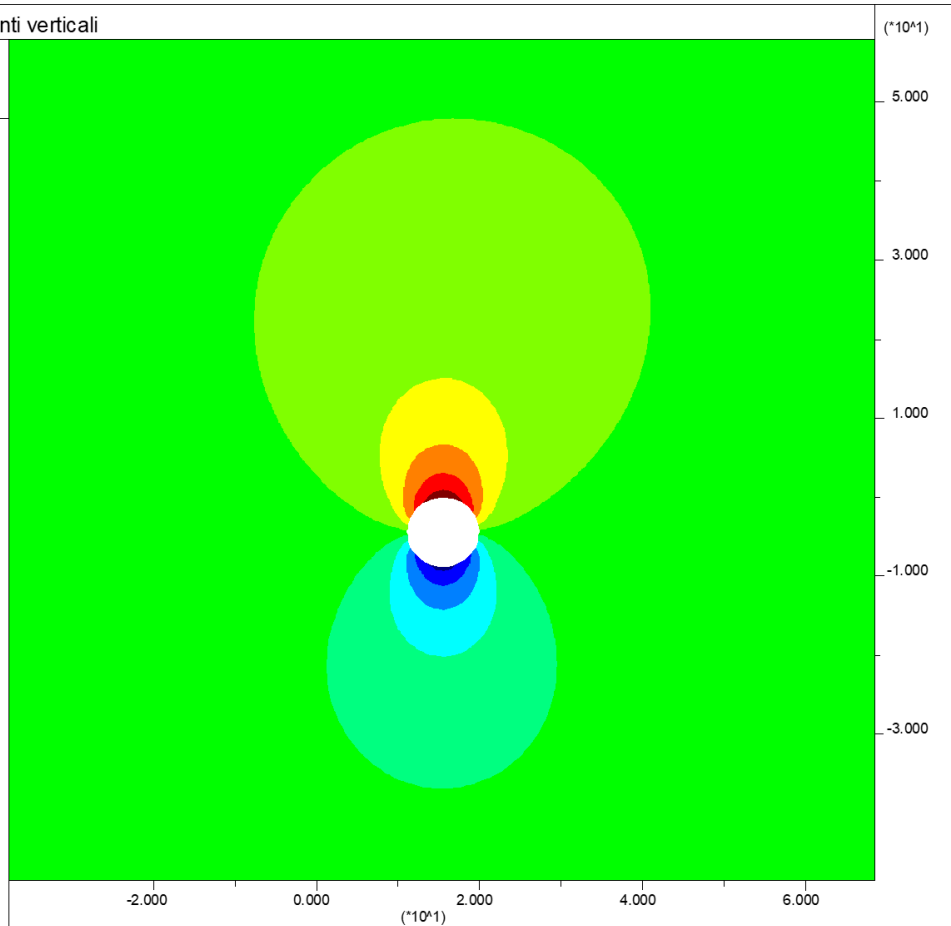
LEGEND

27-Jun-24 12:59  
step 8354  
-3.781E+01 <x< 6.850E+01  
-4.846E+01 <y< 5.785E+01

Y-displacement contours



Contour interval= 5.00E-03





RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

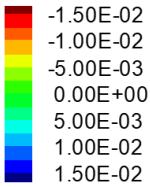
JOB TITLE : GN Croce - Spostamenti orizzontali

FLAC (Version 8.00)

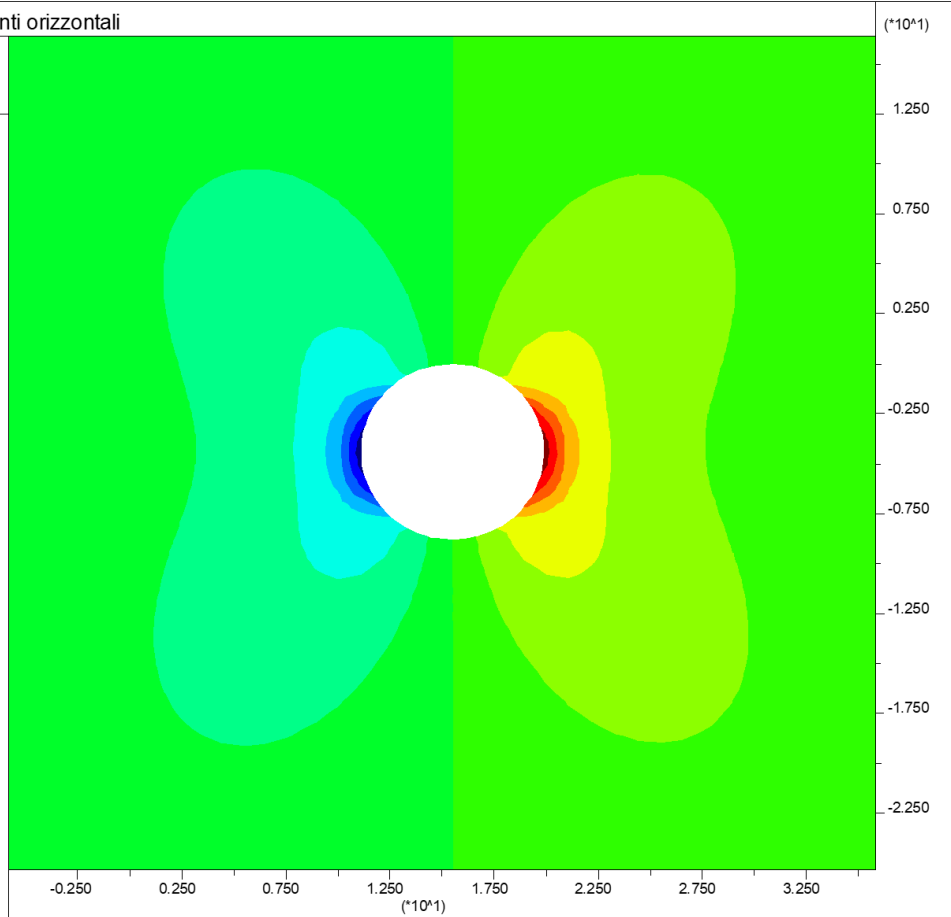
LEGEND

27-Jun-24 13:01  
step 8354  
-5.856E+00 <x< 3.582E+01  
-2.530E+01 <y< 1.637E+01

X-displacement contours



Contour interval= 2.50E-03





RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

JOB TITLE : GN Croce - Plasticizzazioni

FLAC (Version 8.00)

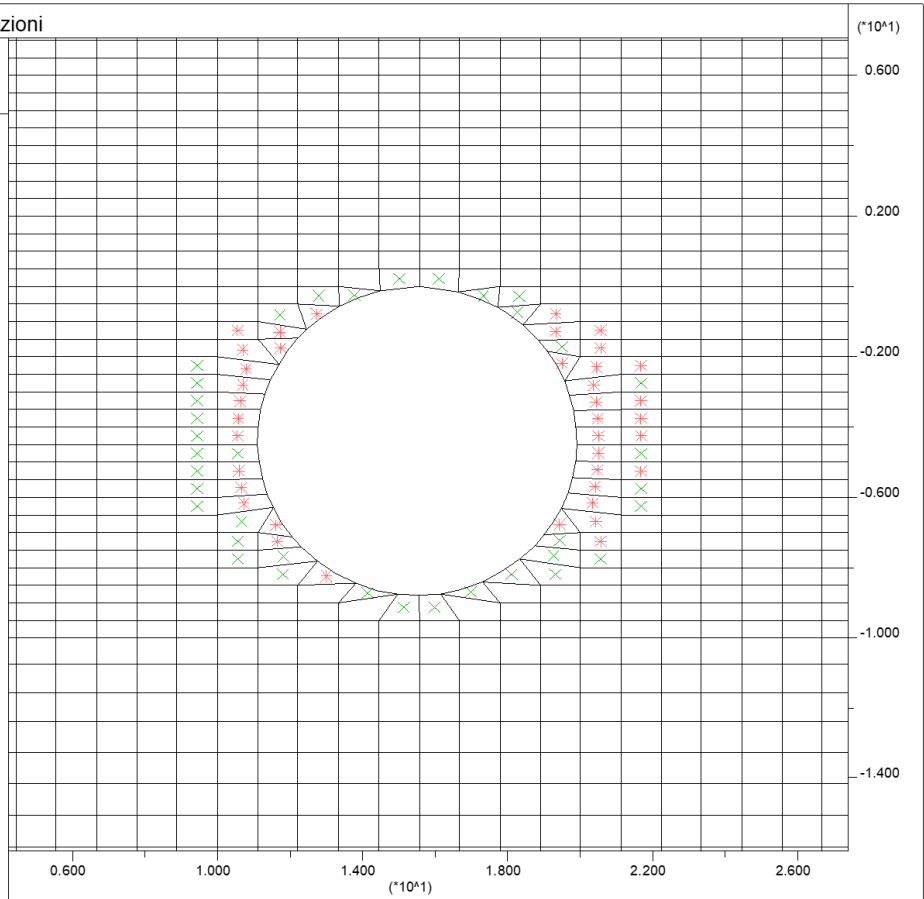
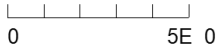
LEGEND

27-Jun-24 13:03  
step 8354  
4.241E+00 <x< 2.738E+01  
-1.608E+01 <y< 7.060E+00

Plasticity Indicator

\* at yield in shear or vol.  
X elastic, at yield in past

Grid plot







RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

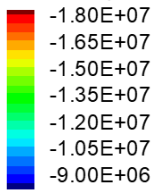
JOB TITLE : GN Croce - Sforzi principali massimi

FLAC (Version 8.00)

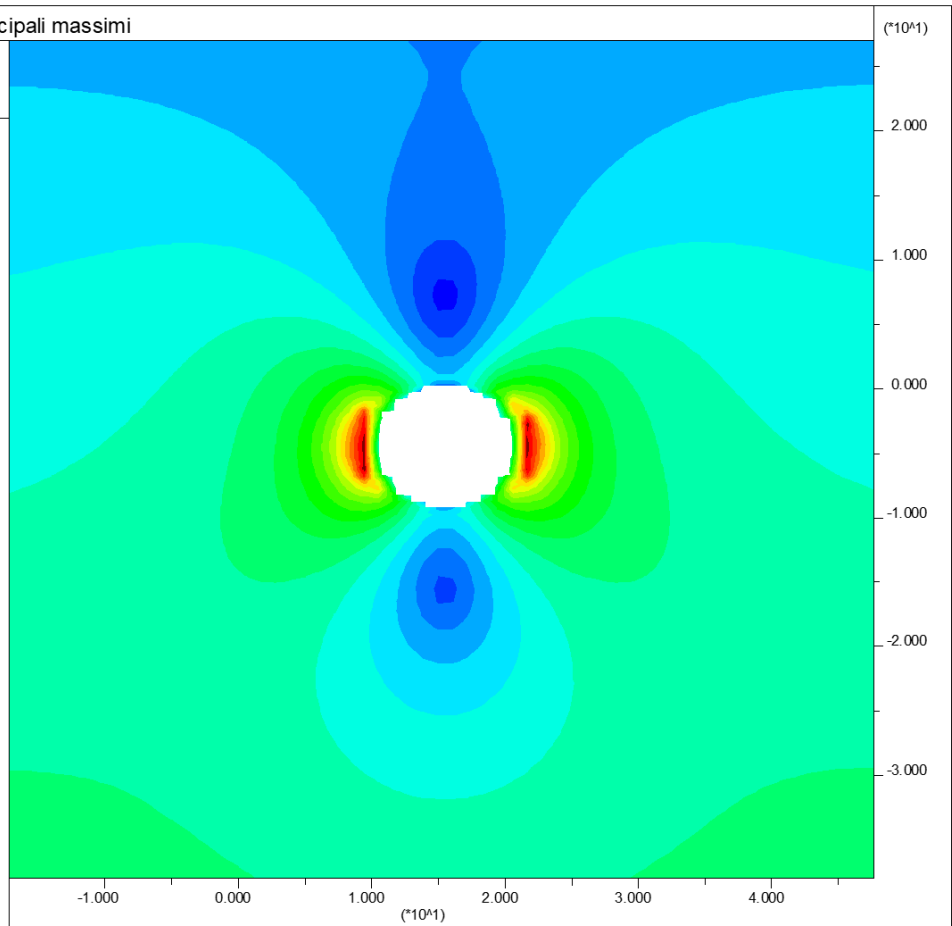
LEGEND

27-Jun-24 13:08  
step 8354  
-1.724E+01 <x< 4.770E+01  
-3.795E+01 <y< 2.699E+01

Maximum principal stress



Contour interval= 5.00E+05



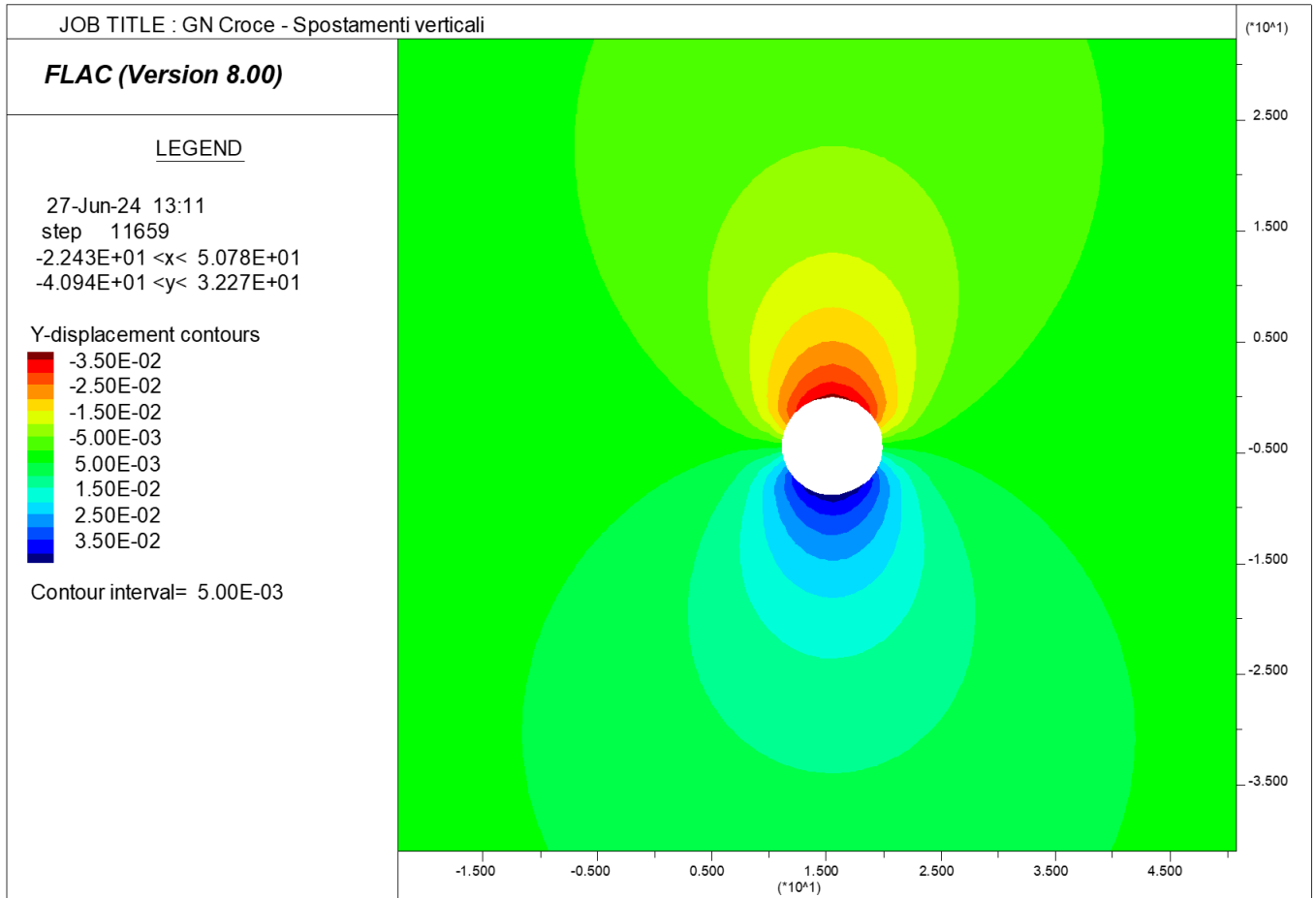


RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

FASE 5





RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

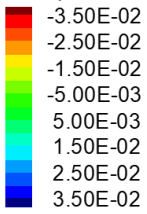
JOB TITLE : GN Croce - Spostamenti orizzontali

FLAC (Version 8.00)

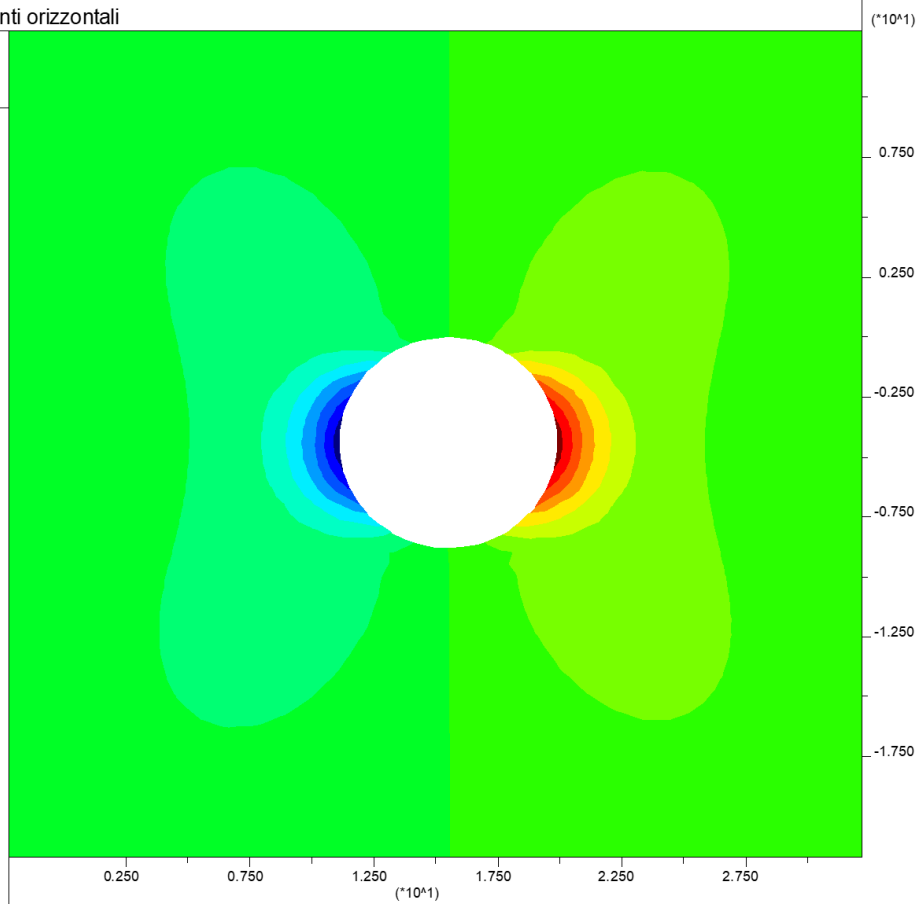
LEGEND

27-Jun-24 13:12  
step 11659  
-2.240E+00 <x< 3.220E+01  
-2.168E+01 <y< 1.276E+01

X-displacement contours



Contour interval= 5.00E-03





RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

JOB TITLE : GN Croce - Plasticizzazioni

FLAC (Version 8.00)

LEGEND

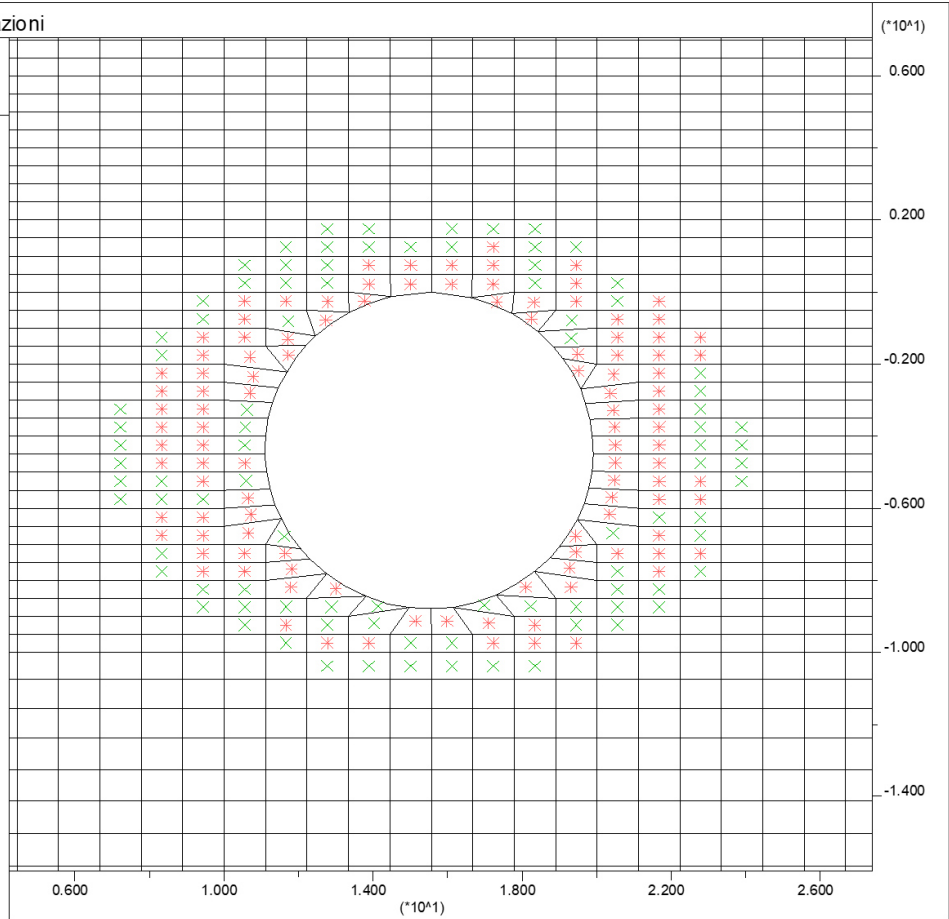
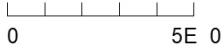
27-Jun-24 13:13  
step 11659  
4.241E+00 <x< 2.738E+01  
-1.608E+01 <y< 7.060E+00

Plasticity Indicator

\* at yield in shear or vol.

X elastic, at yield in past

Grid plot





RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

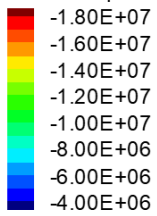
JOB TITLE : GN Croce - Sforzi principali massimi

FLAC (Version 8.00)

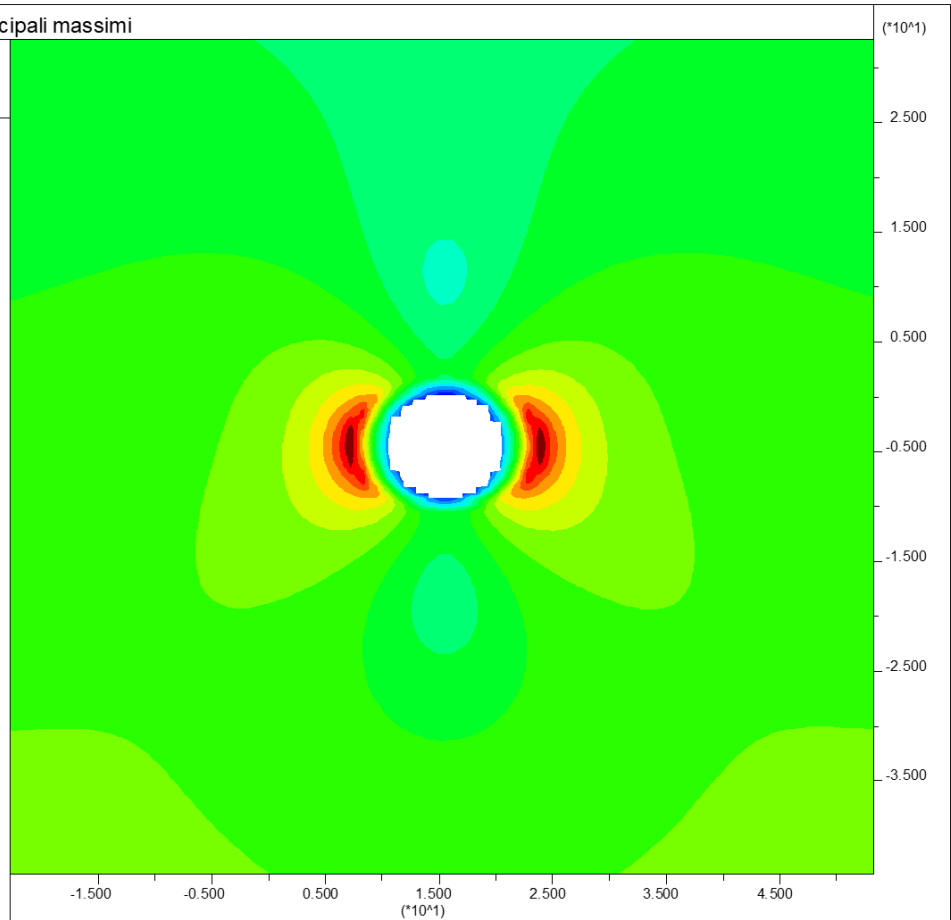
LEGEND

27-Jun-24 13:15  
step 11659  
-2.277E+01 <x< 5.323E+01  
-4.348E+01 <y< 3.252E+01

Maximum principal stress



Contour interval= 1.00E+06



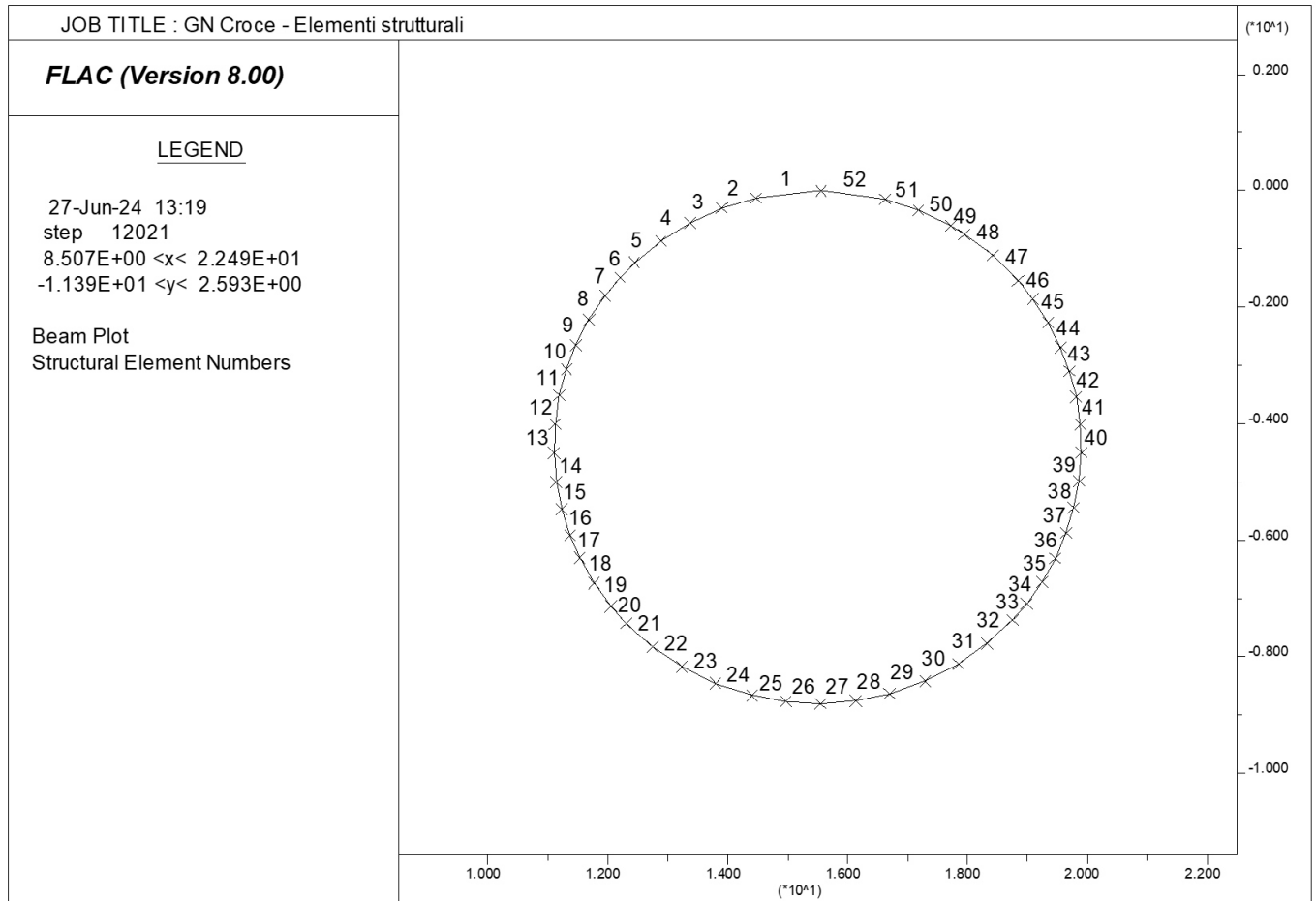


RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

FASE 6





RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

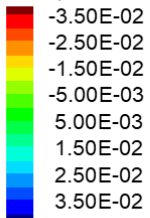
JOB TITLE : GN Croce -Spostamenti verticali

FLAC (Version 8.00)

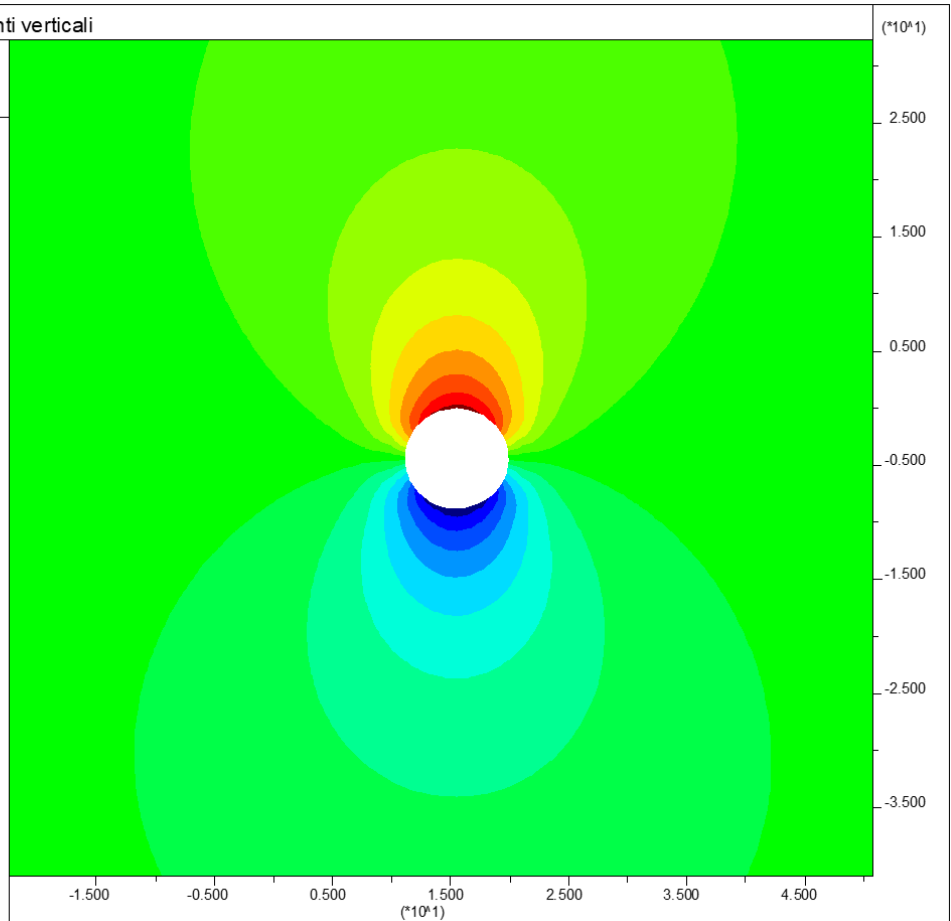
LEGEND

27-Jun-24 13:20  
step 12021  
-2.243E+01 <x< 5.078E+01  
-4.094E+01 <y< 3.227E+01

Y-displacement contours



Contour interval= 5.00E-03





RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

JOB TITLE : GN Croce -Spostamenti orizzontali

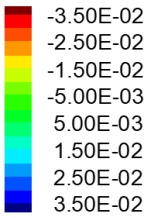
(\*10^1)

**FLAC (Version 8.00)**

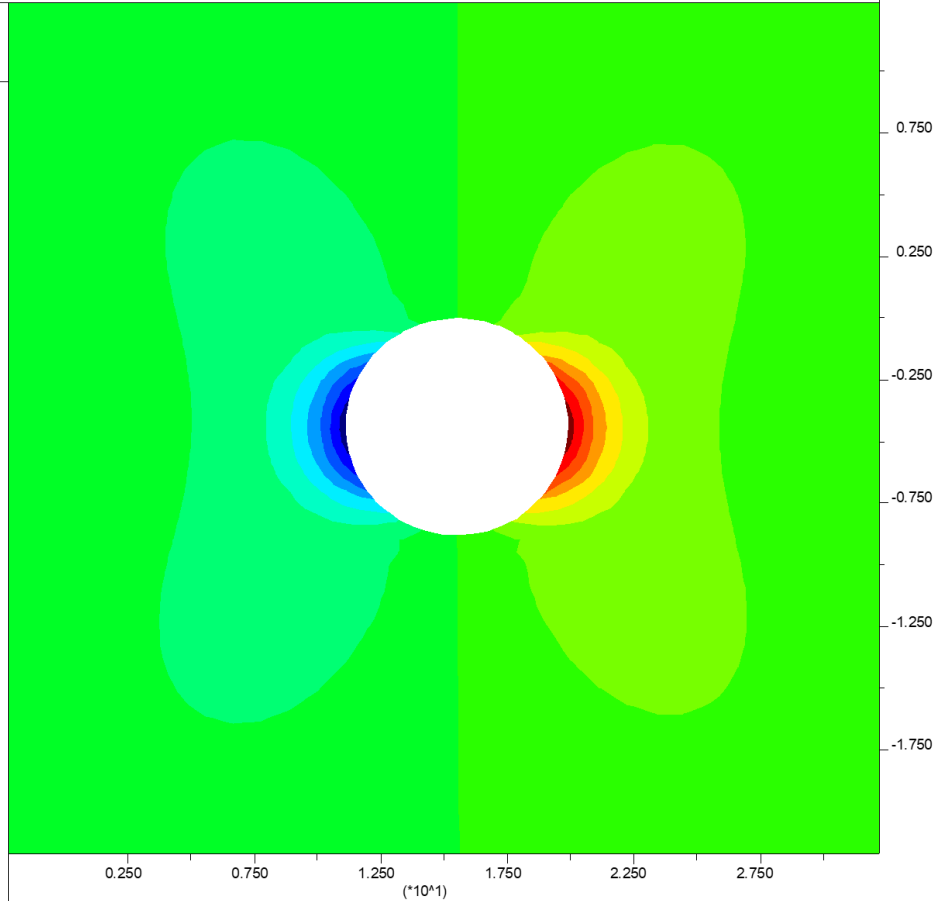
LEGEND

27-Jun-24 13:21  
step 12021  
-2.240E+00 <x< 3.220E+01  
-2.168E+01 <y< 1.276E+01

X-displacement contours



Contour interval= 5.00E-03







RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
**PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

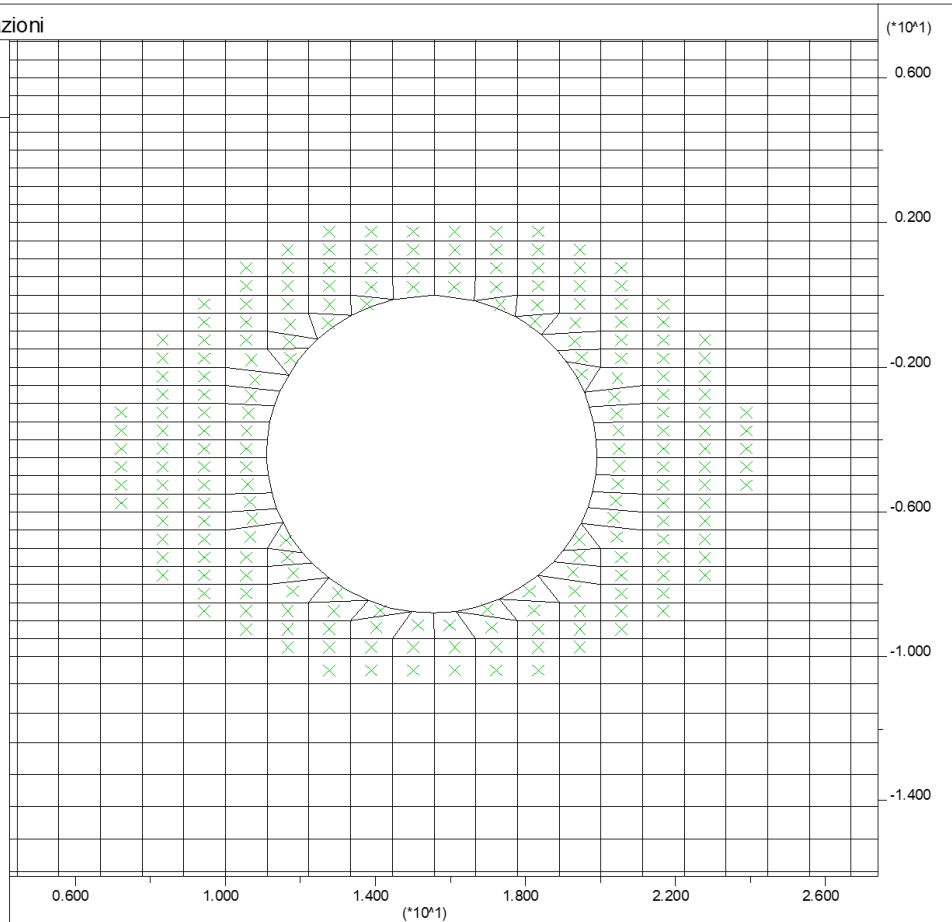
JOB TITLE : GN Croce - Plasticizzazioni

**FLAC (Version 8.00)**

LEGEND

27-Jun-24 13:22  
 step 12021  
 4.241E+00 <x< 2.738E+01  
 -1.608E+01 <y< 7.060E+00

Plasticity Indicator  
 X elastic, at yield in past  
 Grid plot





RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

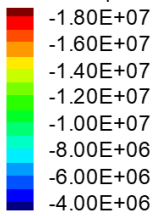
JOB TITLE : GN Croce - Sforzi principali massimi

FLAC (Version 8.00)

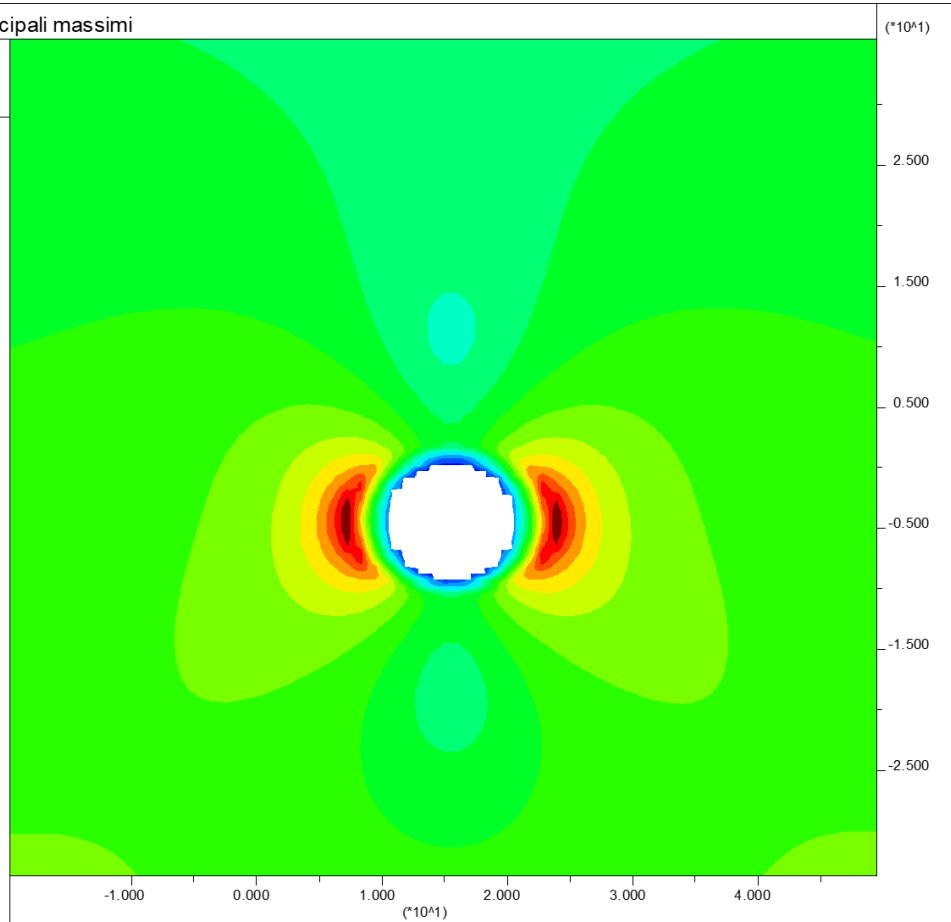
LEGEND

27-Jun-24 13:23  
step 12021  
-1.967E+01 <x< 4.942E+01  
-3.368E+01 <y< 3.542E+01

Maximum principal stress



Contour interval= 1.00E+06

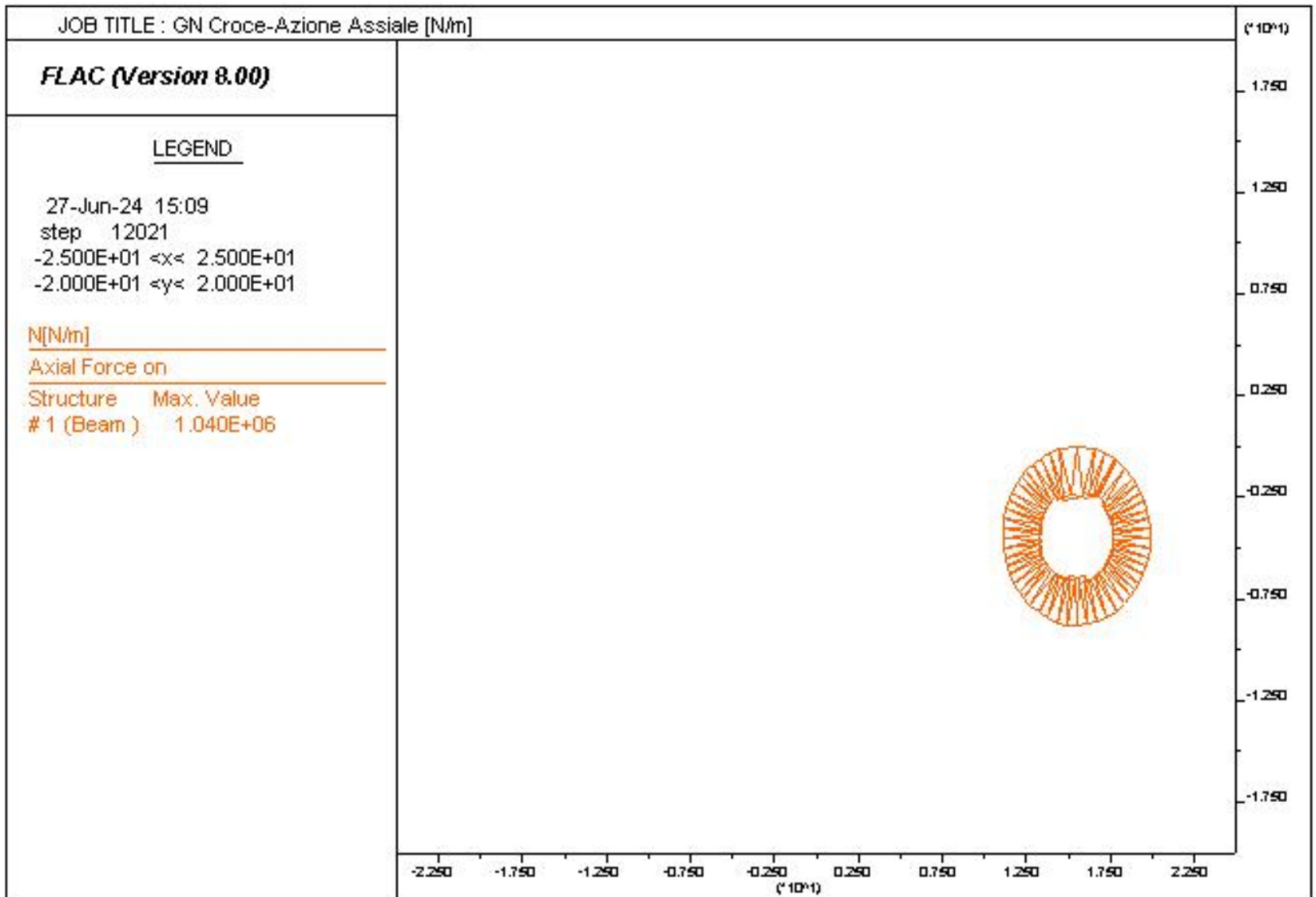




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

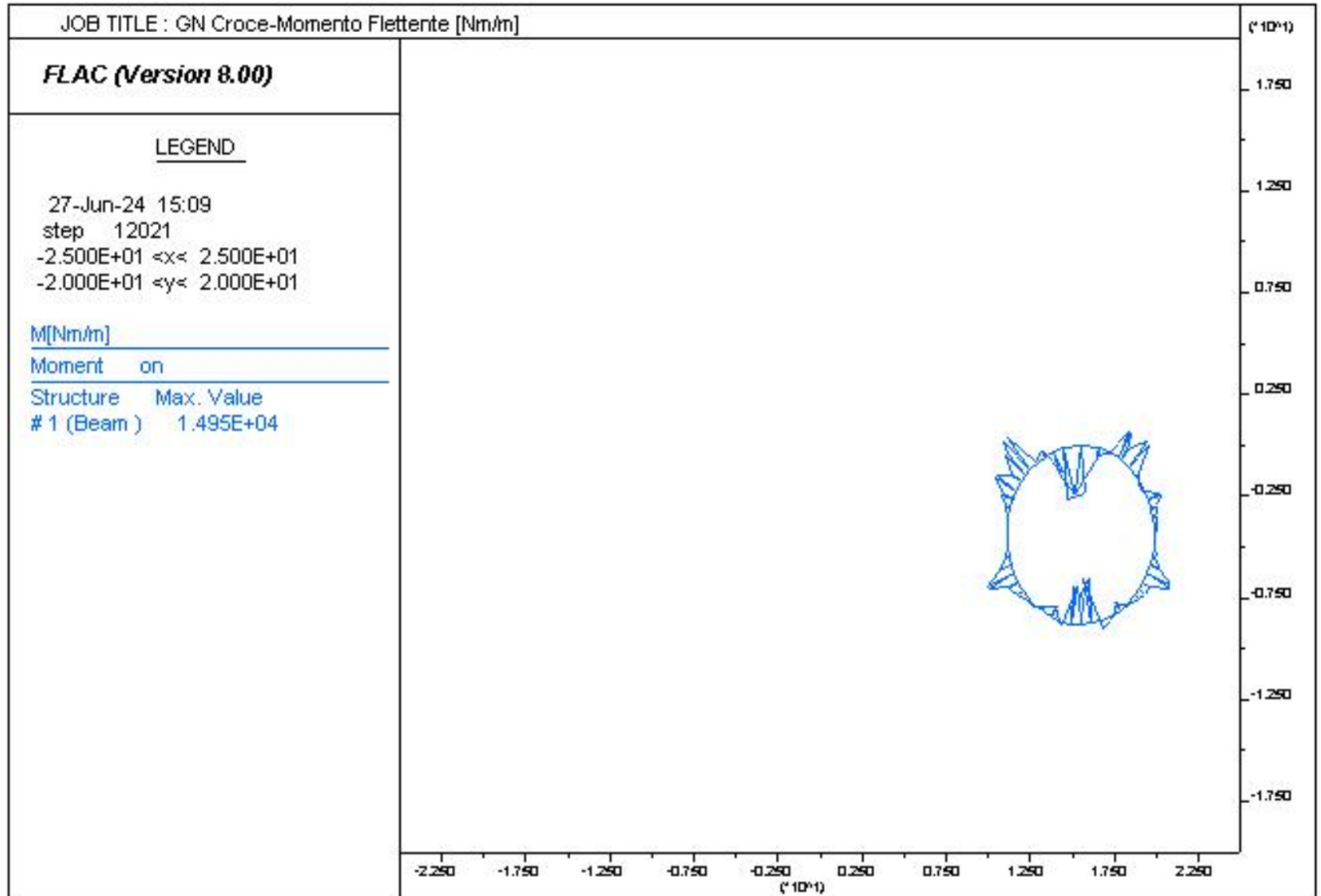




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3





RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

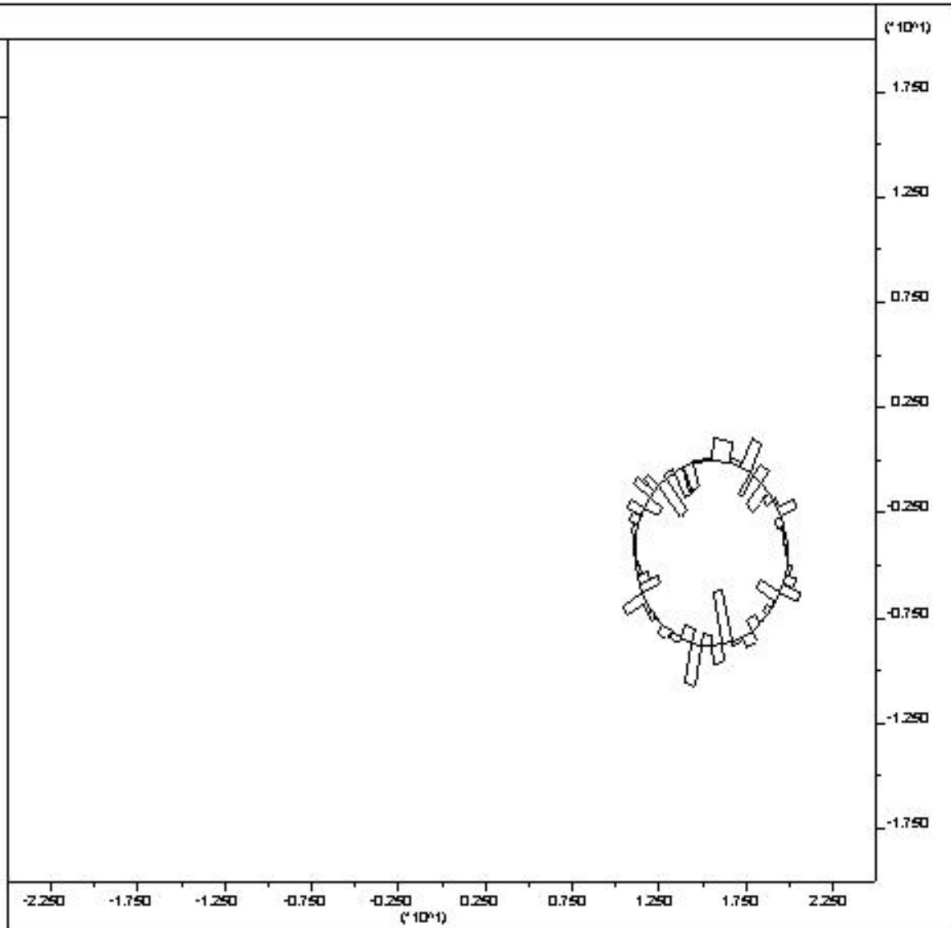
JOB TITLE : GN Croce-Taglio [N/m]

**FLAC (Version 8.00)**

LEGEND

27-Jun-24 15:09  
step 12021  
-2.500E+01 <x< 2.500E+01  
-2.000E+01 <y< 2.000E+01

T[N/m]  
Shear Force on  
Structure Max. Value  
# 1 (Beam) 2.653E+04



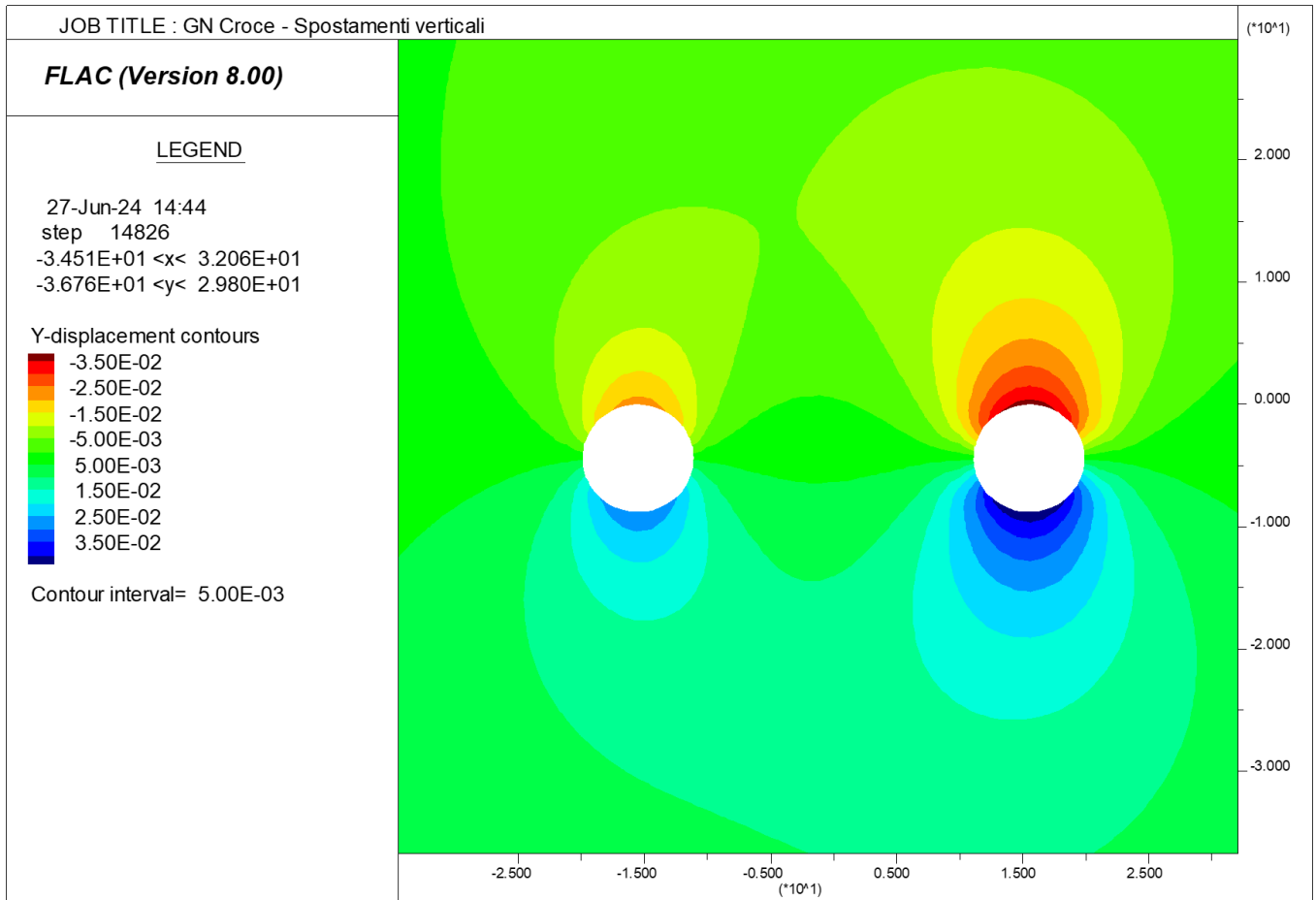


RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

FASE 7





RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

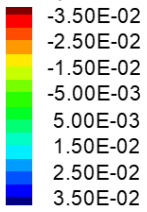
JOB TITLE : GN Croce - Spostamenti orizzontali

FLAC (Version 8.00)

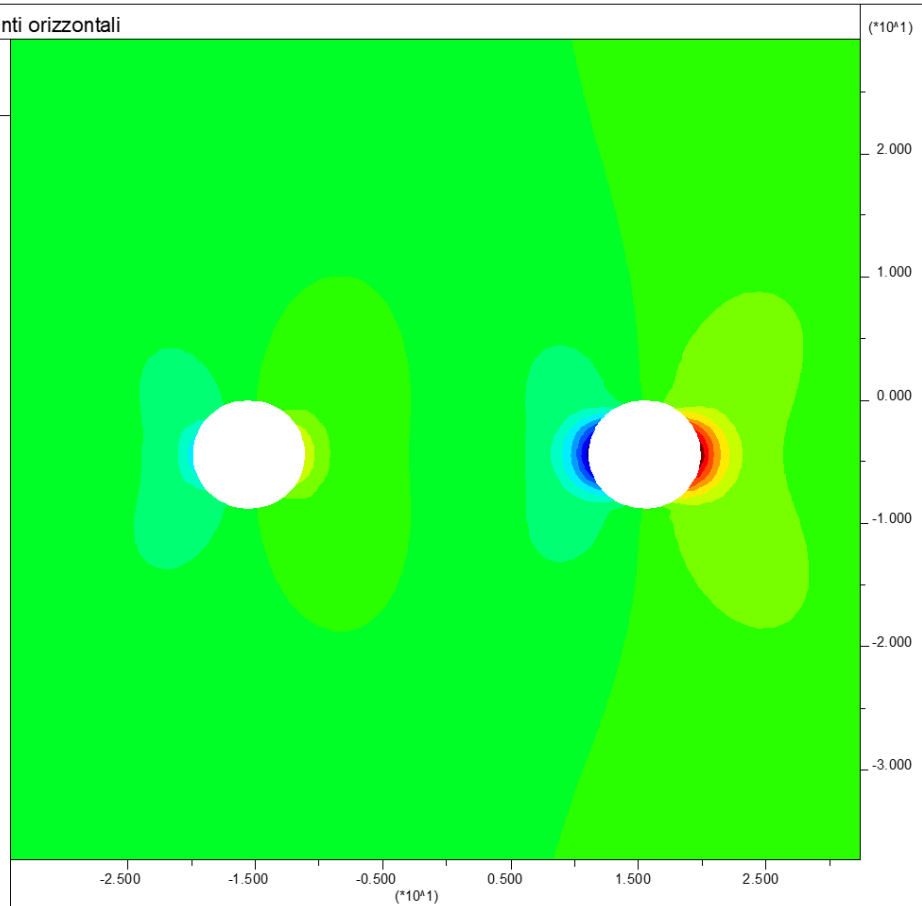
LEGEND

27-Jun-24 14:43  
step 14826  
-3.418E+01 <x< 3.238E+01  
-3.727E+01 <y< 2.929E+01

X-displacement contours



Contour interval= 5.00E-03





RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
**PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

JOB TITLE : GN Croce - Plasticizzazioni

**FLAC (Version 8.00)**

LEGEND

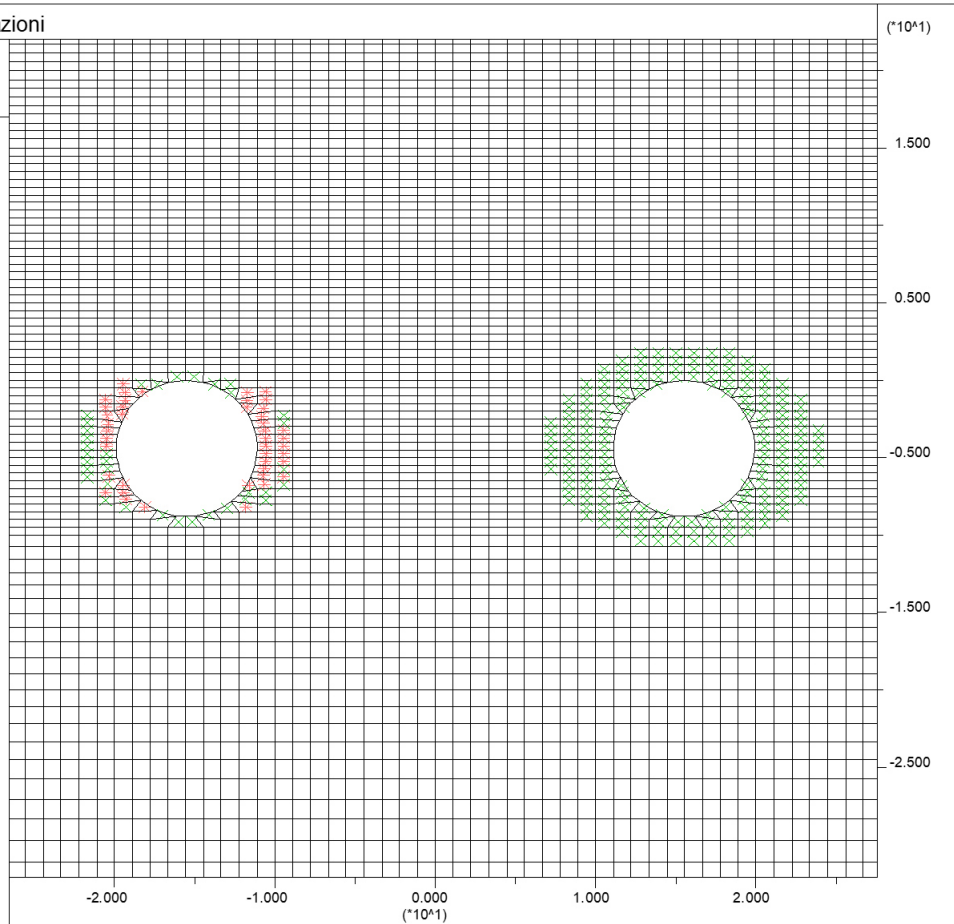
27-Jun-24 14:45  
 step 14826  
 -2.655E+01 <x< 2.756E+01  
 -3.210E+01 <y< 2.200E+01

Plasticity Indicator

\* at yield in shear or vol.

X elastic, at yield in past

Grid plot







RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

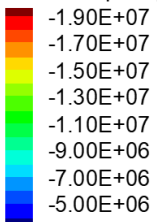
JOB TITLE : GN Croce - Sforzi principali massimi

FLAC (Version 8.00)

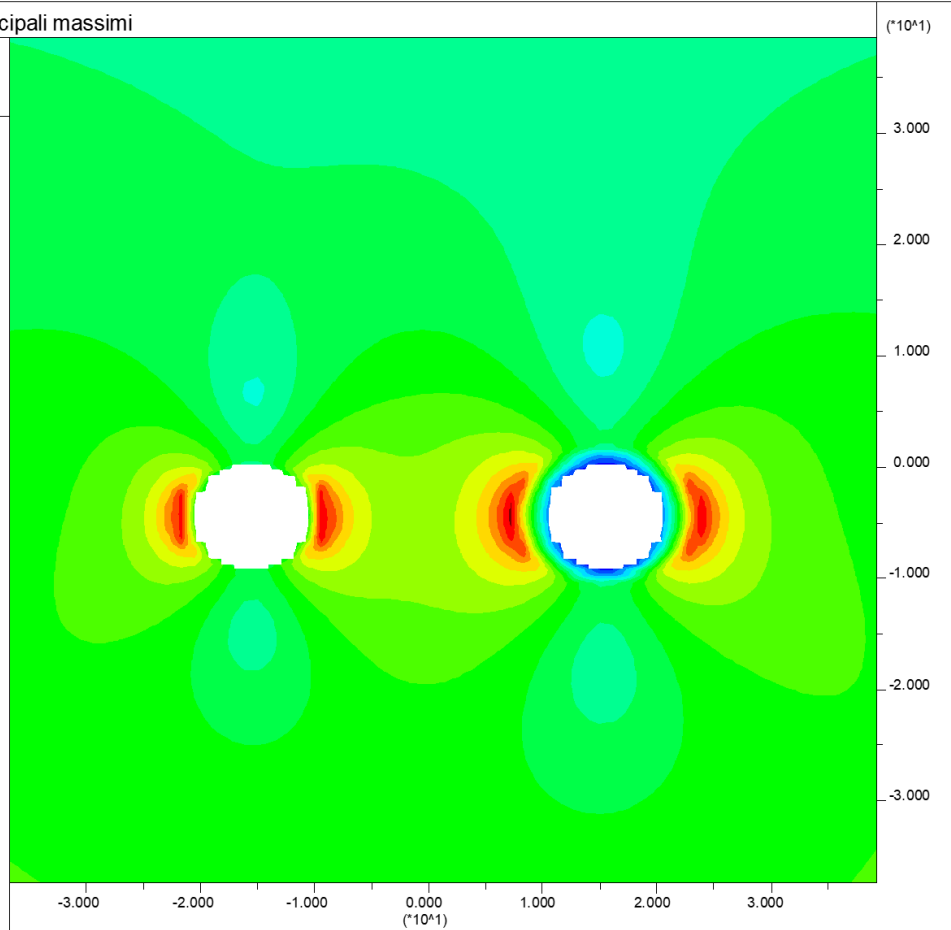
LEGEND

27-Jun-24 14:46  
step 14826  
-3.672E+01 <x< 3.929E+01  
-3.740E+01 <y< 3.861E+01

Maximum principal stress



Contour interval= 1.00E+06



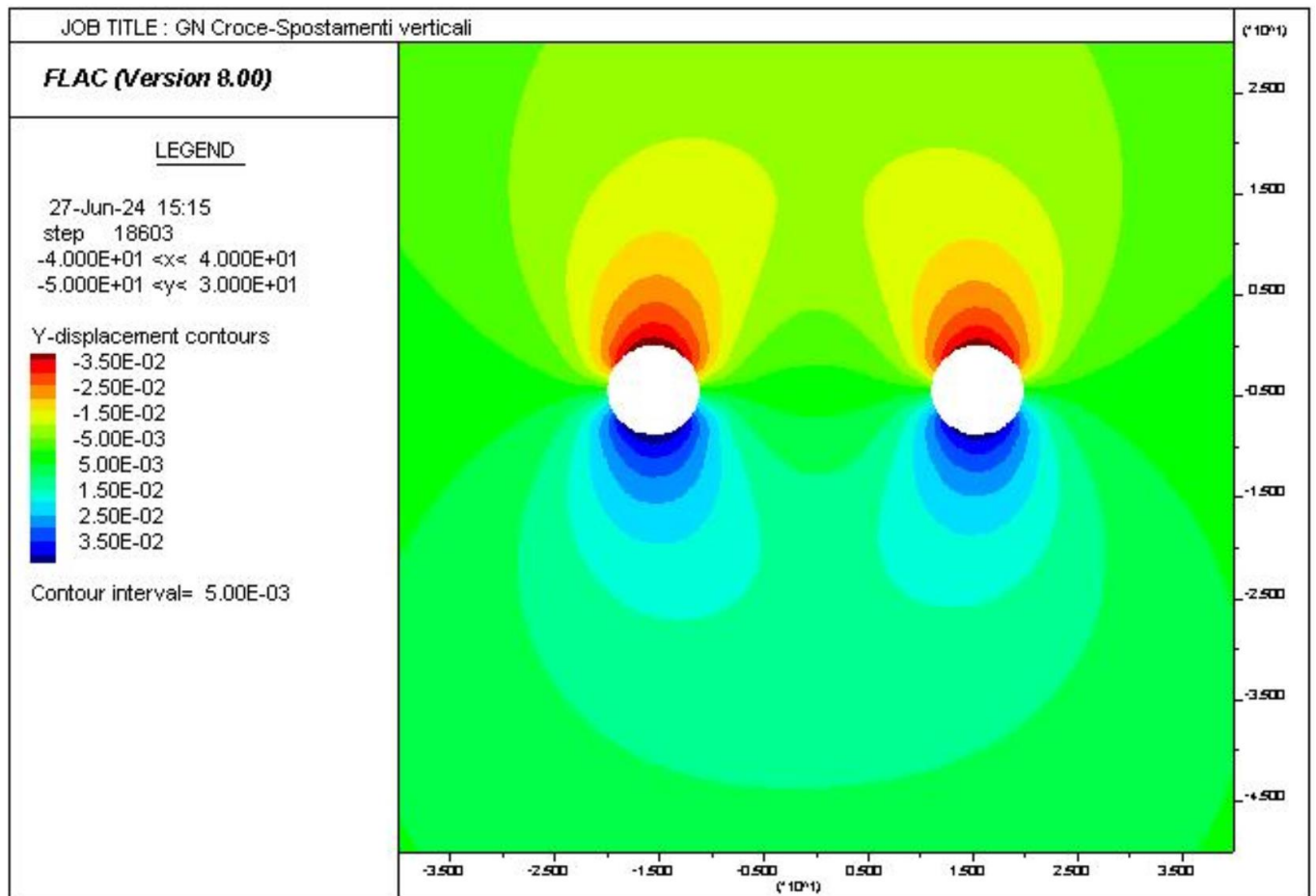


RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

FASE 9

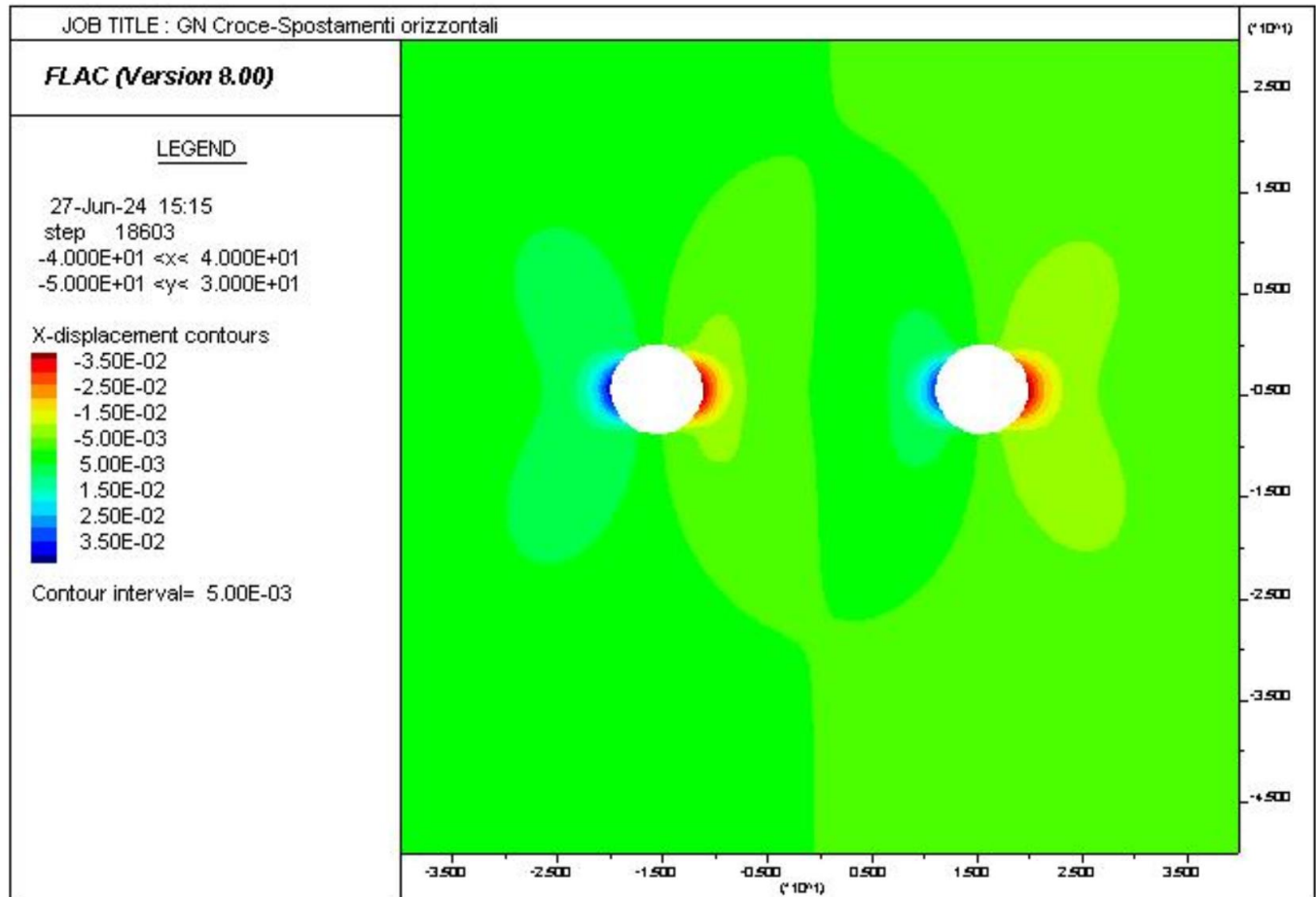




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

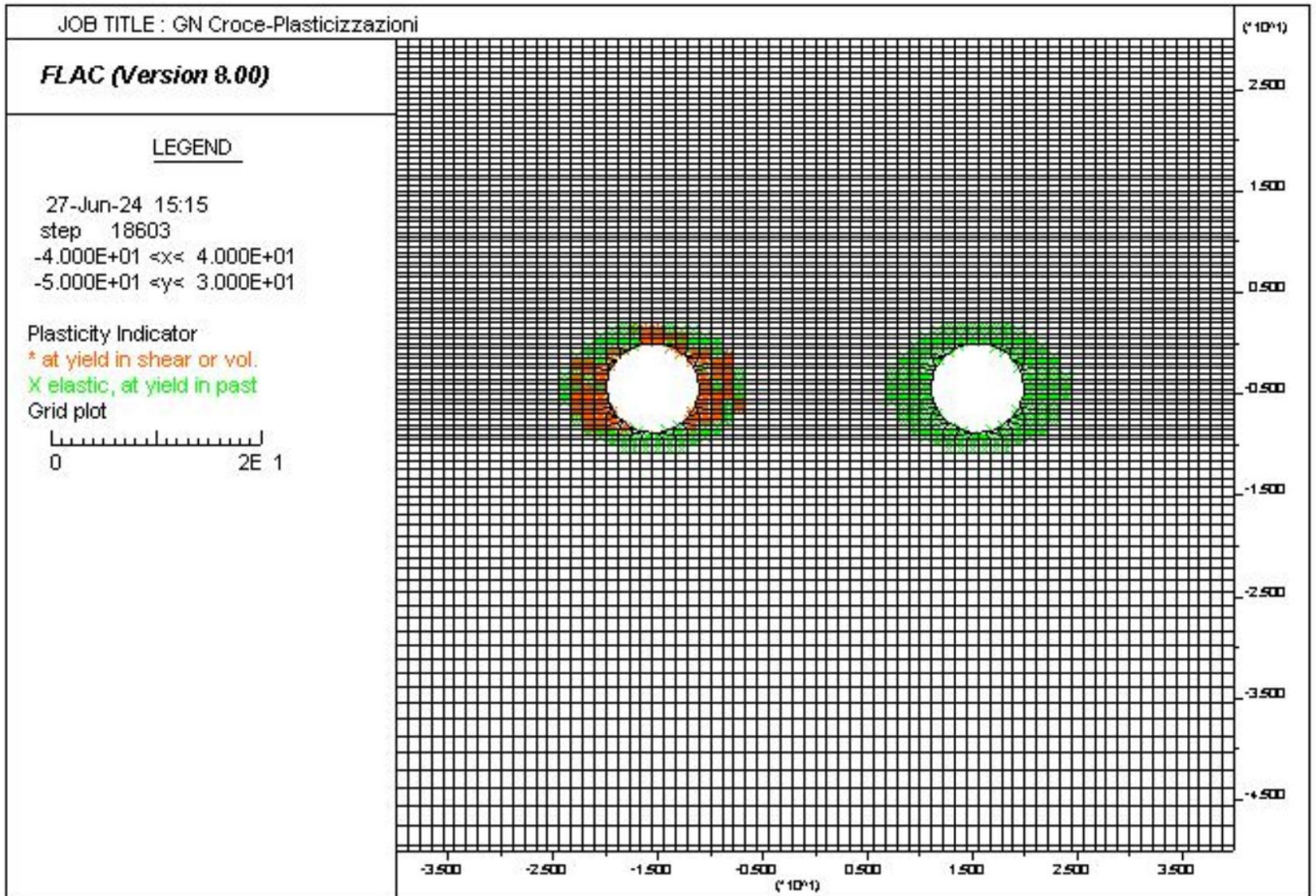




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

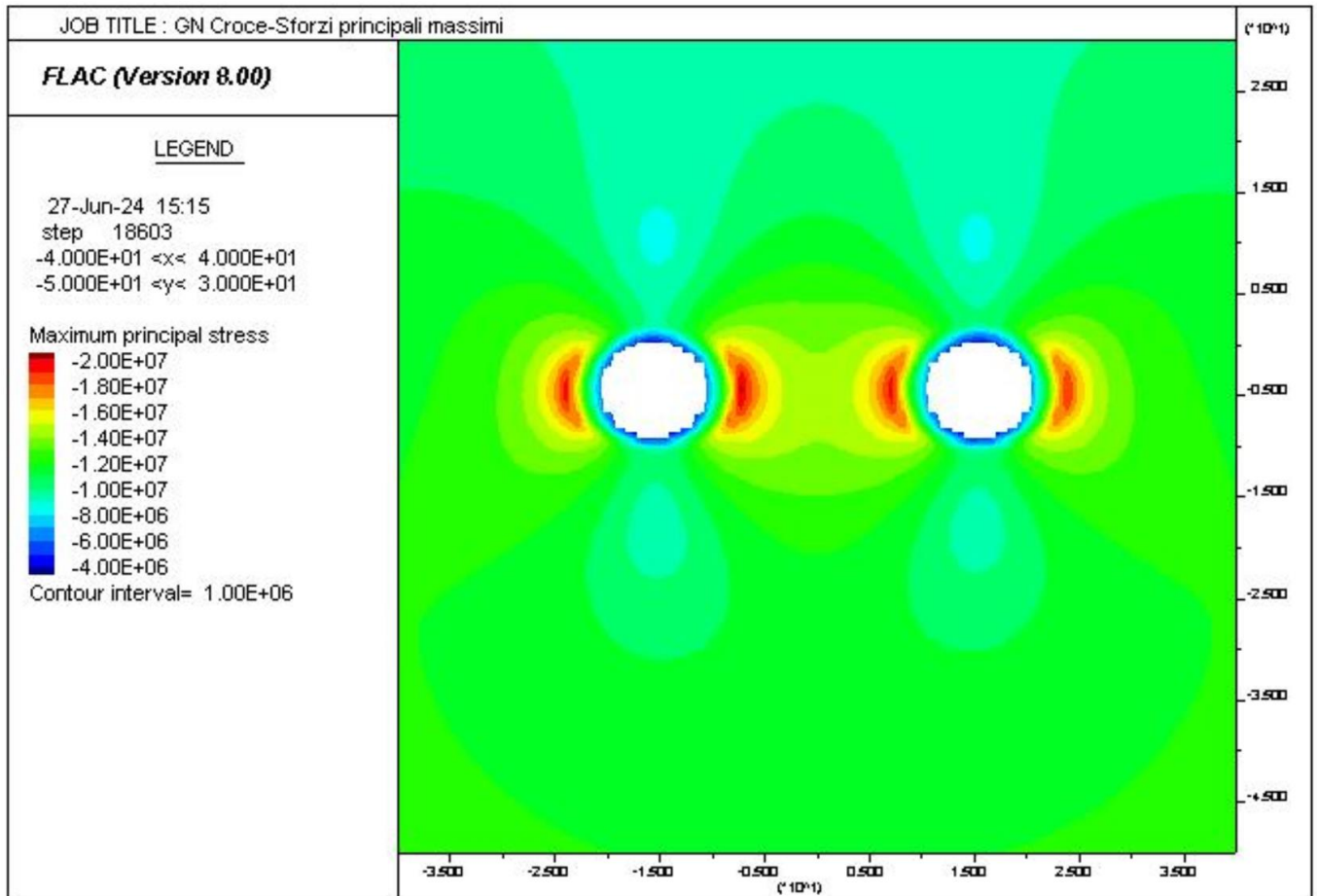
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3



RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3



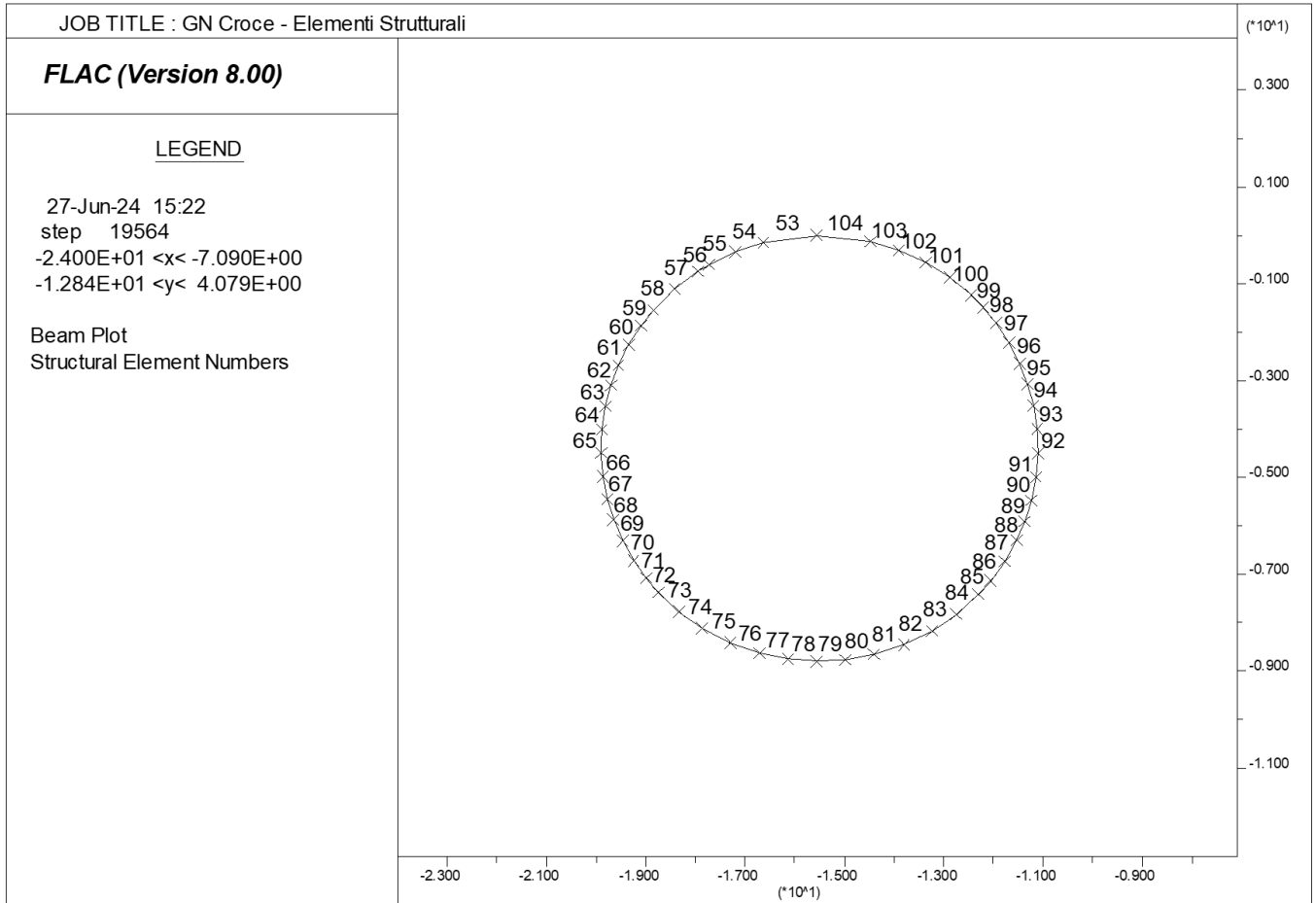


RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
**PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA NATURALE CROCE

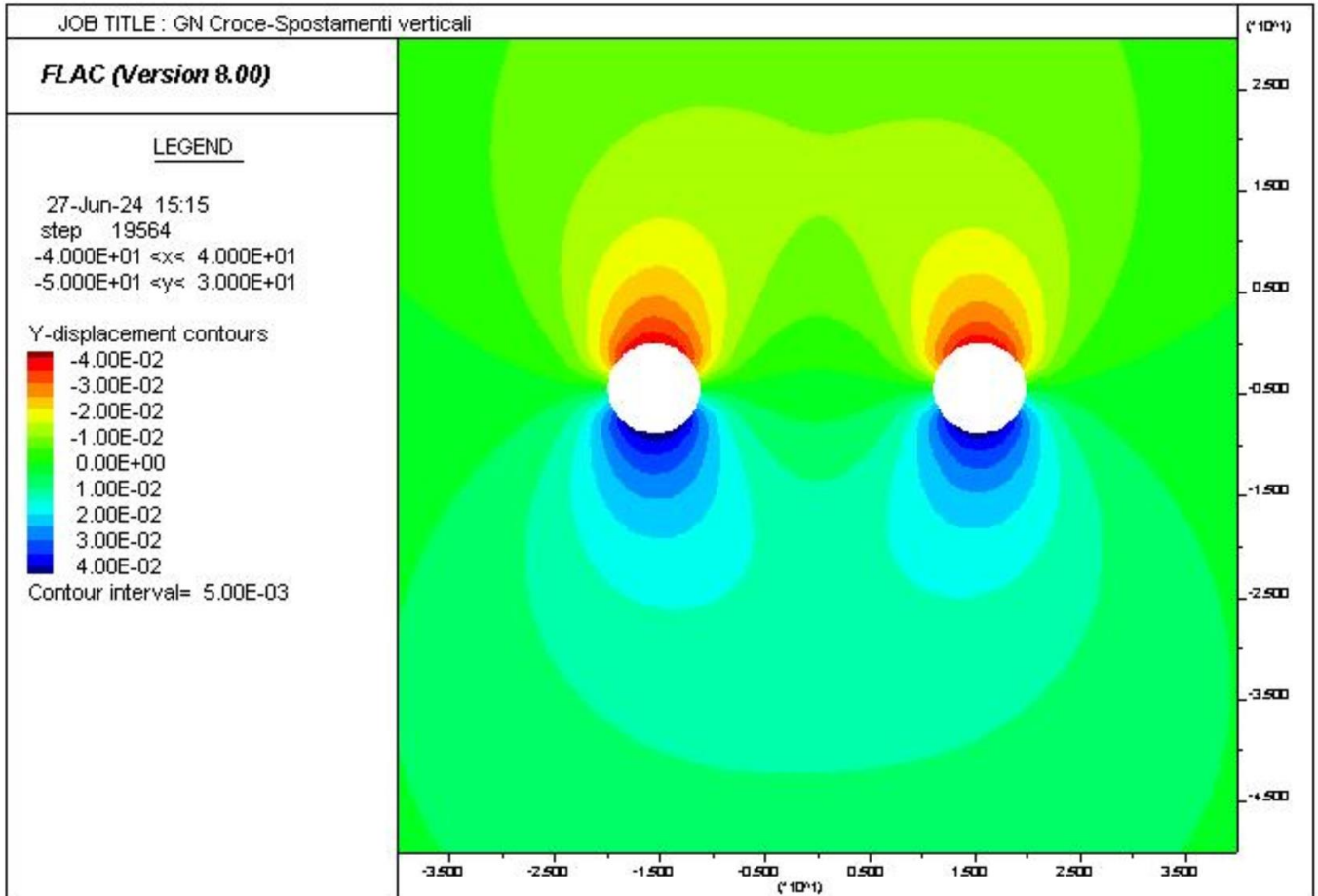
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

FASE 10



RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

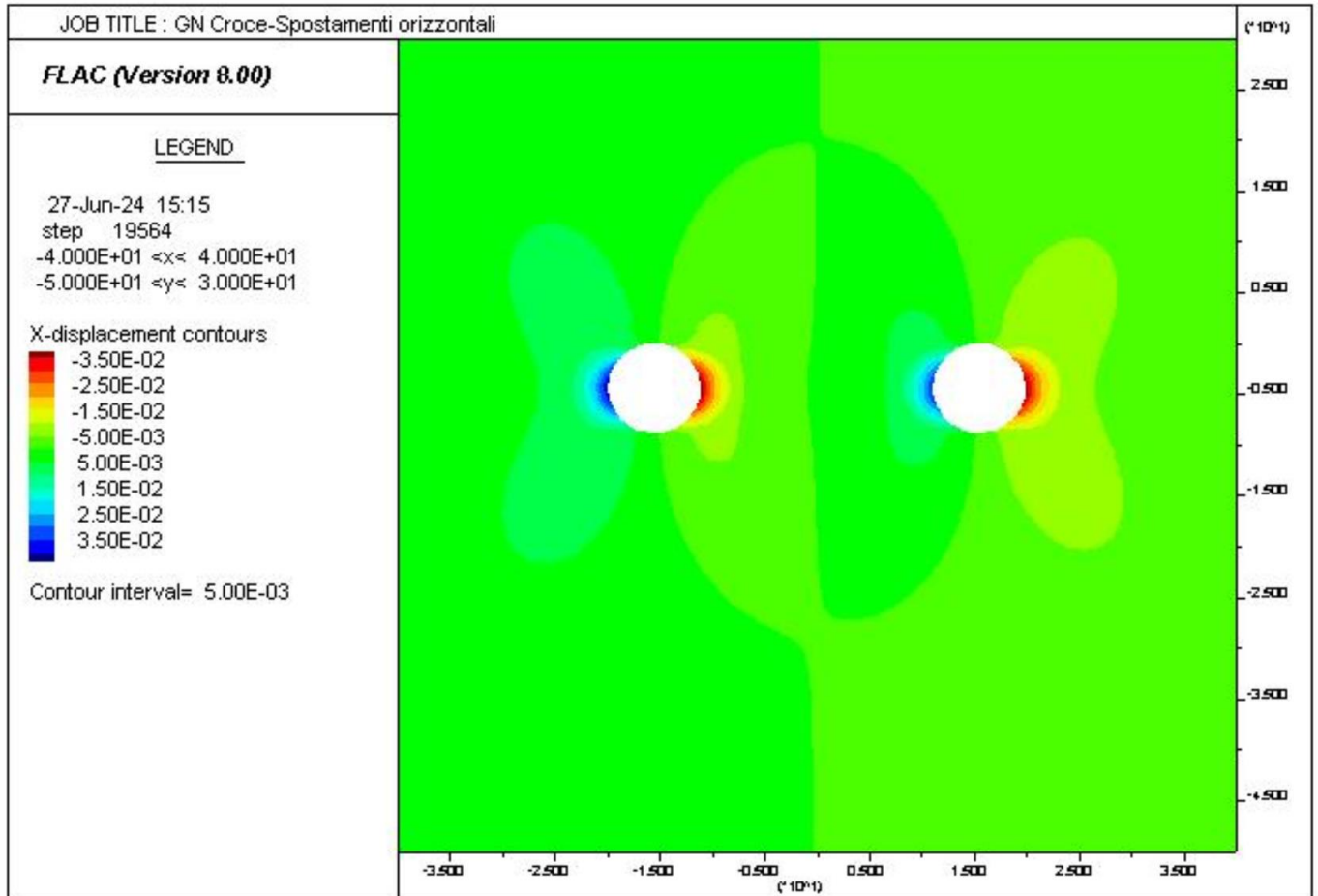




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3



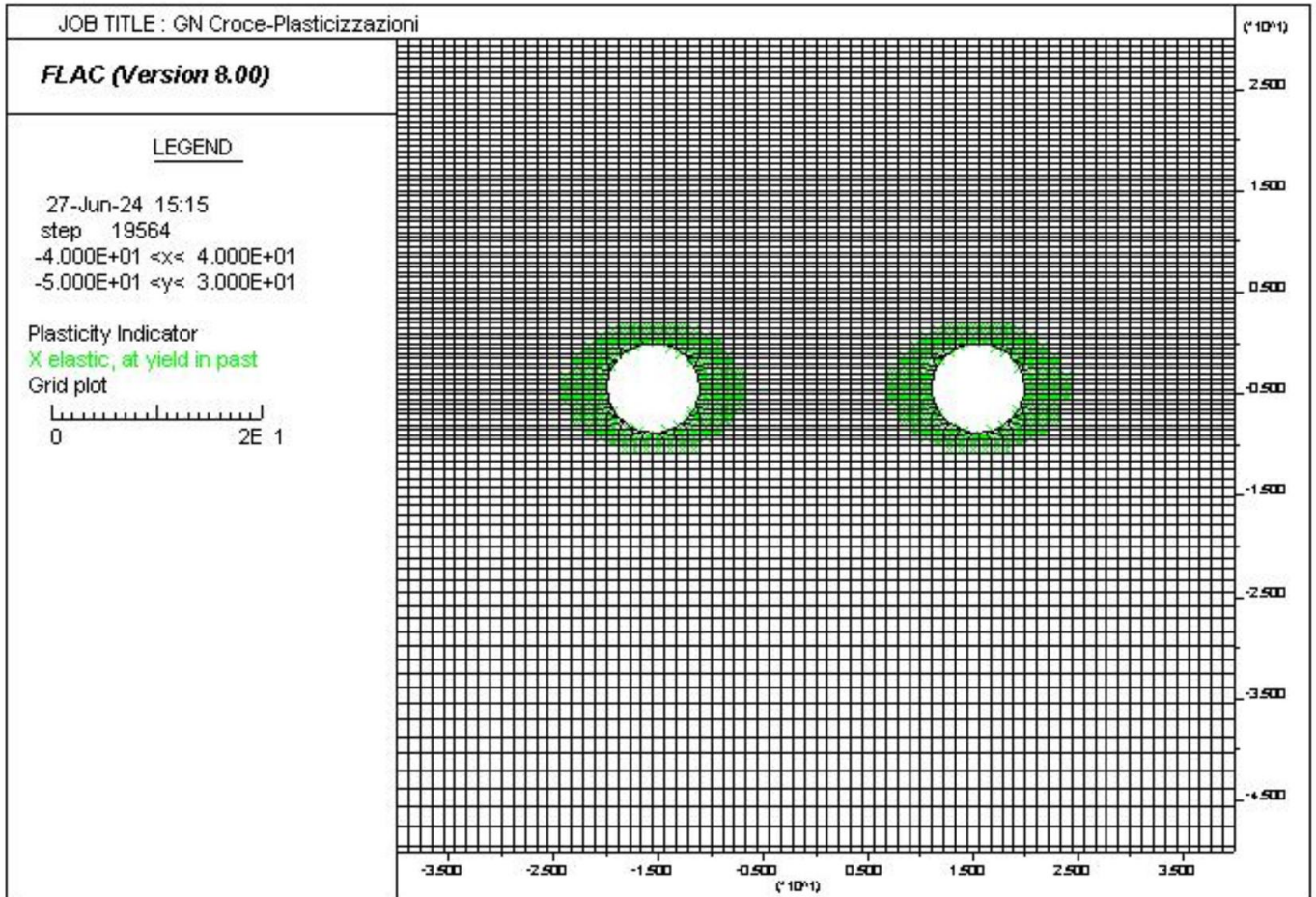




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

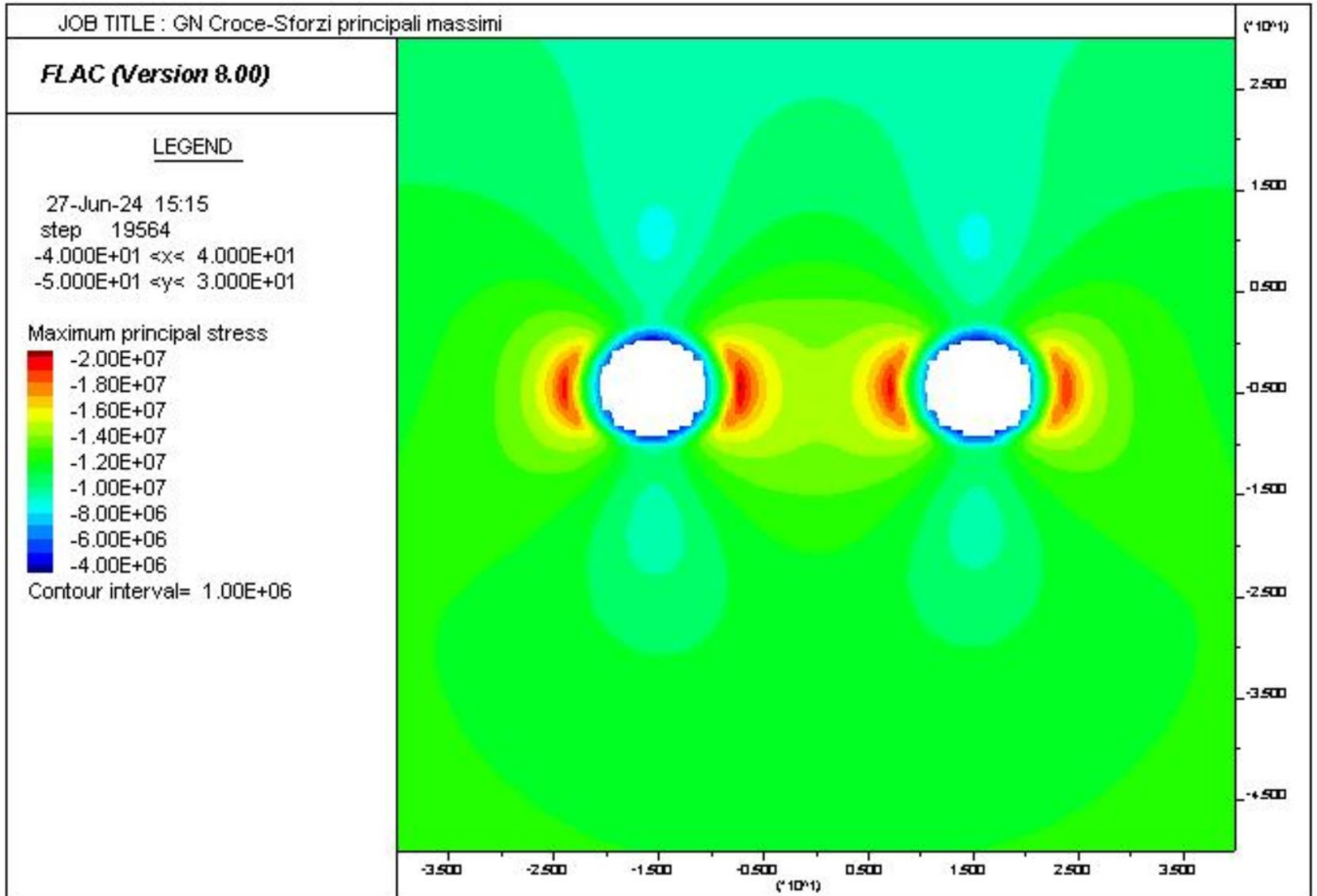
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3



RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3





RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

JOB TITLE : GN Croce-Azione Assiale [N/m]

FLAC (Version 8.00)

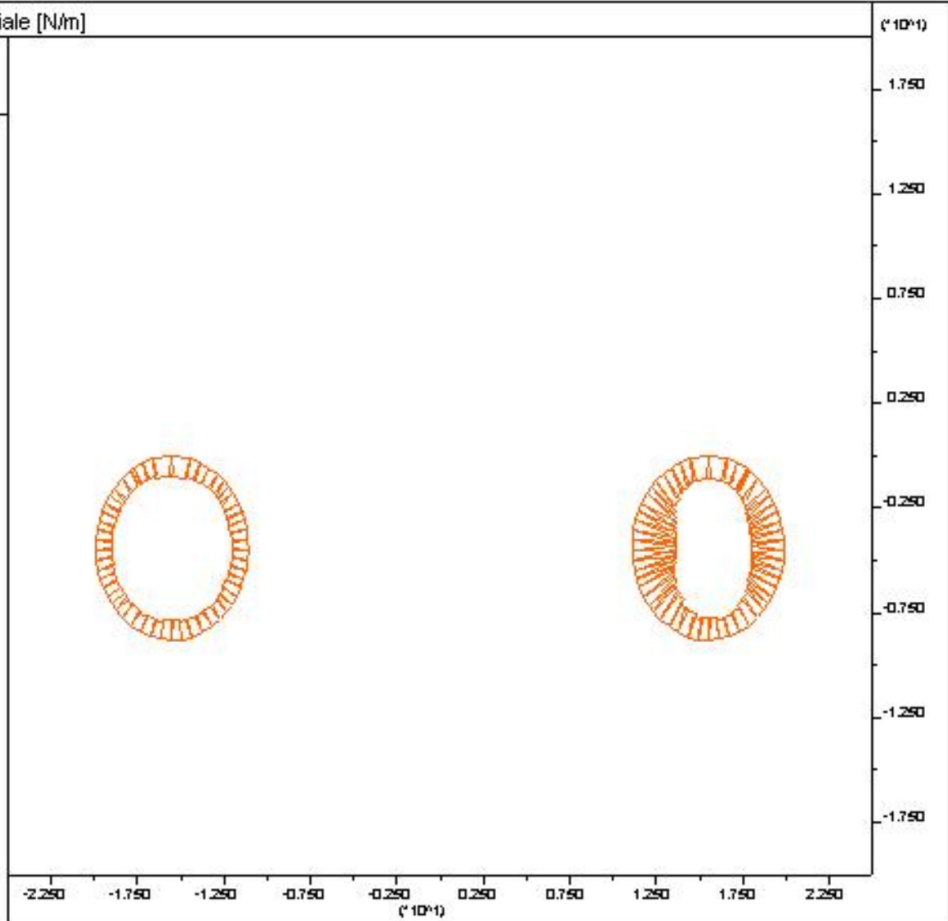
LEGEND

27-Jun-24 15:15  
step 19564  
-2.500E+01 <x< 2.500E+01  
-2.000E+01 <y< 2.000E+01

N[N/m]

Axial Force on

Structure	Max. Value
# 1 (Beam )	2.787E+06
# 2 (Beam )	1.080E+06

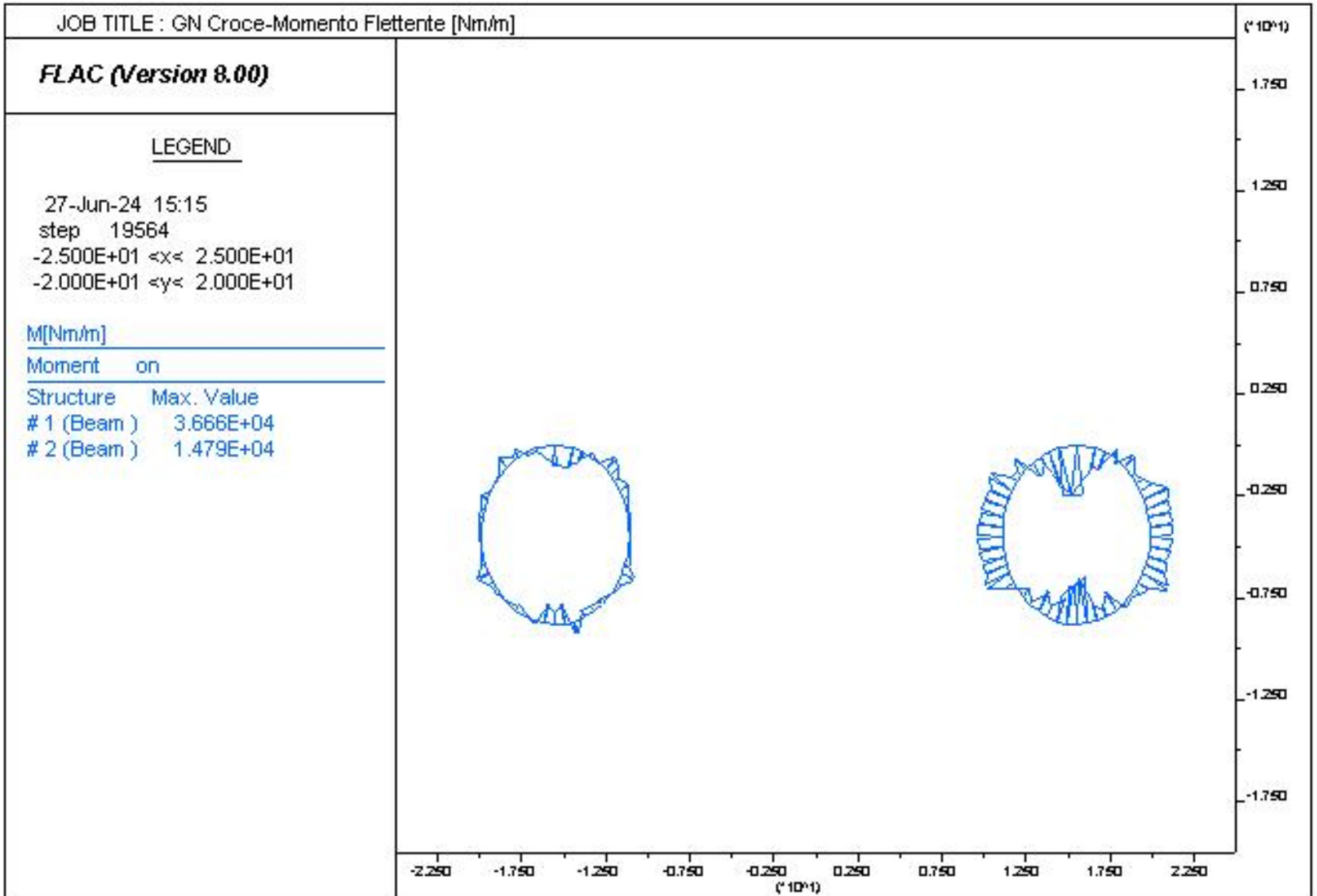




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
**PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

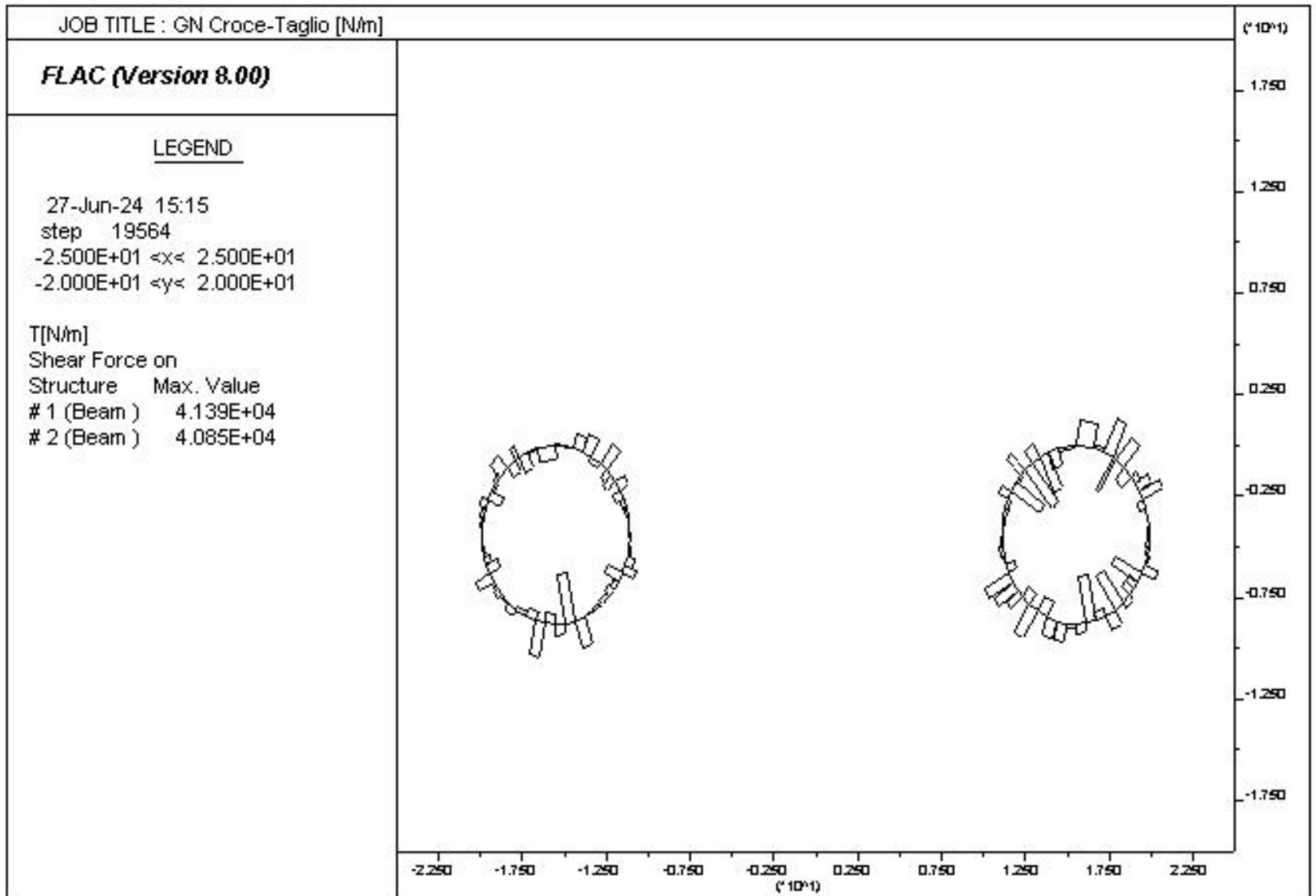




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
**PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3



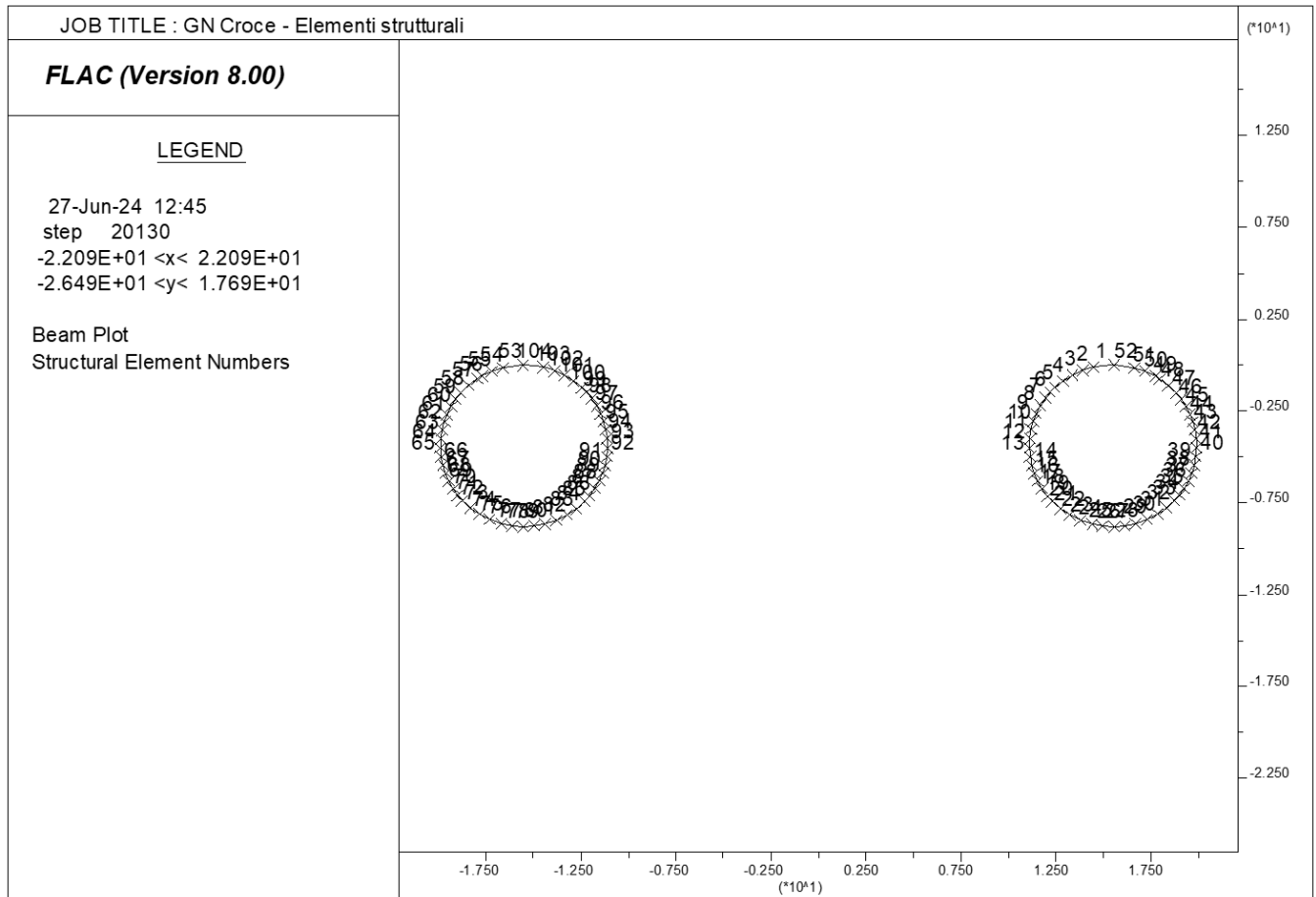


RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

FASE 11





RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

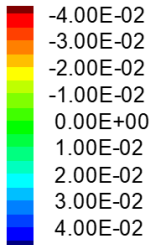
JOB TITLE : GN Croce - Spostamenti verticali

FLAC (Version 8.00)

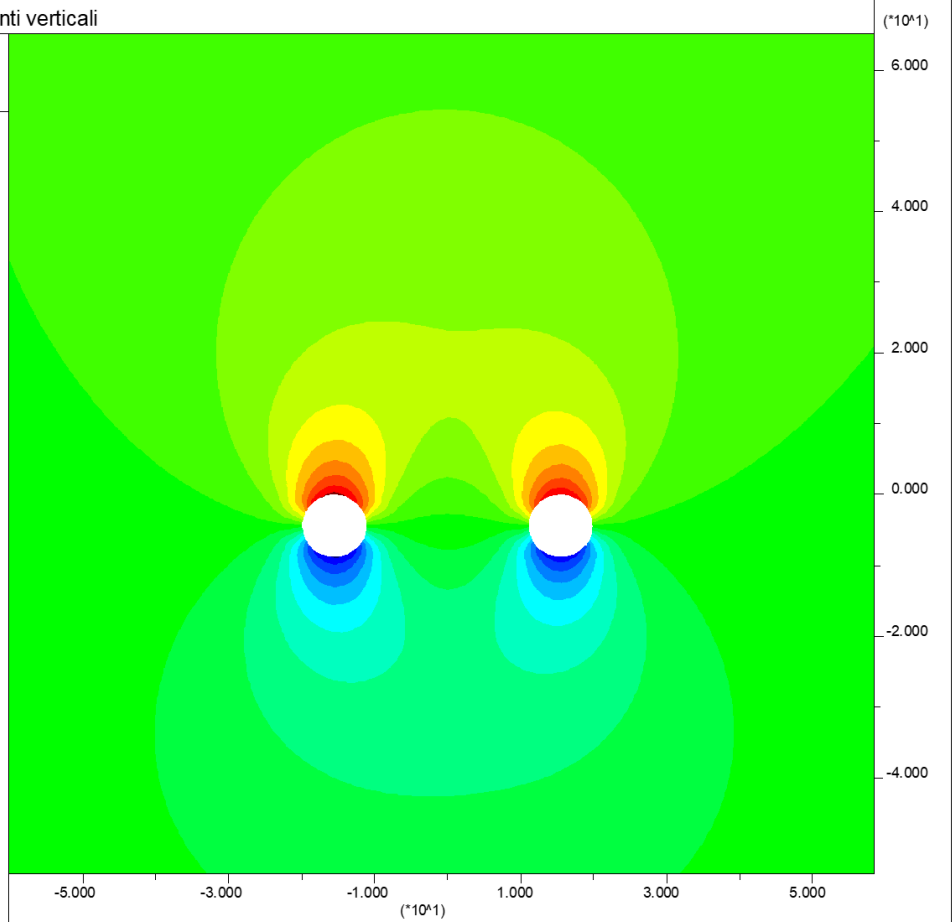
LEGEND

27-Jun-24 12:05  
step 20130  
-6.019E+01 <x< 5.848E+01  
-5.350E+01 <y< 6.518E+01

Y-displacement contours



Contour interval= 5.00E-03





RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

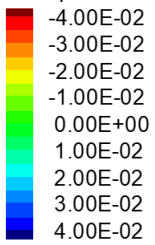
JOB TITLE : GN Croce - Spostamenti orizzontali

FLAC (Version 8.00)

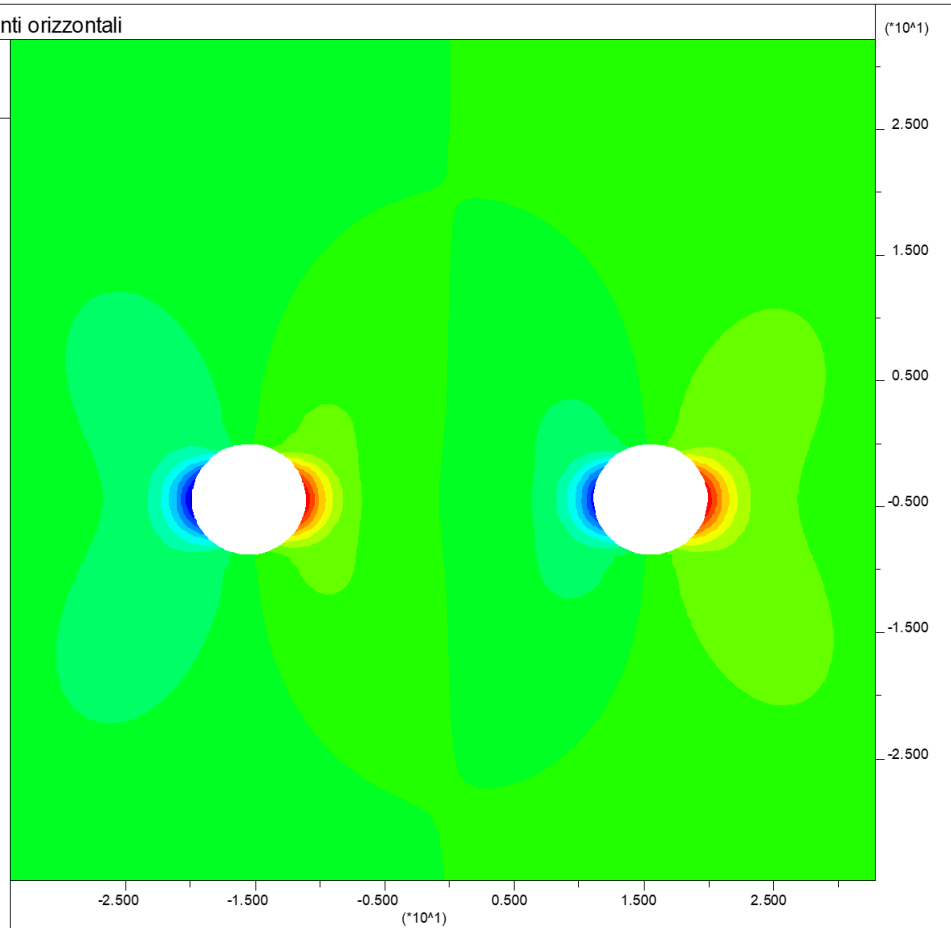
LEGEND

27-Jun-24 12:08  
step 20130  
-3.395E+01 <x< 3.286E+01  
-3.469E+01 <y< 3.211E+01

X-displacement contours



Contour interval= 5.00E-03







RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

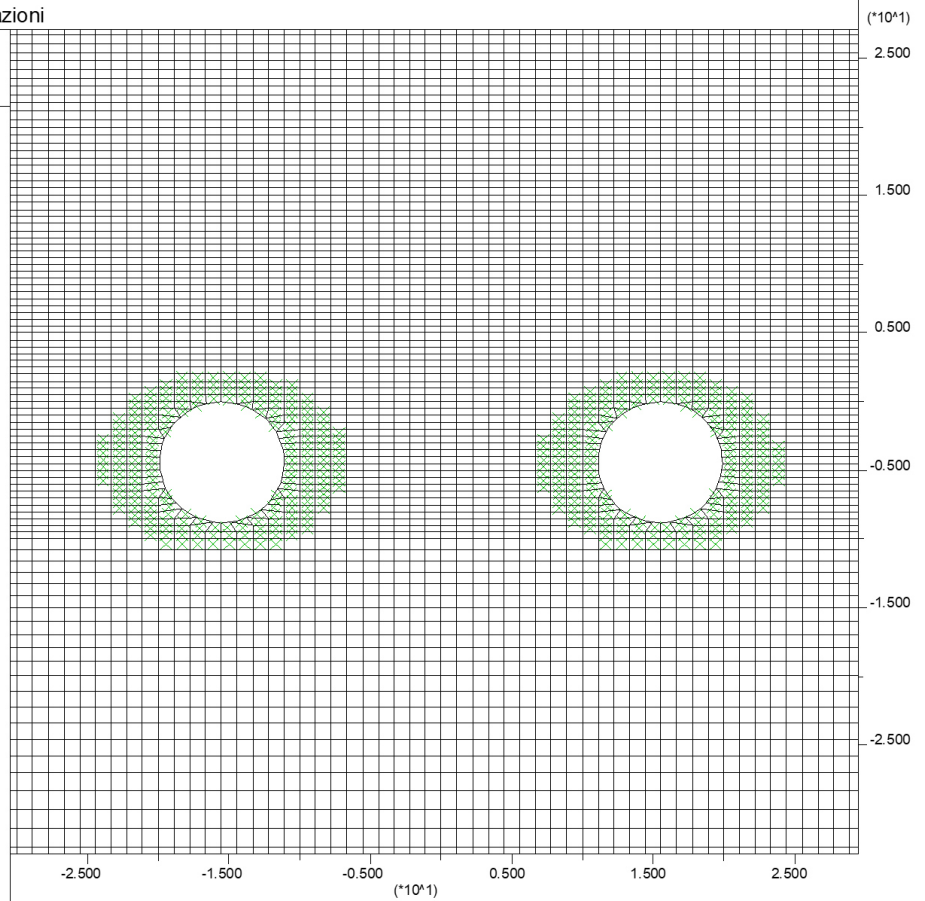
JOB TITLE : GN Croce - Plasticizzazioni

**FLAC (Version 8.00)**

LEGEND

27-Jun-24 12:10  
step 20130  
-3.051E+01 <x< 2.950E+01  
-3.292E+01 <y< 2.709E+01

Plasticity Indicator  
X elastic, at yield in past  
Grid plot





RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

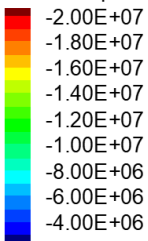
JOB TITLE : GN Croce - Sforzi principali massimi

FLAC (Version 8.00)

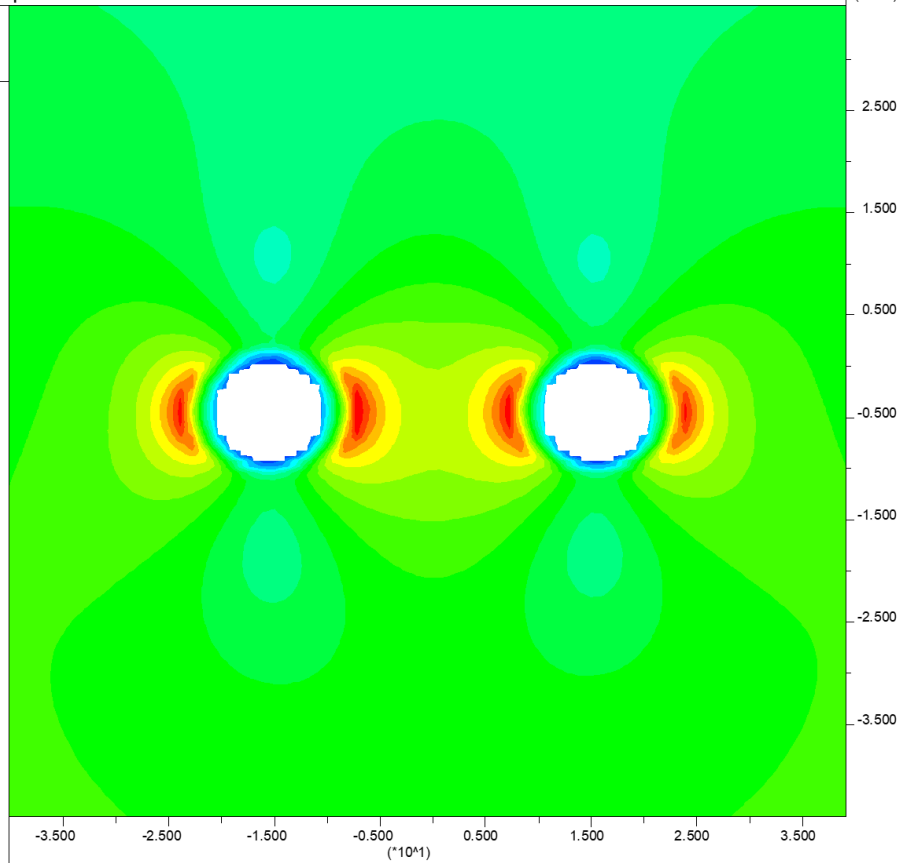
LEGEND

27-Jun-24 12:16  
step 20130  
-4.017E+01 <x< 3.905E+01  
-4.401E+01 <y< 3.522E+01

Maximum principal stress



Contour interval= 1.00E+06

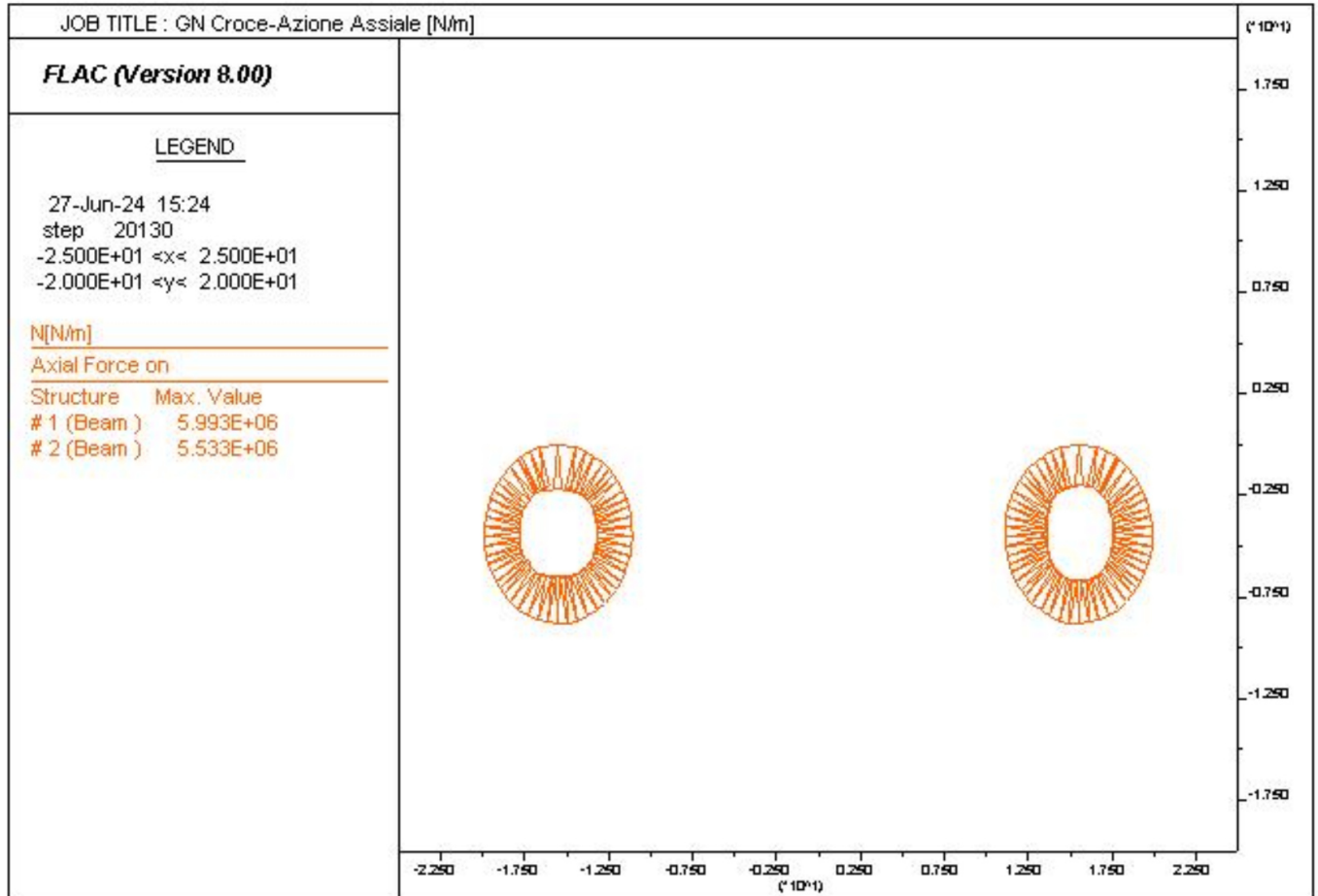




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3





RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

JOB TITLE : GN Croce-Momento Flettente [Nm/m]

( $\cdot 10^4$ )

**FLAC (Version 8.00)**

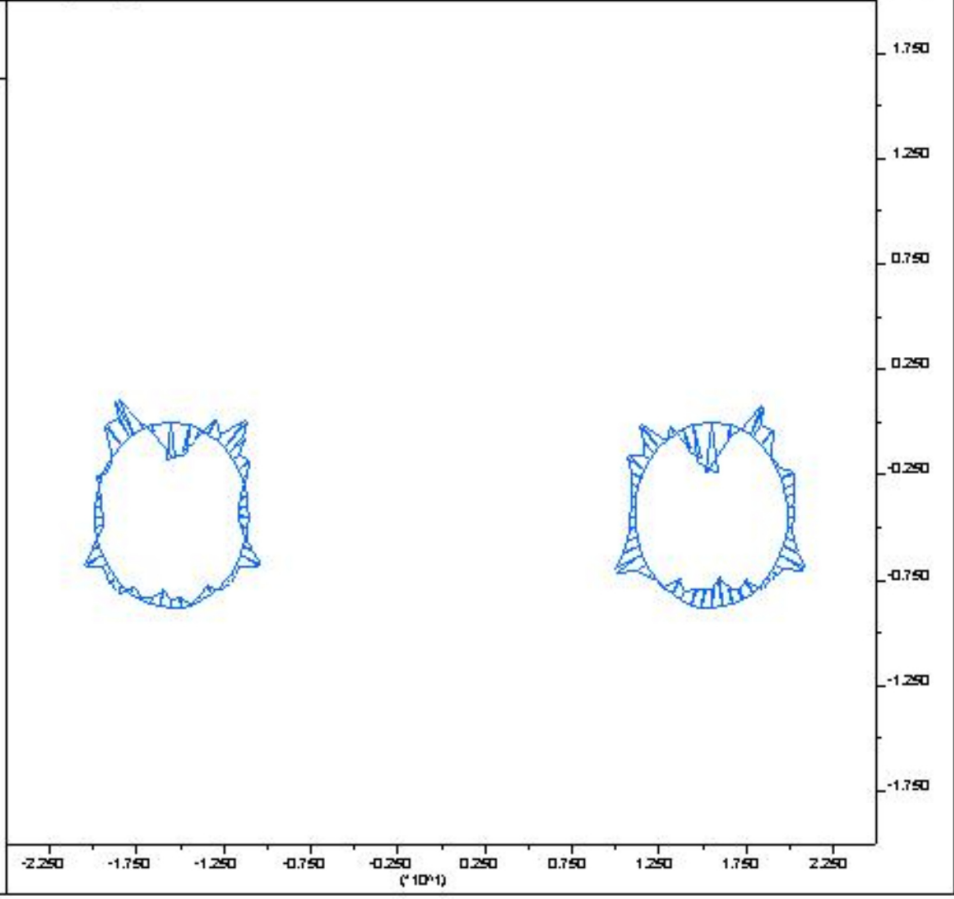
LEGEND

27-Jun-24 15:24  
step 20130  
-2.500E+01 <x< 2.500E+01  
-2.000E+01 <y< 2.000E+01

M[Nm/m]

Moment on

Structure	Max. Value
# 1 (Beam )	7.403E+04
# 2 (Beam )	-5.591E+04

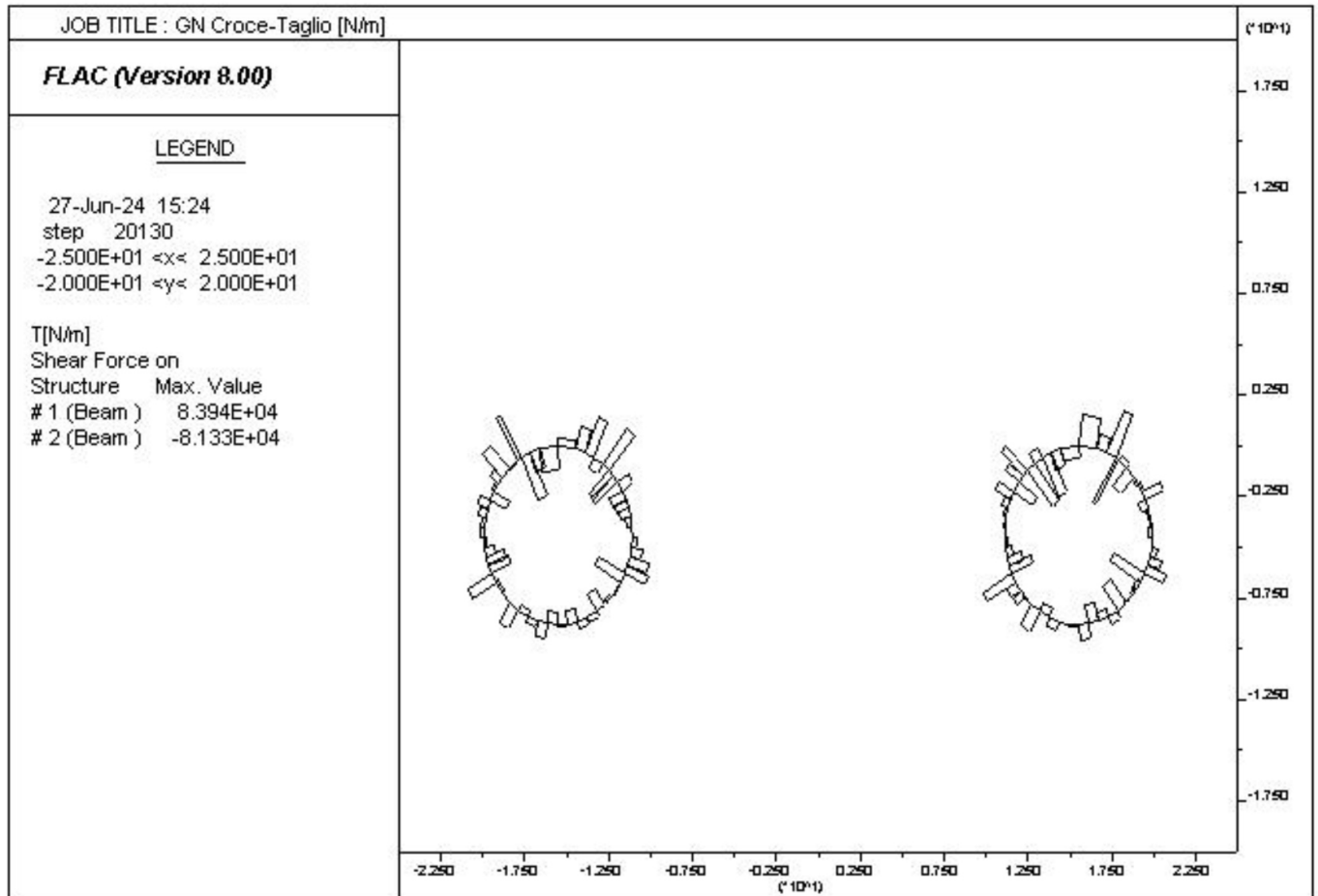




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
**PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3



RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

Si riportano di seguito le sollecitazioni in termini di sforzo normale e momento ottenute dai modelli numerici.

Elem	<b>Nk</b> kN/m	<b>Mk</b> kN m/m	<b>Tk</b> kN/m
1	-5239	40.48	-12.03
2	-5052	17.24	-38.97
3	-4987	-20.79	-63.66
4	-4738	-9.191	20.23
5	-4755	-52.5	-75.5
6	-4733	-32.84	55.97
7	-4676	-9.589	56.44
8	-4714	-21.98	-25.31
9	-4813	-7.693	28.86
10	-4871	2.742	23.87
11	-4922	11.98	19.79
12	-4962	16.68	9.908
13	-4990	16.73	0.3227
14	-4988	11.91	-9.728
15	-4969	0.5558	-23.66
16	-4944	-17.4	-39.38
17	-4929	-36.49	-45.17
18	-4971	-8.303	57.11
19	-4967	-7.805	1.091
20	-5028	-8.461	-1.633
21	-4979	-5.227	5.664
22	-5079	14.03	32.34
23	-5111	8.273	-9.007
24	-5292	0.9087	-11.51
25	-5288	13.14	21.15
26	-5533	11.05	-3.68
27	-5513	23.38	21.06
28	-5298	8.531	-25.58
29	-5288	2.924	-9.15
30	-5021	9.849	10.96
31	-5025	-11.68	-37.71
32	-5011	-11.79	-0.1101
33	-5068	-9.257	7.215
34	-4963	-6.017	7.612
35	-4965	-31.42	-53.8
36	-4939	-12.08	42.26



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

37	-4946	4.084	36.95
38	-4952	13.59	20.15
39	-4947	14.32	1.96
40	-4933	10.07	-9.195
41	-4897	6.01	-8.711
42	-4845	-0.3618	-14.51
43	-4809	-9.375	-21.37
44	-4827	6.795	34.27
45	-4809	4.51	-4.119
46	-4825	-3.854	-20.7
47	-4719	-36.57	-54.4
48	-4601	-34.75	2.698
49	-4561	-55.91	-81.33
50	-4775	-9.739	77.72
51	-4792	10.13	33.16
52	-5131	53.73	40.19
53	-4756	17.57	-52.16
54	-4591	2.434	-25.61
55	-4712	-44.92	-79.73
56	-4605	-22.27	83.94
57	-4751	-28.07	-10.36
58	-4930	-3.223	41.01
59	-5130	-1.468	4.738
60	-5208	-4.31	-5.028
61	-5319	-22.96	-39.03
62	-5357	-16.21	15.31
63	-5425	-13.58	5.791
64	-5490	-12.64	1.403
65	-5520	-9.492	6.087
66	-5526	-9.336	0.3649
67	-5496	-15.56	-12.85
68	-5437	-27.77	-26.87
69	-5357	-46.85	-40.85
70	-5310	-13.35	71.24
71	-5205	-9.72	8.571
72	-5220	-6.437	8.686
73	-5071	-5.317	1.869
74	-5029	22.9	48.74
75	-4893	14.23	-13.48
76	-5047	23.39	14.67

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA NATURALE GROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

77	-4921	41.22	30.6
78	-5048	26.62	-25.04
79	-5059	23.99	-4.518
80	-4963	23.3	-1.135
81	-5153	13.87	-14.85
82	-5051	24.83	17.24
83	-5282	0.5316	-40.7
84	-5298	-0.5222	-1.978
85	-5508	-7.99	-19.62
86	-5593	-18.19	-20.47
87	-5750	-50.41	-65.58
88	-5780	-29.86	47.66
89	-5859	-16.03	30.27
90	-5944	-9.435	14.06
91	-5993	-7.203	4.536
92	-5993	-6.394	1.823
93	-5934	-7.748	-2.517
94	-5830	-10.81	-6.609
95	-5700	-16.41	-12.79
96	-5529	-32.78	-33.14
97	-5403	-10.22	46.26
98	-5198	-23.81	-33.6
99	-5117	-44.69	-59.36
100	-5060	0.000228	78.77
101	-4814	-11.19	-19.37
102	-4880	33.34	74.51
103	-4766	51.23	29.87
104	-4825	74.03	20.92

Si riportano di seguito le sollecitazioni in termini di sforzo normale e momento flettente e le verifiche tensionali sul calcestruzzo e sull'acciaio allo SLE. Si riportano inoltre le verifiche a fessurazione.

Elem	$\sigma_{c,min}$	$\sigma_{c,max}$	$\sigma_{s,min}$	$\sigma_{s,max}$	$0.45f_{ck}$	$0.8f_{yk}$	wk [mm]	wk lim [mm]	wk lim > wk
	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa			
104	-11.94	-10.70	-175.93	-163.69	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
103	-11.01	-10.84	-164.77	-163.07	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
102	-12.80	-9.64	-183.89	-152.59	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
101	-11.75	-10.18	-172.18	-156.66	-22.41	360	0	0.2	VERIF.





RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
**PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. ALLEGATO  
 IV01 00 D 07 CL GN 05 00 001 A 3

100	-12.30	-10.32	-179.41	-159.86	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
99	-11.85	-11.62	-177.15	-174.90	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
98	-12.26	-12.16	-183.68	-182.66	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
97	-12.55	-12.25	-187.45	-184.45	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
96	-13.47	-11.85	-197.91	-181.92	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
95	-13.32	-12.18	-196.92	-185.63	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
94	-13.39	-12.44	-198.43	-188.97	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
93	-13.51	-12.62	-200.43	-191.62	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
92	-13.47	-12.81	-200.40	-193.79	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
91	-13.48	-12.83	-200.56	-194.05	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
90	-13.63	-12.53	-201.66	-190.82	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
89	-13.92	-11.96	-203.80	-184.46	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
88	-14.40	-11.10	-207.59	-174.95	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
87	-13.11	-12.17	-194.25	-184.94	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
86	-12.73	-12.05	-189.23	-182.46	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
85	-12.65	-12.20	-188.62	-184.14	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
84	-12.26	-11.88	-182.91	-179.21	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
83	-12.78	-11.16	-187.54	-171.58	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
82	-12.15	-11.15	-179.66	-169.75	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
81	-12.84	-11.19	-188.35	-172.06	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
80	-13.16	-10.26	-190.07	-161.35	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
79	-12.95	-11.08	-189.51	-170.97	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
78	-12.89	-11.20	-188.99	-172.28	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
77	-12.63	-10.99	-185.32	-169.09	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
76	-12.75	-11.78	-188.82	-179.16	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
75	-12.90	-11.15	-189.00	-171.70	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
74	-12.59	-12.55	-188.78	-188.41	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
73	-12.63	-12.59	-189.35	-188.98	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
72	-13.39	-12.83	-199.45	-193.88	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
71	-13.95	-12.67	-206.04	-193.36	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
70	-15.46	-11.91	-222.87	-187.74	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
69	-14.81	-12.71	-216.78	-195.97	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
68	-14.51	-13.38	-214.78	-203.61	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
67	-14.48	-13.82	-215.52	-208.95	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
66	-14.52	-14.01	-216.49	-211.47	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
65	-14.49	-14.04	-216.21	-211.75	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
64	-14.40	-13.85	-214.57	-209.18	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
63	-14.26	-13.50	-211.93	-204.40	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
62	-14.15	-12.99	-209.24	-197.80	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
61	-14.31	-12.01	-208.83	-185.99	-22.41	360	0	0.2	VERIF.



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
**PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. ALLEGATO  
 IV01 00 D 07 CL GN 05 00 001 A 3

60	-13.22	-12.50	-196.48	-189.36	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
59	-13.21	-11.54	-193.89	-177.30	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
58	-13.75	-10.61	-198.27	-167.14	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
57	-12.04	-12.04	-180.67	-180.67	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
56	-11.85	-11.07	-175.78	-167.99	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
55	-12.79	-10.44	-185.86	-162.63	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
54	-13.15	-9.54	-188.02	-152.32	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
53	-14.09	-8.88	-198.07	-146.49	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
52	-14.36	-10.59	-205.73	-168.39	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
51	-13.45	-10.60	-194.50	-166.27	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
50	-12.48	-11.26	-184.06	-172.06	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
49	-12.01	-10.55	-176.40	-161.94	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
48	-11.65	-10.99	-173.03	-166.52	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
47	-13.11	-9.42	-187.24	-150.74	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
46	-12.27	-9.99	-178.28	-155.64	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
45	-11.56	-10.89	-171.64	-164.99	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
44	-12.23	-10.69	-179.47	-164.23	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
43	-11.87	-11.32	-176.61	-171.23	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
42	-11.81	-11.62	-176.69	-174.80	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
41	-12.23	-11.40	-181.29	-173.05	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
40	-12.46	-11.29	-183.94	-172.40	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
39	-12.46	-11.28	-183.93	-172.26	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
38	-12.25	-11.41	-181.59	-173.25	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
37	-11.79	-11.75	-176.74	-176.31	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
36	-12.34	-11.12	-182.01	-169.97	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
35	-13.12	-10.55	-190.20	-164.79	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
34	-12.12	-11.53	-180.25	-174.44	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
33	-12.24	-11.69	-182.26	-176.80	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
32	-12.15	-11.55	-180.77	-174.78	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
31	-12.28	-11.90	-183.18	-179.51	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
30	-12.66	-11.67	-187.37	-177.61	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
29	-12.89	-12.31	-191.82	-186.08	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
28	-12.62	-12.56	-189.11	-188.51	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
27	-13.63	-12.71	-202.15	-192.97	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
26	-13.51	-12.73	-200.71	-192.98	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
25	-13.44	-11.79	-197.33	-181.00	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
24	-12.89	-12.28	-191.84	-185.78	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
23	-12.06	-11.85	-180.30	-178.25	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
22	-12.33	-11.60	-183.03	-175.81	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
21	-12.34	-11.52	-183.01	-174.83	-22.41	360	0	0.2	VERIF.



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
**PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

20	-12.49	-11.64	-185.13	-176.77	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
19	-12.14	-11.48	-180.46	-173.95	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
18	-12.04	-11.60	-179.44	-175.12	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
17	-12.88	-10.63	-187.46	-165.24	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
16	-12.21	-11.33	-180.94	-172.25	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
15	-11.93	-11.64	-178.24	-175.39	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
14	-12.25	-11.31	-181.29	-171.98	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
13	-12.25	-11.23	-181.20	-171.07	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
12	-12.01	-11.30	-178.40	-171.30	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
11	-11.75	-11.31	-175.18	-170.80	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
10	-11.45	-11.44	-171.77	-171.65	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
9	-11.83	-11.15	-175.67	-169.03	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
8	-11.67	-11.22	-173.96	-169.45	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
7	-11.64	-11.33	-173.84	-170.71	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
6	-11.37	-11.09	-169.87	-167.11	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
5	-12.23	-9.67	-176.95	-151.61	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
4	-12.05	-9.67	-174.64	-151.06	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
3	-13.33	-9.40	-189.92	-151.06	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
2	-11.74	-11.07	-174.41	-167.79	-22.41	360	0	0.2	VERIF.
1	-12.57	-11.85	-186.77	-179.63	-22.41	360	0	0.2	VERIF.



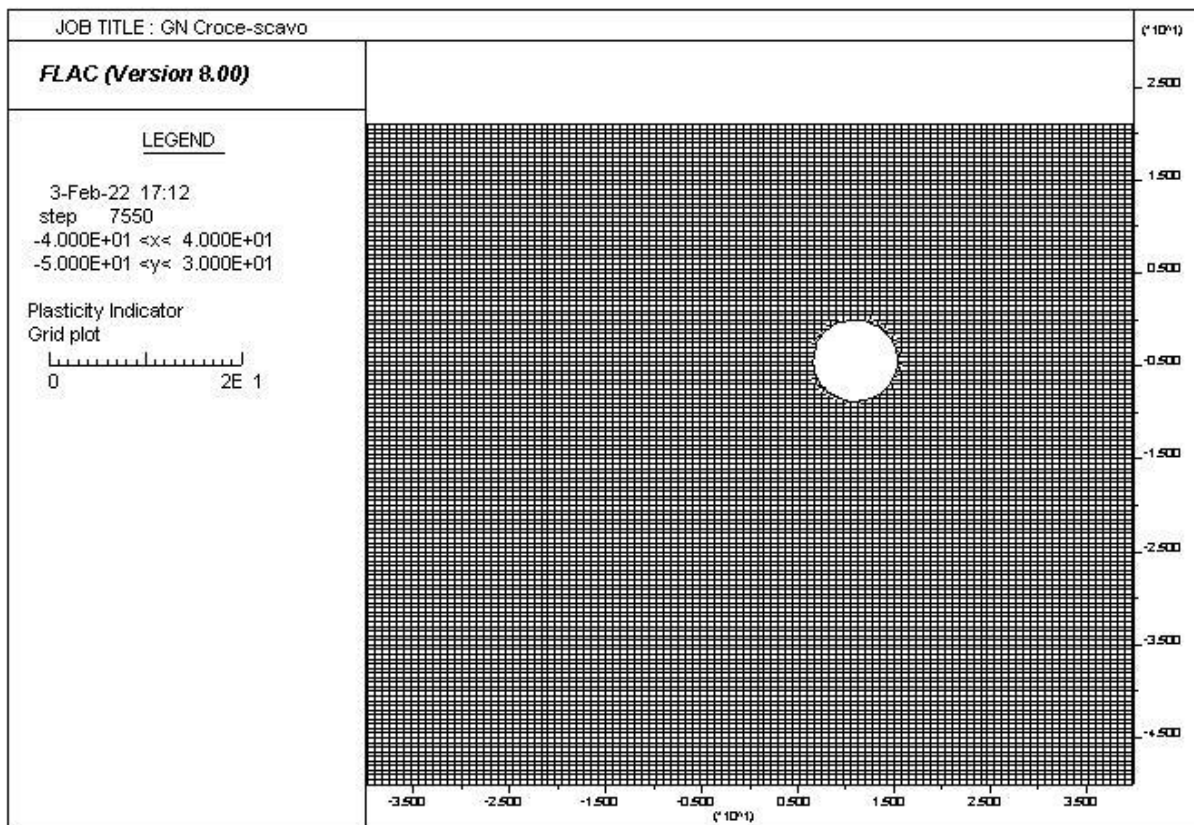
RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

### 1.3 ANALISI N. 3 - TBM basse coperture (pk 81+735)

FASE 3

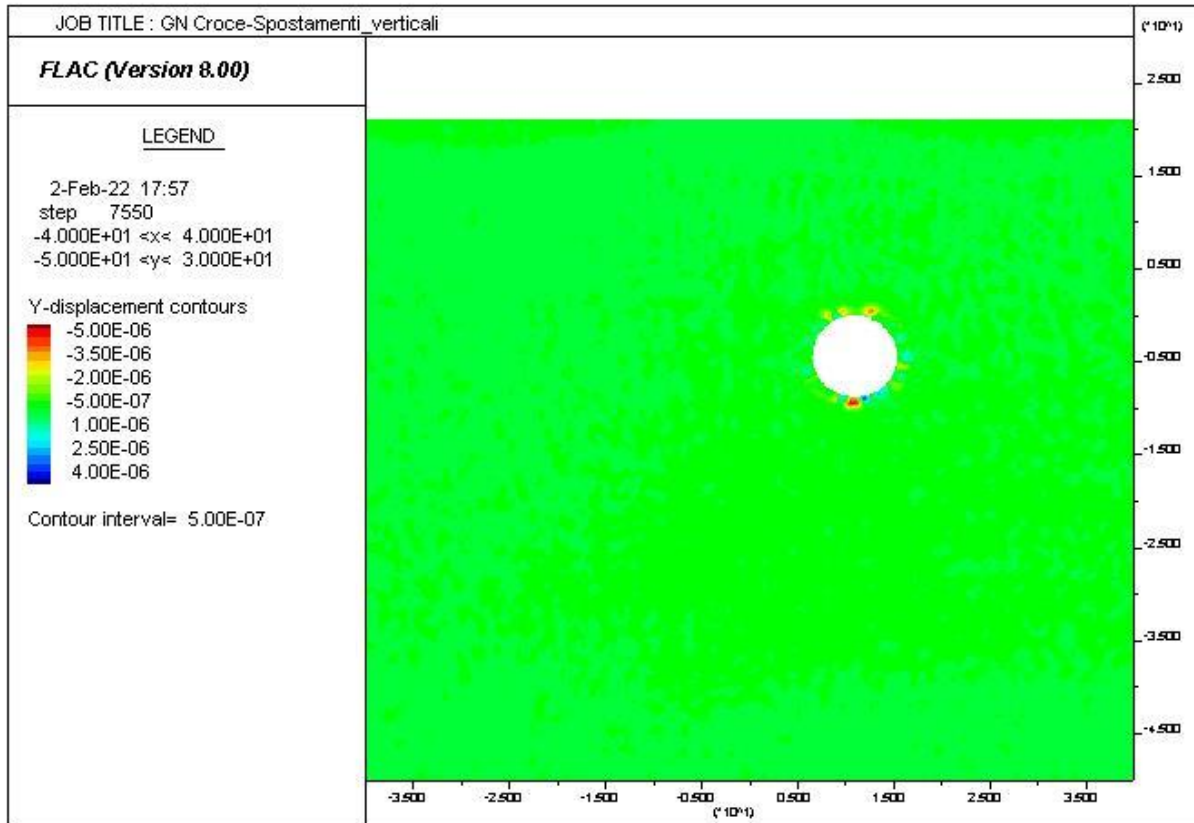




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

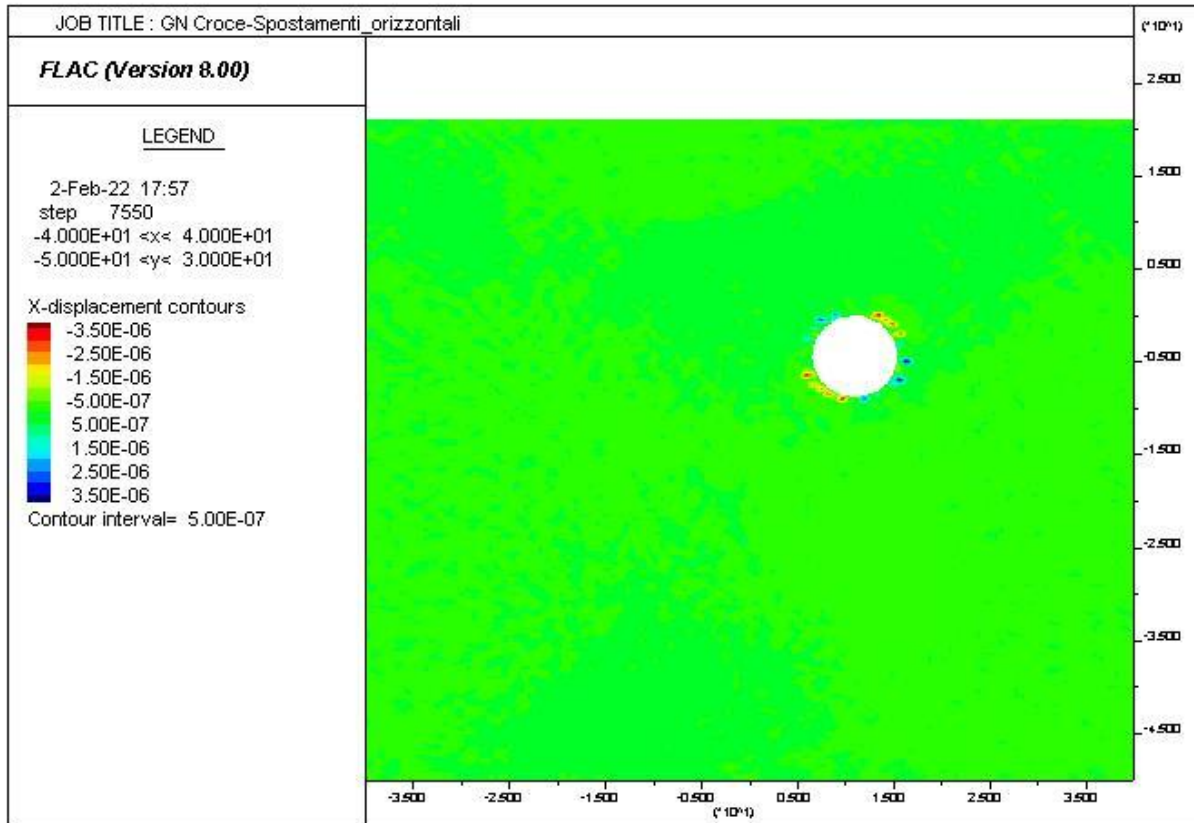




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

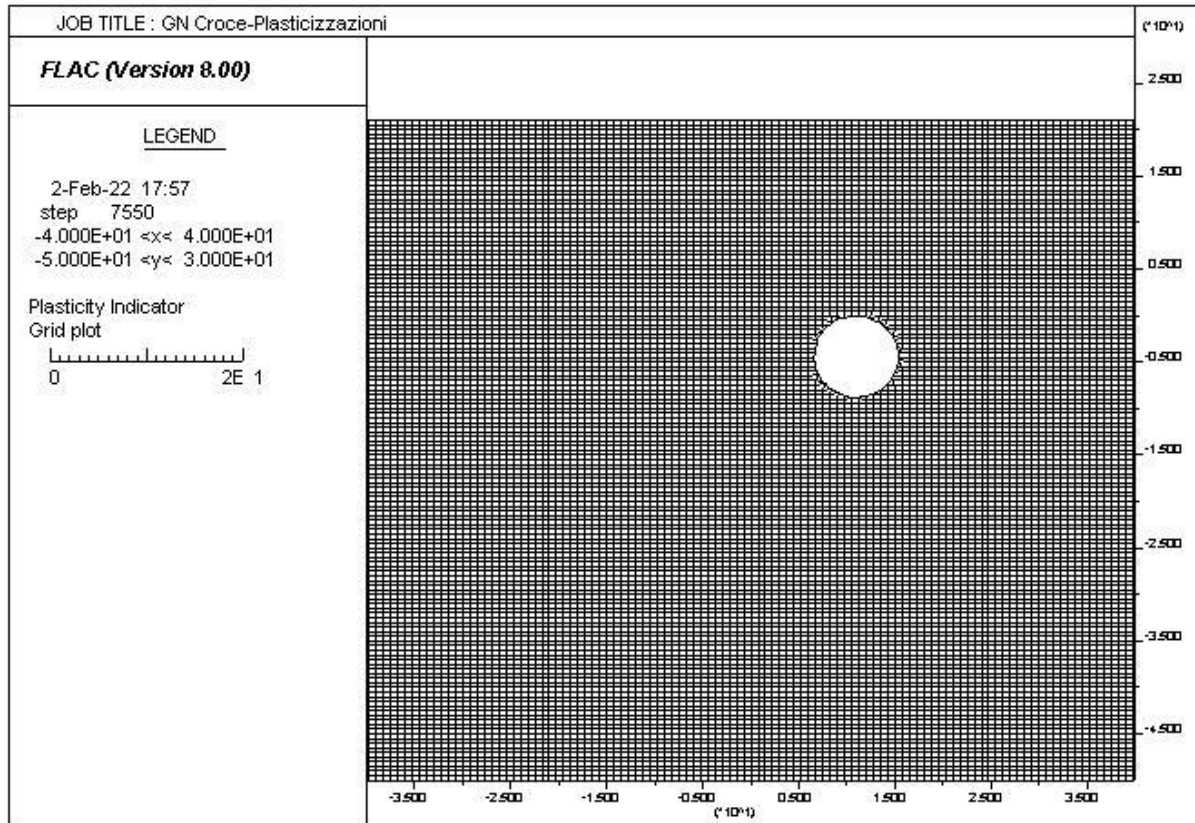




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

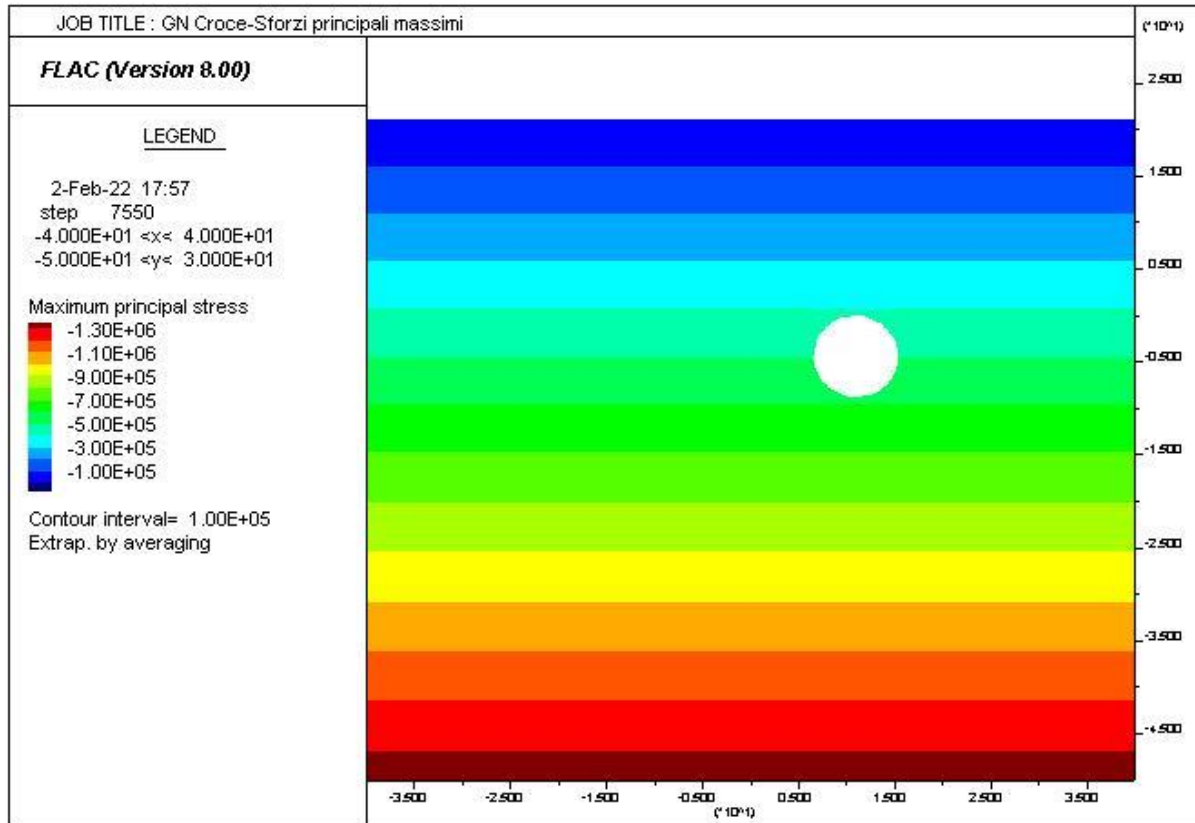




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3



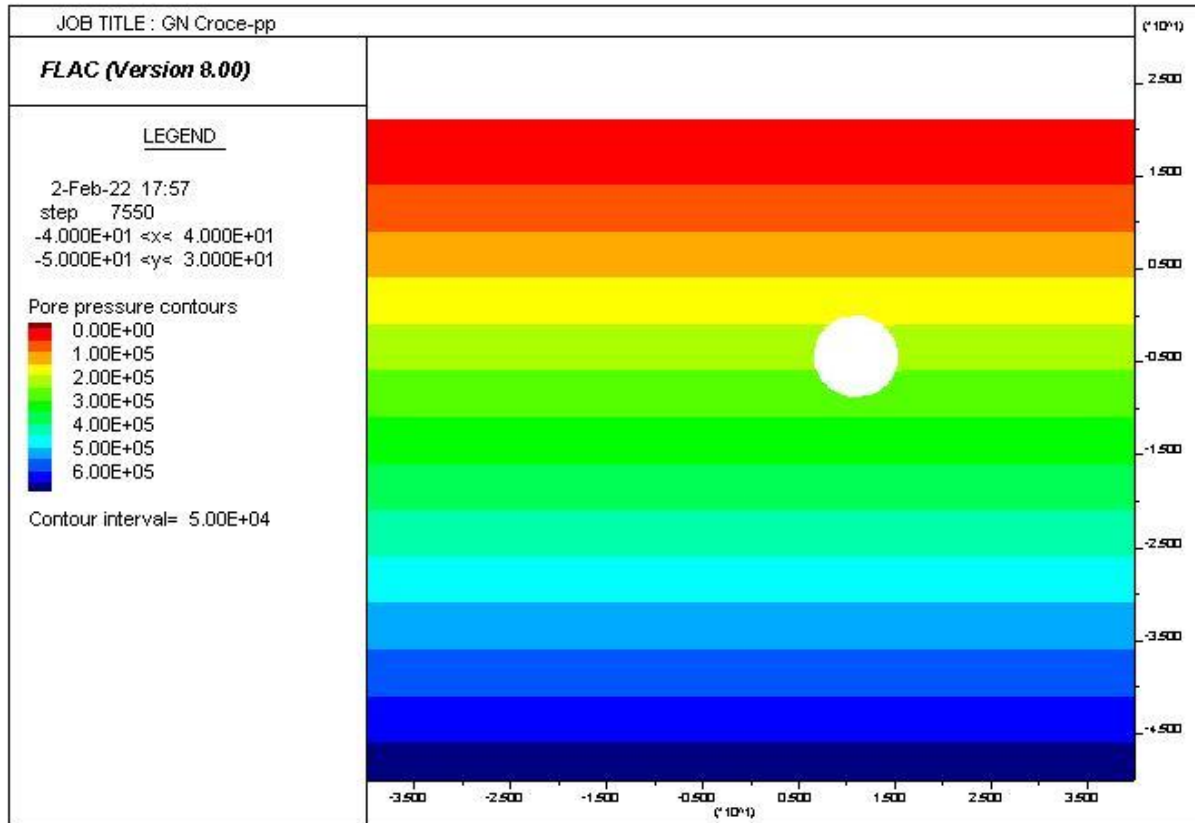




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3



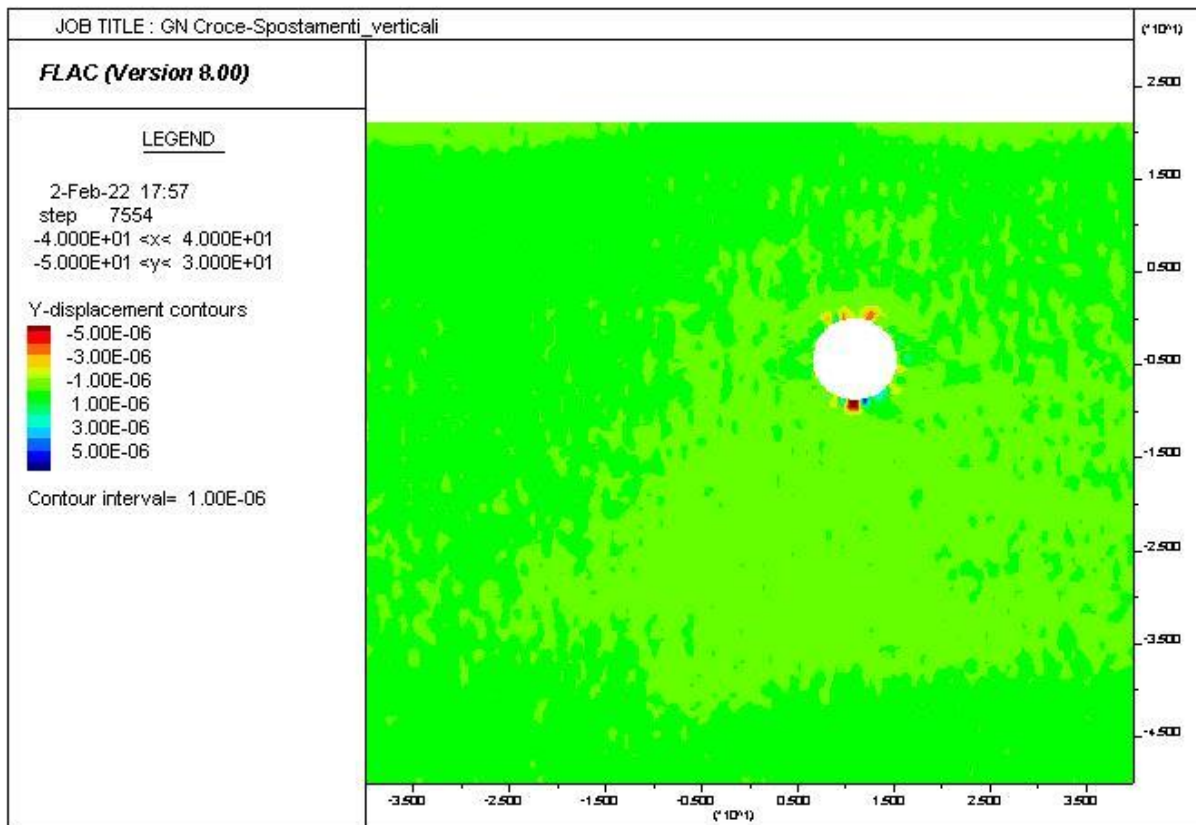


RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

FASE 5

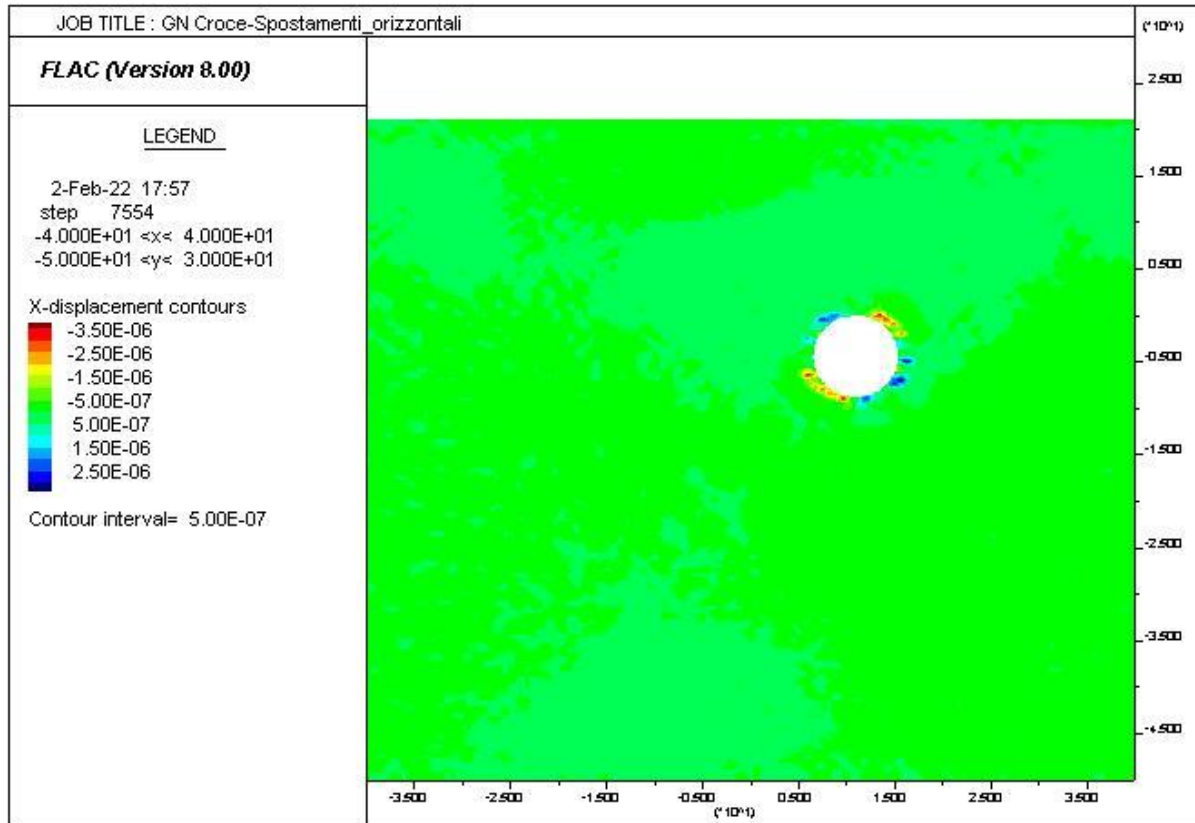




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

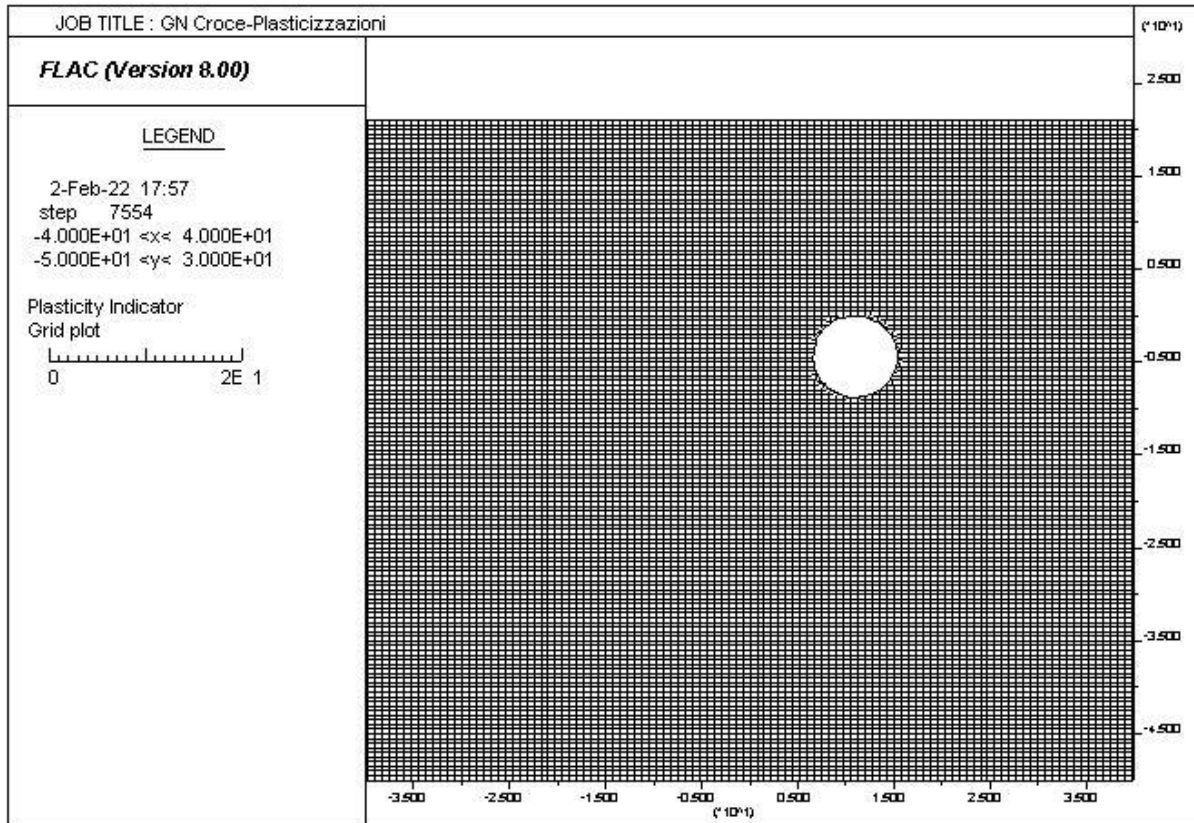




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

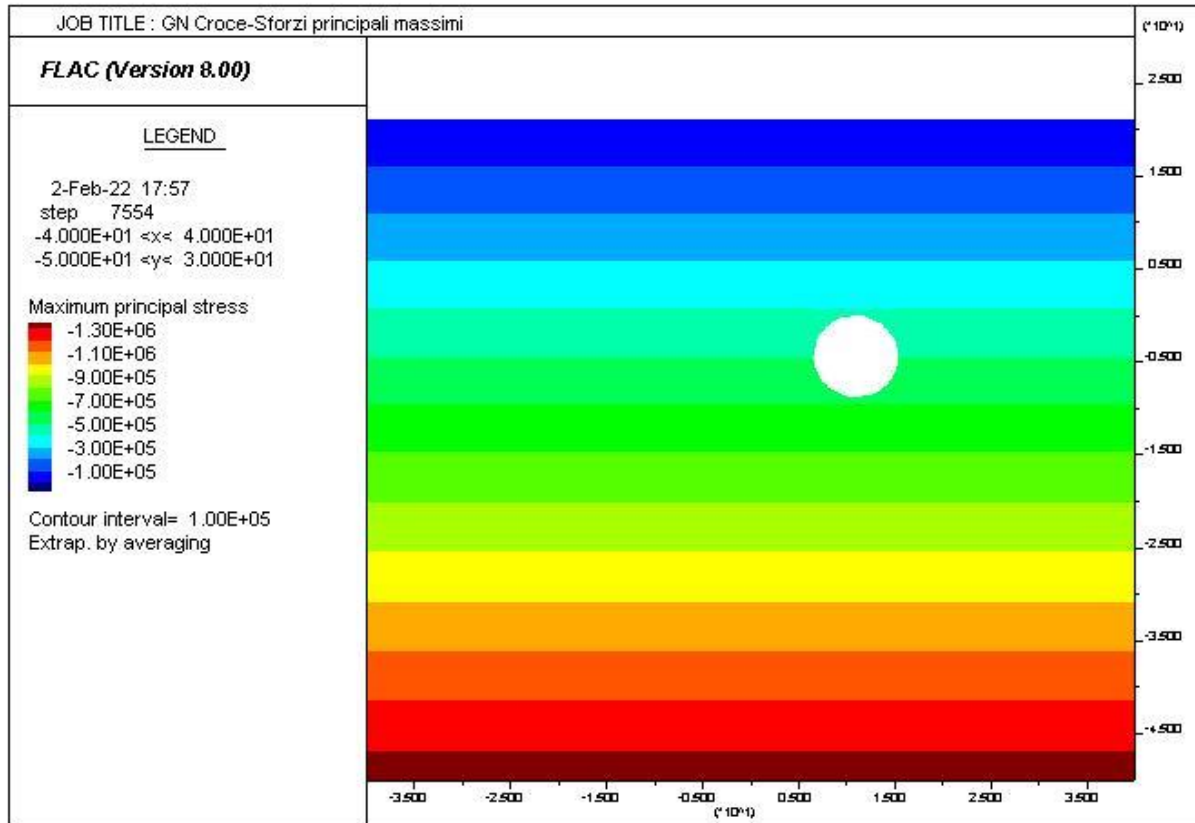




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

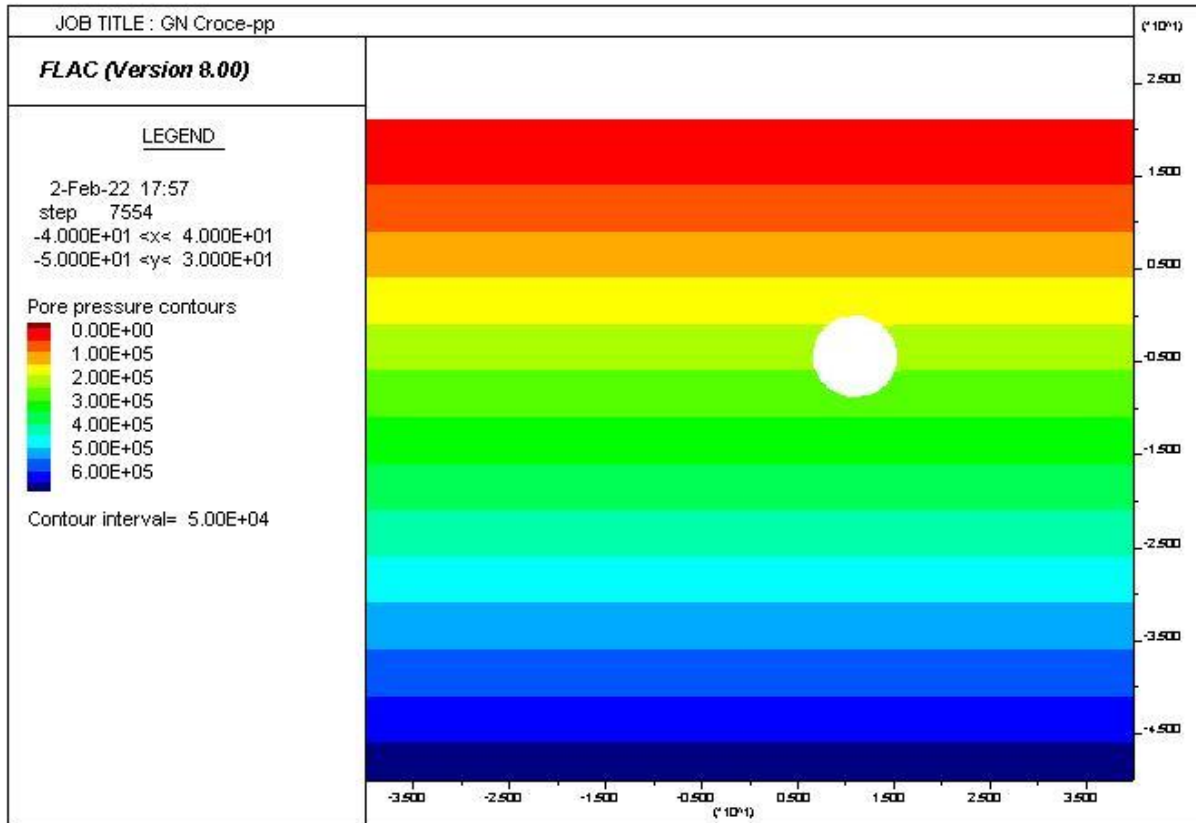




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
**PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3



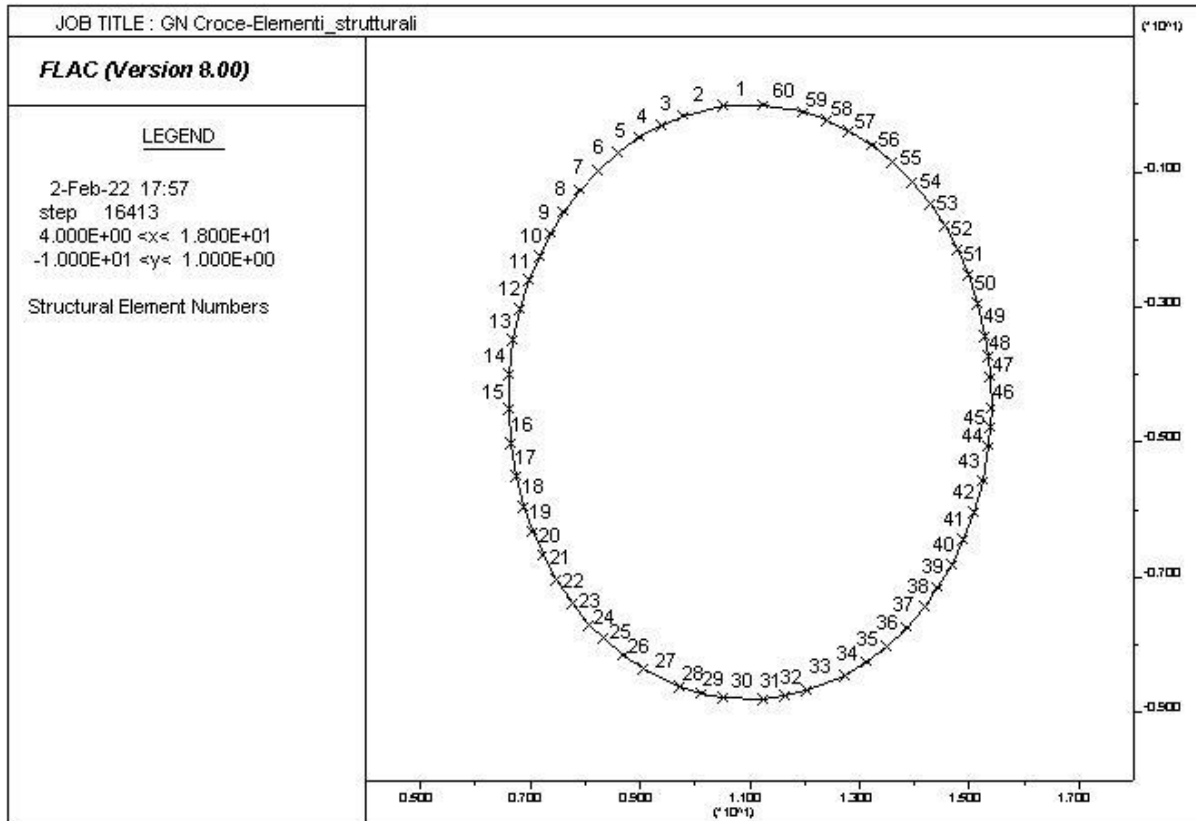


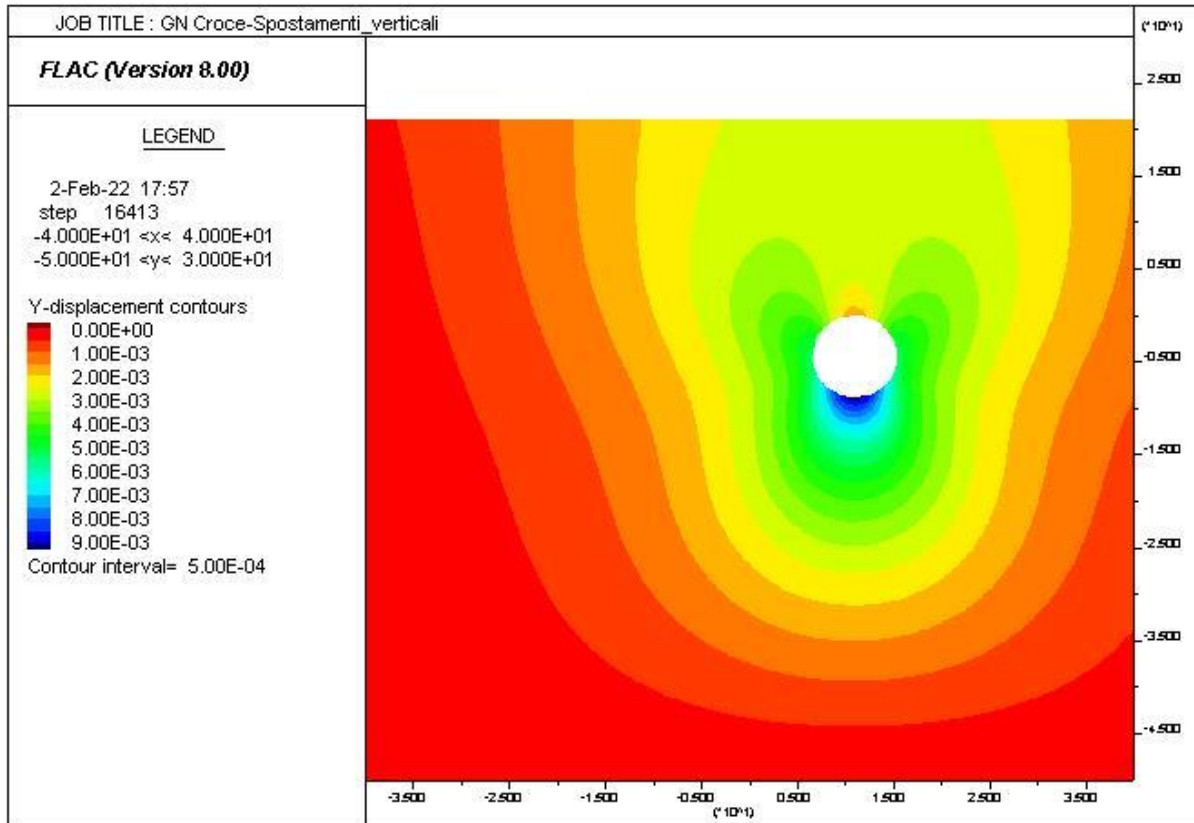
RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

FASE 6





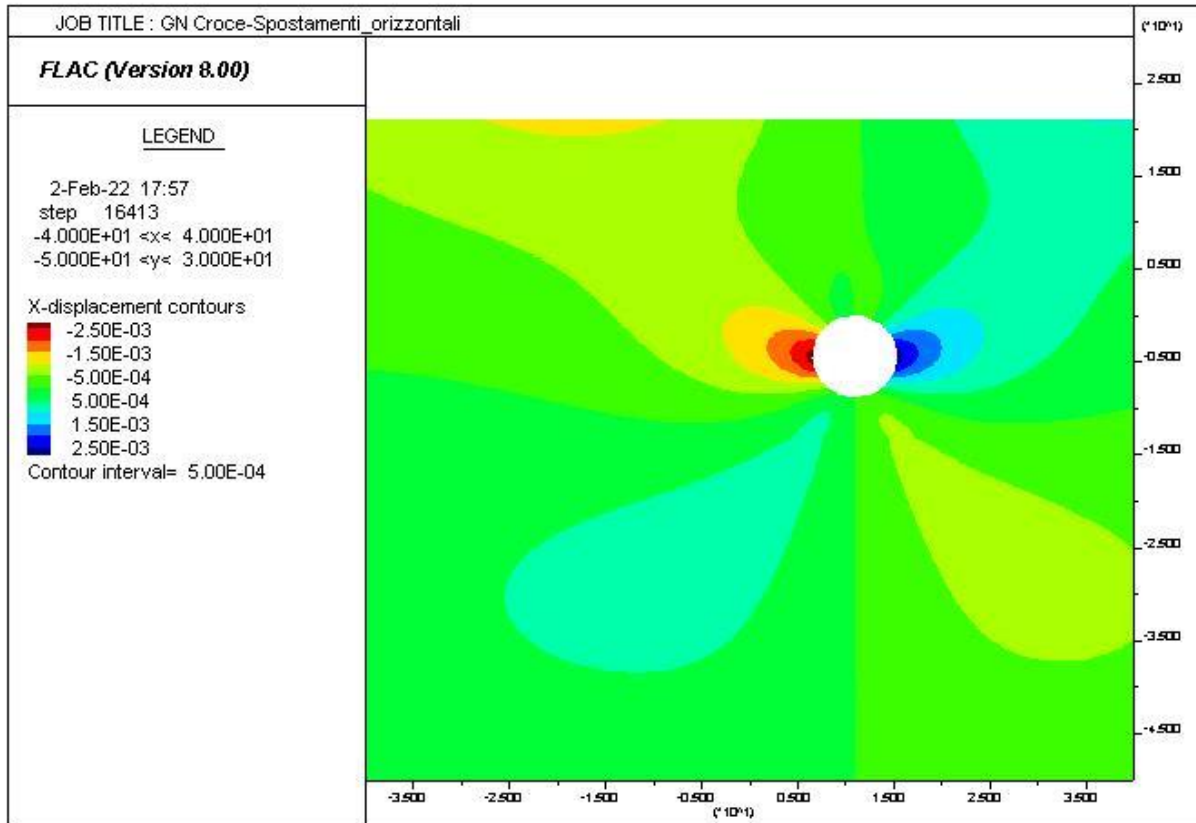




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

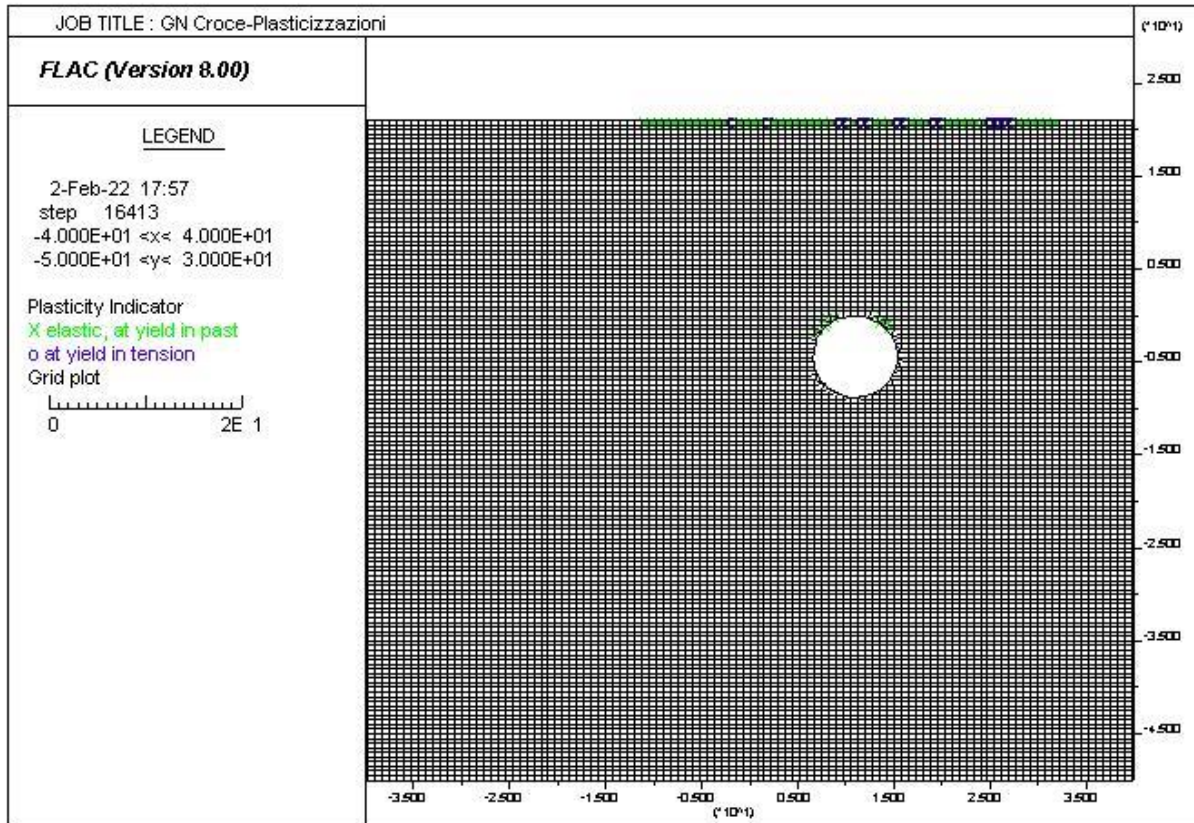


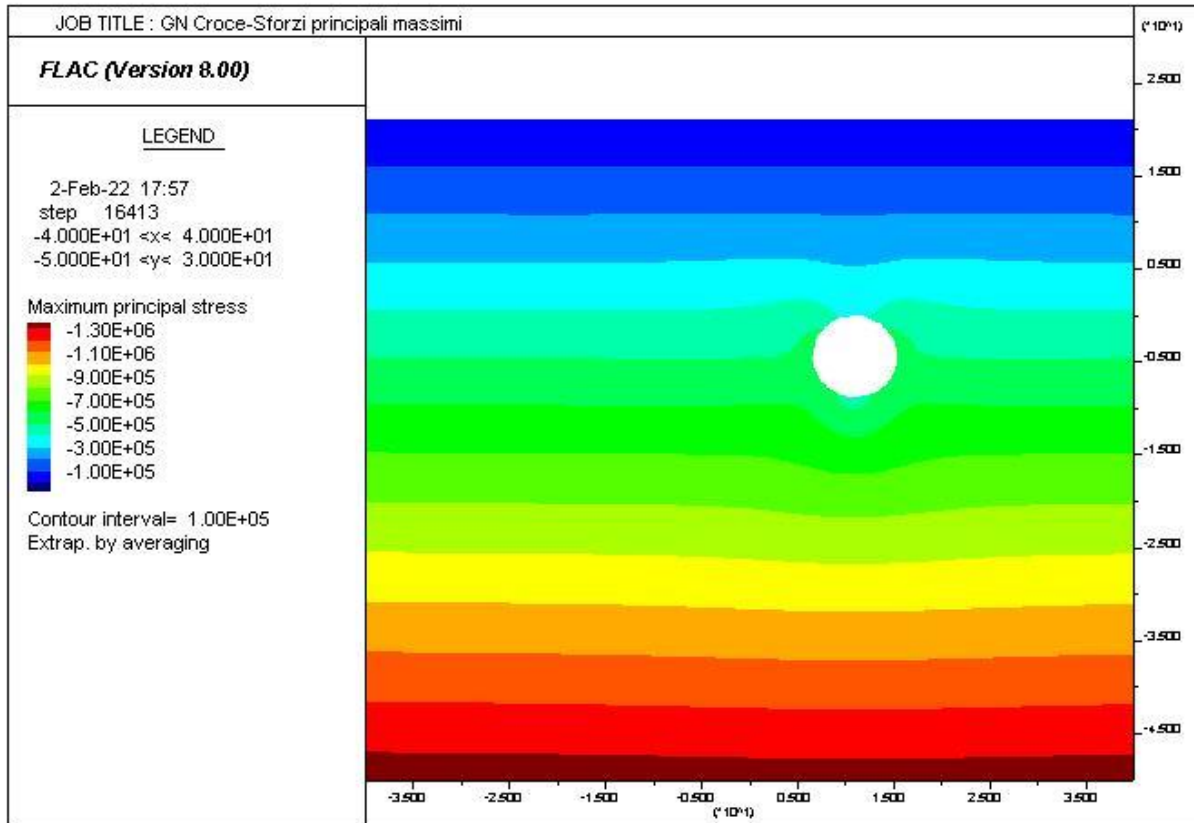


RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3



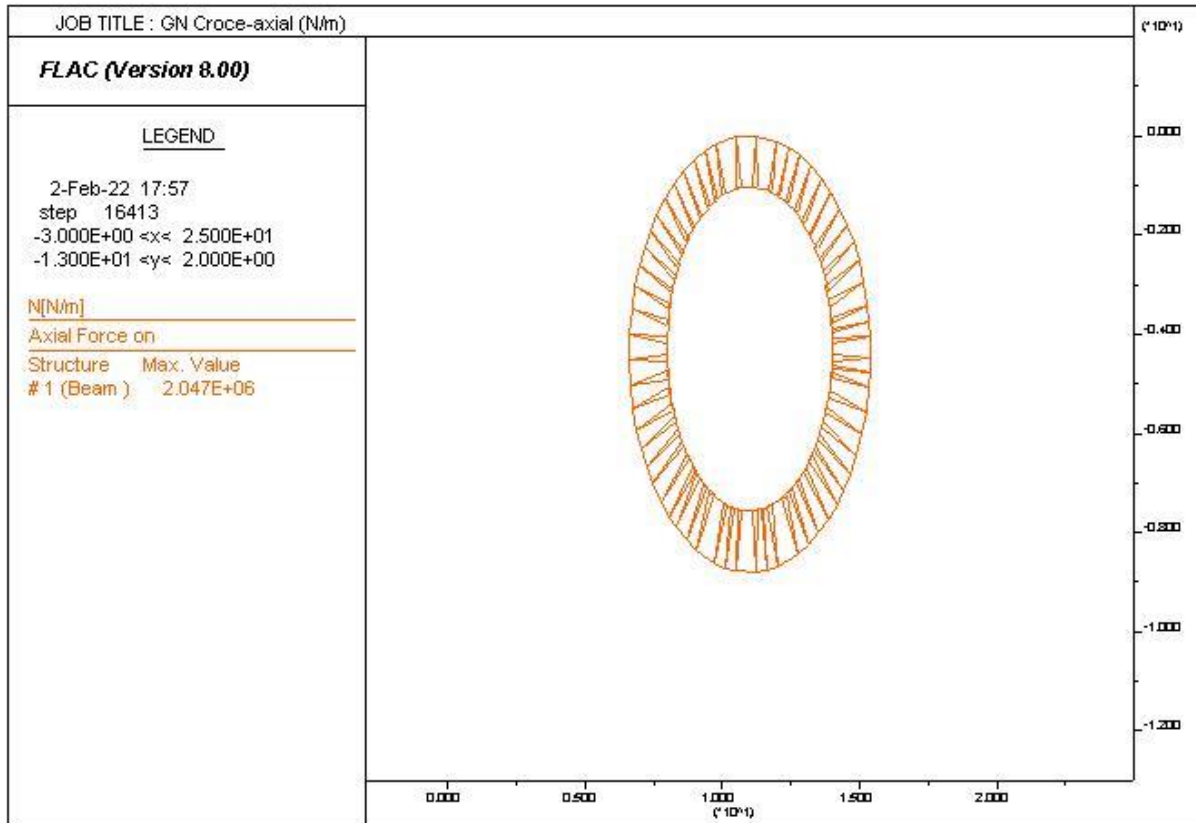




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

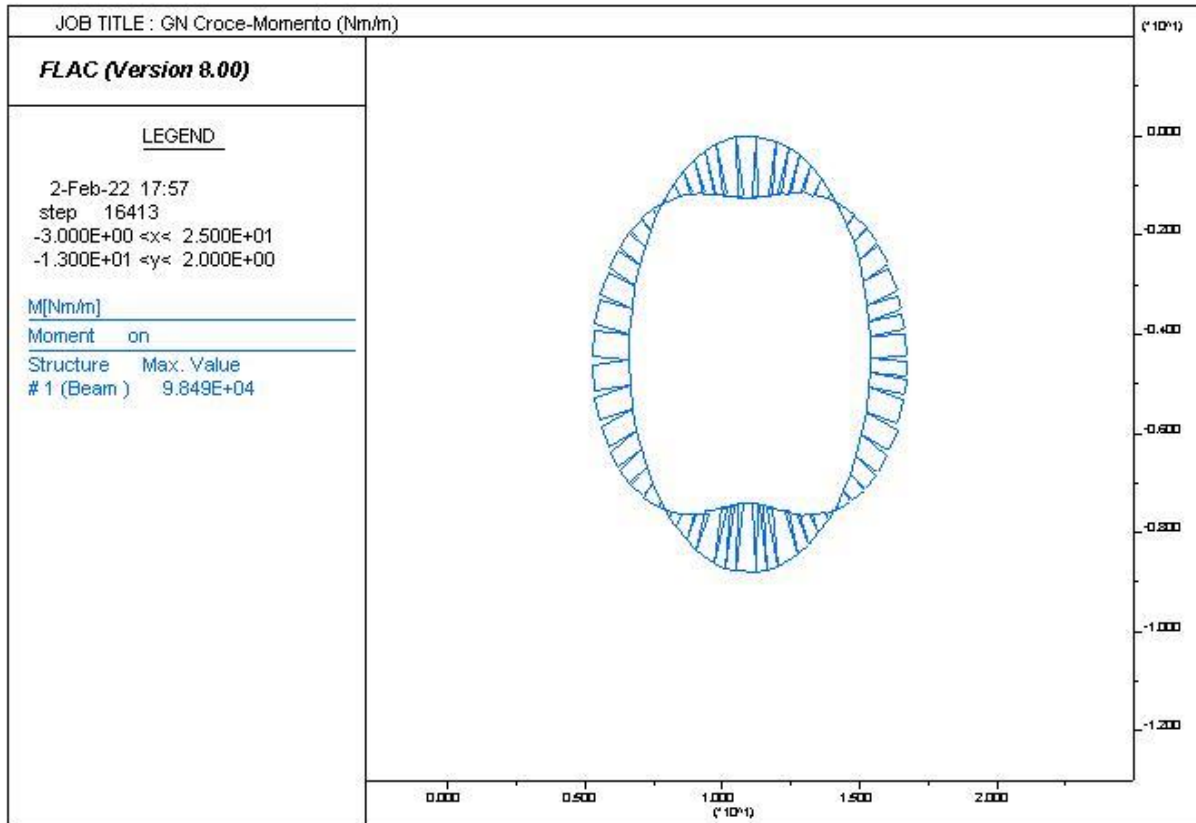




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

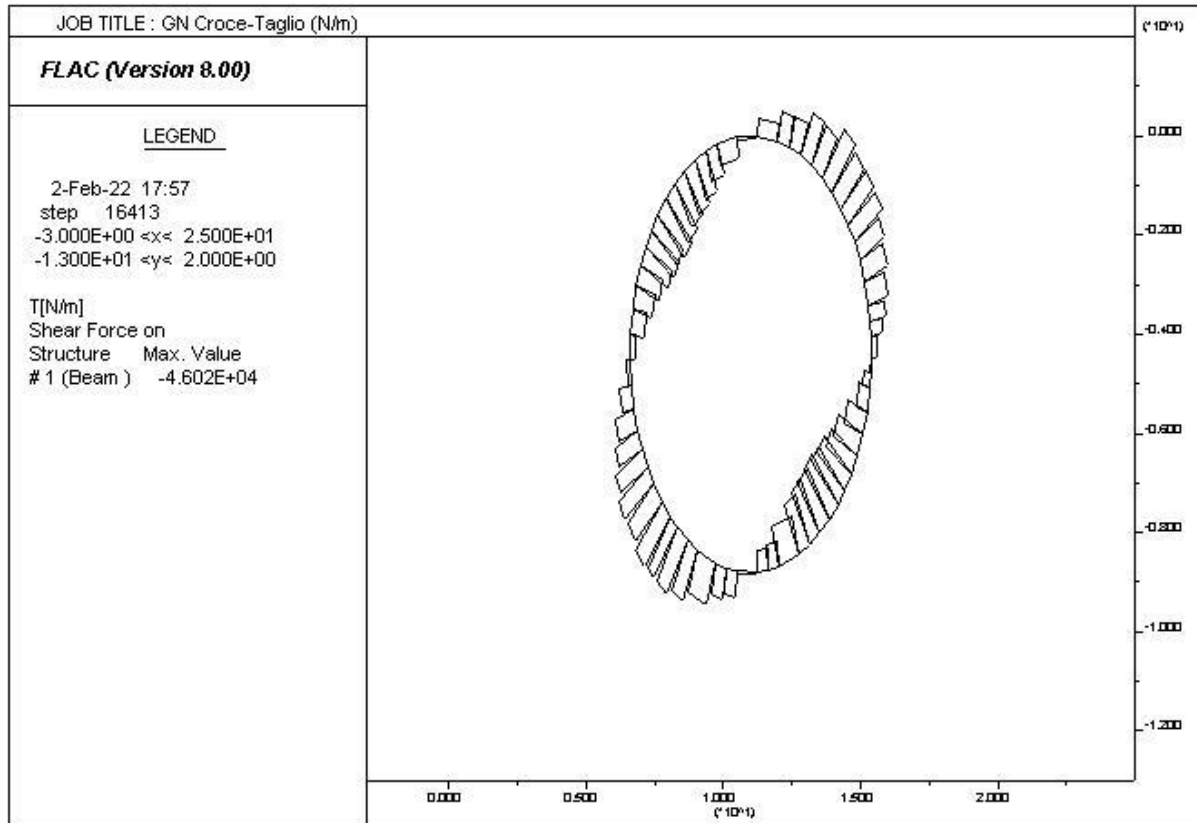




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

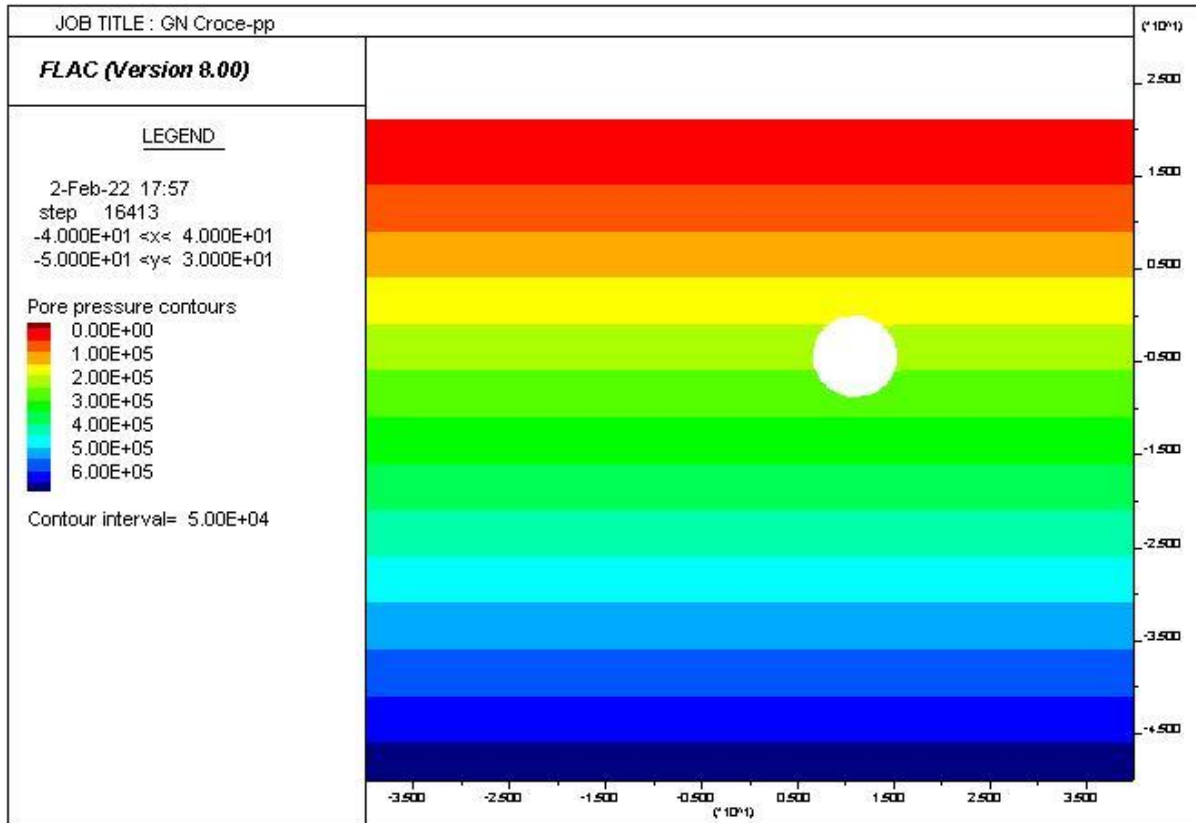




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3



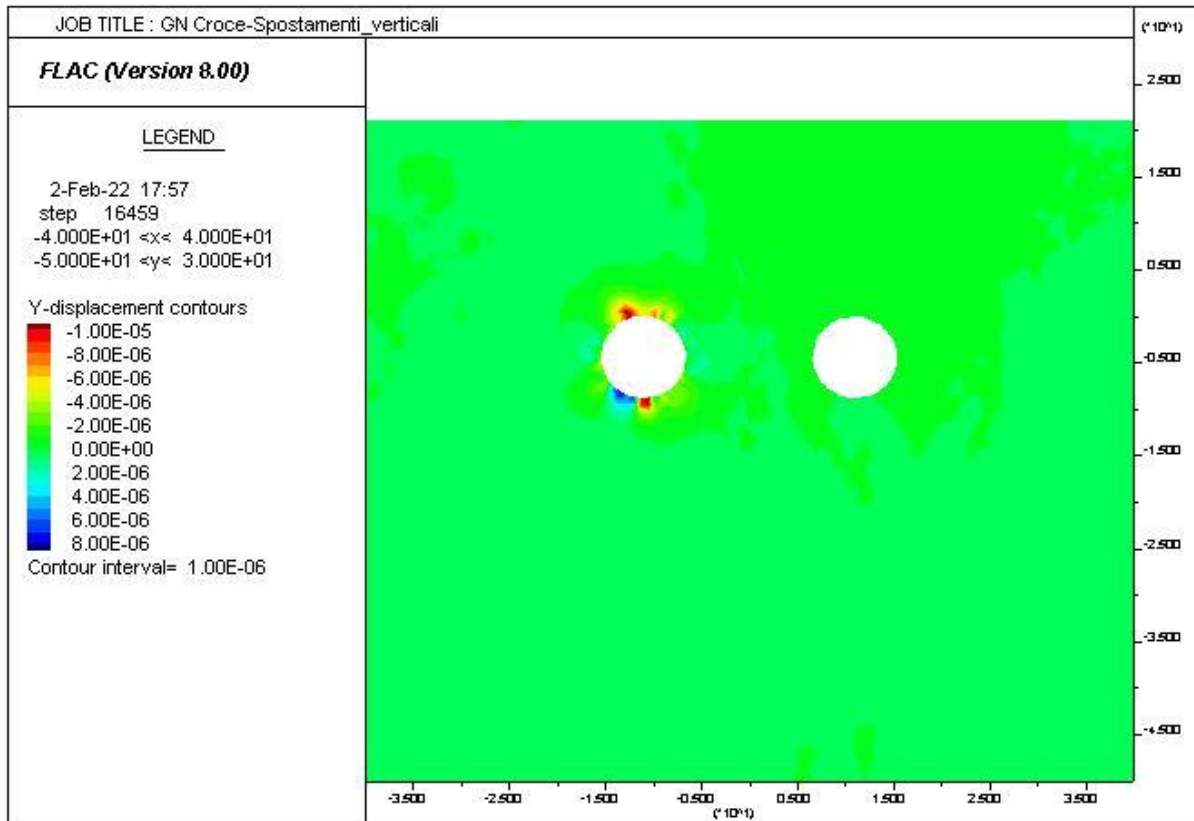


RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

FASE 7



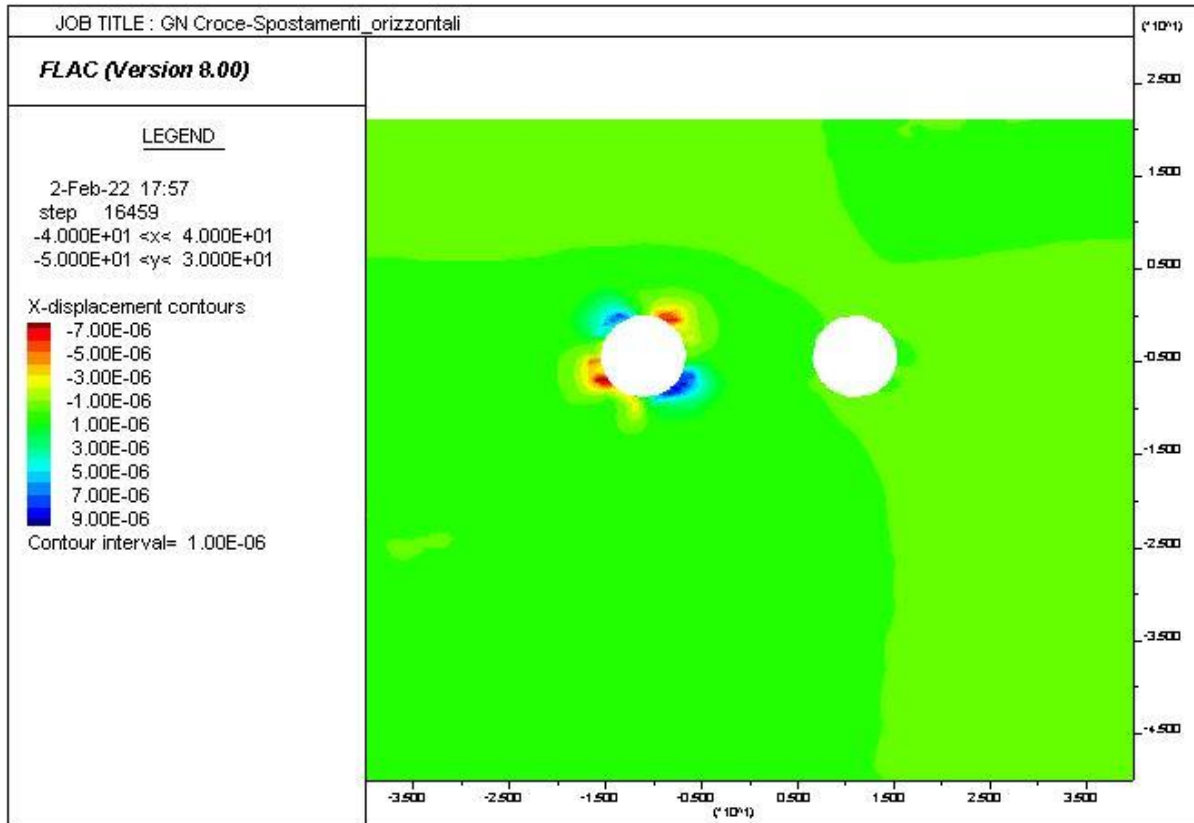




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

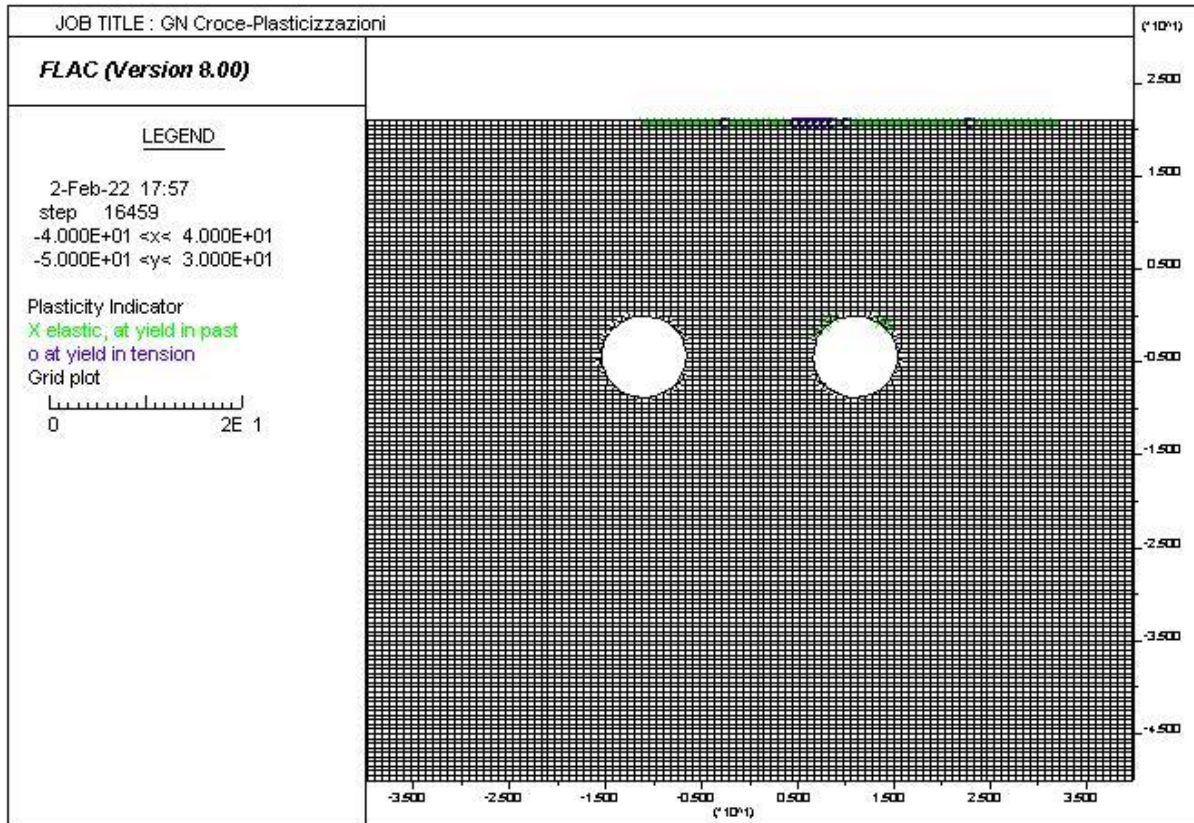


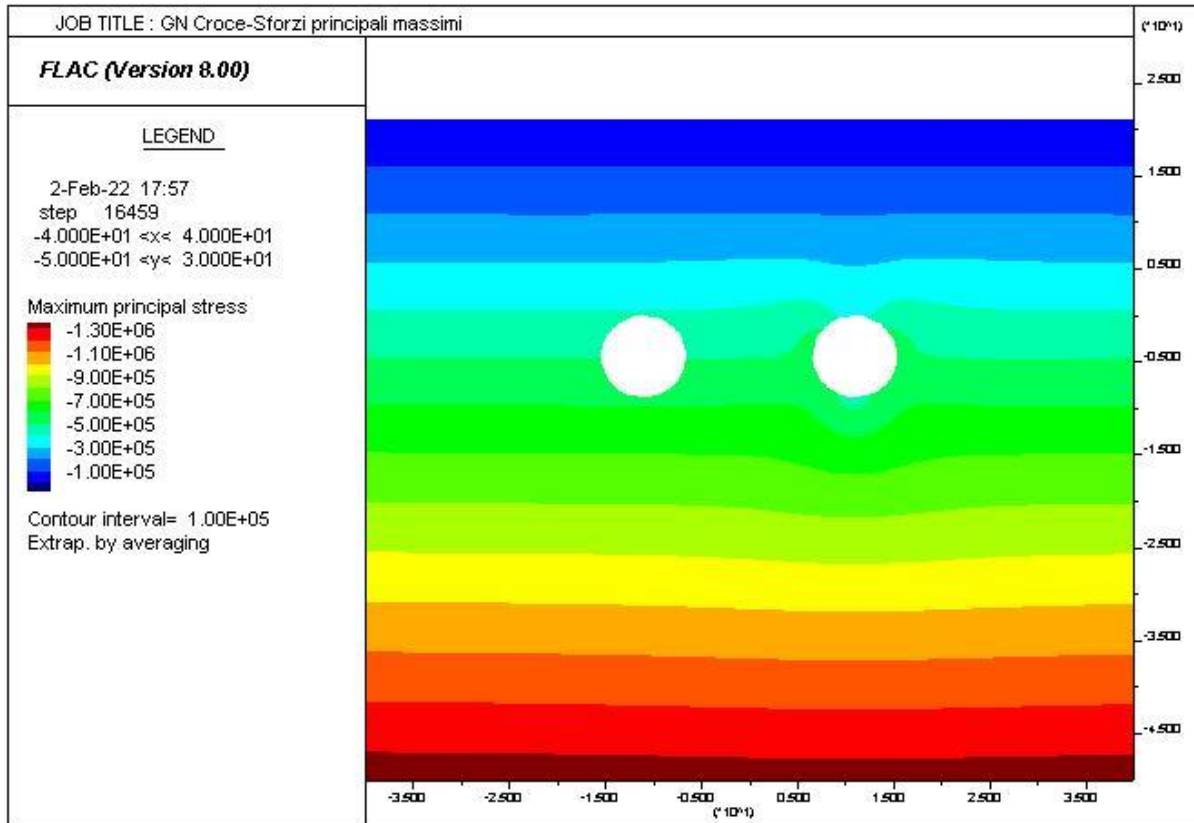


RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3



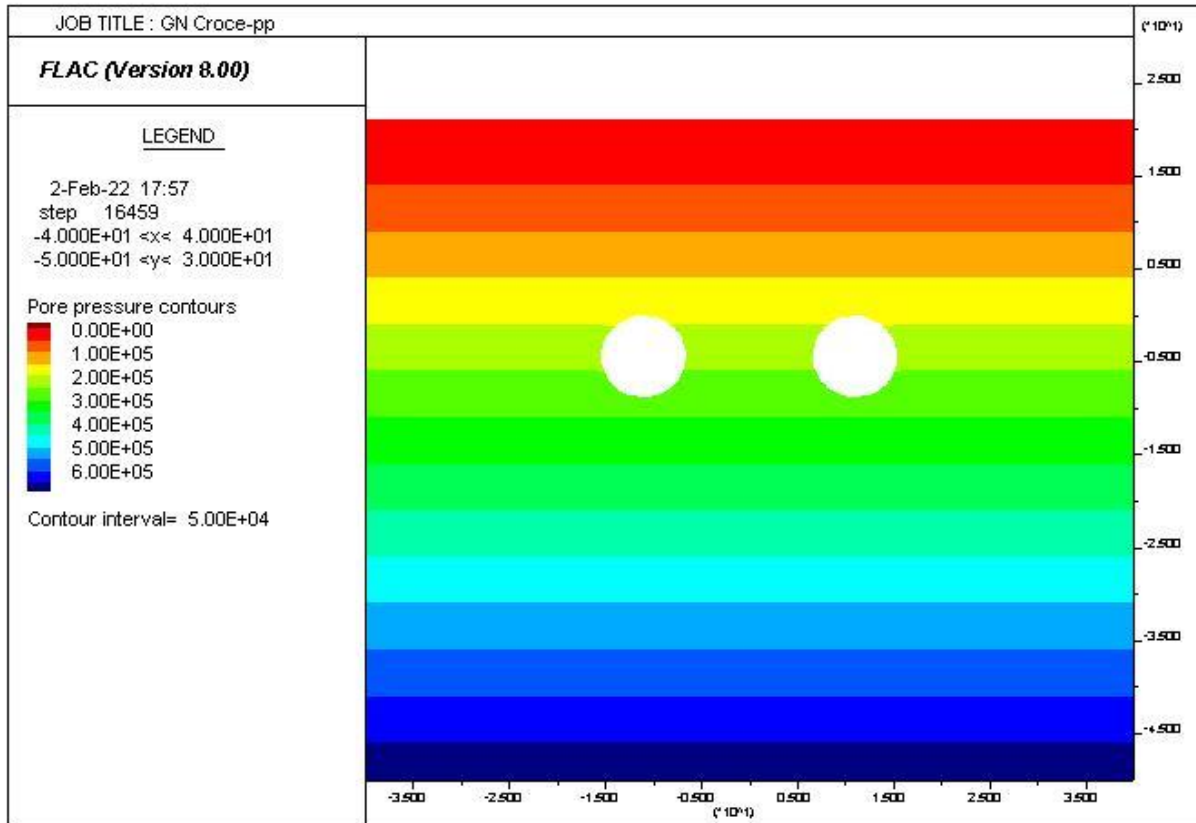




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3



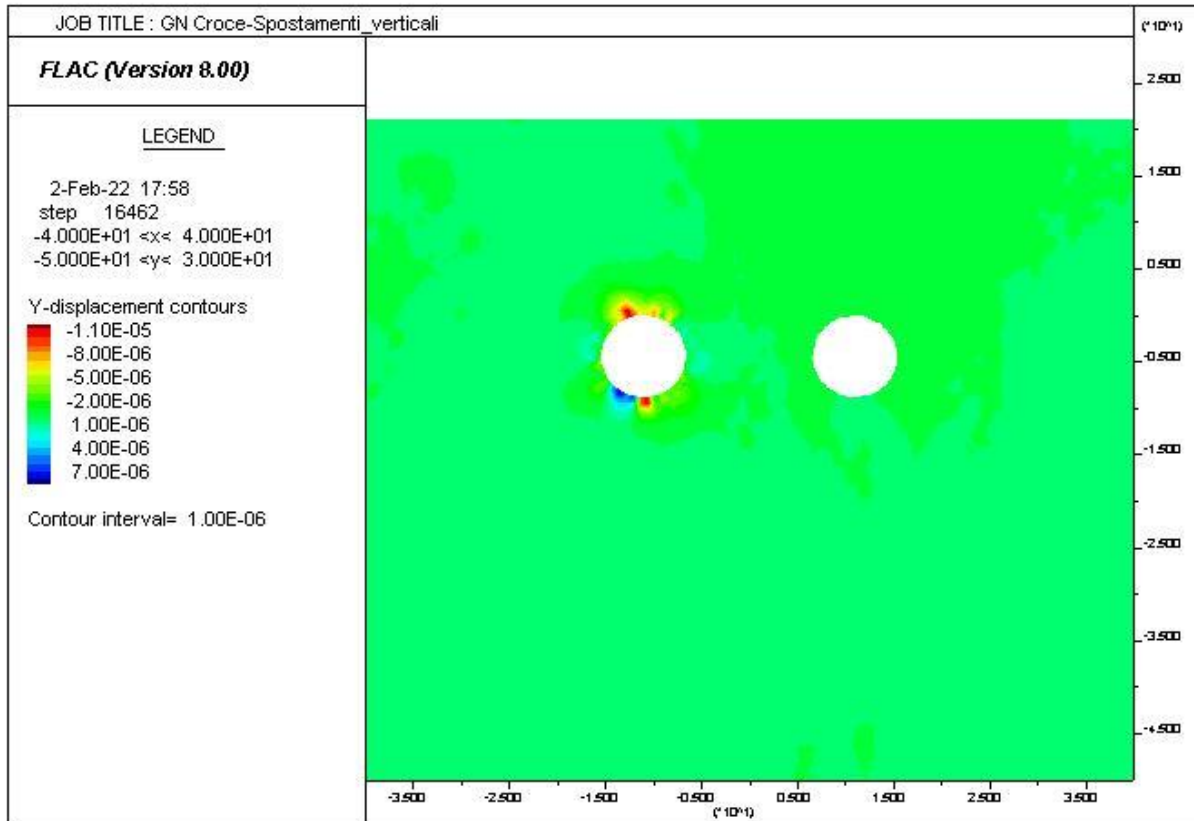


RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

FASE 9

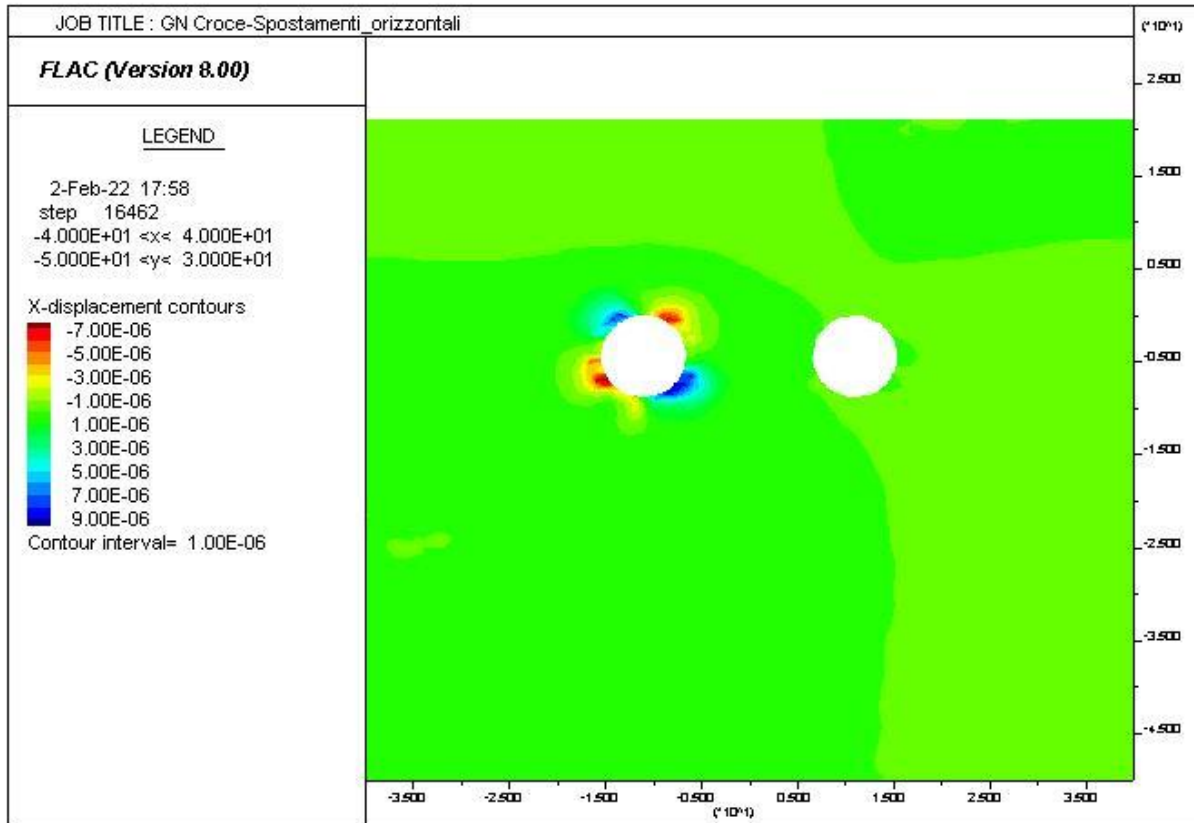




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

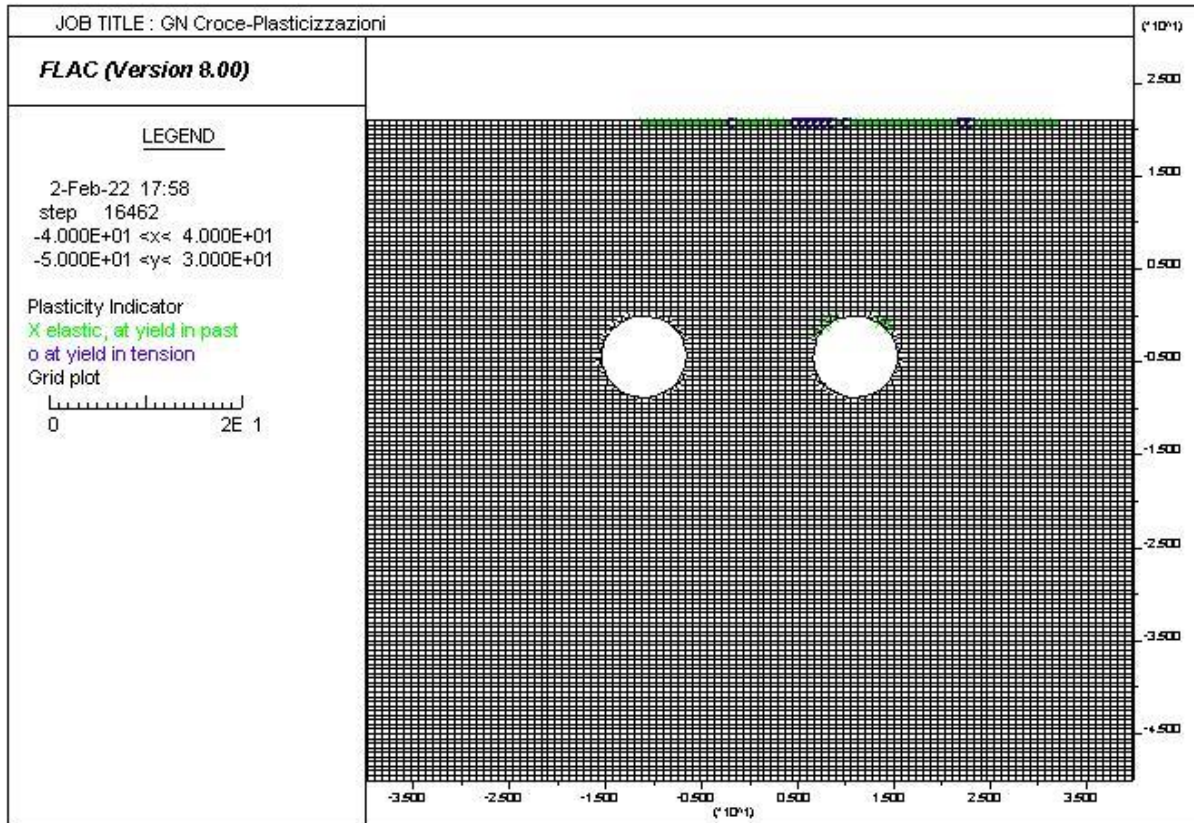


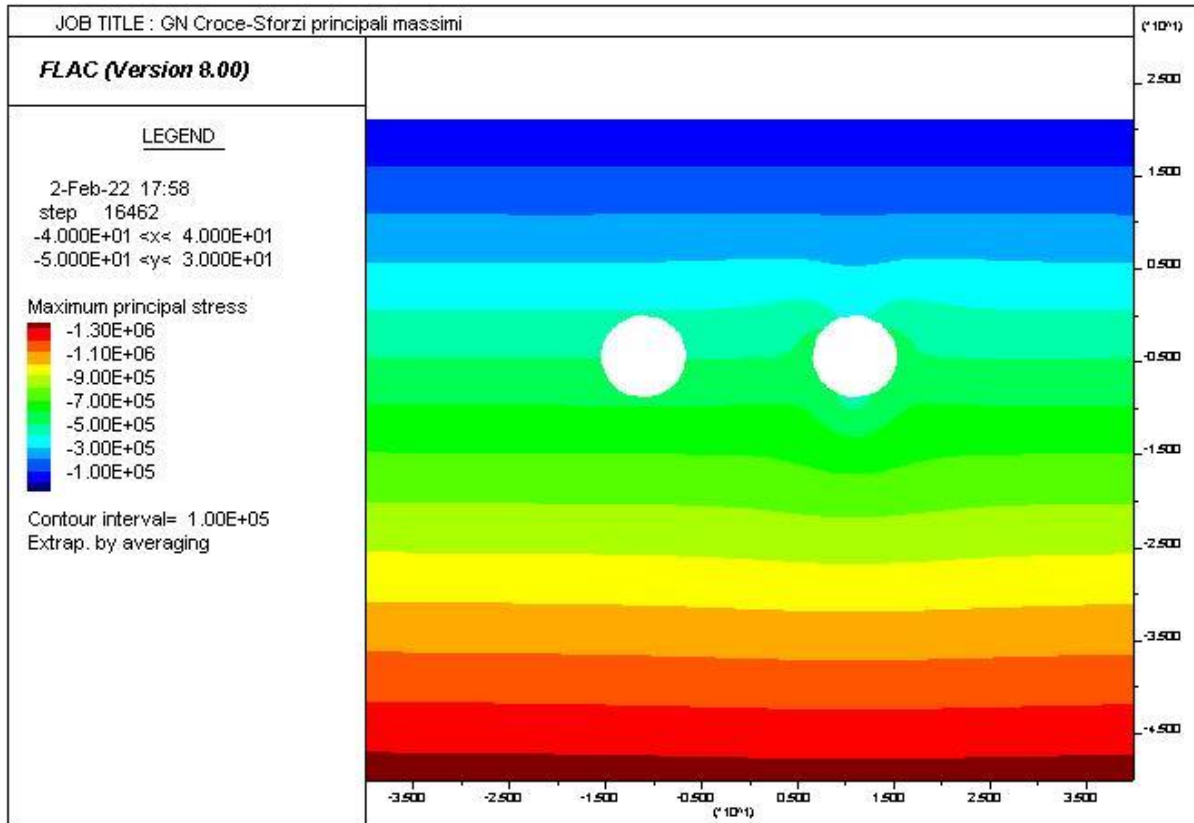


RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3





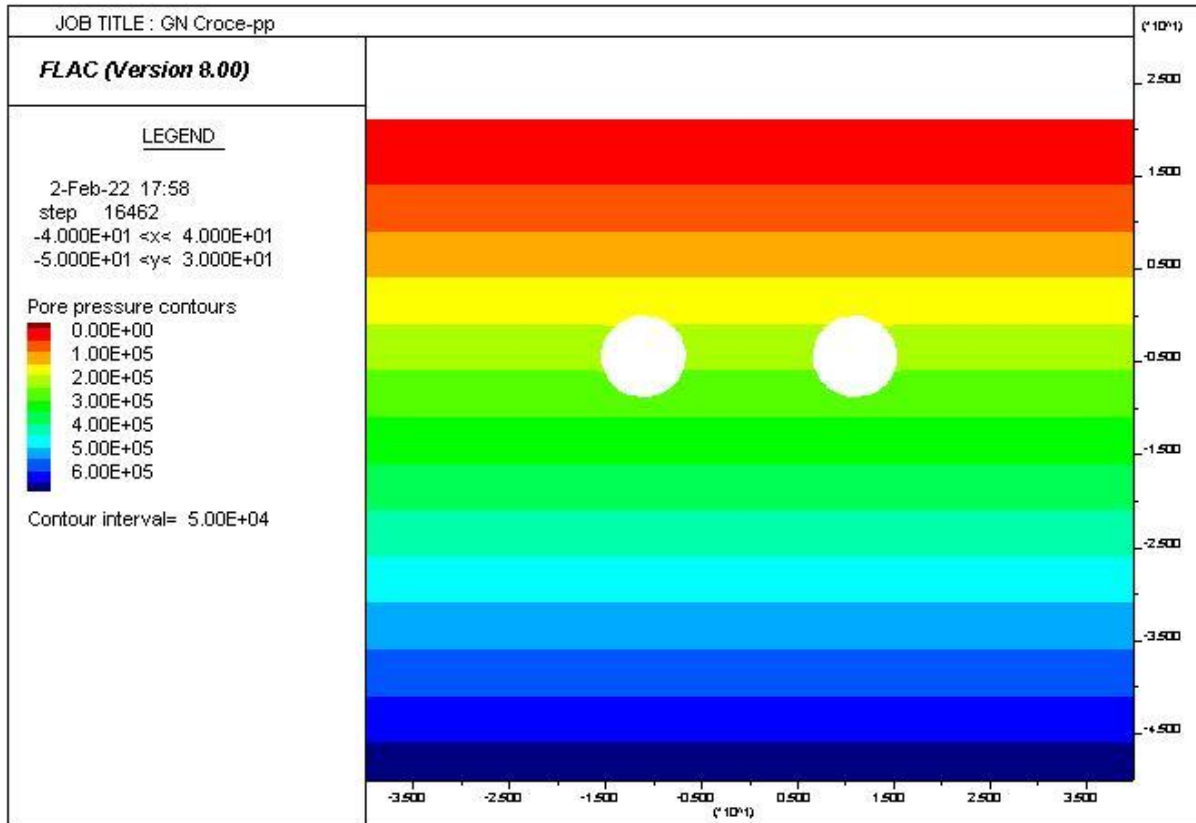




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3



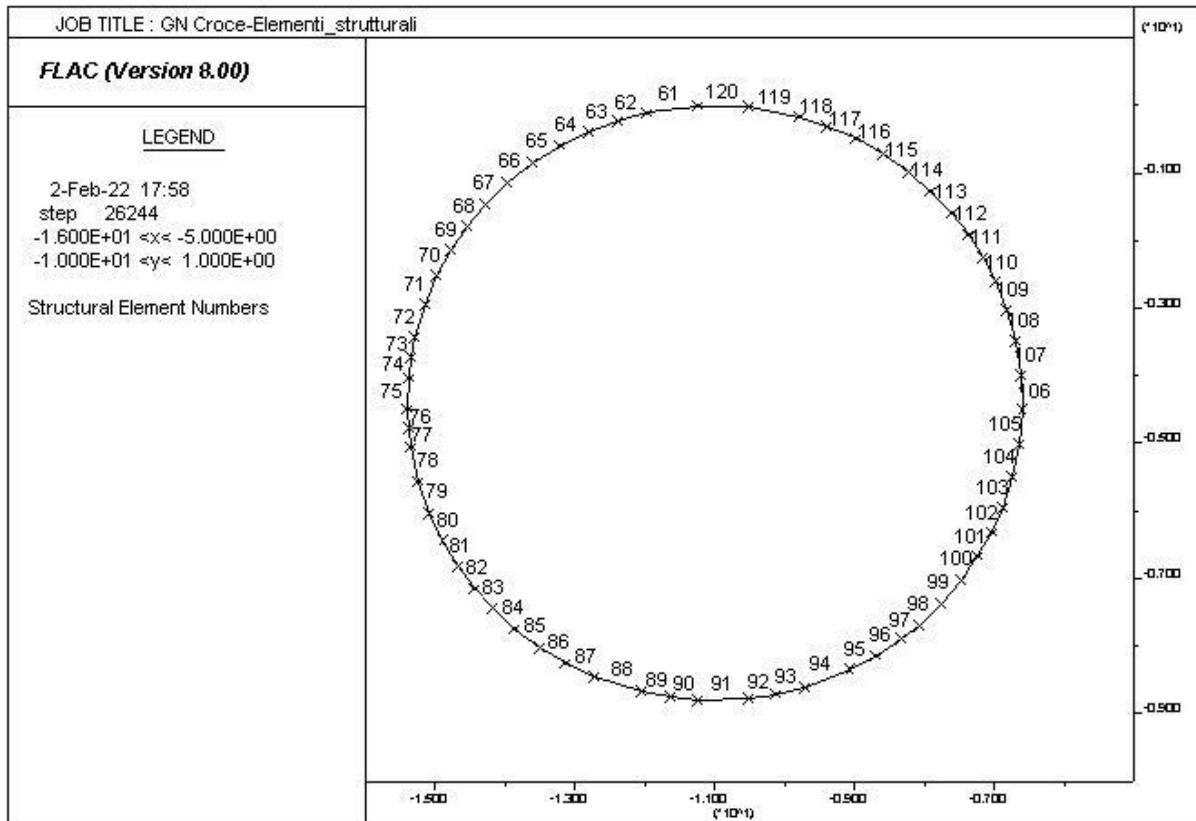


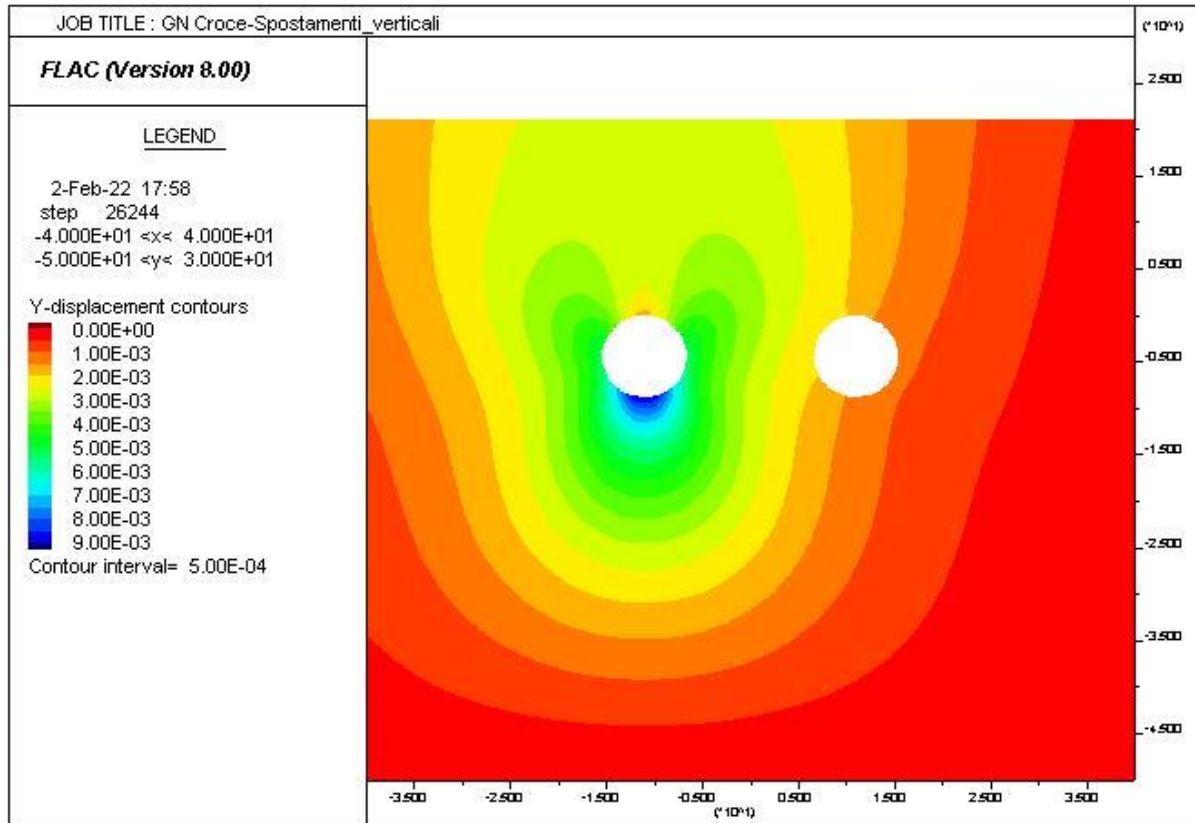
RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
**PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

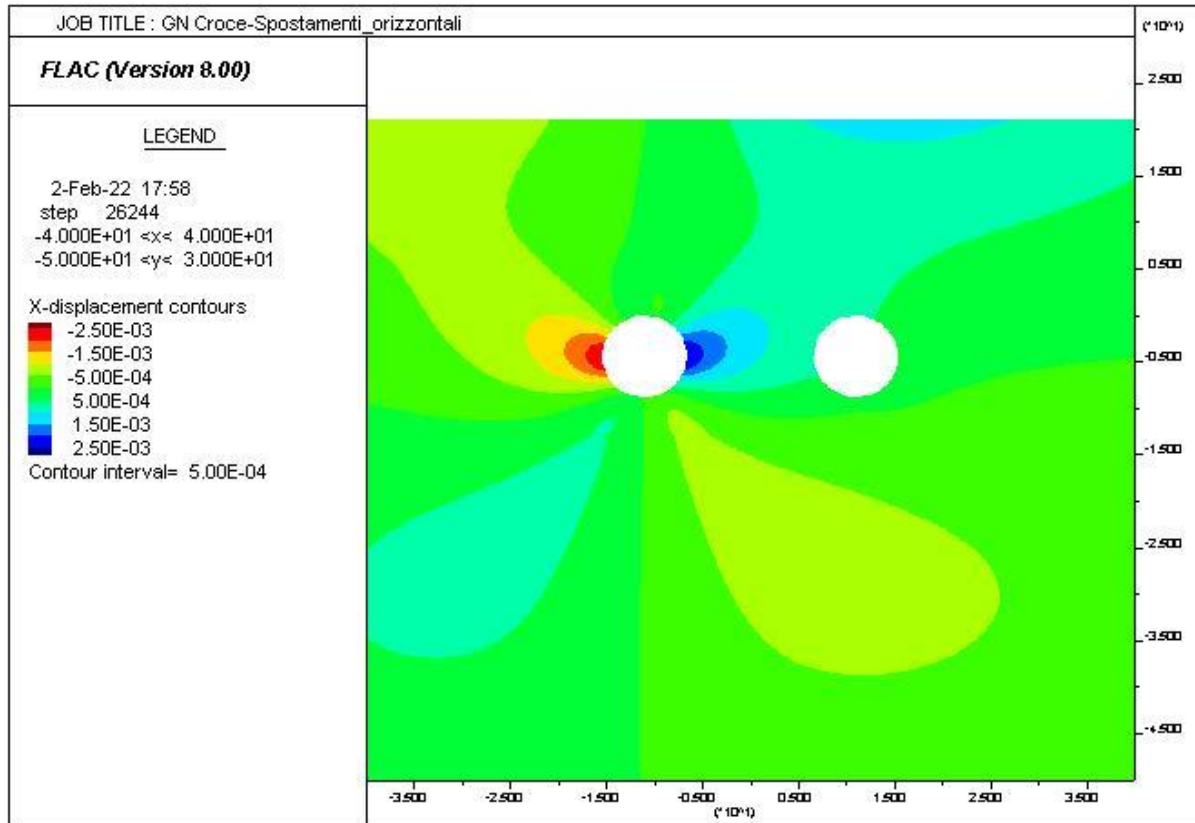
FASE 10





RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

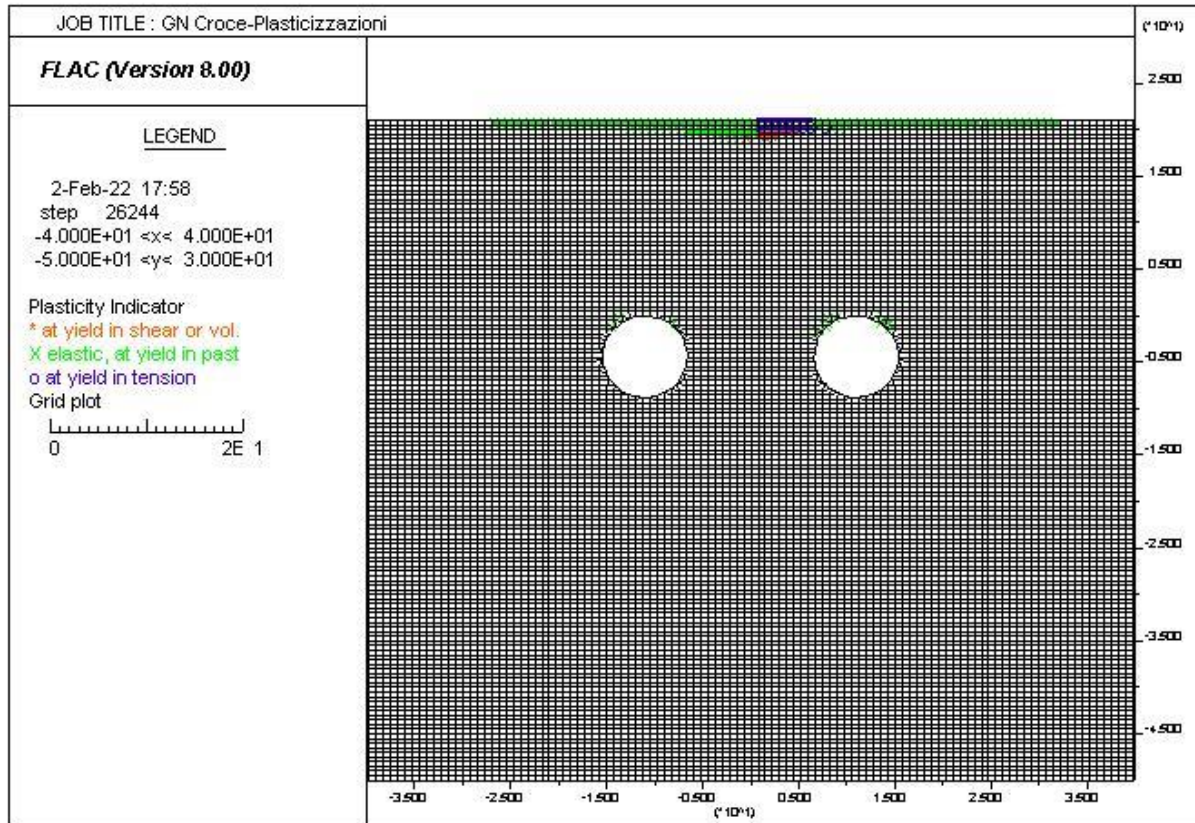


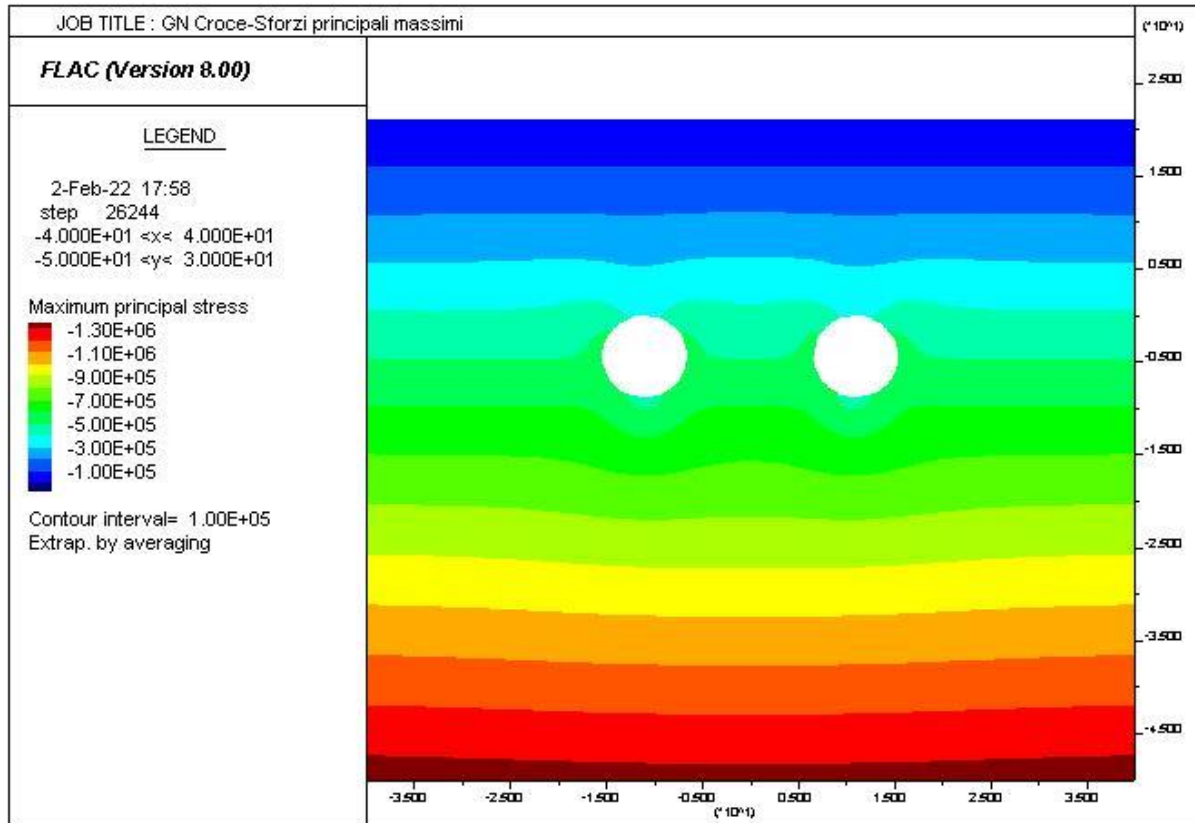


RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3



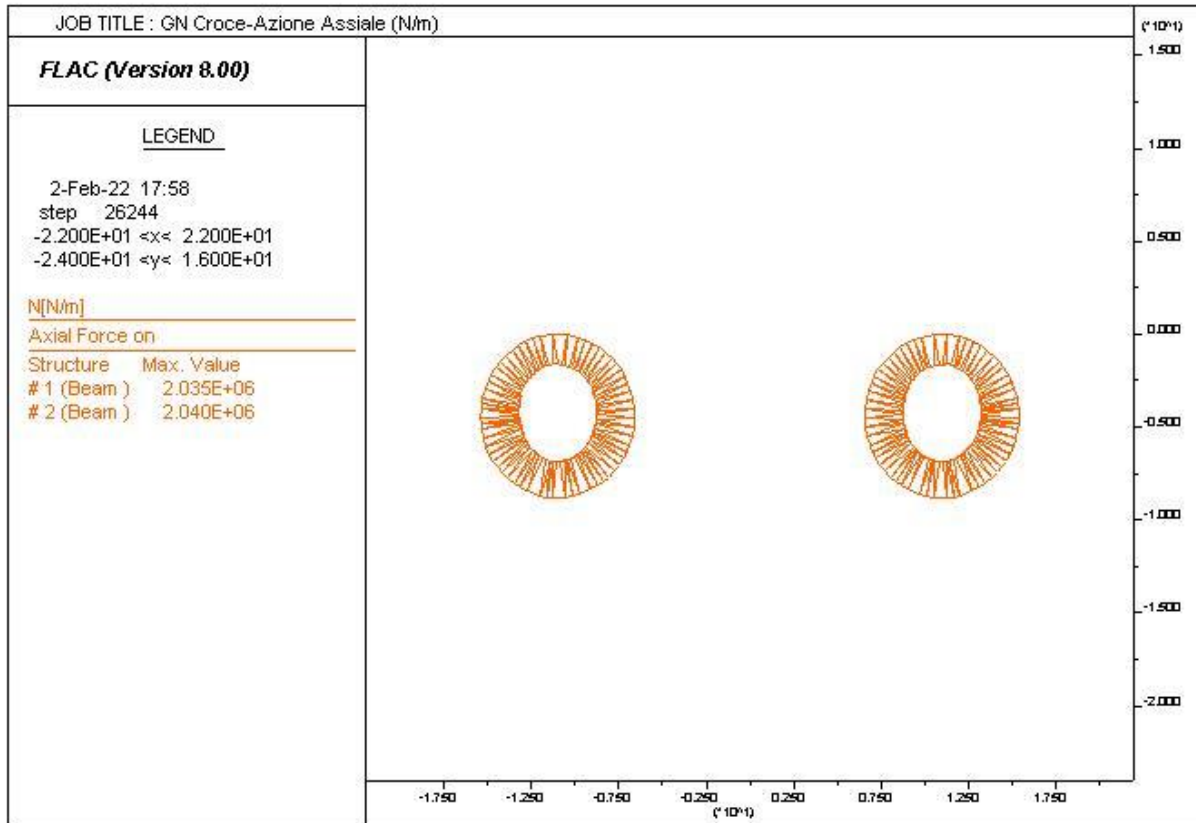




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

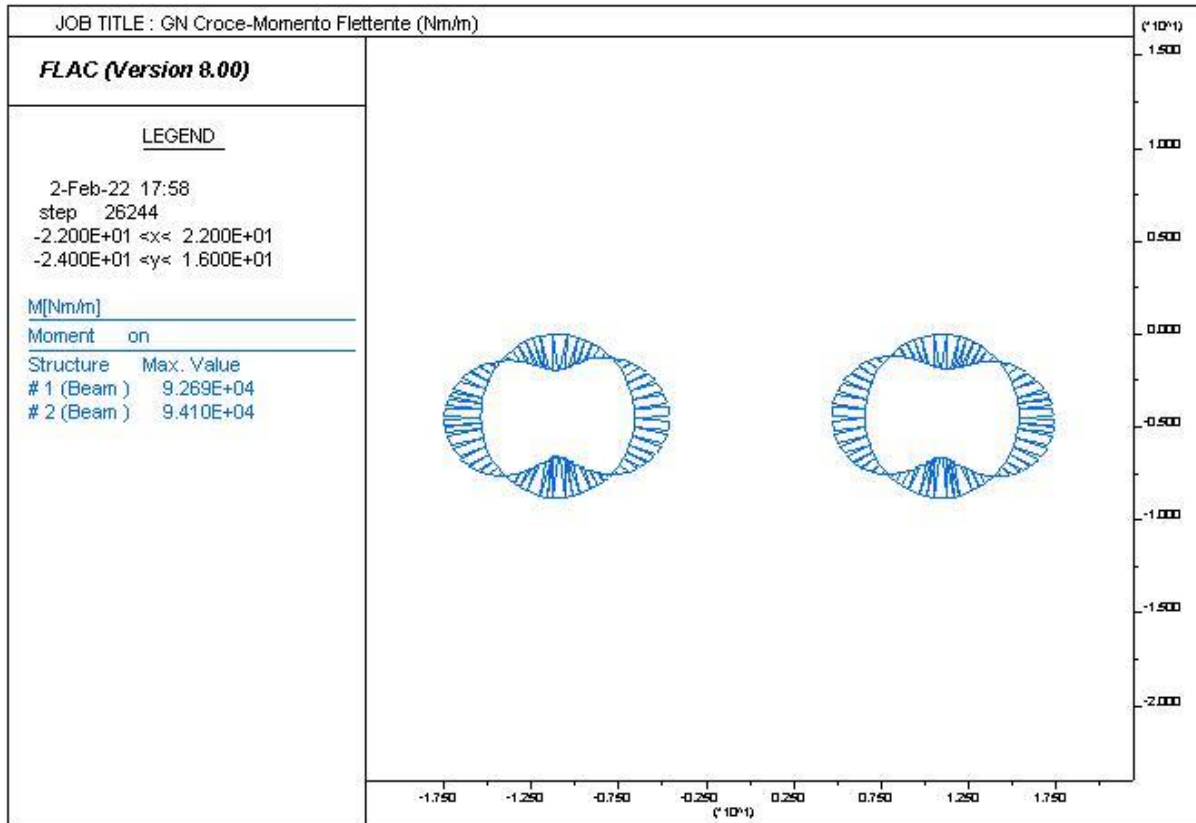




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3



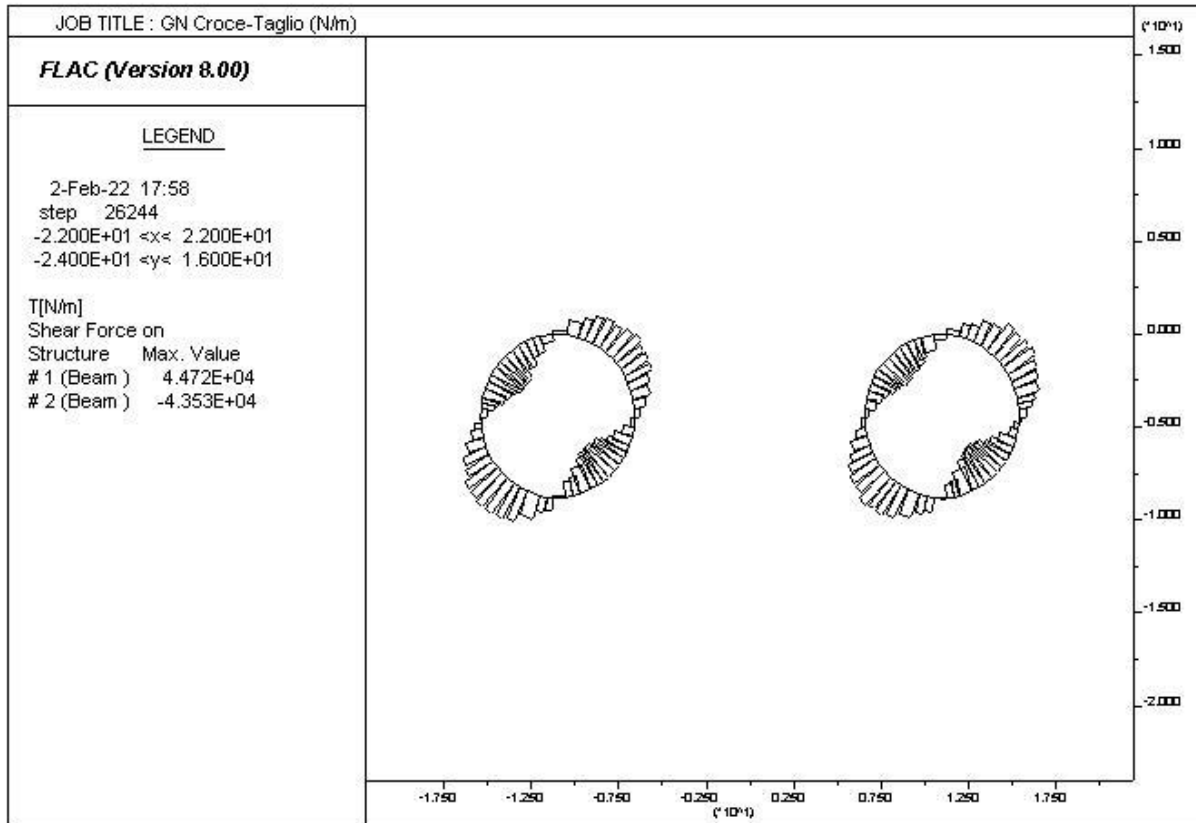




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

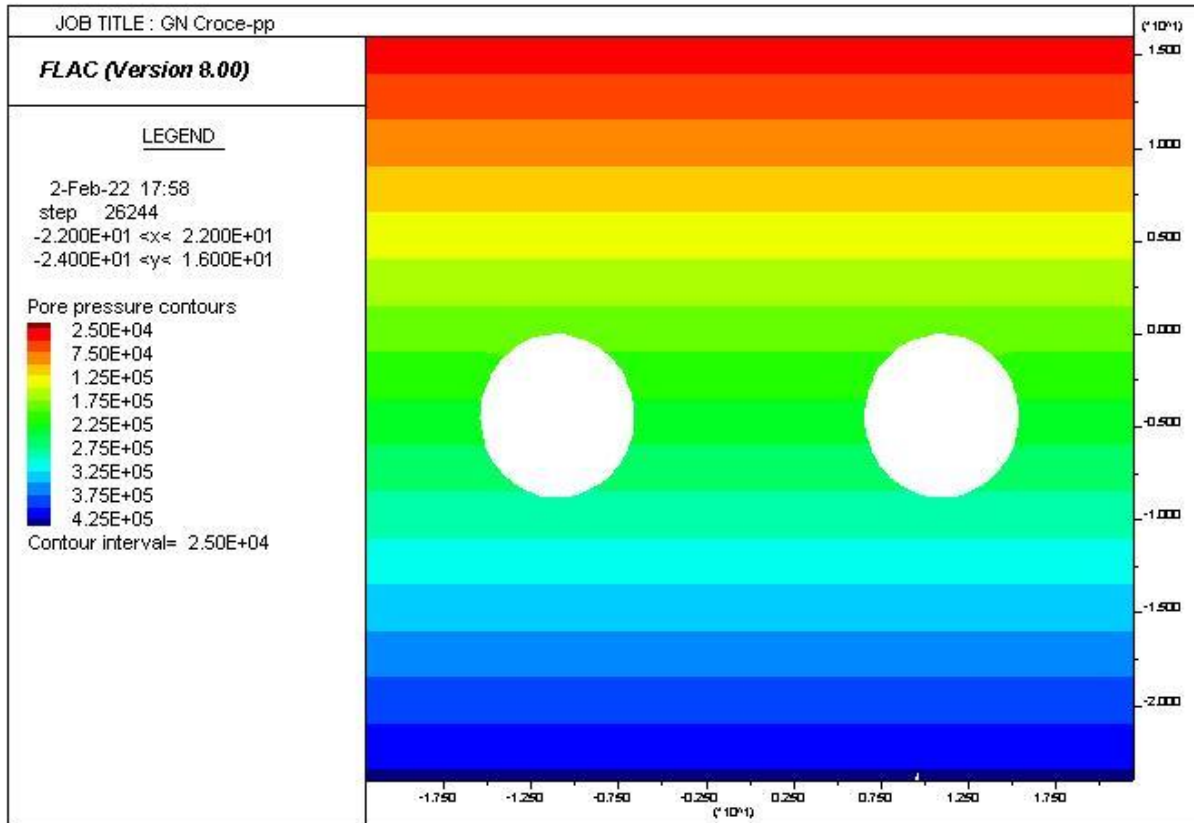




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3



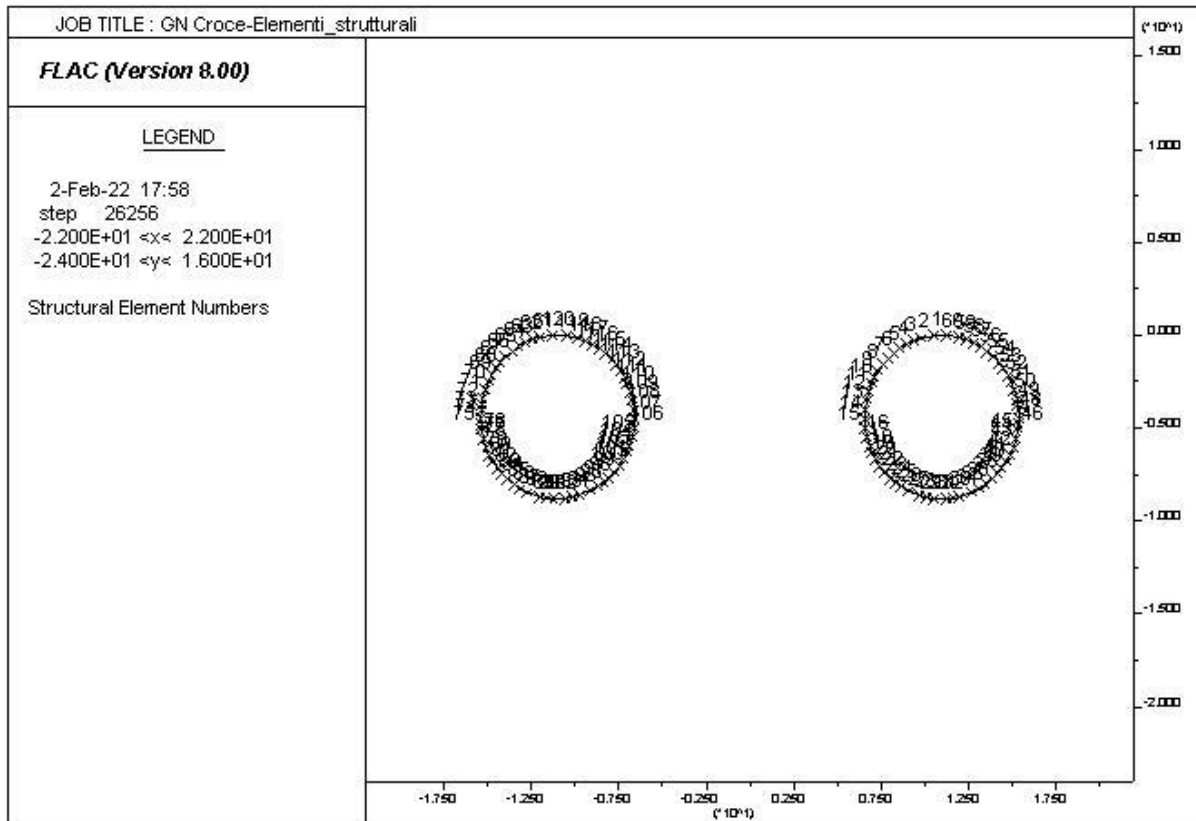


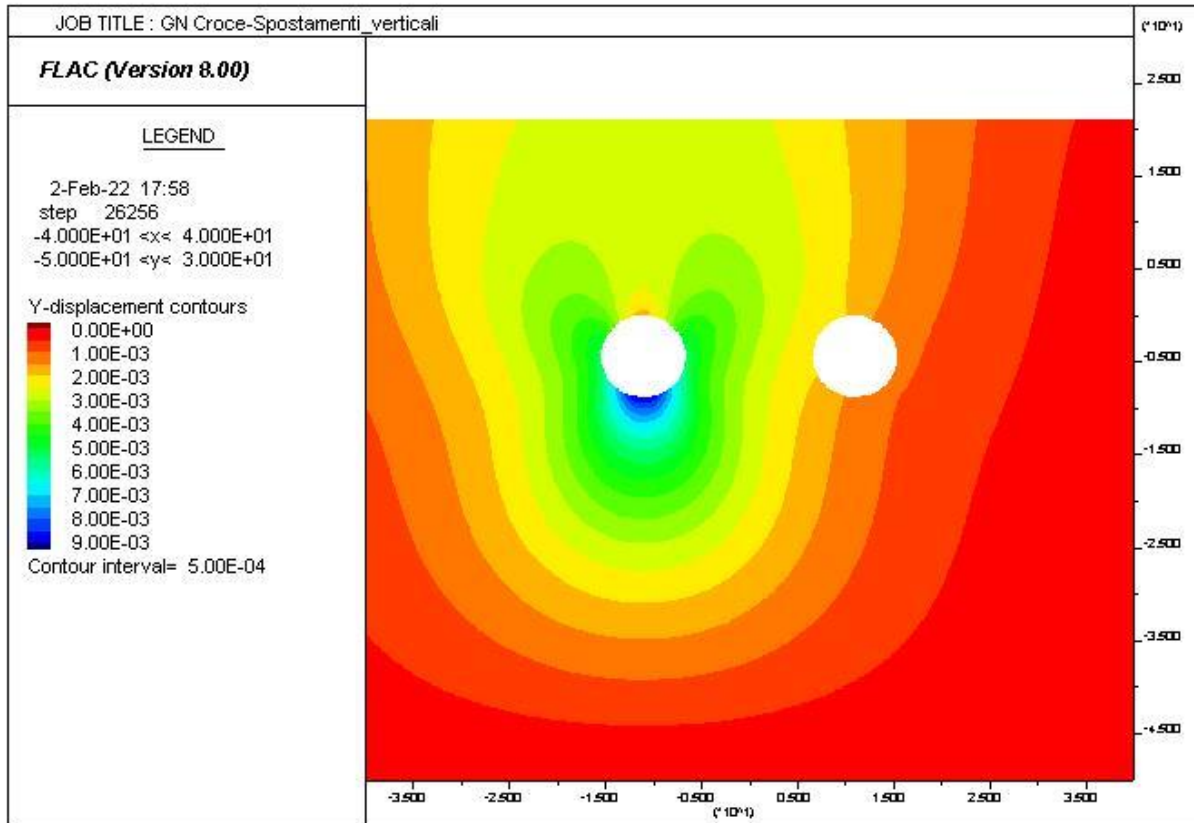
RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

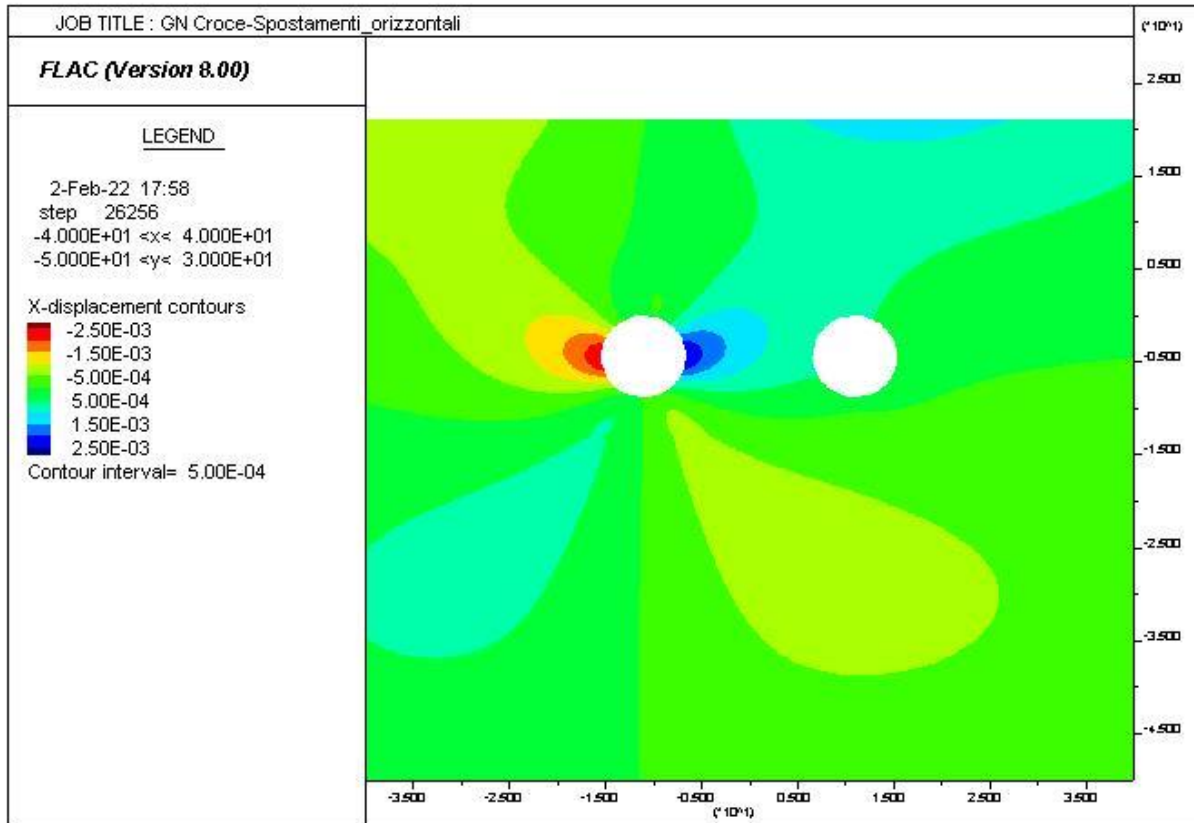
FASE 11





RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

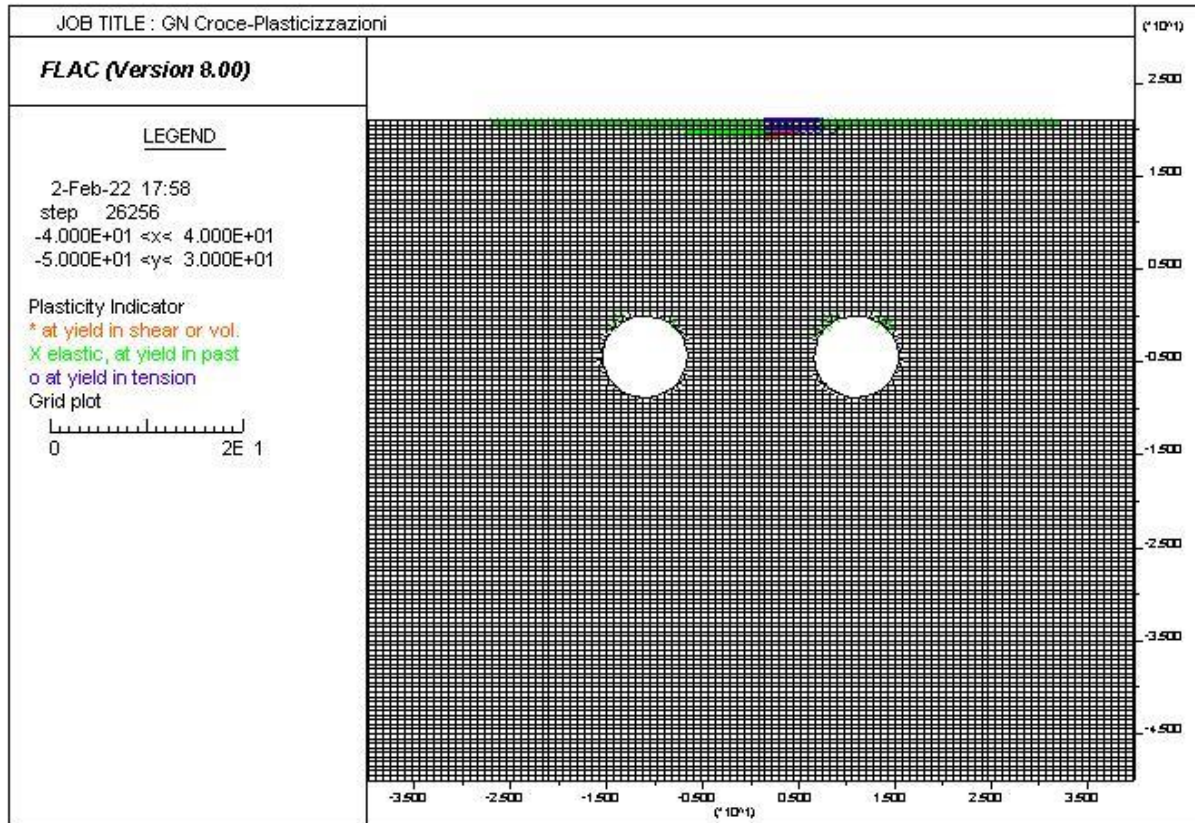


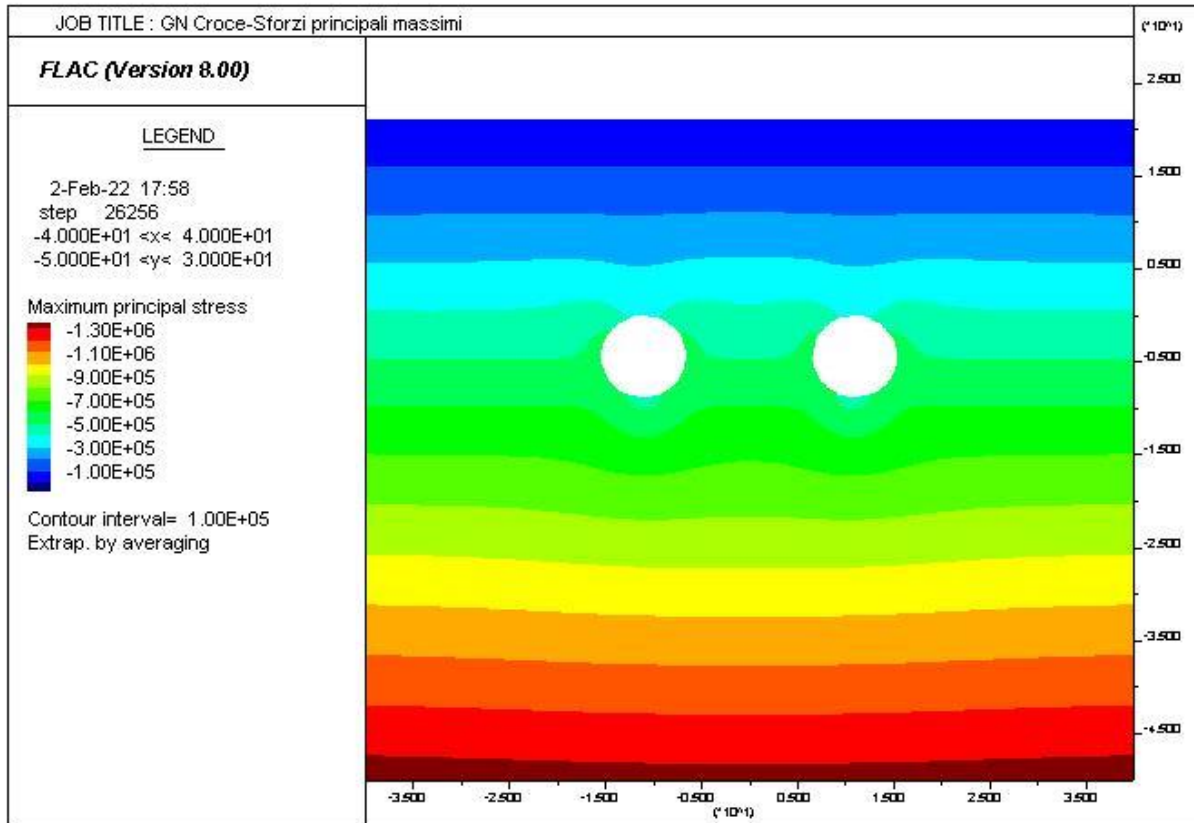


RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

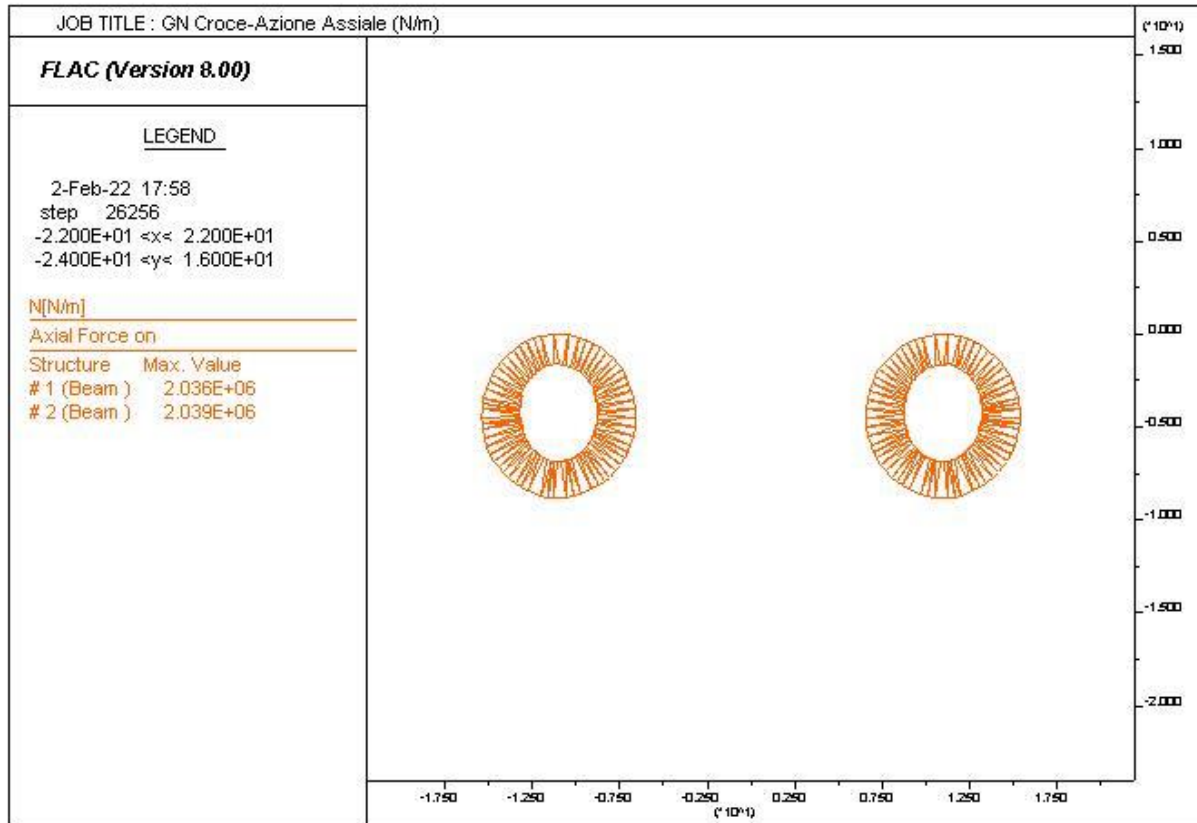
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3





RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3



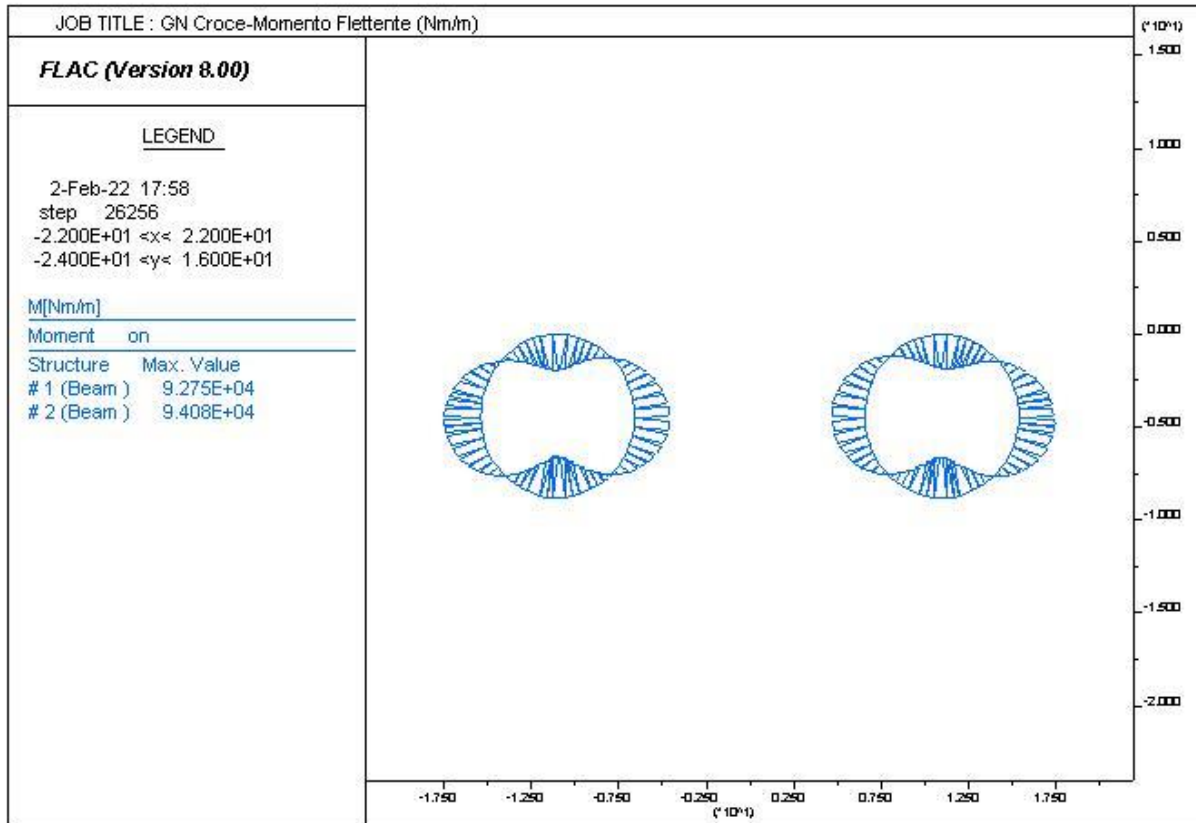




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

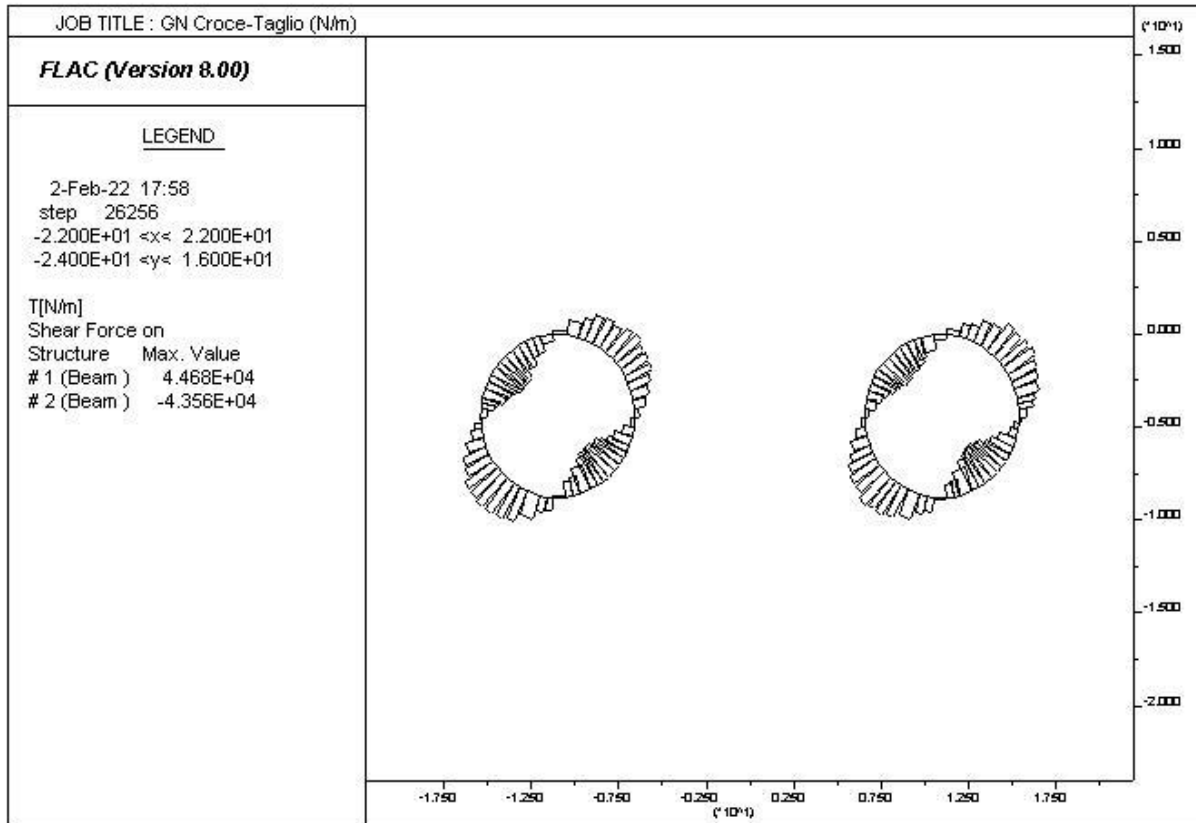




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

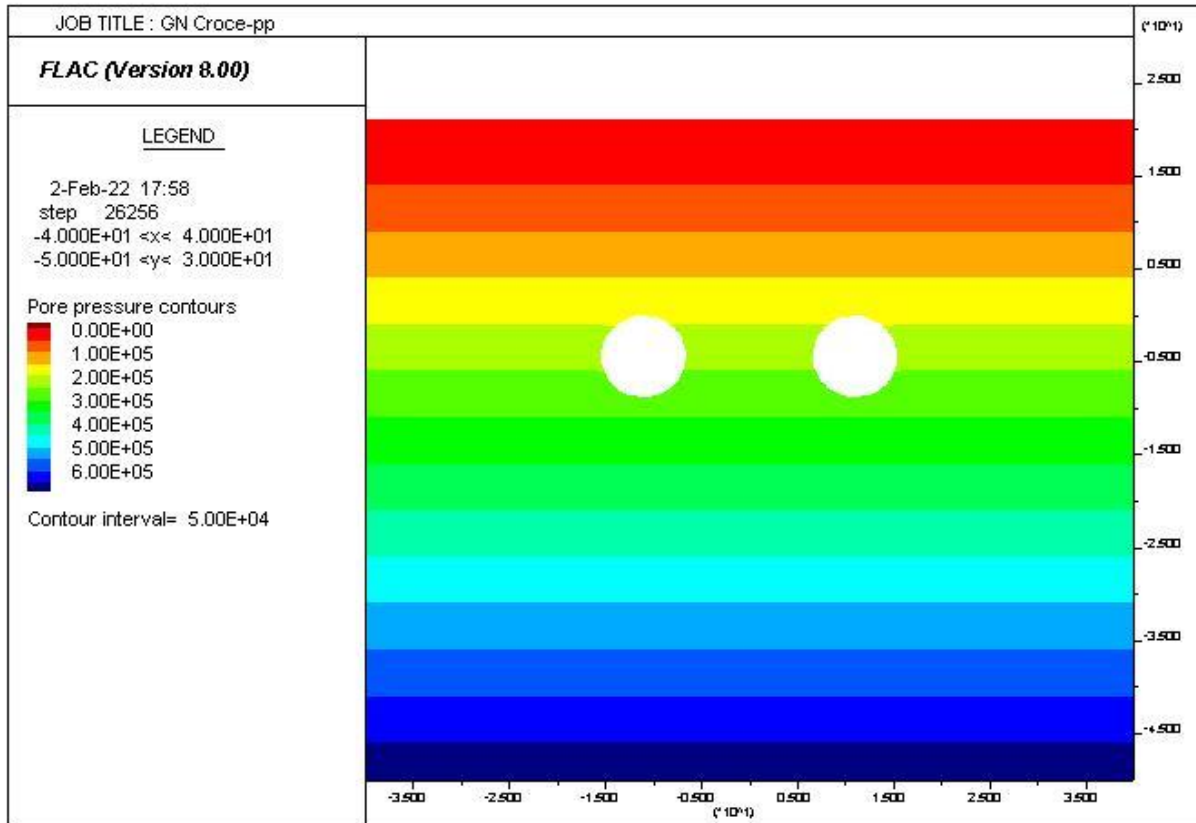




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3



RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

Si riportano di seguito le sollecitazioni in termini di sforzo normale e momento ottenute dai modelli numerici.

Elem	<i>Nk</i>	<i>Mk</i>	<i>Tk</i>
	kN/m	kN m/m	kN/m
1	-1496	-79.359	4.494872
2	-1515	-67.7205	16.17949
3	-1545	-58.0205	22.53077
4	-1576	-45.2513	29.55128
5	-1613	-30.4692	32.51026
6	-1649	-16.3897	30.98974
7	-1695	-0.78205	35.68974
8	-1743	15.85897	38.16923
9	-1784	29.14103	33.37949
10	-1826	42.52051	33.86923
11	-1868	55.11026	31.83077
12	-1905	66.4	25.17949
13	-1944	76.17949	20.31026
14	-1978	83.27949	13.85897
15	-2006	86.06923	5.428205
16	-2024	84.27949	-3.60513
17	-2032	77.9	-12.8513
18	-2031	68.03077	-20.959
19	-2023	57.47949	-26.5795
20	-2015	44.27949	-33.3513
21	-1994	27.75128	-38.2103
22	-1968	10.38974	-38.3103
23	-1945	-9.14103	-43.1513
24	-1919	-22.3692	-41.0795
25	-1897	-40.3205	-41.0692
26	-1869	-56.559	-37.2103
27	-1837	-77.1	-29.6205
28	-1818	-85.6513	-20.7308
29	-1807	-92.7205	-17.2103
30	-1795	-94.0795	-1.90513
31	-1804	-88.3692	14.03077
32	-1812	-81.7	16.44103



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
**PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

33	-1829	-62.3897	26.84103
34	-1861	-46.0513	36.55128
35	-1890	-27.9513	40.54103
36	-1917	-9.17179	42.4
37	-1948	10.15128	43.55897
38	-1971	25.71026	40.7
39	-1996	42.45897	39.75897
40	-2011	56.6	33.6
41	-2028	70.32051	30.08974
42	-2039	81.27949	22.08974
43	-2039	87.65128	12.01026
44	-2036	89.75897	7.461538
45	-2028	89.76923	-0.14872
46	-2010	86.45128	-7.19231
47	-1989	82.02051	-14.8
48	-1969	76.05897	-19.859
49	-1934	63	-25.7513
50	-1889	48.37949	-31.1103
51	-1844	33.93077	-33.959
52	-1802	17.57949	-39.5897
53	-1754	1.476923	-38.959
54	-1706	-14.9	-35.759
55	-1661	-32.7103	-38.941
56	-1612	-46.241	-29.041
57	-1577	-60	-29.5308
58	-1542	-68.7205	-19.959
59	-1524	-76.4897	-17.6205
60	-1501	-82.641	-8.32564

	<b>Nk</b>	<b>Mk</b>	<b>Tk</b>
Elem	kN/m	kN m/m	kN/m
61	-1505	-76.0103	6.023077
62	-1526	-69.6205	14.85897
63	-1542	-62.0513	17.51026
64	-1575	-49.7205	26.46923
65	-1607	-36.6205	28.14103
66	-1654	-18.9	38.73077
67	-1697	-2.31795	36.25128
68	-1742	13.42051	38.07949



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

69	-1790	29.65897	39.25128
70	-1832	44.06923	33.75128
71	-1877	58.8	31.33077
72	-1922	72.22051	26.45897
73	-1957	78.57949	21.11026
74	-1979	83.75128	17.02051
75	-2001	88.15897	9.594872
76	-2020	89.08974	3.023077
77	-2030	87.55128	-5.47949
78	-2035	82.43077	-9.74872
79	-2036	72.64103	-19.9205
80	-2026	60.02051	-27.8897
81	-2010	46.44103	-32.241
82	-1996	29.86923	-39.5103
83	-1971	14.03077	-41.2795
84	-1948	-5.96923	-44.6795
85	-1917	-25.241	-43.3897
86	-1890	-43.7308	-41.159
87	-1861	-60.3513	-36.9692
88	-1828	-80.041	-27.2308
89	-1811	-86.8897	-16.8308
90	-1802	-92.7103	-14.259
91	-1793	-91.5897	1.628205
92	-1803	-84.7897	16.65897
93	-1814	-76.559	20.03077
94	-1832	-56.6795	28.78974
95	-1862	-40.859	36.3
96	-1890	-23.3795	40.13077
97	-1912	-10.459	40.15128
98	-1937	8.530769	41.85128
99	-1959	25.27949	36.98974
100	-1985	41.3	36.93077
101	-2006	54.05897	32.16923
102	-2013	63.97949	24.96923
103	-2021	73.32051	19.87949
104	-2023	79.65897	12.71026
105	-2016	81.88974	4.35641
106	-1999	79.88974	-3.90513
107	-1974	74.14103	-11.4692
108	-1942	65.54103	-17.8205

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

109	-1906	55.51026	-22.359
110	-1872	44.13077	-28.6308
111	-1832	31.98974	-30.4692
112	-1793	19.63077	-30.8103
113	-1753	3.817949	-36.1513
114	-1707	-11.3308	-34.6205
115	-1664	-26	-32.359
116	-1627	-40.5897	-32.2
117	-1590	-53.2897	-29.141
118	-1557	-63.2205	-22.859
119	-1526	-75.6795	-17.2205
120	-1504	-80.4308	-6.31026

Si riportano di seguito le sollecitazioni in termini di sforzo normale e momento flettente per le quattro combinazioni sismiche:

	<b>Nd+ΔN</b>	<b>Md+ΔM</b>	<b>Nd+ΔN</b>	<b>Md-ΔM</b>	<b>Nd-ΔN</b>	<b>Md+ΔM</b>	<b>Nd-ΔN</b>	<b>Md-ΔM</b>
Elem	kN	kN m	kN	kN m	kN	kN m	kN	kN m
4823.90	-173.20	4823.90	-302.96	4152.10	-173.20	4152.10	-302.96	4823.90
4880.90	-138.28	4880.90	-268.04	4209.10	-138.28	4209.10	-268.04	4880.90
4970.90	-109.18	4970.90	-238.94	4299.10	-109.18	4299.10	-238.94	4970.90
5063.90	-70.87	5063.90	-200.63	4392.10	-70.87	4392.10	-200.63	5063.90
5174.90	-26.53	5174.90	-156.29	4503.10	-26.53	4503.10	-156.29	5174.90
5282.90	15.71	5282.90	-114.05	4611.10	15.71	4611.10	-114.05	5282.90
5420.90	62.54	5420.90	-67.23	4749.10	62.54	4749.10	-67.23	5420.90
5564.90	112.46	5564.90	-17.30	4893.10	112.46	4893.10	-17.30	5564.90
5687.90	152.30	5687.90	22.54	5016.10	152.30	5016.10	22.54	5687.90
5813.90	192.44	5813.90	62.68	5142.10	192.44	5142.10	62.68	5813.90
5939.90	230.21	5939.90	100.45	5268.10	230.21	5268.10	100.45	5939.90
6050.90	264.08	6050.90	134.32	5379.10	264.08	5379.10	134.32	6050.90
6167.90	293.42	6167.90	163.66	5496.10	293.42	5496.10	163.66	6167.90
6269.90	314.72	6269.90	184.96	5598.10	314.72	5598.10	184.96	6269.90
6353.90	323.09	6353.90	193.33	5682.10	323.09	5682.10	193.33	6353.90
6407.90	317.72	6407.90	187.96	5736.10	317.72	5736.10	187.96	6407.90
6431.90	298.58	6431.90	168.82	5760.10	298.58	5760.10	168.82	6431.90
6428.90	268.97	6428.90	139.21	5757.10	268.97	5757.10	139.21	6428.90
6404.90	237.32	6404.90	107.56	5733.10	237.32	5733.10	107.56	6404.90
6380.90	197.72	6380.90	67.96	5709.10	197.72	5709.10	67.96	6380.90
6317.90	148.13	6317.90	18.37	5646.10	148.13	5646.10	18.37	6317.90

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

	<b>Nd+ΔN</b>	<b>Md+ΔM</b>	<b>Nd+ΔN</b>	<b>Md+ΔM</b>	<b>Nd+ΔN</b>	<b>Md+ΔM</b>	<b>Nd+ΔN</b>	<b>Md+ΔM</b>
Elem	kN	kN m	kN	kN m	kN	kN m	kN	kN m
6239.90	96.05	6239.90	-33.71	5568.10	96.05	5568.10	-33.71	6239.90
6170.90	37.46	6170.90	-92.31	5499.10	37.46	5499.10	-92.31	6170.90
6092.90	-2.23	6092.90	-131.99	5421.10	-2.23	5421.10	-131.99	6092.90
6026.90	-56.08	6026.90	-185.84	5355.10	-56.08	5355.10	-185.84	6026.90
5942.90	-104.80	5942.90	-234.56	5271.10	-104.80	5271.10	-234.56	5942.90
5846.90	-166.42	5846.90	-296.18	5175.10	-166.42	5175.10	-296.18	5846.90
5789.90	-192.07	5789.90	-321.83	5118.10	-192.07	5118.10	-321.83	5789.90
5756.90	-213.28	5756.90	-343.04	5085.10	-213.28	5085.10	-343.04	5756.90
5720.90	-217.36	5720.90	-347.12	5049.10	-217.36	5049.10	-347.12	5720.90
5747.90	-200.23	5747.90	-329.99	5076.10	-200.23	5076.10	-329.99	5747.90
5771.90	-180.22	5771.90	-309.98	5100.10	-180.22	5100.10	-309.98	5771.90
5822.90	-122.29	5822.90	-252.05	5151.10	-122.29	5151.10	-252.05	5822.90
5918.90	-73.27	5918.90	-203.03	5247.10	-73.27	5247.10	-203.03	5918.90
6005.90	-18.97	6005.90	-148.73	5334.10	-18.97	5334.10	-148.73	6005.90
6086.90	37.37	6086.90	-92.40	5415.10	37.37	5415.10	-92.40	6086.90
6179.90	95.33	6179.90	-34.43	5508.10	95.33	5508.10	-34.43	6179.90
6248.90	142.01	6248.90	12.25	5577.10	142.01	5577.10	12.25	6248.90
6323.90	192.26	6323.90	62.50	5652.10	192.26	5652.10	62.50	6323.90
6368.90	234.68	6368.90	104.92	5697.10	234.68	5697.10	104.92	6368.90
6419.90	275.84	6419.90	146.08	5748.10	275.84	5748.10	146.08	6419.90
6452.90	308.72	6452.90	178.96	5781.10	308.72	5781.10	178.96	6452.90
6452.90	327.83	6452.90	198.07	5781.10	327.83	5781.10	198.07	6452.90
6443.90	334.16	6443.90	204.40	5772.10	334.16	5772.10	204.40	6443.90
6419.90	334.19	6419.90	204.43	5748.10	334.19	5748.10	204.43	6419.90
6365.90	324.23	6365.90	194.47	5694.10	324.23	5694.10	194.47	6365.90
6302.90	310.94	6302.90	181.18	5631.10	310.94	5631.10	181.18	6302.90
6242.90	293.06	6242.90	163.30	5571.10	293.06	5571.10	163.30	6242.90
6137.90	253.88	6137.90	124.12	5466.10	253.88	5466.10	124.12	6137.90
6002.90	210.02	6002.90	80.26	5331.10	210.02	5331.10	80.26	6002.90
5867.90	166.67	5867.90	36.91	5196.10	166.67	5196.10	36.91	5867.90
5741.90	117.62	5741.90	-12.14	5070.10	117.62	5070.10	-12.14	5741.90
5597.90	69.31	5597.90	-60.46	4926.10	69.31	4926.10	-60.46	5597.90
5453.90	20.18	5453.90	-109.58	4782.10	20.18	4782.10	-109.58	5453.90
5318.90	-33.25	5318.90	-163.01	4647.10	-33.25	4647.10	-163.01	5318.90
5171.90	-73.84	5171.90	-203.60	4500.10	-73.84	4500.10	-203.60	5171.90
5066.90	-115.12	5066.90	-244.88	4395.10	-115.12	4395.10	-244.88	5066.90
4961.90	-141.28	4961.90	-271.04	4290.10	-141.28	4290.10	-271.04	4961.90
4907.90	-164.59	4907.90	-294.35	4236.10	-164.59	4236.10	-294.35	4907.90
4838.90	-183.04	4838.90	-312.80	4167.10	-183.04	4167.10	-312.80	4838.90
4850.90	-163.15	4850.90	-292.91	4179.10	-163.15	4179.10	-292.91	4850.90



RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

	<b>Nd+ΔN</b>	<b>Md+ΔM</b>	<b>Nd+ΔN</b>	<b>Md-ΔM</b>	<b>Nd-ΔN</b>	<b>Md+ΔM</b>	<b>Nd-ΔN</b>	<b>Md-ΔM</b>
Elem	kN	kN m	kN	kN m	kN	kN m	kN	kN m
4913.90	-143.98	4913.90	-273.74	4242.10	-143.98	4242.10	-273.74	4913.90
4961.90	-121.27	4961.90	-251.03	4290.10	-121.27	4290.10	-251.03	4961.90
5060.90	-84.28	5060.90	-214.04	4389.10	-84.28	4389.10	-214.04	5060.90
5156.90	-44.98	5156.90	-174.74	4485.10	-44.98	4485.10	-174.74	5156.90
5297.90	8.18	5297.90	-121.58	4626.10	8.18	4626.10	-121.58	5297.90
5426.90	57.93	5426.90	-71.84	4755.10	57.93	4755.10	-71.84	5426.90
5561.90	105.14	5561.90	-24.62	4890.10	105.14	4890.10	-24.62	5561.90
5705.90	153.86	5705.90	24.10	5034.10	153.86	5034.10	24.10	5705.90
5831.90	197.09	5831.90	67.33	5160.10	197.09	5160.10	67.33	5831.90
5966.90	241.28	5966.90	111.52	5295.10	241.28	5295.10	111.52	5966.90
6101.90	281.54	6101.90	151.78	5430.10	281.54	5430.10	151.78	6101.90
6206.90	300.62	6206.90	170.86	5535.10	300.62	5535.10	170.86	6206.90
6272.90	316.13	6272.90	186.37	5601.10	316.13	5601.10	186.37	6272.90
6338.90	329.36	6338.90	199.60	5667.10	329.36	5667.10	199.60	6338.90
6395.90	332.15	6395.90	202.39	5724.10	332.15	5724.10	202.39	6395.90
6425.90	327.53	6425.90	197.77	5754.10	327.53	5754.10	197.77	6425.90
6440.90	312.17	6440.90	182.41	5769.10	312.17	5769.10	182.41	6440.90
6443.90	282.80	6443.90	153.04	5772.10	282.80	5772.10	153.04	6443.90
6413.90	244.94	6413.90	115.18	5742.10	244.94	5742.10	115.18	6413.90
6365.90	204.20	6365.90	74.44	5694.10	204.20	5694.10	74.44	6365.90
6323.90	154.49	6323.90	24.73	5652.10	154.49	5652.10	24.73	6323.90
6248.90	106.97	6248.90	-22.79	5577.10	106.97	5577.10	-22.79	6248.90
6179.90	46.97	6179.90	-82.79	5508.10	46.97	5508.10	-82.79	6179.90
6086.90	-10.84	6086.90	-140.60	5415.10	-10.84	5415.10	-140.60	6086.90
6005.90	-66.31	6005.90	-196.07	5334.10	-66.31	5334.10	-196.07	6005.90
5918.90	-116.17	5918.90	-245.93	5247.10	-116.17	5247.10	-245.93	5918.90
5819.90	-175.24	5819.90	-305.00	5148.10	-175.24	5148.10	-305.00	5819.90
5768.90	-195.79	5768.90	-325.55	5097.10	-195.79	5097.10	-325.55	5768.90
5741.90	-213.25	5741.90	-343.01	5070.10	-213.25	5070.10	-343.01	5741.90
5714.90	-209.89	5714.90	-339.65	5043.10	-209.89	5043.10	-339.65	5714.90
5744.90	-189.49	5744.90	-319.25	5073.10	-189.49	5073.10	-319.25	5744.90
5777.90	-164.80	5777.90	-294.56	5106.10	-164.80	5106.10	-294.56	5777.90
5831.90	-105.16	5831.90	-234.92	5160.10	-105.16	5160.10	-234.92	5831.90
5921.90	-57.70	5921.90	-187.46	5250.10	-57.70	5250.10	-187.46	5921.90
6005.90	-5.26	6005.90	-135.02	5334.10	-5.26	5334.10	-135.02	6005.90
6071.90	33.50	6071.90	-96.26	5400.10	33.50	5400.10	-96.26	6071.90
6146.90	90.47	6146.90	-39.29	5475.10	90.47	5475.10	-39.29	6146.90
6212.90	140.72	6212.90	10.96	5541.10	140.72	5541.10	10.96	6212.90
6290.90	188.78	6290.90	59.02	5619.10	188.78	5619.10	59.02	6290.90
6353.90	227.06	6353.90	97.30	5682.10	227.06	5682.10	97.30	6353.90

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

	<b>Nd+ΔN</b>	<b>Md+ΔM</b>	<b>Nd-ΔN</b>	<b>Md-ΔM</b>	<b>Nd-ΔN</b>	<b>Md+ΔM</b>	<b>Nd-ΔN</b>	<b>Md-ΔM</b>
Elem	kN	kN m	kN	kN m	kN	kN m	kN	kN m
6374.90	256.82	6374.90	127.06	5703.10	256.82	5703.10	127.06	6374.90
6398.90	284.84	6398.90	155.08	5727.10	284.84	5727.10	155.08	6398.90
6404.90	303.86	6404.90	174.10	5733.10	303.86	5733.10	174.10	6404.90
6383.90	310.55	6383.90	180.79	5712.10	310.55	5712.10	180.79	6383.90
6332.90	304.55	6332.90	174.79	5661.10	304.55	5661.10	174.79	6332.90
6257.90	287.30	6257.90	157.54	5586.10	287.30	5586.10	157.54	6257.90
6161.90	261.50	6161.90	131.74	5490.10	261.50	5490.10	131.74	6161.90
6053.90	231.41	6053.90	101.65	5382.10	231.41	5382.10	101.65	6053.90
5951.90	197.27	5951.90	67.51	5280.10	197.27	5280.10	67.51	5951.90
5831.90	160.85	5831.90	31.09	5160.10	160.85	5160.10	31.09	5831.90
5714.90	123.77	5714.90	-5.99	5043.10	123.77	5043.10	-5.99	5714.90
5594.90	76.34	5594.90	-53.43	4923.10	76.34	4923.10	-53.43	5594.90
5456.90	30.89	5456.90	-98.87	4785.10	30.89	4785.10	-98.87	5456.90
5327.90	-13.12	5327.90	-142.88	4656.10	-13.12	4656.10	-142.88	5327.90
5216.90	-56.89	5216.90	-186.65	4545.10	-56.89	4545.10	-186.65	5216.90
5105.90	-94.99	5105.90	-224.75	4434.10	-94.99	4434.10	-224.75	5105.90
5006.90	-124.78	5006.90	-254.54	4335.10	-124.78	4335.10	-254.54	5006.90
4913.90	-162.16	4913.90	-291.92	4242.10	-162.16	4242.10	-291.92	4913.90
4847.90	-176.41	4847.90	-306.17	4176.10	-176.41	4176.10	-306.17	4847.90

Si riportano di seguito le sollecitazioni in termini di sforzo normale e momento flettente e le verifiche tensionali sul calcestruzzo e sull'acciaio allo SLE. Si riportano inoltre le verifiche a fessurazione.

Elem	$\sigma_{c,min}$	$\sigma_{c,max}$	$\sigma_{s,min}$	$\sigma_{s,max}$	0.45f <sub>ck</sub>	0.8f <sub>yk</sub>	w <sub>k</sub> [mm]	w <sub>k</sub> lim [mm]	w <sub>k</sub> lim > w <sub>k</sub>
	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	0	0.2	VERIF.
120	-6.25712	-0.90773	-80.2159	-27.2569	-16.8075	360			
119	-6.08226	-1.18257	-78.7397	-30.2327	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
118	-5.854	-1.487	-76.6741	-33.4409	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
117	-5.49865	-1.99946	-73.5568	-38.9148	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
116	-5.11385	-2.5366	-70.1357	-44.621	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
115	-4.60216	-3.27203	-65.6406	-52.4724	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
114	-4.12102	-3.95789	-61.3993	-59.7843	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
113	-4.61882	-3.67432	-66.8738	-57.5233	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
112	-5.30448	-3.21717	-74.2446	-53.5802	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
111	-5.91154	-2.81007	-80.7643	-50.0598	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
110	-6.53701	-2.39883	-87.5027	-46.5348	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
109	-7.11637	-2.03369	-93.7848	-43.4662	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
108	-7.42345	-1.89324	-97.2497	-42.5007	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
107	-7.6578	-1.76362	-99.8369	-41.4845	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
106	-7.86527	-1.66089	-102.158	-40.7345	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
**PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. ALLEGATO  
 IV01 00 D 07 CL GN 05 00 001 A 3

105	-7.94325	-1.67336	-103.161	-41.0887	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
104	-7.91292	-1.7513	-102.982	-41.9817	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
103	-7.74464	-1.94339	-101.376	-43.944	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
102	-7.40253	-2.29026	-98.0016	-47.3902	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
101	-6.93463	-2.71055	-93.248	-51.4297	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
100	-6.4187	-3.15031	-87.9461	-55.589	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
99	-5.80224	-3.70012	-81.6731	-60.8622	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
98	-5.18539	-4.19795	-75.2629	-65.4872	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
97	-4.84697	-4.42687	-71.6333	-67.4744	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
96	-5.45133	-3.67494	-77.2401	-59.6538	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
95	-6.03769	-2.96004	-82.7173	-52.2486	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
94	-6.55351	-2.30615	-87.4719	-45.4231	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
93	-7.16781	-1.53475	-93.1529	-37.3855	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
92	-7.36834	-1.25329	-94.9317	-34.3927	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
91	-7.55174	-1.02705	-96.6381	-32.0437	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
90	-7.49088	-1.04505	-95.9264	-32.1127	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
89	-7.2754	-1.30814	-93.9145	-34.8386	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
88	-7.01196	-1.62395	-91.44	-38.0987	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
87	-6.35527	-2.36633	-85.1573	-45.6668	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
86	-5.86998	-2.99444	-80.7171	-52.2493	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
85	-5.32155	-3.67617	-75.6276	-59.3383	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
84	-4.91927	-4.18319	-71.912	-64.6249	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
83	-4.91092	-4.31055	-72.1329	-66.1892	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
82	-5.55266	-3.77356	-78.7531	-61.1401	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
81	-6.17828	-3.27171	-85.2625	-56.4874	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
80	-6.67724	-2.87272	-90.4571	-52.7924	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
79	-7.04299	-2.5403	-94.163	-49.5863	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
78	-7.39073	-2.23064	-97.7028	-46.6179	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
77	-7.61854	-2.01236	-99.9823	-44.4812	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
76	-7.68037	-1.9172	-100.509	-43.4541	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
75	-7.56953	-1.94711	-99.2058	-43.5438	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
74	-7.30773	-2.08989	-96.3105	-44.6539	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
73	-6.92894	-2.31634	-92.1719	-46.5073	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
72	-6.49028	-2.58362	-87.3922	-48.7163	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
71	-6.00892	-2.90312	-82.2139	-51.4665	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
70	-5.48648	-3.23513	-76.5562	-54.2679	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
69	-4.95875	-3.57719	-70.8582	-57.1808	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
68	-4.3071	-4.03841	-63.9214	-61.2613	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
67	-4.46197	-3.66454	-64.8961	-57.0016	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
66	-4.87581	-3.046	-68.4711	-50.356	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
**PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. ALLEGATO  
 IV01 00 D 07 CL GN 05 00 001 A 3

65	-5.30113	-2.44453	-72.2326	-43.9523	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
64	-5.65995	-1.90957	-75.3357	-38.207	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
63	-5.93085	-1.48156	-77.617	-33.5691	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
62	-6.29547	-0.96936	-80.8505	-28.122	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
61	-6.41029	-0.7498	-81.7201	-25.6813	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
60	-6.35354	-0.76847	-81.0611	-25.769	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
59	-5.98922	-1.22324	-77.6851	-30.5019	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
58	-5.7193	-1.63598	-75.3771	-34.9522	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
57	-5.34376	-2.1591	-72.0355	-40.5074	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
56	-4.91167	-2.76734	-68.2071	-46.9781	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
55	-4.50193	-3.34847	-64.5876	-53.1683	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
54	-4.06221	-4.00717	-60.7928	-60.248	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
53	-4.70701	-3.5909	-67.759	-56.7095	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
52	-5.27198	-3.22111	-73.8499	-53.5464	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
51	-5.84276	-2.85028	-80.0105	-50.385	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
50	-6.38575	-2.50724	-85.896	-47.4988	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
49	-6.87109	-2.19804	-91.1501	-44.8869	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
48	-7.30805	-1.94675	-95.9494	-42.8726	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
47	-7.63882	-1.77784	-99.6368	-41.6132	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
46	-7.80364	-1.74633	-101.608	-41.641	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
45	-7.78351	-1.85215	-101.628	-42.9072	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
44	-7.57806	-2.09568	-99.6909	-45.4153	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
43	-7.2284	-2.44058	-96.2171	-48.8177	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
42	-6.83807	-2.79283	-92.2557	-52.2078	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
41	-6.35454	-3.23827	-87.3716	-56.5206	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
40	-5.72295	-3.76989	-80.8639	-61.5286	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
39	-5.05013	-4.31893	-73.8874	-66.6485	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
38	-4.95144	-4.30812	-72.6312	-66.2623	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
37	-5.35503	-3.78075	-76.3111	-60.7257	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
36	-5.93435	-3.0967	-81.7792	-53.6865	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
35	-6.43911	-2.45864	-86.4364	-47.0298	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
34	-7.08574	-1.65966	-92.4497	-38.7314	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
33	-7.40374	-1.18456	-95.1972	-33.6273	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
32	-7.1881	-1.43829	-93.1595	-36.2363	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
31	-6.54907	-2.15825	-87.0394	-43.5704	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
30	-6.05031	-2.80935	-82.4902	-50.4047	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
29	-5.48243	-3.5153	-77.2202	-57.7456	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
28	-4.88587	-4.24039	-71.6421	-65.2518	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
27	-4.99413	-4.27971	-73.0902	-66.0175	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
26	-5.59638	-3.78696	-79.3317	-61.4184	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.



RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA  
**PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO  
 GALLERIA NATURALE CROCE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATO
IV01	00	D 07 CL	GN 05 00 001	A	3

25	-6.24525	-3.25711	-86.059	-56.4764	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
24	-6.77856	-2.79521	-91.5208	-52.0857	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
23	-7.30183	-2.35287	-96.9076	-47.9129	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
22	-7.71365	-1.99342	-101.118	-44.4879	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
21	-7.93786	-1.76921	-103.338	-42.2682	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
20	-8.00489	-1.6879	-103.965	-41.4268	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
19	-7.9862	-1.6685	-103.683	-41.1376	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
18	-7.8266	-1.7424	-101.884	-41.6508	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
17	-7.6207	-1.84833	-99.591	-42.4445	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
16	-7.36332	-2.0105	-96.8001	-43.8072	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
15	-6.82048	-2.38672	-91.0011	-47.1068	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
14	-6.19889	-2.79408	-84.301	-50.5934	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
13	-5.58334	-3.19539	-77.6609	-54.0201	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
12	-4.90799	-3.67079	-70.465	-58.2168	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
11	-4.22711	-4.12316	-63.1415	-62.1125	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
10	-4.58519	-3.53657	-66.1038	-55.7225	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
9	-5.10479	-2.80273	-70.7016	-47.9112	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
8	-5.46428	-2.20997	-73.6657	-41.448	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
7	-5.86513	-1.6425	-77.2092	-35.4052	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
6	-6.08868	-1.25232	-78.9975	-31.1175	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
5	-6.31922	-0.93609	-81.0613	-27.7683	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
4	-6.48093	-0.66488	-82.383	-24.8042	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
3	-6.48093	-0.66488	-82.383	-24.8042	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
2	-6.48093	-0.66488	-82.383	-24.8042	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
1	-6.48093	-0.66488	-82.383	-24.8042	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.