

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE :



U.O. GALLERIE

PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO GALLERIA CASTELLARI

SCALA:

-

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

I V 0 I 0 0 D 0 7 C L G N 0 3 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 Dot. Ing. Alessandra Sciotti Divisione Ingegneria di Roma n° 13846
		E. Spezzano						

File: IV0100D07CLGN0300001B.doc

n.

INDICE

1	PREMESSA	4
2	SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO	4
3	NORMATIVE E SPECIFICHE TECNICHE DI RIFERIMENTO	5
4	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	5
4.1	DOCUMENTI CORRELATI	5
5	ALLEGATI	6
6	DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO	7
7	DESCRIZIONE DELL'OPERA	8
7.1	IL TRACCIATO E LE OPERE IN SOTTERRANEO.....	8
7.2	INTERFERENZE LUNGO IL TRACCIATO	10
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>	14
8.2.2	<i>Indagini e prove in laboratorio</i>	14
8.3	CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA	16
8.3.1	<i>Depositi alluvionali incoerenti (Unità 2)</i>	16
8.3.2	<i>Depositi alluvionali coesivi (Unità 3)</i>	21
8.3.3	<i>Argille di Ortovero (ORV-a)</i>	31
8.3.1	<i>Sintesi caratterizzazione geotecnica dei terreni</i>	37
8.3.2	<i>Dolomie di S. Pietro dei Monti (SPM-do)</i>	38
8.3.3	<i>Quarziti di Ponte di Nava (PDN-qz)</i>	43
8.3.4	<i>Calcari di Val Tanarello (TAN-c)</i>	46
8.3.5	<i>Sintesi caratterizzazione geotecnica degli ammassi rocciosi</i>	49
8.3.6	<i>Definizione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici</i>	52
8.3.7	<i>Il regime idraulico</i>	53

8.3.8	<i>Lo stato tensionale in sito</i>	53
9	FASE DI DIAGNOSI.....	54
9.1	CLASSI DI COMPORTAMENTO DEL FRONTE DI SCAVO.....	54
9.2	DETERMINAZIONE DELLE CATEGORIE DI COMPORTAMENTO.....	55
9.2.1	<i>Analisi con il metodo delle linee caratteristiche</i>	55
9.2.2	<i>Analisi della stabilità del fronte</i>	59
9.2.3	<i>Definizione delle tratte a comportamento tensio-deformativo omogeneo</i>	61
10	FASE DI TERAPIA.....	63
10.1	LA METODOLOGIA DI SCAVO.....	63
10.2	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI STRUTTURALI.....	65
10.3	ANALISI E VERIFICA DELLE SEZIONI TIPO.....	67
10.3.1	<i>Stabilità del Fronte</i>	69
10.3.2	<i>Analisi n. 1 - TBM alte coperture (pk 73+496)</i>	71
10.3.3	<i>Analisi n. 2 - TBM basse coperture – pk 76+049</i>	89
10.4	AZIONI DI MITIGAZIONE DEI POTENZIALI RISCHI.....	115
11	FASE DI VERIFICA E MESSA A PUNTO DEL PROGETTO.....	116
11.1	MONITORAGGIO IN CORSO D’OPERA.....	116
12	CONCLUSIONI.....	118



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

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO GALLERIA
NATURALE CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	4 di 118

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 Castellari 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 negli elaborati specifici (Rif. [12]) 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 TECNICA E DI CALCOLO GALLERIA
NATURALE CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	5 di 118

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

- 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”;
- Rif. [15] U.O. Sicurezza, manutenzione e interoperabilità - “Elaborati specialistici”;

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. [16] Lunardi P. (2006). Progetto e Costruzione di Gallerie: Analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli - ADECO-RS – (Hoepli Ed.);
- Rif. [17] 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. [18] Bernaud D., Rousset G. (1992). La « nouvelle méthode implicite » pour l’étude du dimensionnement des tunnels – Revue Francaise de Géotechnique, N° 60.
- Rif. [19] Peck R.B. (1969). Deep excavations and tunnelling in soft ground. SOA Report 7th Int. Conf. SMFE Mexico City, State of the Art Volume.
- Rif. [20] Burland J.B., Wroth C.P. (1974). Settlements of buildings and associated damage. SOA Review Conf. Settlement of Structures, Cambridge, Pentech Press, London.
- Rif. [21] Burland J.B. (1997). Assessment of risk of damage to buildings due to tunnelling and excavation. Earthquake Geotechnical Engineering, Ishihara (ed.). Balkema, Rotterdam.
- Rif. [22] Boscarding M.D., Cording E.G. (1989). Building response to excavation-induced settlement. Jnl. Geo. Engrg. ASCE, 115.
- Rif. [23] 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. [24] 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. [25] R. J. MAIR, R. N. TAYLOR & A. BRACEGIRDLE, (1993). “Subsurface settlement profiles above tunnels in clay”, Geotechnique 43, No. 2, 315-320.
- Rif. [26] 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. [27] J. B. BURLAND, (1995). “Assessment of risk of damage to buildings due to tunnelling and excavation”, Conf. Earthquake Geotechnical Engineering, IS Tokyo 1995.
- Rif. [28] J. B. BURLAND, C.P. WROTH, (1974). “Settlement of buildings and associated damage”, Conf. Settlement of Structures, Cambridge, 611-654.
- Rif. [29] 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. [30] M.P. O’REILLY & B.M. NEW, (1982). “Settlement above tunnelling UK – their magnitude and prediction”, Tunnelling 1982.
- Rif. [31] 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 TECNICA E DI CALCOLO GALLERIA
NATURALE CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV0I	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	7 di 118

Il documento è corredato dai seguenti allegati:

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

6 DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO

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

- Rif. [32] U.O. Gallerie, doc IV0I00D07RGGN0000001C - Relazione tecnica generale delle opere in sotterraneo
- Rif. [33] U.O. Gallerie, doc IV0I00D07RHGN0000002A - Relazione tecnica di monitoraggio
- Rif. [34] U.O. Gallerie, doc IV0I00D07SPGN0000001B - Caratteristiche dei materiali - Note Generali
- Rif. [35] U.O. Gallerie, doc IV0I00D07F6GN0300001B - Profilo geotecnico-geomeccanico Galleria Castellari
- Rif. [36] U.O. Gallerie, doc IV0I00D07WBG0000002C - Sezioni tipo di intradosso galleria di linea: scavo in meccanizzato
- Rif. [37] U.O. Gallerie, doc IV0I00D07RHGN0000003A - Relazione sulla valutazione delle subsidenze e verifica degli effetti indotti sulle interferenze in superficie
- Rif. [38] U.O. Gallerie, doc IV0I00D07BBGN0000003B - Rivestimento conci prefabbricati - Sezione tipo di avanzamento e carpenteria gallerie Croce e Castellari
- Rif. [39] U.O. Gallerie, doc IV0I00D07BZGN0000001B - Rivestimento conci prefabbricati - Anello universale carpenteria e sviluppata
- Rif. [40] U.O. Gallerie, doc IV0I00D07BZGN0000002B - Rivestimento conci prefabbricati - Particolari costruttivi concio gallerie Croce e Castellari

7 DESCRIZIONE DELL'OPERA

7.1 Il tracciato e le opere in sotterraneo

La galleria Castellari il cui tracciato ricade nei territori comunali di Loano e Pietra Ligure ha una lunghezza complessiva di 5071 m sul binario pari (dalla progr. km 71+466 lato Genova alla progressiva km 76+526 lato Ventimiglia) di cui 26 m facenti parte del portale di ingresso lato Genova e 307 m facenti parte della galleria artificiale lato Ventimiglia.

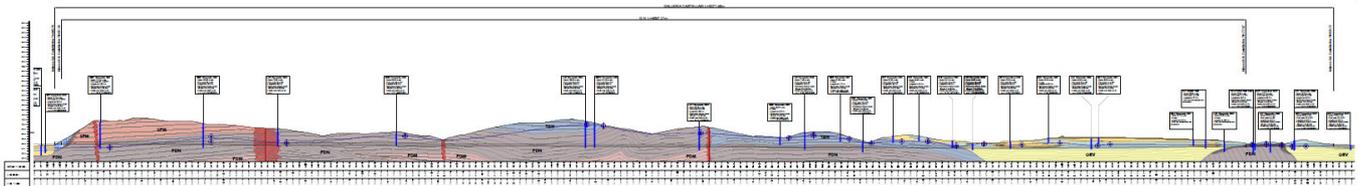


Figura 1. Profilo Galleria Castellari

La realizzazione delle due canne è prevista mediante scavo con fresa tipo TBM dual mode. La scelta di questa tecnica di scavo è dettata dalla maggiore velocità di avanzamento, che potrà consentire la realizzazione di questa opera interamente dall'imbocco lato Ventimiglia verso l'imbocco lato Genova e dalla possibilità, lavorando con il fronte in pressione di sottoattraversare Loano minimizzando l'impatto con le preesistenze.

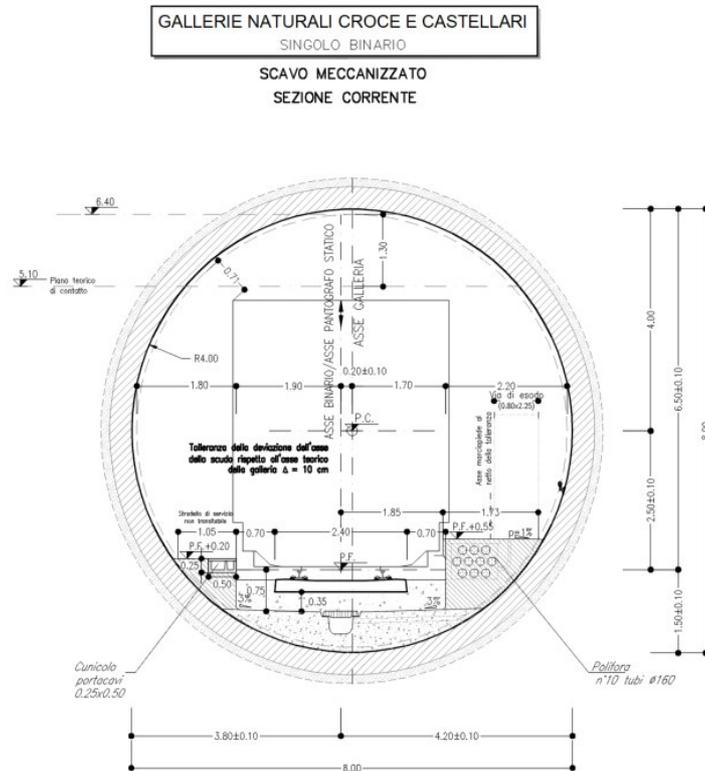


Figura 2. Sezione di intradosso Galleria Castellari

Lo scavo della galleria Castellari da imbocco Ventimiglia lato Genova in serie allo scavo della Galleria Croce

Il tracciato nel primo tratto di galleria naturale (lato Genova) presenta due canne monobinario interessate da coperture inizialmente crescenti fino a circa 110 m che decrescono fino ad un minimo di circa 15 m in corrispondenza della progressiva km 72+985. Le coperture si mantengono variabili tra i 50 e i 100 m per i successivi 1000 m di sviluppo e successivamente raggiungono un minimo in corrispondenza del rio Barbena pari a circa 12 m. Negli ultimi 1300 m la galleria è interessata da basse coperture (massimo 40 m) in terreni con caratteristiche geomeccaniche scadenti attraversati da corsi d'acqua a carattere torrenziale.

Le formazioni attraversate dal tracciato lungo il suo sviluppo sono:

- coperture detritiche, per un tratto di 10 m a partire dall'imbocco lato Genova con coperture massime pari a 20 m;
- dolomie di San Pietro dei monti (SPM-do), per un tratto di 115 m con coperture massime pari a circa 88 m;
- quarziti di ponte di Nava (PDN-qz), per un tratto di circa 3000 m con coperture massime pari a circa 108 m dal piano dei centri;
- calcari di Val Tanarello (TAN-c), per un tratto di circa 400 m con coperture massime pari a circa 76 m;



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

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO GALLERIA
NATURALE CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	10 di 118

- depositi alluvionali (Unità 3), per un tratto di circa 1115 m con coperture massime pari a circa 40 m;

La galleria Castellari presenta problematiche relative a interferenze con edifici nel tratto che va dalla progr. Km ~ 74+600 alla progr. Km ~ 76+200. In questo tratto, come dichiarato in precedenza, la galleria è inserita in un contesto di terreni con caratteristiche geomeccaniche scadenti con presenza di falda e, inoltre, presenta basse coperture da piano campagna.

In particolare, alla progr. Km 75+900, dove la galleria presenta una copertura di circa 15 m da p.c. con parametri geotecnici scadenti, è situato un complesso residenziale costituito da più fabbricati.

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

La galleria sotto attraversa vari corsi d'acqua a prevalente carattere torrenziale tra cui:

- Rio Ranzi alla prg km 72+511 ad una distanza di circa 21 m da estradosso calotta;
- Rio Croso alla prg km 72+985 ad una distanza di circa 15 m da estradosso calotta;
- Rio Cioppe alla prg km 73+815 ad una distanza di circa 43 m da estradosso calotta;
- Rio Barbena alla prg km 74+667 ad una distanza di circa 12,5 m da estradosso calotta;
- Torrente Nibalto alla prg km 75+186 ad una distanza di circa 11,8 m da estradosso calotta.

Alla progressiva 75+261 ca è presente, tra le due canne della galleria di linea, il pozzo di aggettamento Castellari per il quale si rimanda agli elaborati dedicati.

7.2 Interferenze lungo il tracciato

La galleria Castellari presenta problematiche relative a interferenze con edifici nel tratto che va dalla progr. Km ~ 74+600 alla progr. Km ~ 76+200. In questo tratto, come dichiarato in precedenza, la galleria è inserita in un contesto di terreni con caratteristiche geomeccaniche scadenti con presenza di falda e, inoltre, presenta basse coperture da piano campagna.

In particolare alla progr. Km 75+900, dove la galleria presenta una copertura di circa 15 m da p.c. con parametri geotecnici scadenti, è situato un complesso residenziale costituito da più fabbricati.

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

La galleria sotto attraversa vari corsi d'acqua a prevalente carattere torrenziale tra cui:

- Rio Ranzi alla prg km 72+511 ad una distanza di circa 21 m da estradosso calotta;
- Rio Croso alla prg km 72+985 ad una distanza di circa 15 m da estradosso calotta;
- Rio Cioppe alla prg km 73+815 ad una distanza di circa 43 m da estradosso calotta;
- Rio Barbena alla prg km 74+667 ad una distanza di circa 12,5 m da estradosso calotta;



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

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO GALLERIA
NATURALE CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	11 di 118

- Torrente Nibalto alla prg km 75+186 ad una distanza di circa 11,8 m da estradosso calotta.

Gli edifici civili ubicati nelle immediate vicinanze del tracciato della galleria di linea in progetto sono 14: gli edifici n°17, n°27, n°47, n°71, n°72, n°74, n°75, n°76, n°77, n°79, n°80, n°81, n°83 e l'edificio n°84 (schede fabbricati).



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

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO GALLERIA
NATURALE CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	12 di 118

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 Castellari ha inizio alla pk 71+454,43, dove la zona di imbocco ed il primo tratto di galleria (30-40 m circa) interessano una copertura detritica celata da una fitta vegetazione e caratterizzata da una velocità delle onde sismiche di compressione relativamente bassa ($v_p < 1,7$ km/sec).

La galleria poi prosegue per un centinaio di metri circa all'interno delle Dolomie di S. Pietro dei Monti (SPM-do), che possono presentare al loro interno cavità parzialmente riempite da ghiaia (sondaggio MM1), passando successivamente alle Quarziti di Ponte di Nava (PDN-qz) per effetto di un'importante faglia regionale (pk 71+615) che disloca la successione con un rigetto stimato in una decina di metri circa.

Il tracciato si sviluppa quindi all'interno delle quarziti, che si presentano blandamente ondulate, fratturate e talora completamente destrutturate. In questo tratto la galleria corre con andamento subparallelo ad una importante struttura tettonica NE-SW che disloca, con notevole rigetto, le dolomie (SPM-do) a Nord e le quarziti (PDN-qz) a Sud, intercettando la faglia alla pk 72+300 circa. Ove visibile in affioramento, alla faglia è associata una importante fascia cataclastica con spessore stimato in circa 40÷50 m. Per questo motivo, ed in considerazione del basso angolo con cui lo scavo approccia questo settore fagliato, in profilo è stata individuata, attorno al lineamento, una importante zona di disturbo tettonico, con presenza di cataclasite e/o comunque porzioni di ammasso intensamente disturbate e fratturate.

Alla pk 73+000 lo scavo è interessato da una faglia subverticale ad andamento NW-SE in prossimità del Rio Croso, risultando all'interno delle quarziti, rinvenibili sino alla pk 74+720 circa. Qui, una faglia ad andamento W-E mette in contatto le Quarziti di Ponte di Nava (PDN-qz) con i Calcari di Val Tanarello (TAN-c).

Ad Ovest di tale lineamento tettonico, la galleria corre in prossimità del passaggio stratigrafico tra le quarziti (PDN-qz) ed i calcari (TAN-c); per cui, in relazione a possibili pieghe secondarie ed ondulazioni dell'assetto stratigrafico non visibili in affioramento, è possibile che lo scavo intercetti lembi ed alternanze di questi due litotipi, sino alla pk 74+250 circa, dove l'immersione della successione porta ad avere solo i calcari in galleria, attraversati fino alla pk 75+050 circa.

Dalla pk 75+050 fino allo sbocco lato Andora (pk 76+482,46) la galleria si trova ad attraversare le alluvioni prevalentemente coesive che caratterizzano i corsi dei torrenti Nimbalto e Varatella, al contatto con il substrato pliocenico (Argille di Ortovero ORV-a) su cui poggiano, intercettando però, tra la pk 76+150 e la pk 76+350 circa, uno sperone di substrato roccioso quarzítico (PDN-qz).

Per il rischio legato allo scavo della galleria, dal punto di vista geologico-geomeccanico sono da tenere in considerazione le modeste caratteristiche meccaniche del litotipo quarzítico, che come detto si presenta fortemente

	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO GALLERIA NATURALE CASTELLARI	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GN 03 00 001	REV. B	FOGLIO 13 di 118

degradato, e la possibile presenza di cavità ipogee all'interno dei Calcari di Val Tanarello, anche se anche i dati geognostici e geomorfologici disponibili non mostrano particolari criticità in tal senso.

Per una dettagliata descrizione del modello geologico del sito si rimanda alla “Relazione geologica e 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

8.2.2 Indagini e prove in laboratorio

Sono state condotte le seguenti prove di laboratorio:

- Prova di resistenza a compressione monoassiale con rilievo delle deformazioni;



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

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO GALLERIA
NATURALE CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	15 di 118

- 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.

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. [32]).

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.

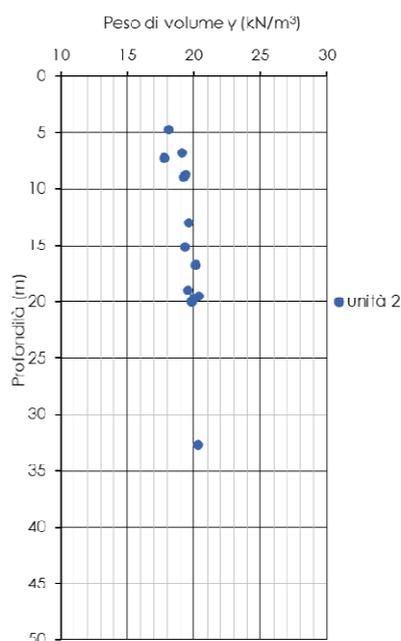


Figura 3 – Peso dell'unità di volume

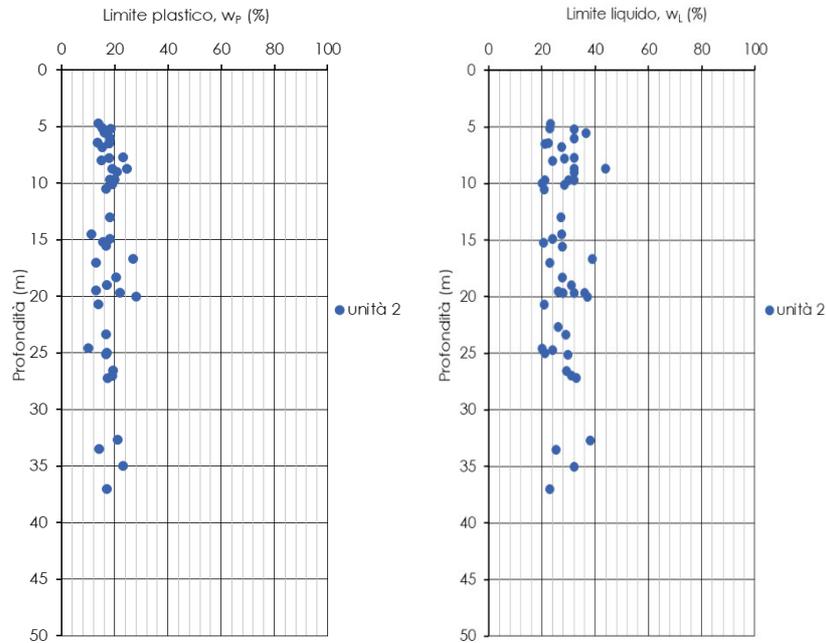


Figura 4 - Limiti di Atterberg

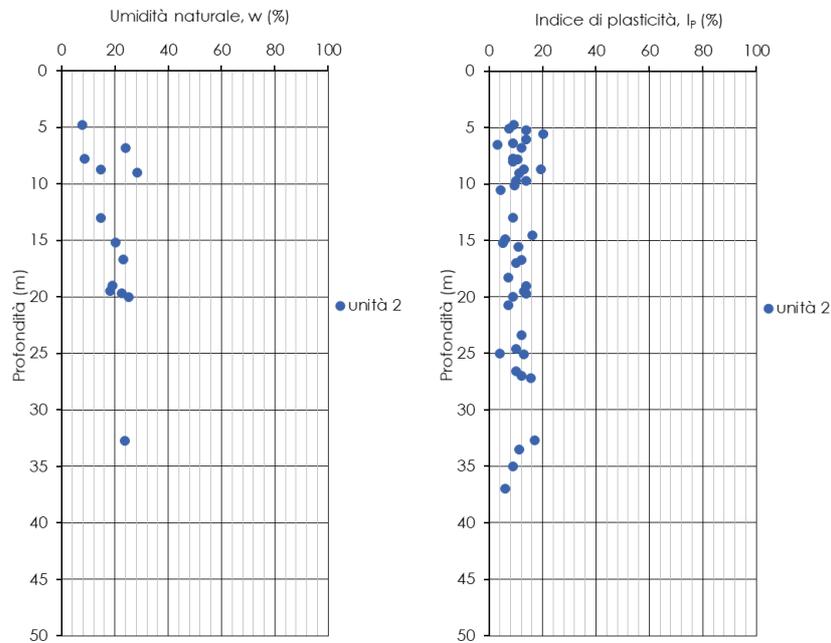


Figura 5 – Umidità relativa e Indice di plasticità

**RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO GALLERIA
 NATURALE CASTELLARI**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	18 di 118

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	γ	w	w _L	w _P	I _P	I _C	A
(-)	(-)	(m)	(kN/m ³)	(%)	(%)	(%)	(%)	(-)	(-)
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 φ' pari a circa 31° .

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 φ' pari a circa 32° .

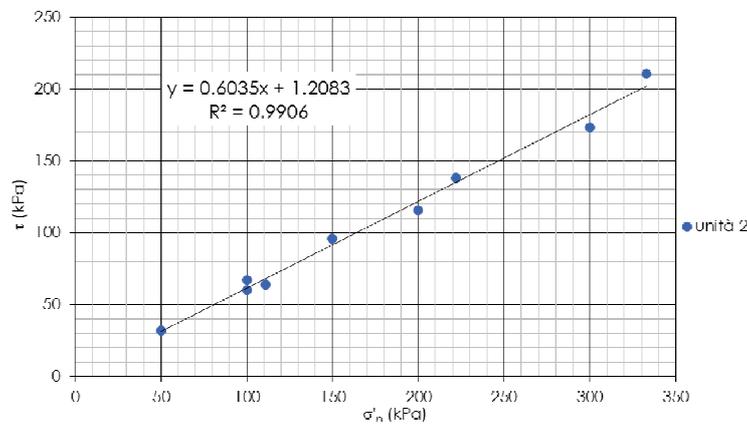


Figura 6. Prove di taglio diretto

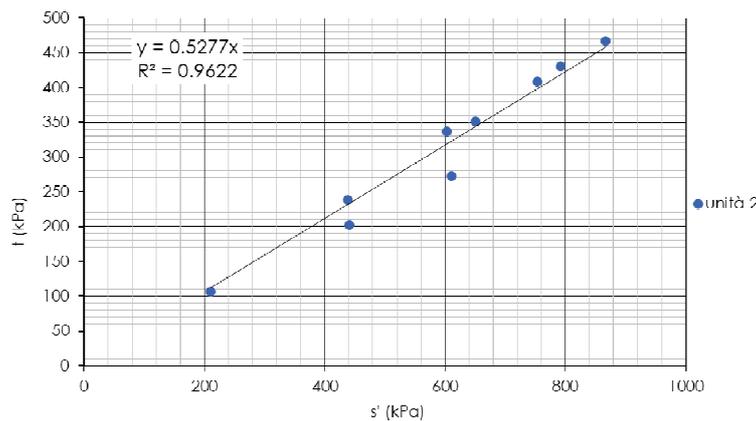


Figura 7. Prove triassiali

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.	σ'_n	τ	φ'	c'
(-)	(m)	(kPa)	(kPa)	°	kPa
D7 - CII	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.	σ'_1	σ'_3	$(\sigma'_1 - \sigma'_3)/2$	$(\sigma'_1 + \sigma'_3)/2$	φ'	c'
(-)	(-)	(m)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	°	kPa
CIU	PNL371C16 - CI1	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.

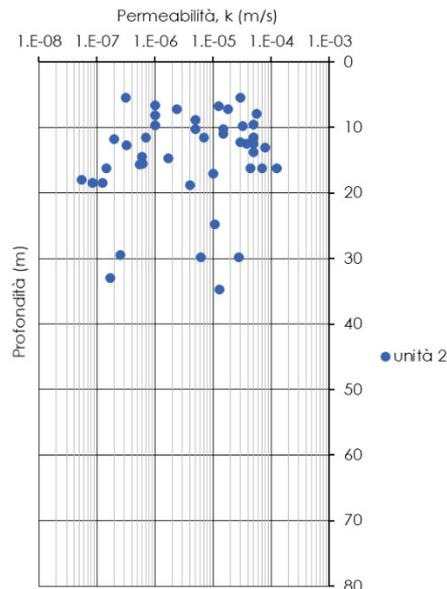


Figura 8. Coefficiente di permeabilità k da prove in sito

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.

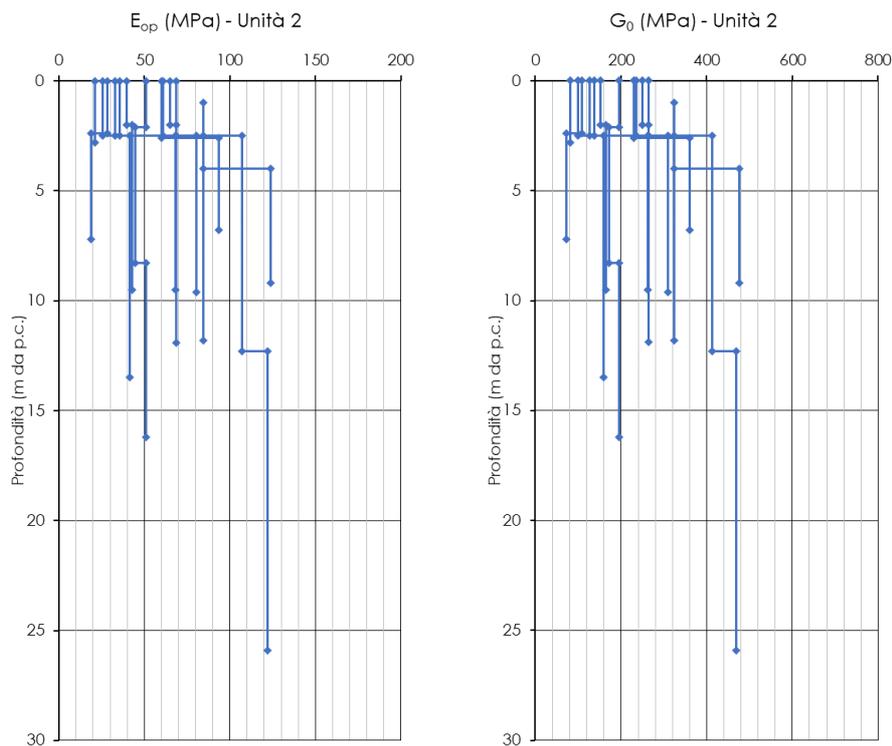


Figura 9 – Modulo di Taglio iniziale e modulo di Young operativo da prove geofisiche

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.

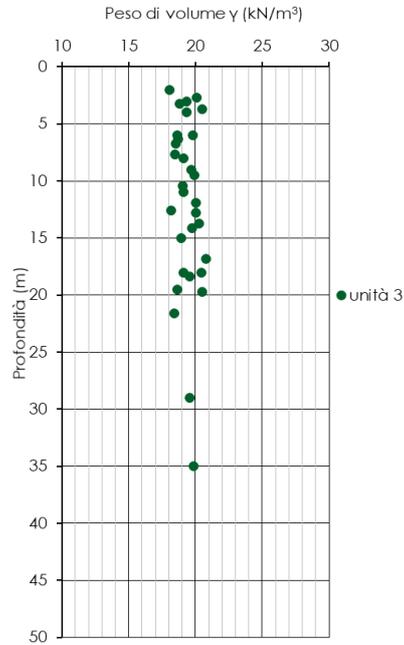


Figura 10 – Peso dell'unità di volume

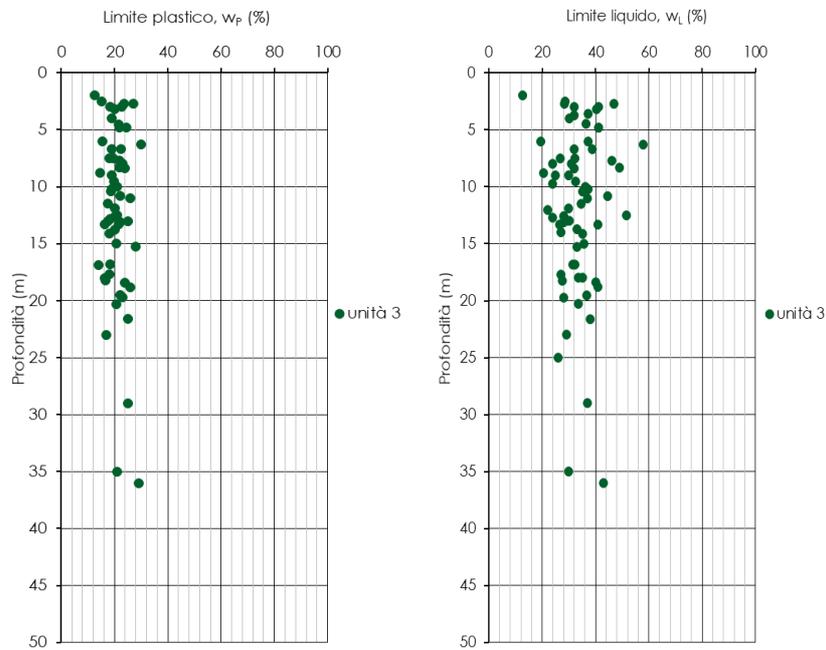


Figura 11 - Limiti di Attemberg

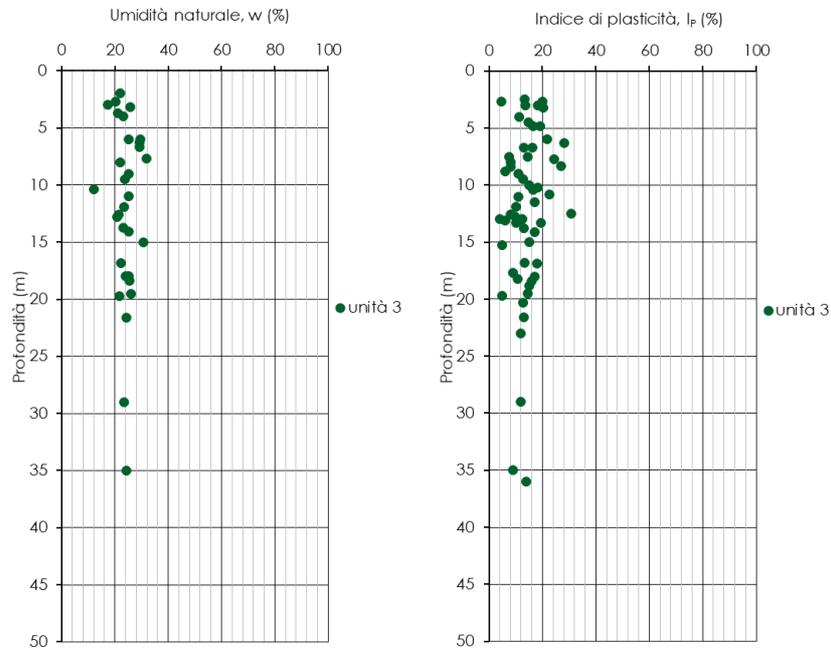


Figura 12 – Umidità relativa e Indice di plasticità

**RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO GALLERIA
 NATURALE CASTELLARI**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	24 di 118

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	γ	w	wL	wp	Ip	Ic	A
(-)	(-)	(m)	(kN/m ³)	(%)	(%)	(%)	(%)	(-)	(-)
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.	γ	w	wL	wP	I _P	I _C	A
(-)	(-)	(m)	(kN/m ³)	(%)	(%)	(%)	(%)	(-)	(-)
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 ϕ' 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 ϕ' pari a circa 28°.

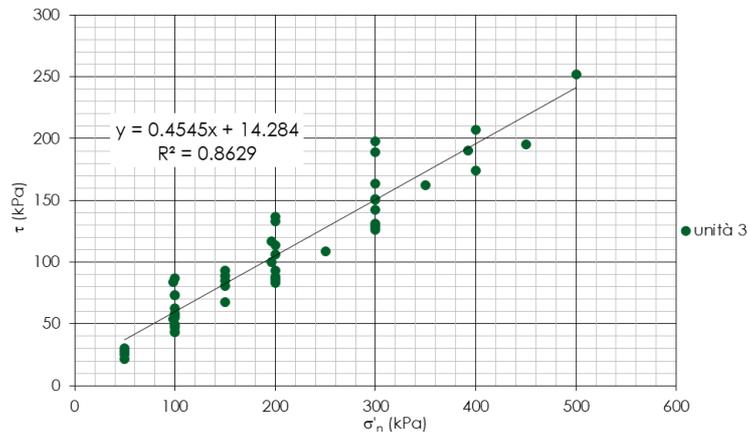


Figura 13. Prove di taglio diretto

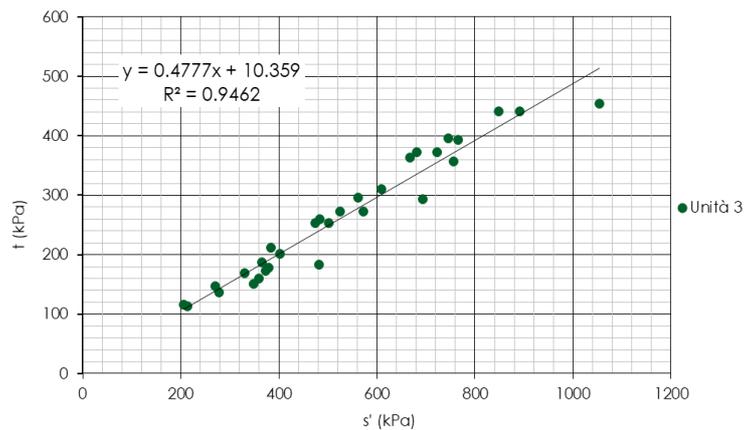


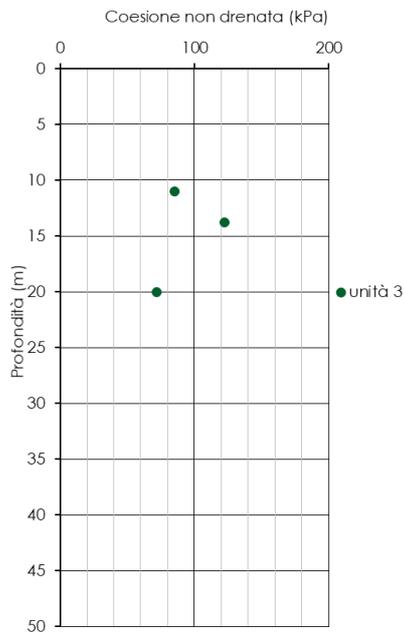
Figura 14. Prove triassiali

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.	σ'_n	τ	ϕ'	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.	σ'_1	σ'_3	$(\sigma'_1 - \sigma'_3)/2$	$(\sigma'_1 + \sigma'_3)/2$	ϕ'	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.	$C_{u, D-T}$
(-)	(-)	(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.

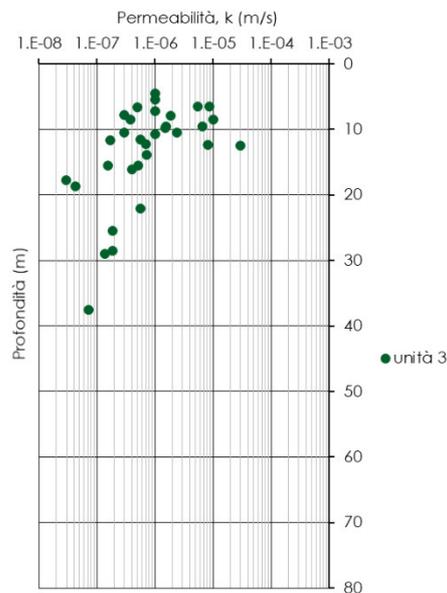


Figura 16. Coefficiente di permeabilità k da prove in sito

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.

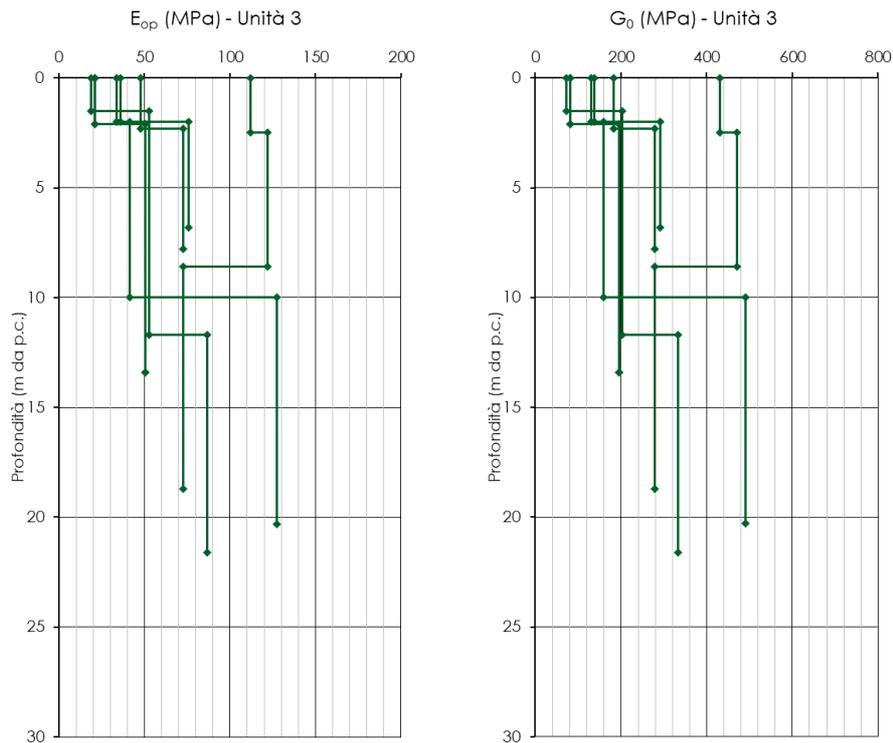


Figura 17 – Modulo di Taglio iniziale e modulo di Young operativo da prove geofisiche

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
	%	%	%	%
ORV	3	20	66	11

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

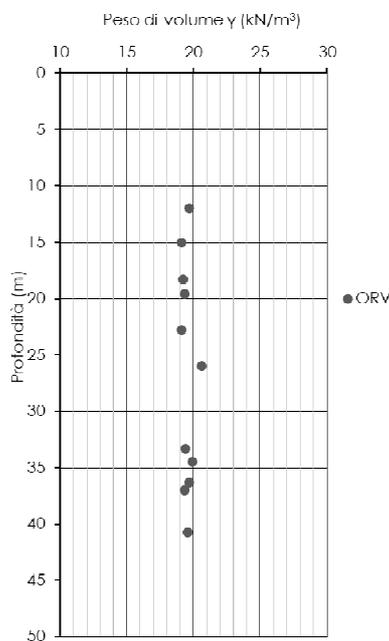


Figura 18 – Peso dell'unità di volume

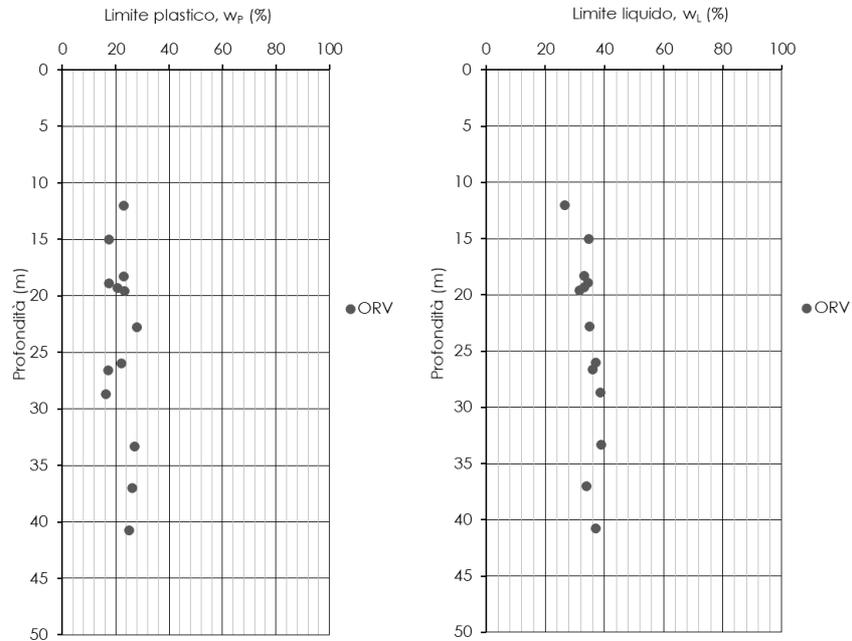


Figura 19 - Limiti di Atterberg

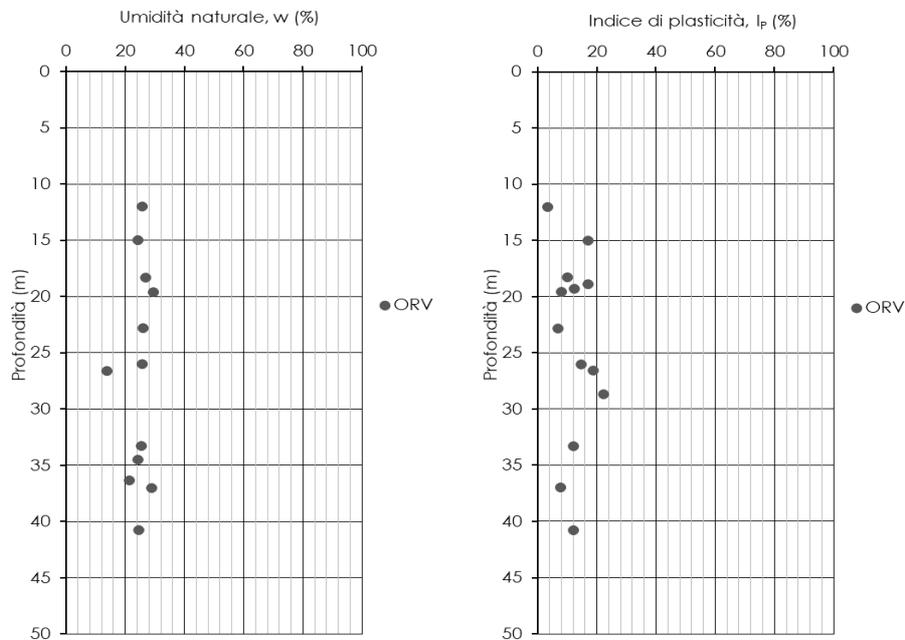


Figura 20 – Umidità relativa e Indice di plasticità

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	γ	w	w _L	w _p	I _p	I _c	A
(-)	(-)	(m)	(kN/m ³)	(%)	(%)	(%)	(%)	(-)	(-)
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 ϕ' 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 ϕ' pari a circa 29°.

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

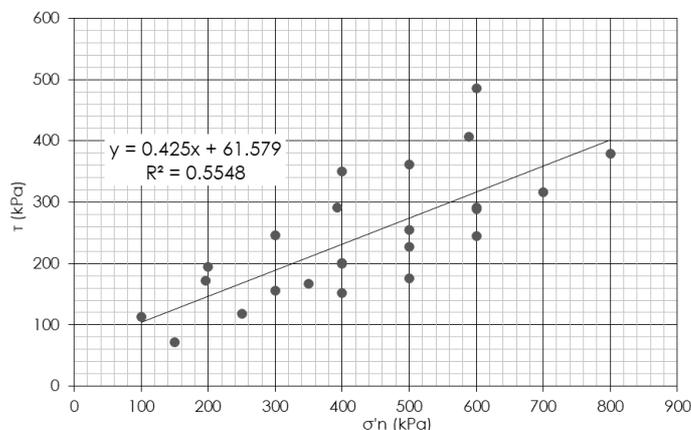


Figura 21. Prove di taglio diretto

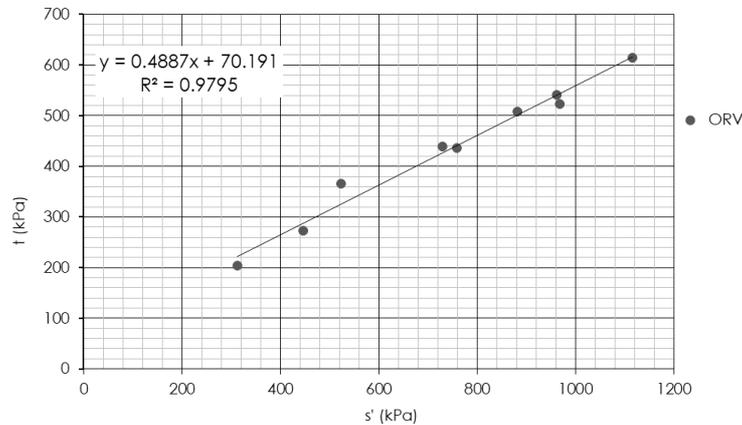


Figura 22. Prove triassiali

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.	σ'_n	τ	ϕ'	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.	σ'_1	σ'_3	$(\sigma'_1 - \sigma'_3)/2$	$(\sigma'_1 + \sigma'_3)/2$	ϕ'	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.

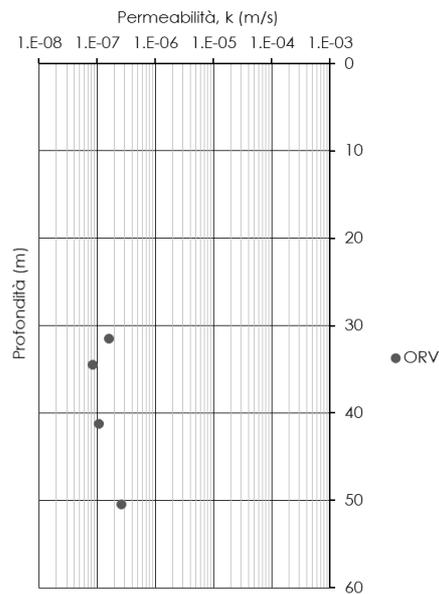


Figura 23. Coefficiente di permeabilità k da prove in sito

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.

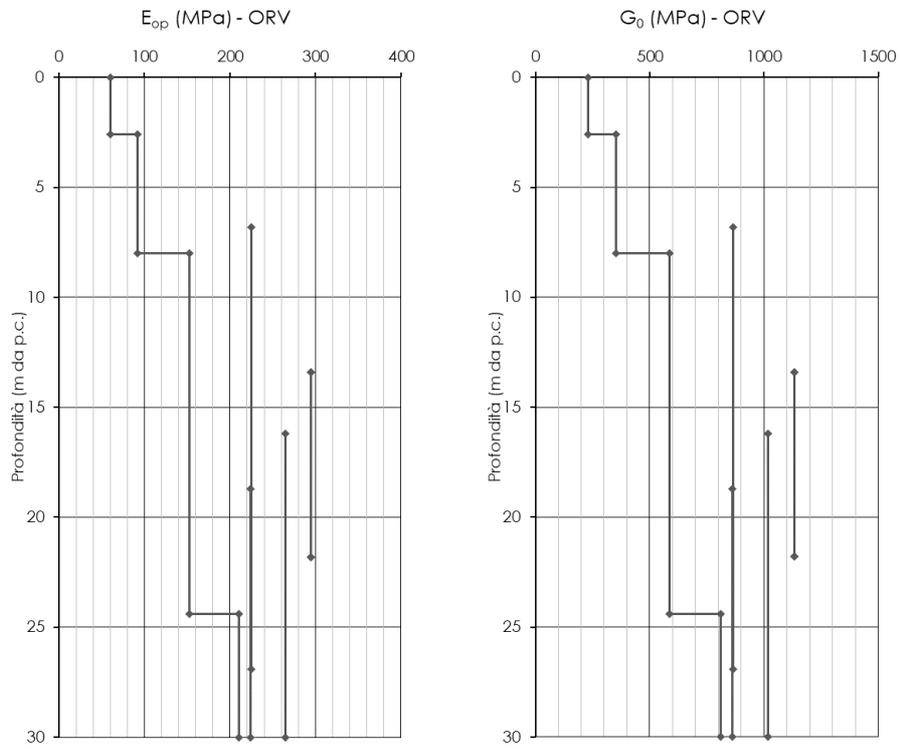


Figura 24 – Modulo di Taglio iniziale e modulo di Young operativo da prove geofisiche

8.3.1 Sintesi caratterizzazione geotecnica dei terreni

Dalla pk 76+050 km fino all'imbocco lato Andora (pk 76+525 km) la galleria si trova ad attraversare le alluvioni prevalentemente coesive (Unità 3) con lenti di materiale alluvionale incoerente (Unità 2), intercettando però, tra la pk 76+150 e la pk 76+350, uno sperone di substrato roccioso quarzítico (PDN-q).

Tali depositi alluvionali poggiano sulle Argille di Ortovero (ORV-a), la cui caratterizzazione geomeccanica è legata prevalentemente ai risultati delle indagini in sito e in laboratorio effettuate nell'area all'aperto di Borghetto S. Spirito.

In corrispondenza dell'imbocco della galleria lato Finale, sono intercettati dei depositi di versante (dt), tali terreni sono stati caratterizzati come Depositi alluvionali incoerenti (Unità 2).

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

Galleria	Unità geotecnica	γ	c'	ϕ'	C_u	E
-	-	kN/m ³	kPa	°	kPa	GPa
Castellari	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
	Depositi di versante (dt)	18÷20	0÷21	25÷33	-	20÷125

Tabella 1 - Parametri meccanici 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/m³ (Figura 25), 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 σ_c compresi nell'intervallo: 10 e 196 MPa (Figura 26).

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 27).

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 28).

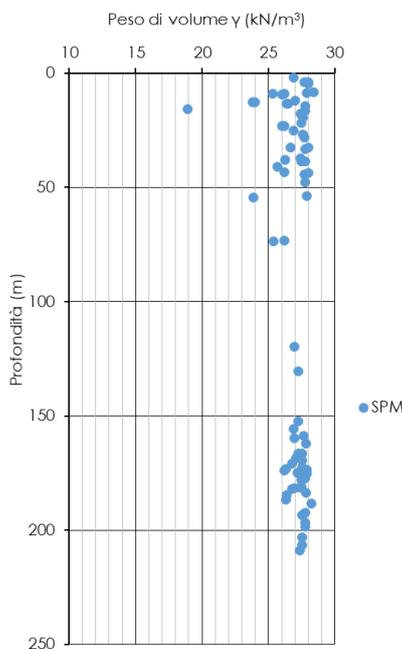


Figura 25 - Peso dell'unità di volume γ

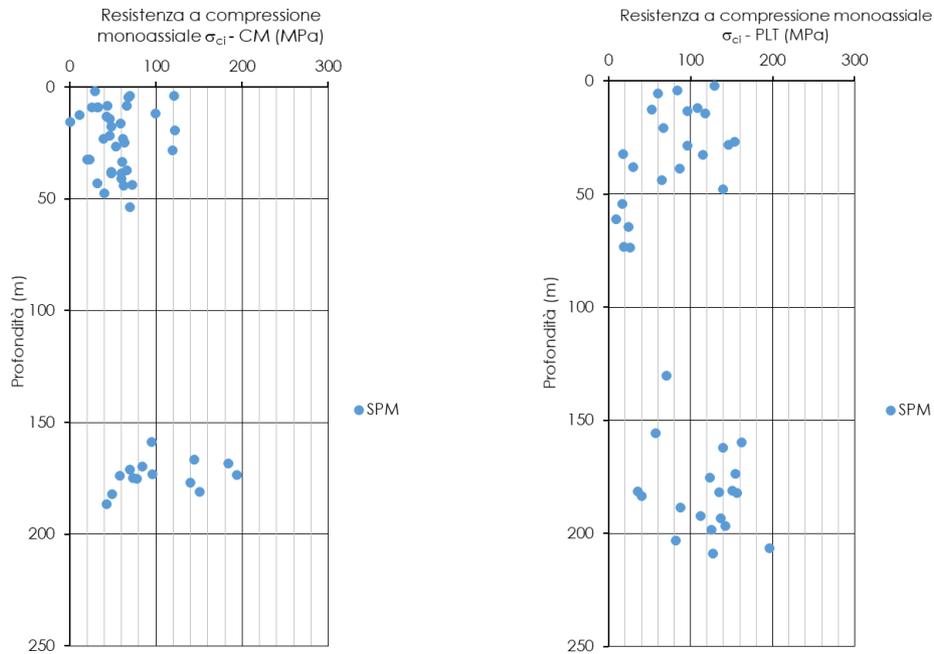


Figura 26 - Resistenza a compressione monoassiale

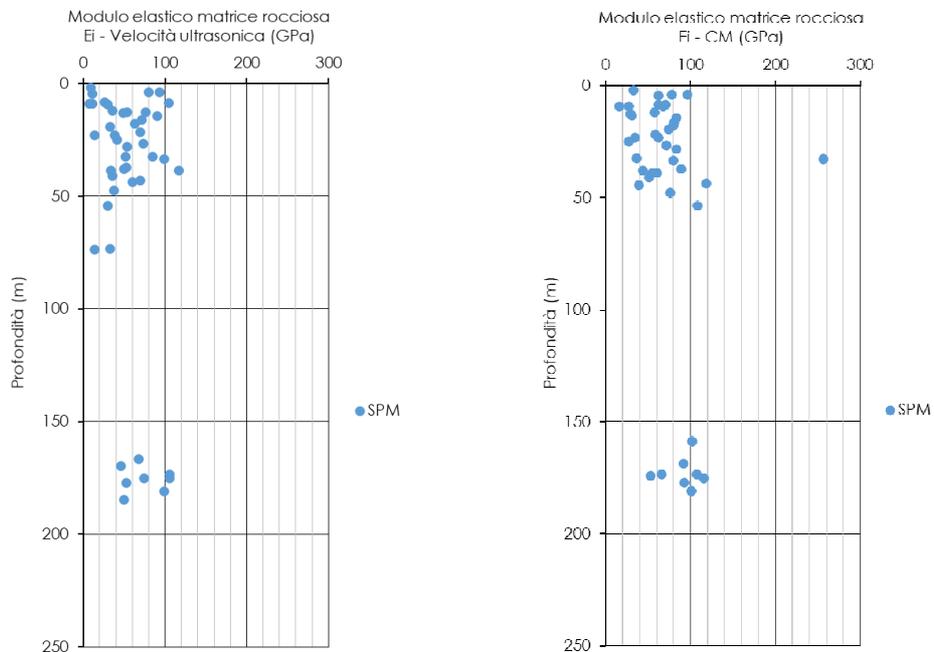
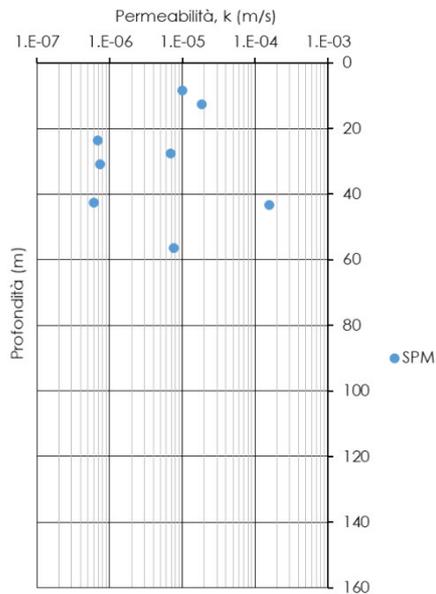


Figura 27 – Modulo elastico della roccia intatta



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 28 - Coefficiente di permeabilità k da prove in sito

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO GALLERIA
NATURALE CASTELLARI

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
IV01 00 D 07 CL GN 03 00 001 B 41 di 118

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	γ	σ_{ci}	$\sigma_{ci,PLT}$	σ_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 TECNICA E DI CALCOLO GALLERIA
NATURALE CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	42 di 118

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	γ	σ_{ci}	$\sigma_{ci,PLT}$	σ_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 Quarziti di Ponte di Nava (PDN-qz)

L'unità geotecnica Quarziti di Ponte di Nava è costituita da bancate di potenza decimetrica di arenarie quarzose a granulometria da media a fine di colore grigio o verdino generalmente ben cementate con intercalazioni di peliti verso la sommità.

Sono stati prelevati, a profondità variabili tra 2 m e 148 m da piano campagna, 48 campioni sottoposti a prove di laboratorio.

Il peso di unità di volume dell'unità geotecnica varia tra 22 e 27 kN/m³ (Figura 29), 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 σ_c compresi nell'intervallo: 12 e 131 MPa (Figura 30).

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 6 e 99 GPa (Figura 31).

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 $3 \cdot 10^{-8}$ e $7 \cdot 10^{-5}$ m/s (Figura 32).

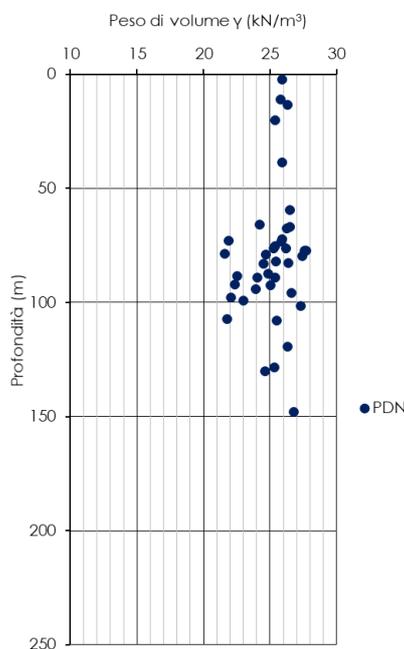


Figura 29 - Peso dell'unità di volume γ

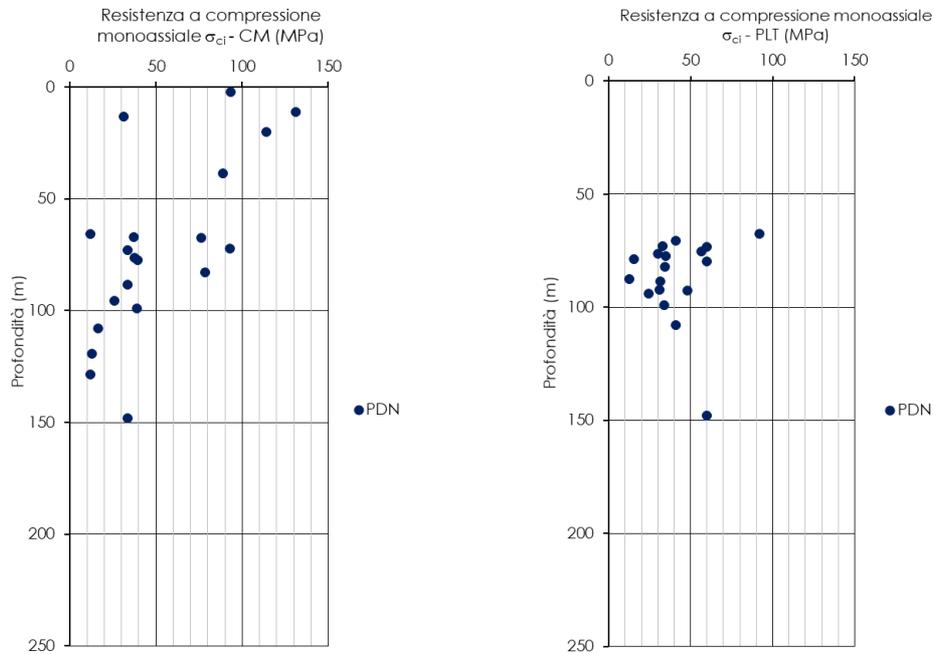


Figura 30 - Resistenza a compressione monoassiale

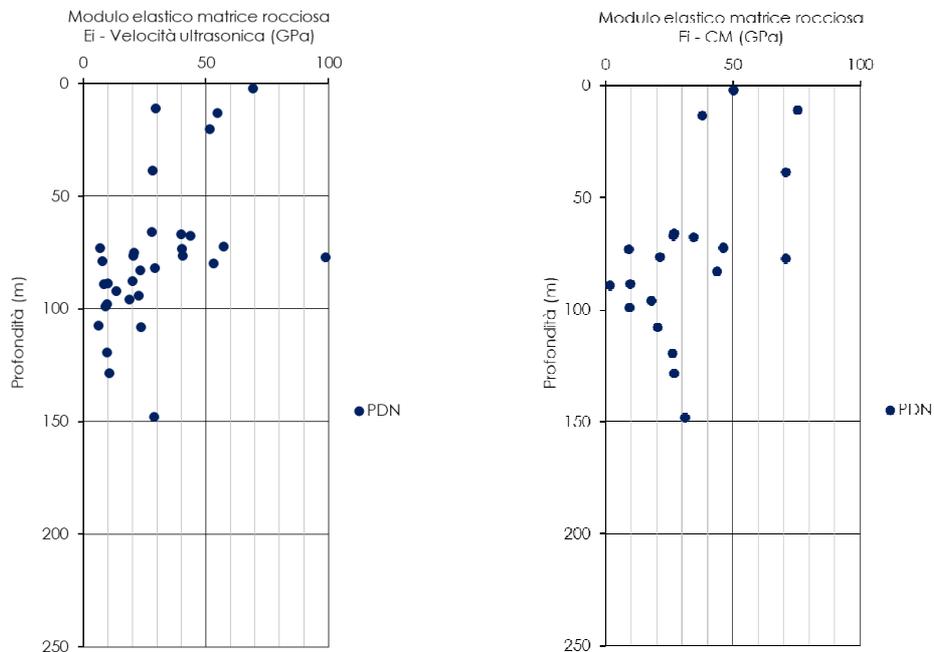
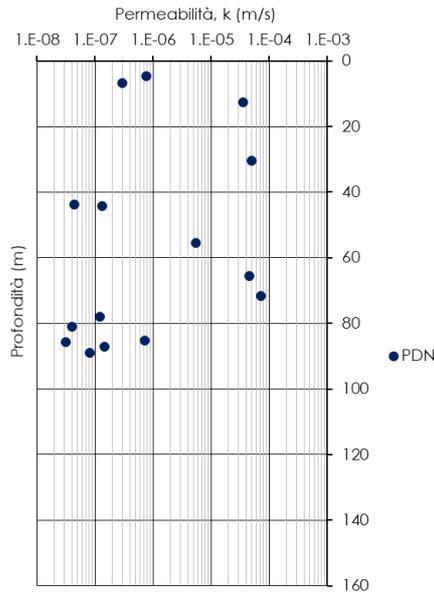


Figura 31 – Modulo elastico della roccia intatta



Prova	Sondaggio	Profondità da p.c.	k
(-)	(-)	(m)	(m/s)
Lefranc	LO2	12.5	3.58E-05
Lefranc	LO2	30.5	4.97E-05
Lefranc	LO6	65.5	4.50E-05
Lefranc	LO7	55.5	5.56E-06
Lefranc	LO7	71.75	7.18E-05
Lefranc	LO8	43.75	4.37E-08
Lefranc	LO8	85.75	3.11E-08
Lugeon	MM1	85.3	7.30E-07
Lugeon	MM2	81	4.09E-08
Lugeon	MM2	89	8.23E-08
Lugeon	MM4	44.25	1.33E-07
Lugeon	MM10	78	1.22E-07
Lugeon	MM10	87	1.45E-07
Lefranc	BH16	6.65	3.00E-07
Lefranc	PNL371R09	4.75	7.64E-07

Figura 32 - Coefficiente di permeabilità k da prove in sito

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	γ	σ_{ci}	$\sigma_{ci,PLT}$	σ_t	$E_{i,UNI}$	$E_{i,vel\ ultra}$
(-)	(-)	(m)	(kN/m^3)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(GPa)	(GPa)
MM4	1	2.25						
MM4	2	11.1						
MM2	1	67.45	26.27	76.1	91.9	10.3	34.604	43.6
MM2	2	72.3	25.90	92.7		14.3	46.332	57.2
MM2	3	73.4	25.86		59.8	7.3		40.4
MM2	4	75.2	25.36		56.4	4.6		20.7
MM2	5	76.3	25.25		30.0	2.5		40.7
MM2	6	78.75	21.57		15.4	2.2		7.9
MM2	7	73	21.88	33.6	32.9	2.8	9.121	6.8
MM2	8	88.5	22.52	33.7	31.7	2.5	9.737	9.9
MM2	9	92.2	22.36		31.2	1.9		13.3
MM2	10	99	23.01	38.9	33.8	2.9	9.365	9.1
MM10	1	79	24.66					
MM10	2	83	24.51					
MM10	3	89	24.07					
MM1	2	77.25	27.58		35.0			
MM1	3	79.65	27.44		60.0	5.4		53.1
MM1	4	82	25.47		34.3			29.3
MM1	5	87.5	24.87		12.7	1.1		20.0
MM1	6	92.5	25.04		48.2			
MM1	7	94	23.93		24.5	3.3		22.6
MM1	8	97.8	22.08					9.7
MM1	9	107.4	21.79			1.1		6.1
BV3	O	65.75	24.20	12.0			27	27.8
BV3	P	70.4			40.8			
BV3	R	89	25.40					8.3
BV3	S	95.75	26.60	25.8			18.1	18.9



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

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO GALLERIA
 NATURALE CASTELLARI

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
 IV01 00 D 07 CL GN 03 00 001 B 46 di 118

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	γ	σ_{ci}	$\sigma_{ci,PLT}$	σ_t	$E_{i,UNI}$	$E_{i,vel\ ultra}$
(-)	(-)	(m)	(kN/m^3)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(GPa)	(GPa)
BV3	T	108	25.50	16.2	40.8		20.4	23.6
BV3	U	119.4	26.30	12.9			26.2	9.6
BV3	V	128.4	25.30	11.8			26.8	10.7
BV3	Z	130.25	24.60					
BV3	Z1	148	26.80	33.4	60.0		31.1	28.9
L02	B	13.2	26.30	31.4			37.8	54.6
L02	D	23						
L03	A	20.15	25.40	114.2				51.7
L03	D	38.5	25.90	88.6			70.9	28.1
L04	1	2.1	25.90	93.4			50.3	69.2
L05	2	11	25.80	131.0			75.5	29.6
L06	M	58						
L07	A	67	26.50	37.0			26.5	40.0
L07	B	76.25	26.20	37.6			21.3	20.4
L07	C	82.8	26.40	78.4			43.7	23.2
L07	D	89						
L09	F	63.75						
SAF S01	CR1	48.3						
SAF S01	CR2	59.35	26.50			2.9		
SAF S01	CR3	77.25	27.70	39.1			70.702	98.9
SAF S01	CR5	101.4	27.30			11.4		

8.3.4 Calcari di Val Tanarello (TAN-c)

L'unità geotecnica dei Calcari di Val Tanarello (TAN-c) è costituita da calcari chiari di norma ben stratificati, passanti a marmi rosati alla sommità della formazione. L'elevato tenore di carbonato di calcio che caratterizza l'unità e un sensibile stato di fratturazione della roccia favoriscono lo sviluppo di fenomeni carsici. A tetto dei calcari sono presenti scaglie poco estese di scisti calcarei cretacei, non cartografabili separatamente dagli affioramenti calcarei maggiori.

Sono stati prelevati, a profondità variabili tra 3 m e 85 m da piano campagna, 16 campioni sottoposti a prove di laboratorio.

Il peso di unità di volume dell'unità geotecnica varia tra 24 e 28 kN/m^3 (Figura 33), 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 σ_c da prove CM compresi nell'intervallo: 17 e 125 MPa (Figura 34).

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 3 e 92 GPa (Figura 35).

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 $1 \cdot 10^{-7}$ e $3 \cdot 10^{-5}$ m/s (Figura 36).

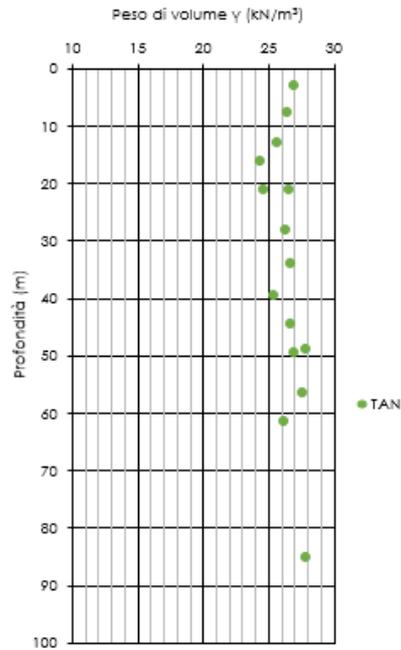


Figura 33 - Peso dell'unità di volume γ

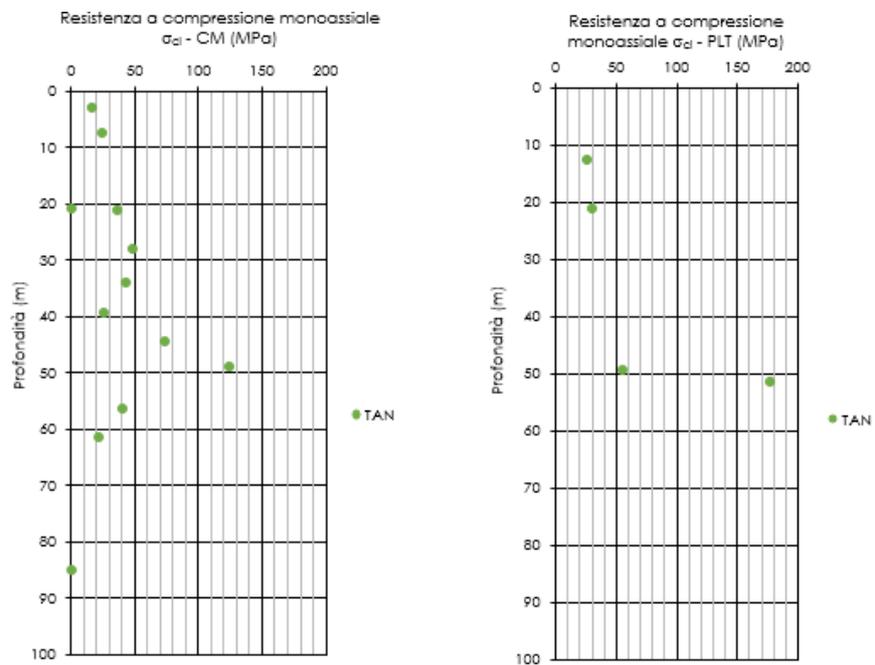


Figura 34 - Resistenza a compressione monoassiale

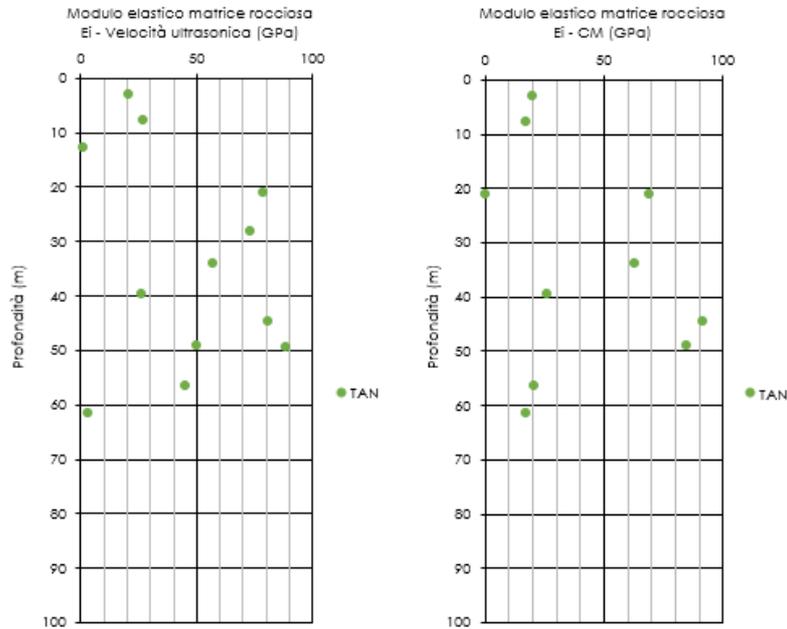
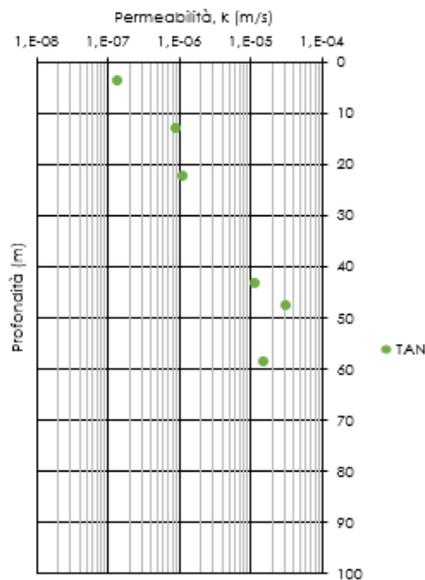


Figura 35 – Modulo elastico della roccia intatta



Prova	Sondaggio	Profondità da p.c.	k
(-)	(-)	(m)	(m/s)
Lefranc	LO6	47.5	3,19E-05
Lefranc	LO9	43.5	1,19E-05
Lefranc	LO9	58.5	1,55E-05
Lefranc	MM9	3.65	1,38E-07
Lugeon	BC1	22.5	1,11E-06
Lugeon	MM8	13.2	9,13E-07

Figura 36 - Coefficiente di permeabilità k da prove in sito

Sondaggio	Campione	Profondità da p.c.	γ	σ_{ci}	$\sigma_{ci,PLT}$	σ_t	$E_{i,UNI}$	$E_{i,vel\ ultra}$
(-)	(-)	(m)	(kN/m ³)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(GPa)	(GPa)
L06	A	3	26.9	16.5			20	20.5
L06	B	7.7	26.4	24.4			17.6	27.0
L06	C	12.8	25.6		26.4			
L06	D	16	24.3					
L06	E	21	24.6					
L06	F	28	26.3	49.1				73.4
L06	G	34	26.7	43.3			62.7	57.3
L06	H	39.6	25.4	25.6			25.9	26.1
L06	I	44.6	26.7	73.8			91.8	80.6
L06	L	49.4	27,00		55.2	5.4		88.3
L08	14	85	27.9					
L09	A	49	27.8	124.6			84.6	50.1
L09	B	51.5			177.6			
L09	C	56.45	27.6	40.8			20.4	45.5
L09	D	58.4				5.7		
L09	E	61.45	26.2	22.5			17.4	3.0

8.3.5 Sintesi caratterizzazione geotecnica degli ammassi rocciosi

A partire dall'imbocco lato Finale Ligure, la Galleria naturale Castellari si sviluppa essenzialmente per un breve tratto all'interno del litotipo calcareo-dolomitico delle Dolomie di S. Pietro dei Monti (SPM-do), nelle Quarziti di Ponte di Nava (PDN-qz) e nei Calcari di Val Tanarello (TAN-c).

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 σ_{ci} (resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta):

Galleria	Formazione	γ	GSI	σ_{ci}
-	-	kN/m ³	-	Mpa
Castellari	Dolomie di San Pietro dei Monti (SPM-do)	24÷28	35÷50	11÷194
	Quaziti di Ponte di Nava (PDN-qz)	22÷27	20÷40	12÷131
	Calcari di Val Tanarello (TAN-c)	24÷28	45÷65	17÷125
	Dolomie di San Pietro dei Monti (SPM-do) - Zona di Faglia	24÷28	10÷20	11÷194
	Quaziti di Ponte di Nava (PDN-qz) - Zona di Faglia	22÷27	10÷30	12÷131
	Calcari di Val Tanarello (TAN-c) - Zona di Faglia	24÷28	10÷20	17÷125

Tabella 2 – Intervalli di GSI e σ_{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.



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

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO GALLERIA
NATURALE CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	51 di 118

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;
- Coefficiente di disturbo D nullo.

Per le Quarziti di Ponte di Nava sono stati valutati i seguenti parametri e indici:

- Coefficiente materiali roccia intatta m_i pari a 20;
- Modulo di rigidezza roccia intatta E_i compreso tra 6 e 99 GPa;
- Coefficiente di disturbo D nullo.

Per i Calcari di Val Tanarello 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 3 e 92 GPa;
- Coefficiente di disturbo D nullo.

8.3.6 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:

σ'_1 tensione principale efficace maggiore a rottura;

σ'_3 tensione principale efficace minore a rottura;

σ_c resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta.

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

		σ_{ci}	GSI	m_i	E_i	m_b	s	a	E
		MPa	-	-	GPa	-	-	-	MPa
SPM-do	min	11	35	9	8	0.883	0.0007	0.516	907
	max	194	50		119	1.509	0.0039	0.506	36555
PDN-qz	min	12	20	20	6	1.149	0.0001	0.544	274
	max	131	40		99	2.346	0.0013	0.511	15805
TAN-c	min	17	45	10	3	1.403	0.0022	0.508	671
	max	125	65		92	2.865	0.0205	0.502	58118
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
PDN-qz-ZF	min	12	10	20	6	0.804	4.54E-05	0.585	183
	max	131	30		99	1.149	0.0001	0.544	4521
TAN-c-ZF	min	17	10	10	3	0.402	4.45E-05	0.585	92
	max	125	20		92	0.574	0.0001	0.544	4202

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 (τ)-tensione normale (σ'_n). In questo modo sono stati definiti per ciascun litotipo i parametri coesione c' e angolo di attrito φ' .

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.

8.3.7 Il regime idraulico

In corrispondenza della galleria Castellari i piezometri esistenti sono più ravvicinati e con bassi valori di fuori asse rispetto alle altre gallerie in progetto; l'analisi dei dati del monitoraggio indica valori estremamente variabili in termini di soggiacenza, probabilmente legati alle caratteristiche della circolazione idrica all'interno di un ammasso roccioso fratturato e caratterizzato da lineamenti tettonici, anche significativi.

Lungo l'intero tratto di galleria in cui lo scavo interessa infatti formazioni rocciose (SPM-do, PDN-qz e TAN-c) si attendono possibili venute d'acqua, anche significative, in corrispondenza delle principali discontinuità tettoniche e delle relative fasce cataclastiche o laddove si determina il passaggio tra formazioni a differente permeabilità. Comunque, non si esclude la possibilità di intercettare ulteriori porzioni più fratturate dell'ammasso roccioso, in cui attendersi locali venute d'acqua. Nel tratto scavato nelle alluvioni sono attesi unicamente stillicidi o venute modeste.

Non sono attese interferenze con le principali cavità carsiche censite nel Catasto Speleologico Ligure; tuttavia, non si esclude la possibilità di intercettare cavità carsiche minor o non censite in fase di scavo, nel tratto che interesserà le Dolomie di San Pietro dei Monti ed i Calcari di Val Tanarello.

Si segnala inoltre che in corrispondenza del passaggio fra i Calcari di Val Tanarello e le alluvioni, alla pk 75+060, sono stati monitorati livelli piezometrici significativamente più bassi rispetto a quelli presenti nei restanti tratti di galleria.

8.3.8 Lo stato tensionale in sito

Non sono state condotte misure di stato tensionale in sito. 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 normal-consolidati, con φ' angolo di attrito efficace;
- $k_0(OC) = k_0(NC) \cdot OCR^\alpha$ per terreni sovra consolidati, con OCR grado di sovra consolidazione e α coefficiente empirico legato alla natura del terreno.



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

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO GALLERIA
NATURALE CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	54 di 118

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. [16]), 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 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 elasto-plastico, 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 TECNICA E DI CALCOLO GALLERIA
NATURALE CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	55 di 118

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 λ 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 TECNICA E DI CALCOLO GALLERIA
NATURALE CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	56 di 118

- 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), che consente di ottenere risultati affidabili sia in termini di convergenze, sia in termini di carichi di lavoro sui sostegni.

Per il calcolo della convergenza al fronte si utilizzano le soluzioni analitiche per cavità sferiche.

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]	σ_0 [MPa]	p_{w0} [MPa]	p_{wR} [MPa]	R_w [m]	γ [kN/m ³]	c'_{kp} [kPa]	φ'_{kp} [°]	c'_{kr} [kPa]	φ'_{kr} [°]	E_k [MPa]
1	SPM-do	71+600	88	2.376	-	-	-	27	333	49.5	-	-	2890
2	PDN-qz	73+496	110	2.915	-	-	-	26.5	399	45	-	-	920
3	PDN-qz	73+723	43	1.140	-	-	-	26.5	171	43	-	-	340
4	PDN-qz-ZDF	71+611	89	2.359	-	-	-	26.5	311	41	-	-	500
5	PDN-qz-ZDF	72+274	66	1.749	-	-	-	26.5	144	41	-	-	300
6	TAN-ZDF	72+398	49	1.274	-	-	-	26	120	36	-	-	600
7	PDN-qz-ZDF	74+038	72	1.908	-	-	-	26.5	144	41	-	-	300

H = copertura rispetto al piano dei centri della galleria

σ_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}

γ = peso dell'unità di volume dell'ammasso

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

φ'_{kp} = valore caratteristico dell'angolo di attrito di picco dell'ammasso

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

φ'_{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 σ_c e la pressione critica al fronte $p_c = (3\sigma_o - 2\sigma_c) / (1 + 2K_p)$, 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 imprevisti, 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	σ_c [MPa]	p_c [MPa]	σ_c / p_c [-]	u_F [m]	u_F / R_{eq} [%]	R_{PF} [m]	R_{PF} / R_{eq} [-]	u_∞ [m]	R_P [m]	Categoria
1	1.81	0.22	8.06	0.0026	0.0569	4.88	1.05	0.0057	5.30	A
2	1.93	0.39	4.98	0.0107	0.2300	4.99	1.07	0.0235	5.60	A
3	0.79	0.16	4.93	0.0113	0.2431	5.01	1.08	0.0250	5.66	A
4	1.36	0.41	3.34	0.0170	0.3651	5.15	1.11	0.0385	6.00	A
5	0.63	0.37	1.69	0.0249	0.5363	5.44	1.17	0.0593	6.71	A
6	0.47	0.33	1.42	0.0098	0.2108	5.65	1.22	0.0242	7.32	A
7	0.63	0.42	1.51	0.0282	0.6061	5.50	1.18	0.06755	6.85	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_∞ = 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 7 analisi presentate in Tabella 5 si riferiscono sia alla roccia sana (sezioni di calcolo 1,2,3) che alle zone di faglia (sezioni di calcolo 4,5,6,7). Dall'analisi delle curve caratteristiche della roccia intatta riportate in All. [1],



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

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO GALLERIA
NATURALE CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	59 di 118

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 quarziti di Ponte di Nava (PDN) dove, dall'analisi 2 della curva caratteristica, si evince che il cavo si mantiene in campo elastico fino ad una pressione di contenimento pari a circa il 20% della pressione geostatica e, in condizioni di cavo libero, raggiunge circa 2,4 cm di convergenza. Nelle altre due analisi condotte (sezioni di calcolo 1,3), la curva caratteristica del fronte si mantiene elastica fino a pressioni di contenimento prossime a quelle geostatiche, la curva del cavo raggiunge il campo plastico per pressioni pari al 10% della geostatica con convergenze massime, in condizioni di cavo libero, di circa 4 mm. I fenomeni plastici non si estendono oltre il metro al di là del raggio di scavo.

Nelle zone in cui l'ammasso è stato soggetto a movimenti tettonici vi è presenza di materiale cataclasato con caratteristiche geotecniche peggiori rispetto alla roccia intatta. In queste zone, si sono condotte ulteriori analisi che hanno evidenziato la presenza di fenomeni deformativi maggiori rispetto a quelli riscontrati nell'ammasso sano. Le condizioni peggiori si hanno analizzando la curva caratteristica nella zona di faglia delle quarziti di Ponte di Nava (sezione di calcolo numero 7) in cui il comportamento del cavo è elastico fino al 30% della pressione geostatica e presenta una convergenza radiale in condizioni di cavo libero prossima a 7 cm. Tuttavia, il comportamento allo scavo è ancora stabile secondo la classificazione adottata.

Sulla base dei risultati ottenuti si può considerare stabile il comportamento deformativo allo scavo dei tre ammassi e instabile quello relativo alla unità 3.

9.2.2 Analisi della stabilità del fronte

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 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. [24]. 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 37 hanno ricavato la seguente formula generale per determinare la pressione efficace necessaria al fronte:

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

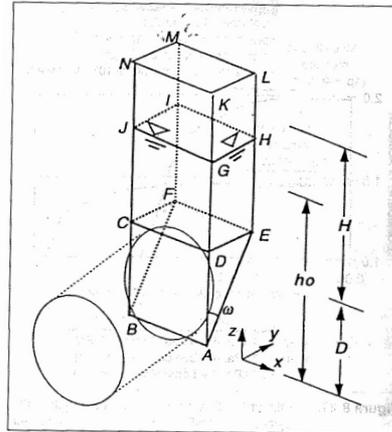


Figura 8.24. Meccanismo di rottura

Figura 37: Meccanismo di rottura secondo Anagnostou e Kovari

Dove γ' 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 indisturbato 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.

Sezioni analizzate

La sezione analizzata è la seguente:

Sezione di calcolo	Unità	Progressiva [km]	Copertura [m]
9	Unità 3	75+355	24,00

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. Si è scelto dunque una sezione tra le variabilità del tratto compreso tra le progr. km ~75+050 e km ~75+405 e le progr. km ~75+722 e km ~76+166.

Al fine di determinare la stabilità o meno del 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]	φ'_k [°]	γ' [kN/m ³]	D_{scavo} [m]	h_0 [m]	$\Delta h = h_0 - h_F$ [m]
9	Unità 3	75+355	24	14	24	8,2	9,3	20,55	20,55

Δh = 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

Risultati delle analisi

Vengono di seguito presentati i risultati delle analisi di stabilità in condizioni di basse coperture nel deposito detritico della galleria Castellari.

I parametri di input del metodo di Anagnostou e Kovari, per le basse coperture in materiali sciolti, portano a definire i coefficienti adimensionali riportati in Tabella 8 dipendenti dalla geometria e dall'angolo di resistenza al taglio.

I risultati vengono presentati di seguito:

Sezione di calcolo	Unità	Progressiva [km]	F_0	F_1	F_2	F_3	s' [kPa]
9	Unità 3	75+355	0,5	3,7	0,64	0,05	117,5

F_0, F_1, F_2, F_3 = Coefficienti adimensionali
 s' = pressione di contenimento risultante

Tabella 8: Coefficienti adimensionali per analisi 9

La pressione efficace, necessaria a stabilizzare il fronte di scavo, è maggiore di zero. L'analisi può essere considerata rappresentativa di tutto il tratto interessato dai depositi alluvionali in falda, pertanto, in questa zona il fronte di scavo è instabile e necessita dunque di una pressione di sostegno.

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:



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

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO GALLERIA
NATURALE CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	62 di 118

- all'interno delle formazioni SPM, PDN e TAN 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 unità alluvionali a basse coperture (unità 2 e unità 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 Castellari”.

10 FASE DI TERAPIA

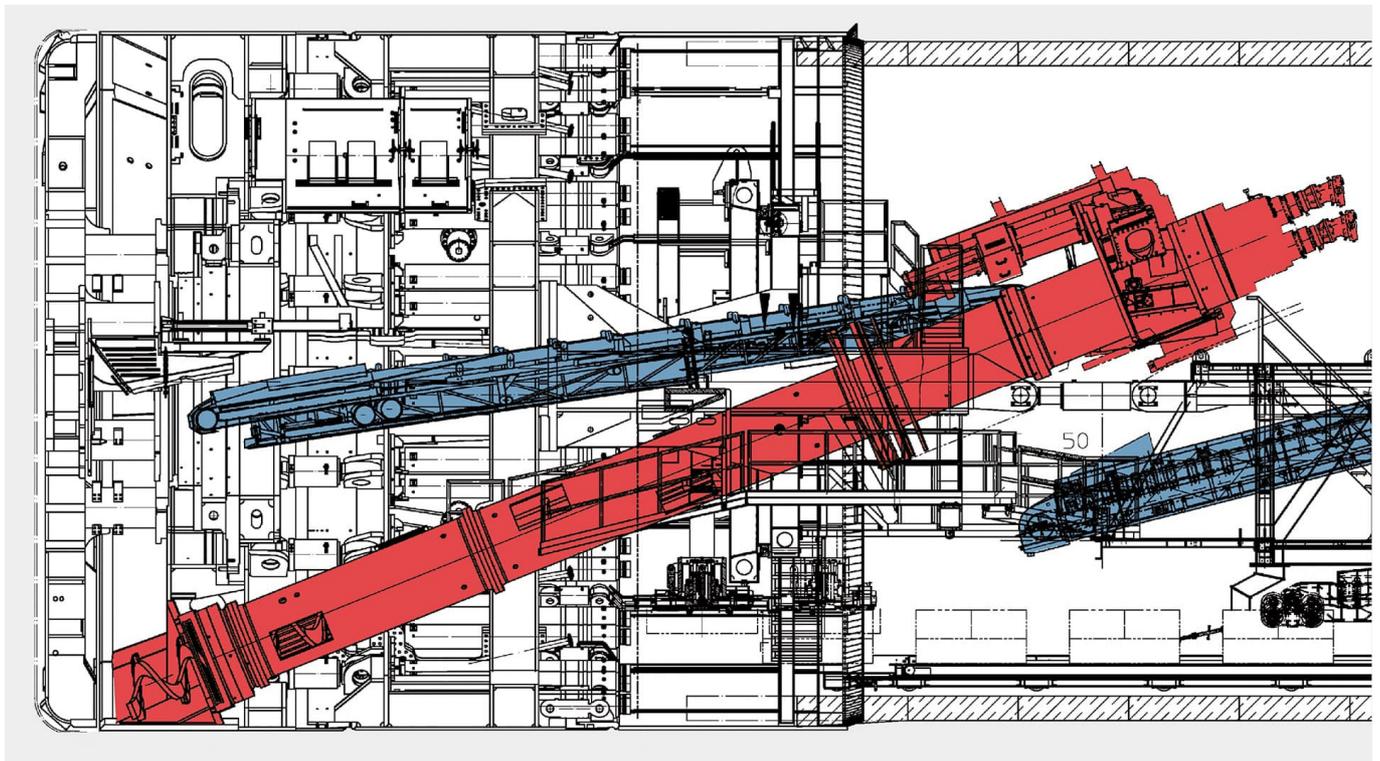
Nel presente capitolo sono definiti gli interventi necessari per garantire la stabilità del cavo a breve e a lungo termine, in accordo con le indicazioni provenienti dalla fase conoscitiva e dall'analisi del comportamento allo scavo in assenza di interventi (fase di diagnosi).

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.



	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO GALLERIA NATURALE CASTELLARI	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 07 CL	DOCUMENTO GN 03 00 001	REV. B	FOGLIO 64 di 118

Figura 38. TBM Dual mode

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. [35]).

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 TECNICA E DI CALCOLO GALLERIA
NATURALE CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	65 di 118

Sezione di avanzamento

La sezione tipo per la galleria Castellari 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
- Rck: 45 MPa
- Armatura: incidenza 120 kg/mc
- 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 è prevista una classe di resistenza del calcestruzzo C35/45 e un'incidenza di armatura di circa 120kg/m³.

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 (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**), del "Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili" (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**) 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 (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).



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

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO GALLERIA
NATURALE CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	66 di 118

Interventi di precontenimento

Acciaio Scudo	
Tipo	S275
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} = 275 \text{ MPa}$
Tensione massima in condizioni di esercizio	$\sigma_{yk} = f_{yk}/1,05 = 261,9 \text{ MPa}$

Rivestimenti definitivi

Calcestruzzo per conci prefabbricati in c.a. per rivestimento gallerie	
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) $\sigma_c = 0,45 f_{ck} = 15,75 \text{ MPa}$ combinazione quasi permanente

Acciaio per barre di armatura	
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 TECNICA E DI CALCOLO GALLERIA
NATURALE CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	67 di 118

10.3 Analisi e verifica delle sezioni tipo

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 PDN, si considera rappresentativa per la tratta ad alte coperture in quanto presenta la copertura massima ed un carico idraulico pari a 80 m.
- L'analisi n.2, all'interno dei depositi alluvionali, si considera rappresentativa di tutta la tratta a basse coperture.

Tabella 9. Sezioni di analisi fase di terapia

Analisi n.	Sezione	Tipo GN	p.k.	formazione	Descrizione analisi
1	TBM	linea	pk 73+496	PDN	Massime coperture meccanizzato Massimo carico idraulico
2	TBM	linea	pk 76+049	Unità 3/ORV	Basse coperture meccanizzato

10.3.1 Criteri di verifica

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.

L'analisi in questo caso ha avuto lo scopo di determinare la pressione che deve essere presente nella camera di scavo per garantire la stabilità del fronte di scavo nel tratto interessato dai depositi alluvionali.

Interazione opera-terreno e verifiche strutturali dei rivestimenti provvisori e definitivi

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 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:



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

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO GALLERIA
NATURALE CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	68 di 118

- 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. Nel caso di sezioni con campo di avanzamento tronco-conico, per la definizione della geometria della sezione di scavo si è fatto riferimento alla sezione media. Congruentemente, i rivestimenti definitivi di calotta (a carpenteria variabile) sono verificati secondo lo spessore medio.

L'analisi n.1 ha è stata condotta con lo scopo di massimizzare i carichi agenti sui rivestimenti definitivi nelle condizioni di massima copertura e massimo carico idraulico all'interno della formazione PDN. Il carico idraulico è stato considerato agente in condizioni di lungo termine.

L'analisi n.2 è stata eseguita in condizioni di basse coperture all'interno dell'unità 3 con lo scopo di valutare eventuali risentimenti al piano campagna in termini di plasticizzazioni e verificare i carichi agenti sul rivestimento definitivo.

10.3.2 Stabilità del Fronte

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

Basse coperture

Scopo del presente paragrafo è individuare la pressione da applicare al fronte di scavo nei depositi alluvionali interessati da basse coperture. In particolare, si è analizzata una sezione rappresentativa del tratto sia dal punto di vista idraulico che dal punto di vista delle coperture in gioco, al fine di individuare il massimo valore di pressione necessario per la stabilità del fronte.

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 adottando il metodo di Anagnostou e Kovari sono riassunti in tabella:

H [m]	γ [kN/m ³]	c'_k [MPa]	ϕ'_k [°]	h_0 [m]	$\Delta h=h_0-h_F$ [m]	γ_{M2} ($\tan \phi'_k$)	γ_{M2} (c'_k)
24	18.5	14	24	20,65	0	1.25	1.25

Tabella 10: Parametri di input per l'analisi di Anagnostou e Kovari nella sezione 9

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

I risultati vengono presentati di seguito:



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

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO GALLERIA
 NATURALE CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	70 di 118

Sezione di calcolo	Unità	Progressiva [km]	F ₀	F ₁	F ₂	F ₃	s' _d [kPa]
9	Unità 3	75+355	0,5	3,7	0,64	0,05	<0

F₀, F₁, F₂, F₃= Coefficienti adimensionali
 s'_k= pressione di contenimento caratteristica
 s'_d= pressione di contenimento di progetto

Tabella 11: Coefficienti adimensionali per sezione 9

Dai risultati ottenuti e considerando le esperienze di Anagnostou e Kovari la compensazione idraulica nella camera di scavo ($\Delta h=0$) è sufficiente alla stabilizzazione del fronte di scavo. Non si dovrà dunque assicurare una pressione di supporto efficace ulteriore. La pressione totale da assicurare nella camera di scavo sarà dunque pari alla sola pressione idraulica:

$$s = \gamma_w \cdot h_0 \cong 200 \text{ kPa}$$



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

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO GALLERIA
 NATURALE CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	71 di 118

10.3.3 Analisi n. 1 - TBM alte coperture (pk 73+496)

Interazione opera-terreno

Modello geotecnico

Il modello geotecnico di sottosuolo in corrispondenza della sezione di analisi è caratterizzato dalla Quarziti di Ponte di Nava (PDN). 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 80 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 12 - Sezione geotecnica di calcolo

Stratigrafia di calcolo		C	Superficie piezometrica	γ	c'_k	ϕ'_k	E'	K ₀
Formazione	Profondità da p.c.							
[-]	[m da pc]	[m]	[m] da calotta	[kN/m ³]	[kPa]	[°]	[MPa]	[-]
PDN	In tutto il modello	110	80	26.5	399	45	935	0.7

C = copertura (rispetto alla calotta)
 γ = peso di volume
 c'_k = coesione drenata
 ϕ'_k = angolo di attrito interno
 E' = modulo elastico
 K₀ = coefficiente di spinta a riposo

Modello geometrico

La mesh di calcolo è costituita da 158x87 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 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.

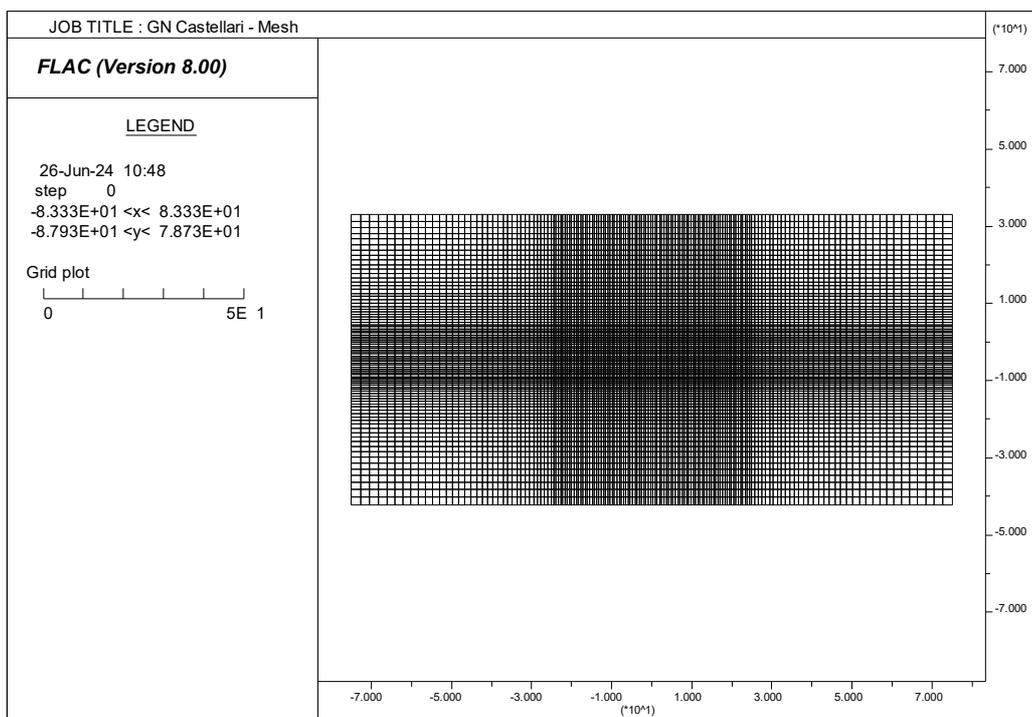


Figura 39 - Modello di calcolo - Geometria mesh

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 13 - Definizione delle caratteristiche del rivestimento della galleria

Caratteristiche conci dell’anello universale	
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 ⁴

Tabella 14 - Definizione delle caratteristiche della fresa scudata

Caratteristiche della fresa scudata	
Spessore scudo	3 cm
Intercapedine tra l'esterno dello scudo e l'estradosso del concio	10 cm
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 15- 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	0.36
4	Convergenza per chiusura del gap scudo-roccia	-



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

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO GALLERIA
NATURALE CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	74 di 118

Fase	Descrizione	Rilascio forze di scavo
5	Contatto con lo scudo	0.97
6	Installazione dell'anello universale	1.00
SCAVO CANNA SINISTRA		
7	Pre-convergenza del fronte	0.36
8	Convergenza per chiusura del gap scudo-roccia	-
9	Contatto con lo scudo	0.97
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).

FASE 3

Viene simulato il rilascio a cavo libero del fronte della galleria destra. Il campo degli spostamenti mostra spostamenti verticali pari a circa 7.3 mm in calotta e 7.3 mm in arco rovescio, mentre gli spostamenti orizzontali in piedritto sono pari a circa 3.8 mm.

FASE 5

Viene simulato il rilascio sullo scudo della galleria destra. Lo spostamento verticale in calotta è dell'ordine dei 23.2 mm mentre in arco rovescio è di circa 20.1 mm, mentre lo spostamento orizzontale ai piedritti è pari a circa 12.0 mm. La fascia plastica presenta un'estensione di pochi decimetri.



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

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO GALLERIA
NATURALE CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	75 di 118

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 23.7 mm mentre in arco rovescio è di circa 20.1 mm, mentre lo spostamento orizzontale ai piedritti è pari a circa 12.0 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 11.0 mm in calotta e 6 mm in arco rovescio, mentre gli spostamenti orizzontali in piedritto sono pari a circa 5.0 mm.

FASE 9

Viene simulato il rilascio sullo scudo della galleria sinistra. Lo spostamento verticale in calotta è dell'ordine dei 27.5 mm mentre in arco rovescio è di circa 19.4 mm, mentre lo spostamento orizzontale ai piedritti è pari a circa 13.0 mm. La fascia plastica presenta un'estensione di 1 metro.

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 28.1 mm, mentre in arco rovescio è di circa 19.4 mm. Lo spostamento orizzontale ai piedritti è dell'ordine dei 13.0 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 29.5 mm, mentre in arco rovescio è di circa 20.7 mm. Lo spostamento orizzontale ai piedritti è dell'ordine dei 14.2 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 C35/45 e armatura costituita da 12 ϕ 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 conco; 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.

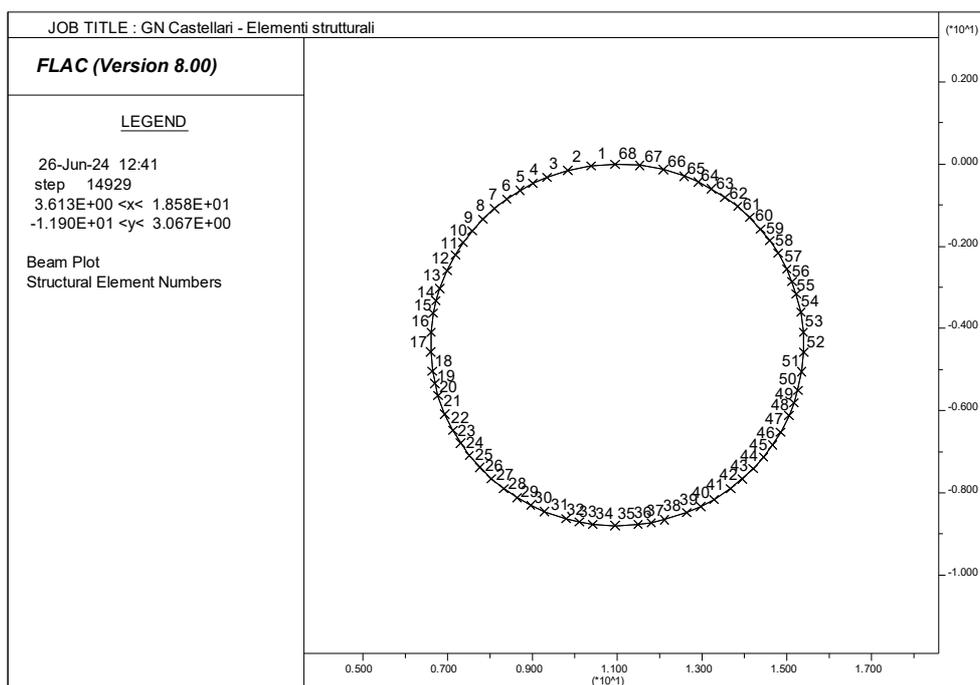


Figura 40 - Elementi liner canna destra

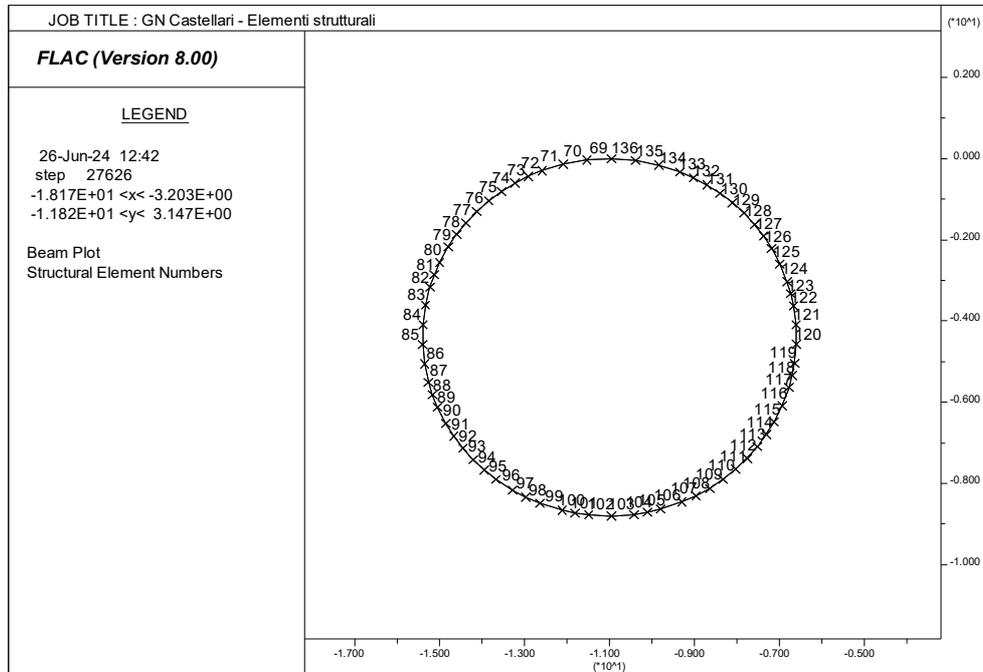


Figura 41 - Elementi liner canna sinistra

Tabella 16 - Sollecitazioni nel rivestimento della canna destra

Fase	Node	N	M	T	$\gamma_F \cdot 2b \cdot N$ [kN]	$\gamma_F \cdot 2b \cdot M$ [kNm]	$\gamma_F \cdot 2b \cdot T$ [kN]
		[kN/m]	[kNm/m]	[kN/m]			
11	1	3730	85.51	20.53	17456.40	400.19	96.08
	17	4600	-44.13	7.78	21528.00	-206.53	36.41
	34	3724	15.91	-2.06	17428.32	74.46	-9.64
	52	4434	-9.94	1.73	20751.12	-46.52	8.10

Tabella 17 - Sollecitazioni nel rivestimento della canna sinistra

Fase	Node	N	M	T	$\gamma_F \cdot 2b \cdot N$ [kN]	$\gamma_F \cdot 2b \cdot M$ [kNm]	$\gamma_F \cdot 2b \cdot T$ [kN]
		[kN/m]	[kNm/m]	[kN/m]			
11	69	3796	65.88	30.61	17765.28	308.32	143.25
	85	4209	20.02	2.13	19698.12	93.69	9.97
	102	3796	-13.50	-6.88	17765.28	-63.18	-32.20
	120	4162	-9.35	-5.63	19478.16	-43.76	-26.35

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

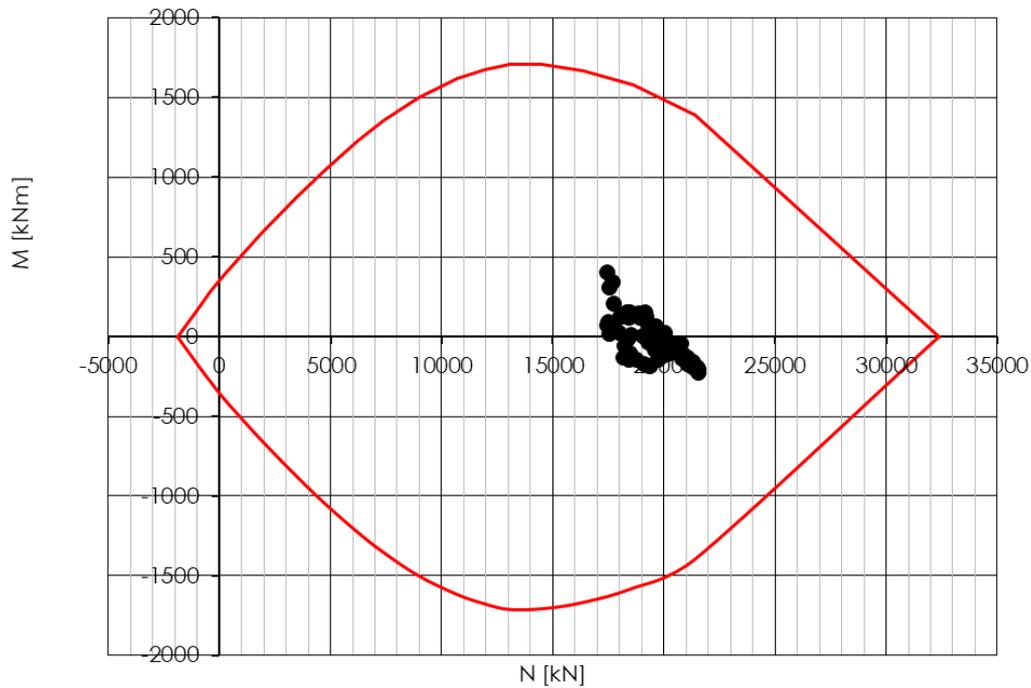


Figura 42 - Dominio resistente SLU canna DX (B=3.60 m, H=0.40 m) - Fase Lungo Termine (Step 11)

Verifica a taglio senza armatura specifica

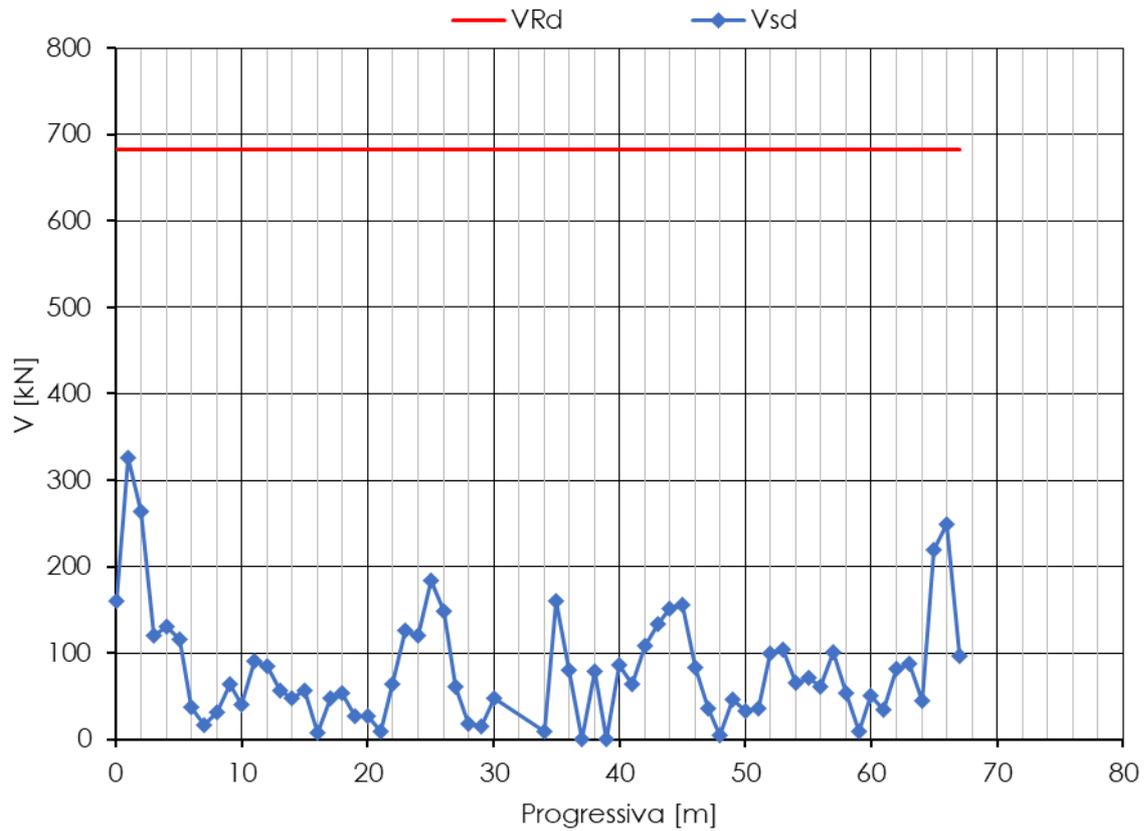


Figura 43 - Verifica SLU taglio canna DX (B=1.80 m, H=0.40 m) - Fase Lungo Termine (Step 11)

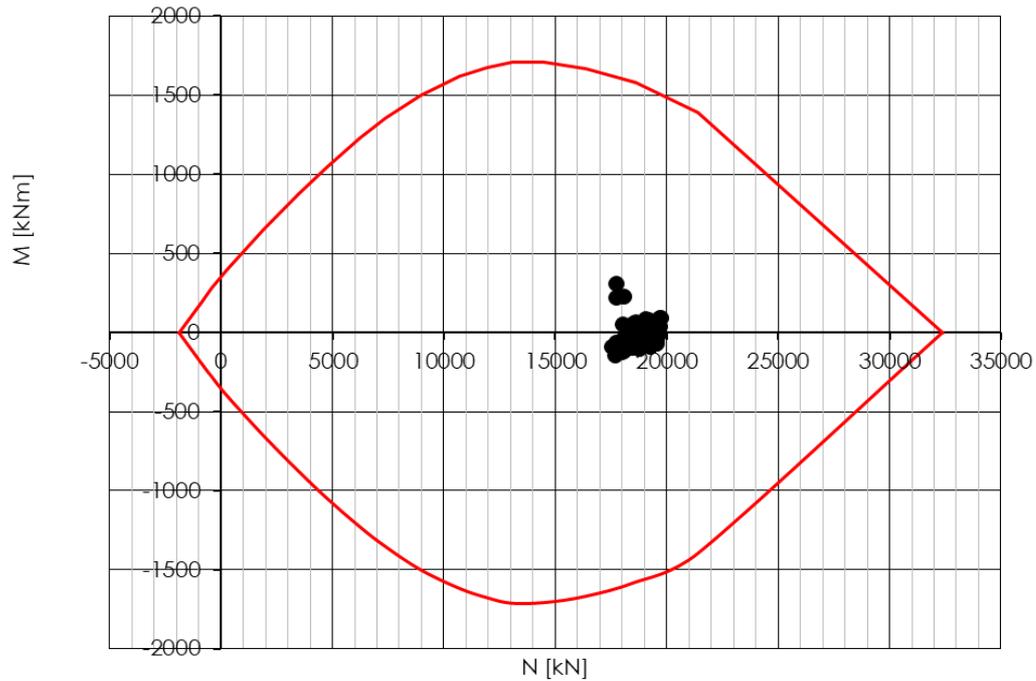


Figura 44 - Dominio resistente SLU canna SX (B=3.60 m, H=0.40 m) - Fase Lungo Termine (Step 11)

Verifica a taglio senza armatura specifica

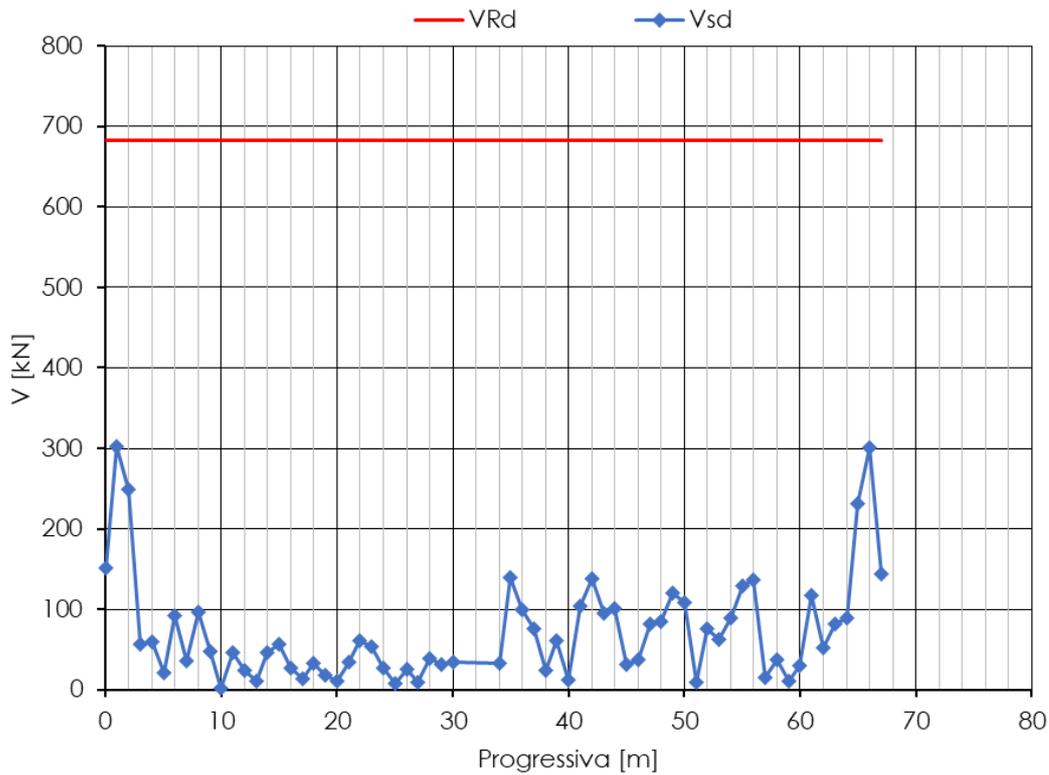


Figura 45 - Verifica SLU taglio canna SX (B=1.80 m, H=0.40 m) - Fase Lungo termine (Step 11)

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.

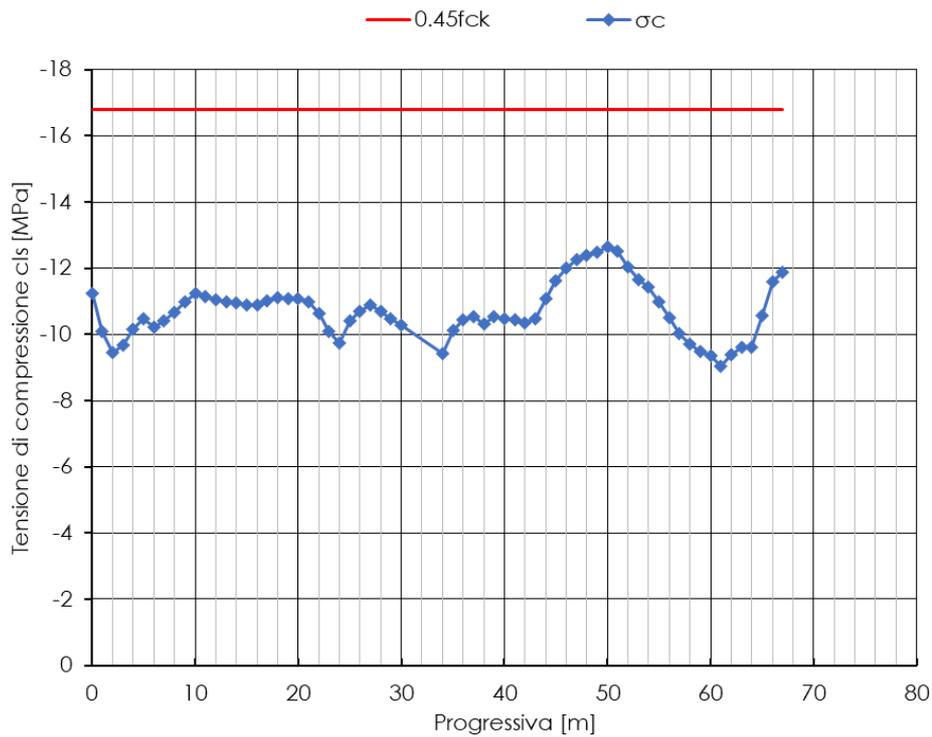


Figura 46 - Verifiche SLE tensione cls canna DX – Fase Lungo Termine (Step 11)

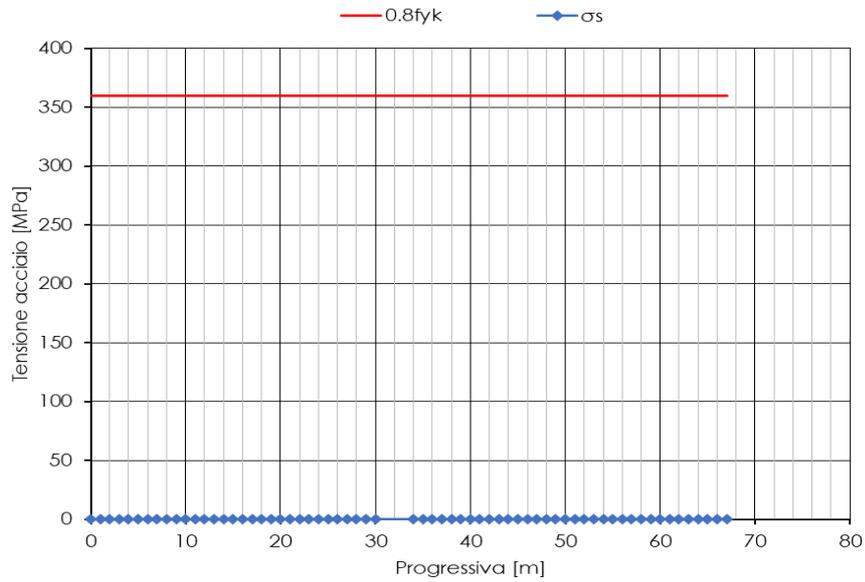


Figura 47 - Verifiche SLE tensione acciaio canna DX – Fase Lungo Termine (Step 11)

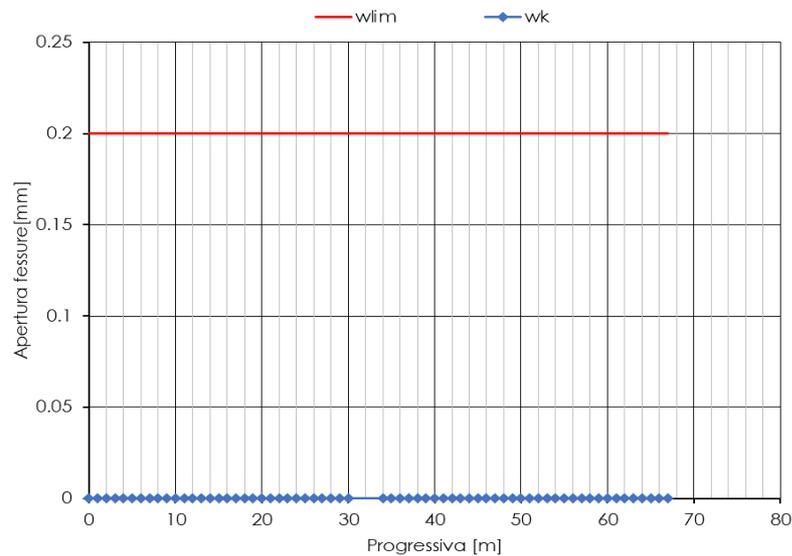


Figura 48 - Verifiche SLE fessurazione canna DX – Fase Lungo Termine (Step 11)

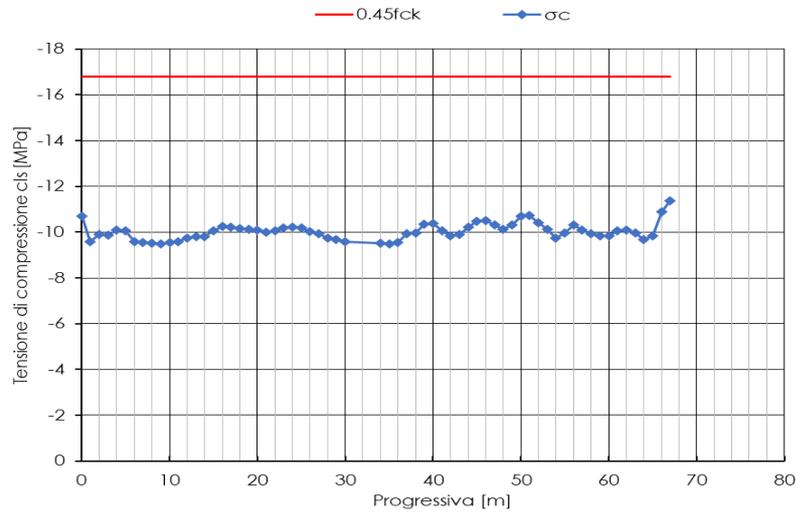


Figura 49 - Verifiche SLE tensione cls canna SX – Fase Lungo Termine (Step 11)

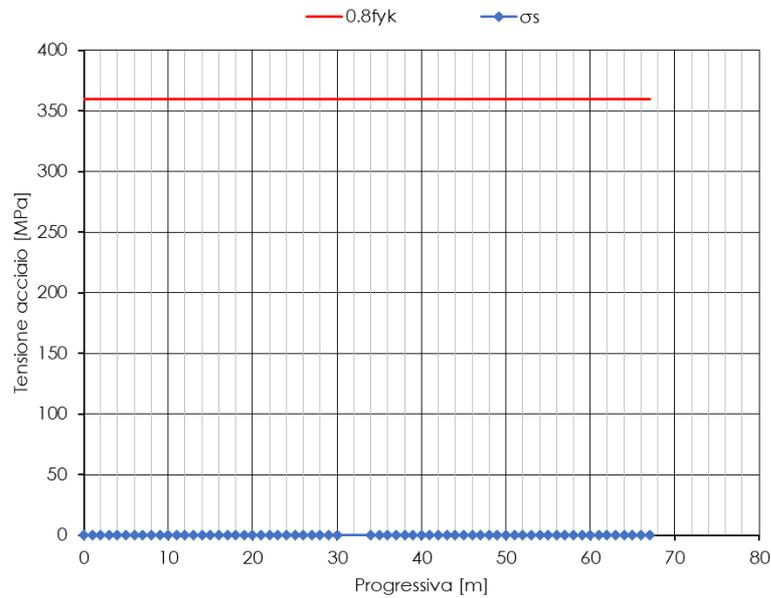


Figura 50 - Verifiche SLE tensione acciaio canna SX – Fase Lungo Termine (Step 11)

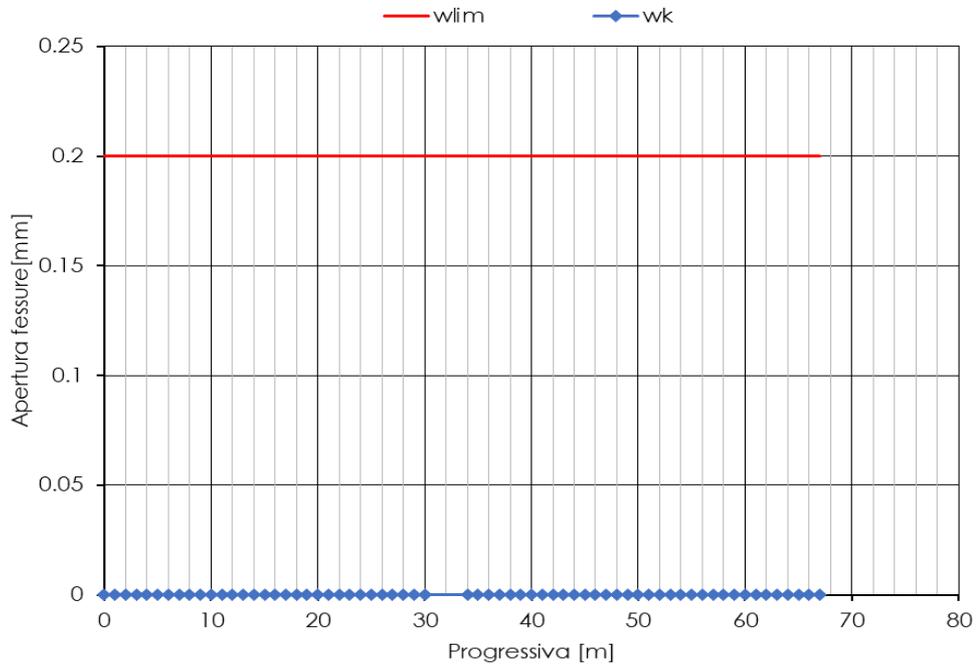


Figura 51 - Verifiche SLE fessurazione canna SX – Fase Lungo Termine (Step 11)

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 $F_{rdu} < F_{max}$.

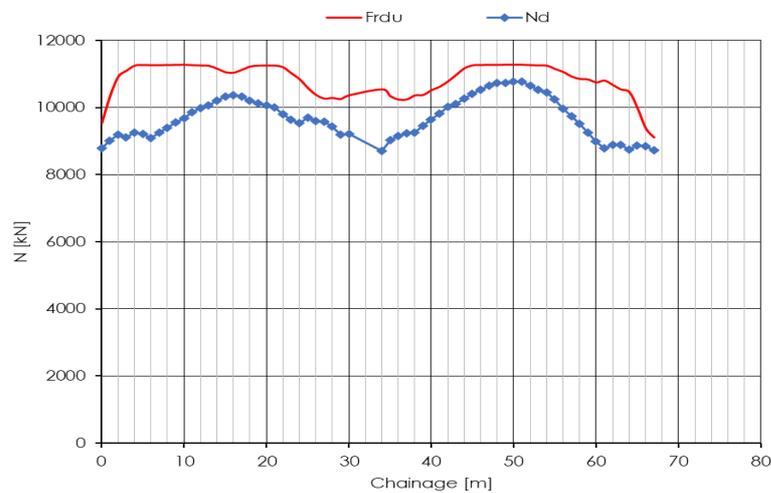


Figura 52. Canna DX– Fase LT – Step 11 - Verifica delle pressioni di contatto "difetto" intradosso

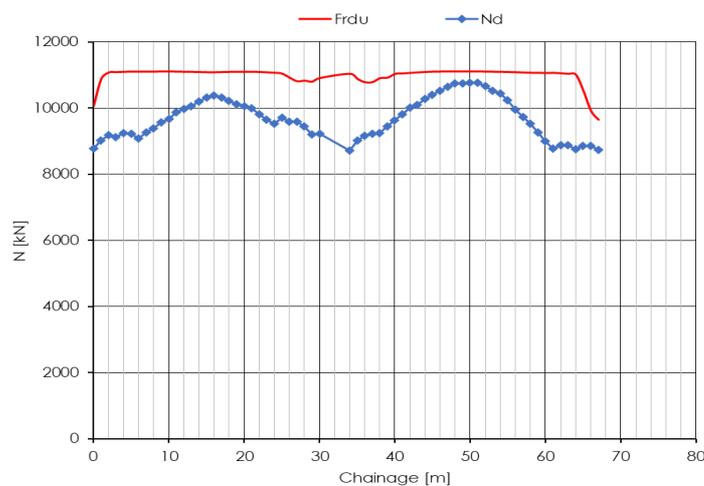


Figura 53. Canna DX – Fase LT – Step 11 - Verifica delle pressioni di contatto "difetto" estradosso

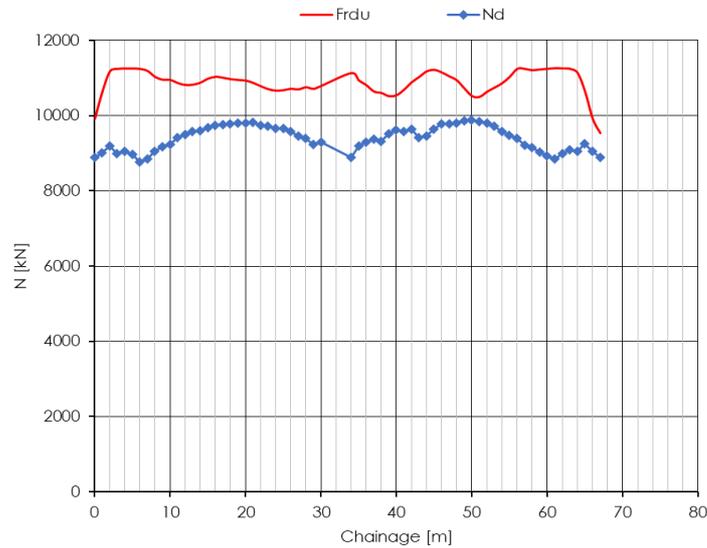


Figura 54. Canna SX – Fase LT – Step 11 - Verifica delle pressioni di contatto “difetto” intradosso

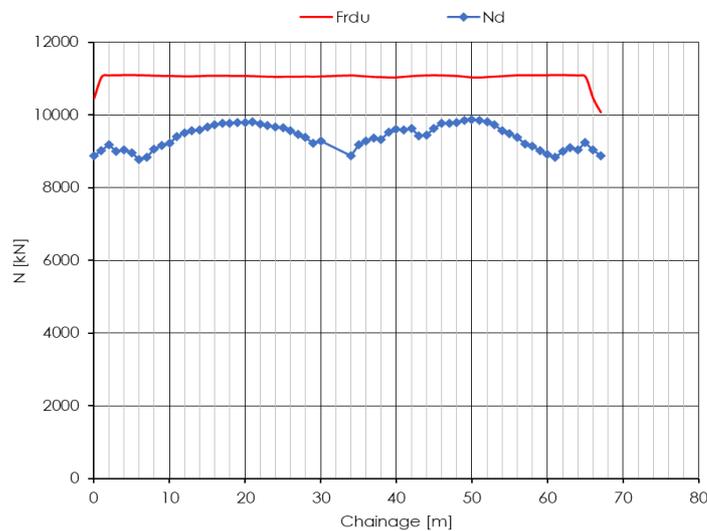


Figura 55. Canna SX – Fase LT – Step 11 - Verifica delle pressioni di contatto “difetto” estradosso

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 18: Verifica stabilità del fronte Formazione Monte Sidone: dati di input

Unità	pk	H	σ_0	γ	c'_d	ϕ'_d	E'_d
	[km]	[m]	[MPa]	[kN/m ³]	[MPa]	[°]	[MPa]
PDN-qz	73+496	11.	2.92	26.5	0.319	38.7	356

H = copertura rispetto al piano dei centri della galleria
 σ_0 = tensione totale iniziale al livello del cavo
 γ = peso dell'unità di volume dell'ammasso
 c'_d = valore di progetto della coesione
 ϕ'_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 19: 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	0.014	0.31	5.04	1.11

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.

10.3.4 Analisi n. 2 - TBM basse coperture – pk 76+049

Interazione opera-terreno

Modello geotecnico

Il modello geotecnico di sottosuolo in corrispondenza della sezione di analisi è caratterizzato dall'Unità 3 e dall'ORV. Data la natura coesiva dei terreni, il livello di falda è stato considerato costante durante tutte le fasi di calcolo, modellando un comportamento non drenato delle due formazioni. Le sovrappressioni sono state poi dissipate nell'ultimo step di calcolo.

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 20 - Sezione geotecnica di calcolo

<i>Stratigrafia di calcolo</i>		C	Superficie piezometrica	γ	c'_k	ϕ'_k	E'	K_0
<i>Formazione</i>	<i>Profondità da p.c.</i>							
[-]	[m da pc]	[m]	[m] da calotta	[kN/m ³]	[kPa]	[°]	[MPa]	[-]
Unità 3	0-27	16	0	20	14	24	60	0.6
ORV	27 -			19	3	25	140	0.58

C = copertura (rispetto alla calotta)
 γ = peso per unità di volume
 c'_k = coesione drenata
 ϕ'_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 66 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.

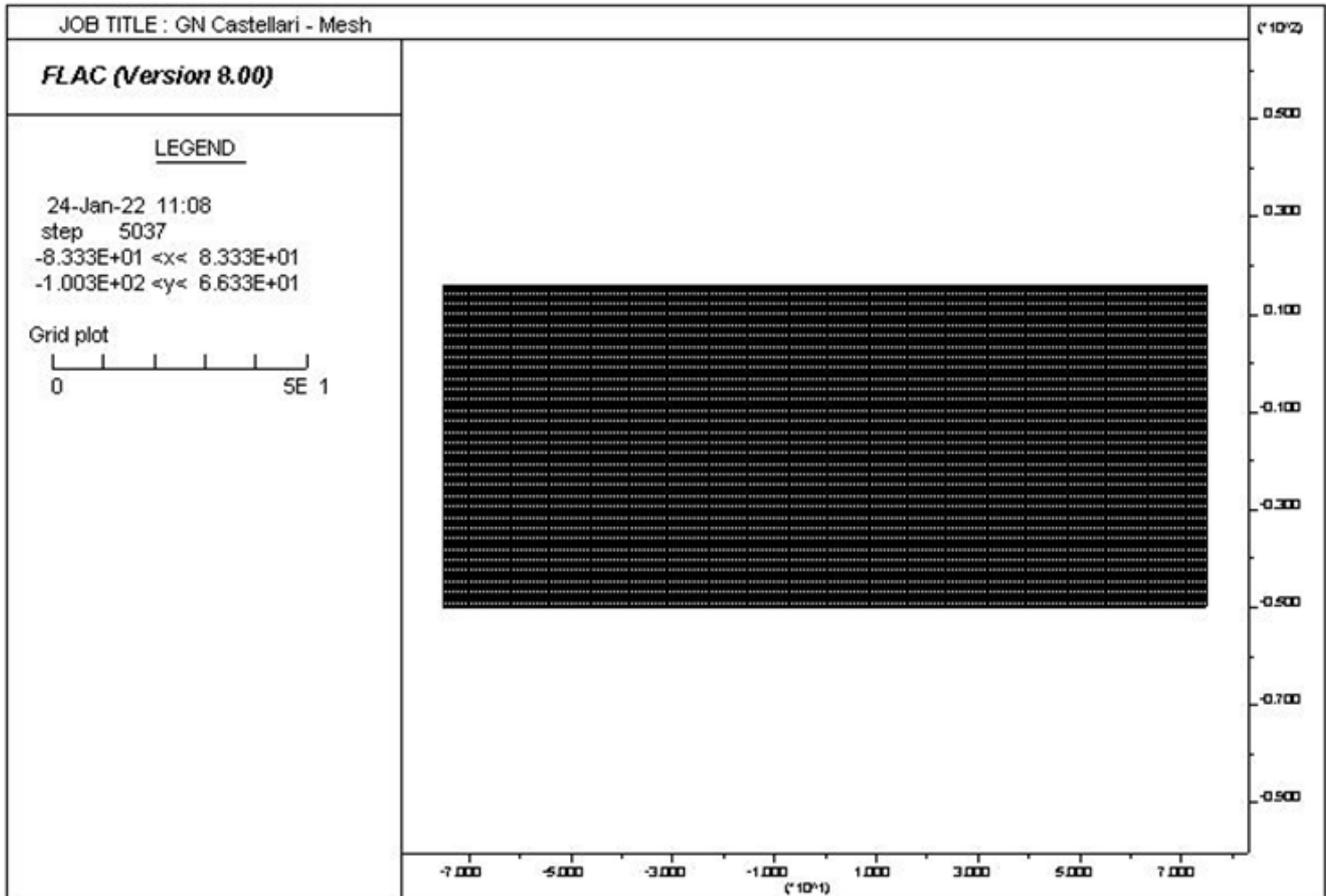


Figura 56 - Modello di calcolo - Geometria mesh

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 21 - Definizione delle caratteristiche del rivestimento della galleria

Caratteristiche conci dell'anello universale	
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 ⁴

Tabella 22 - Definizione delle caratteristiche della fresa scudata

Caratteristiche della fresa scudata	
Spessore scudo	3 cm
Intercapedine tra l'esterno dello scudo e l'estradosso del concio	10 cm
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 23- Fasi di analisi (valutazione della subsidenza)

Fase	Descrizione	Rilascio forze di scavo
0a	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 DESTRA		
3a	Pre-convergenza del fronte	0.39
4a	Installazione dell'anello universale	1.00
SCAVO CANNA SINISTRA		
5a	Pre-convergenza del fronte	0.39
6a	Installazione dell'anello universale	1.00
LUNGO TERMINE		
7a	Ripristino delle condizioni idrostatiche dell'acqua	-

Tabella 24- 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	-



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

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO GALLERIA
NATURALE CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	93 di 118

Fase	Descrizione	Rilascio forze di scavo
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	-



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

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO GALLERIA
NATURALE CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	94 di 118

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 3a

Viene simulato il rilascio a cavo libero del fronte della galleria destra. Il campo degli spostamenti mostra spostamenti verticali pari a circa 12 mm in calotta e 6 mm in arco rovescio, mentre gli spostamenti orizzontali in piedritto sono pari a circa 9 mm. La fascia plastica non presenta alcuna variazione.

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 15 mm mentre in arco rovescio è di circa 7.5 mm, mentre lo spostamento orizzontale ai piedritti è pari a circa 7 mm. La fascia plastica non subisce invece variazioni significative rispetto alla fase di analisi precedente.

FASE 5a

Viene simulato il rilascio a cavo libero del fronte della galleria sinistra. Il campo degli spostamenti mostra spostamenti verticali pari a circa 12.5 mm in calotta e 5 mm in arco rovescio, mentre gli spostamenti orizzontali in piedritto sono pari a circa 8 mm. Al contorno della galleria si sviluppa una fascia plastica di spessore di circa 2 m.

FASE 6a

Viene simulata l'installazione del rivestimento in conci della canna sinistra e uno scarico tensionale totale. Lo spostamento verticale in calotta è dell'ordine dei 15 mm mentre in arco rovescio è di circa 7.5 mm, mentre lo spostamento orizzontale ai piedritti è pari a circa 7 mm. La fascia plastica presenta un'estensione di 2.5 metri.

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 è dell'ordine dei 15 mm mentre in arco rovescio è di circa 10 mm, mentre lo spostamento orizzontale ai piedritti è pari a circa 7 mm. La fascia plastica non subisce invece variazioni significative rispetto alla fase di analisi precedente.



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

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO GALLERIA
NATURALE CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	95 di 118

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 ϕ 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.

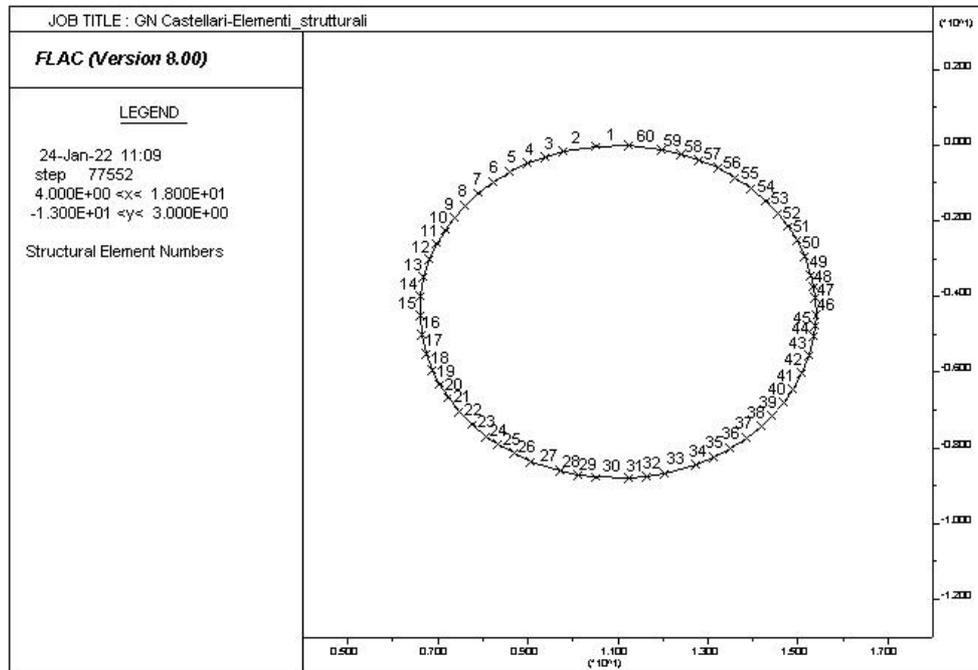


Figura 57 - Elementi liner canna destra

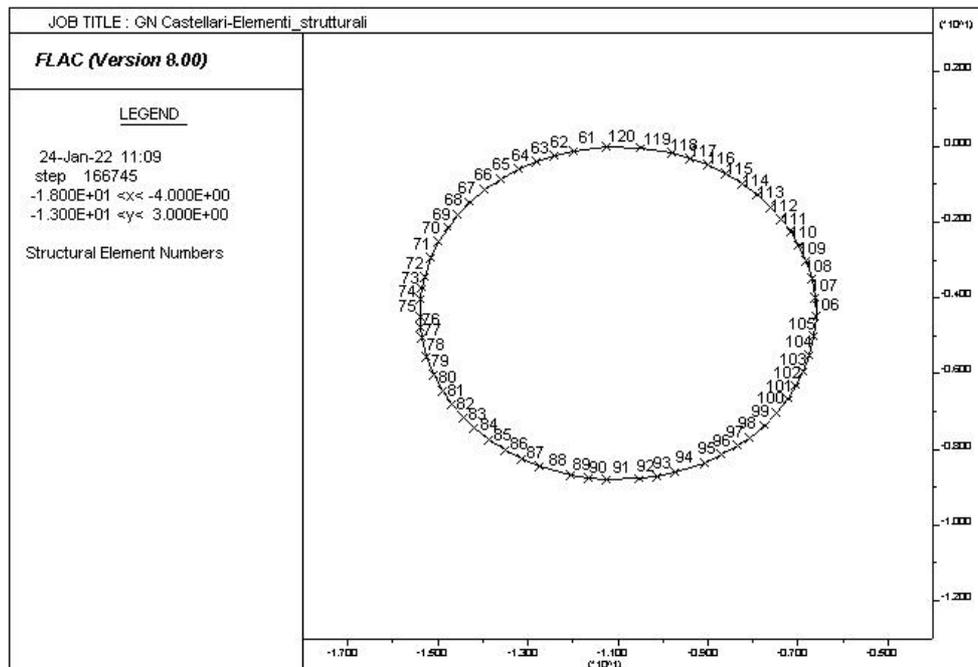


Figura 58 - Elementi liner canna sinistra

Tabella 25 - Sollecitazioni nel rivestimento della canna destra

Fase	Node	N	M	T	$\gamma_F \cdot 2b \cdot N$ [kN]	$\gamma_F \cdot 2b \cdot M$ [kNm]	$\gamma_F \cdot 2b \cdot T$ [kN]
		[kN/m]	[kNm/m]	[kN/m]			
11	1	1096	103.90	4.17	5129.28	486.25	19.50
	15	1489	-93.97	-6.95	6968.52	-439.78	-32.53
	30	1297	74.18	-4.74	6069.96	347.16	-22.19
	45	1504	-93.4	21.56	7038.72	-437.11	100.90

Tabella 26 - Sollecitazioni nel rivestimento della canna sinistra

Fase	Node	N	M	T	$\gamma_F \cdot 2b \cdot N$ [kN]	$\gamma_F \cdot 2b \cdot M$ [kNm]	$\gamma_F \cdot 2b \cdot T$ [kN]
		[kN/m]	[kNm/m]	[kN/m]			
11	120	1088	101.80	-4.65	5091.84	476.42	-21.74
	75	1486	-104.90	-12.84	6954.48	-490.93	-60.09
	90	1299	71.91	-14.00	6079.32	336.54	-65.52
	105	1498	-82.64	21.83	7010.64	-386.75	102.16

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

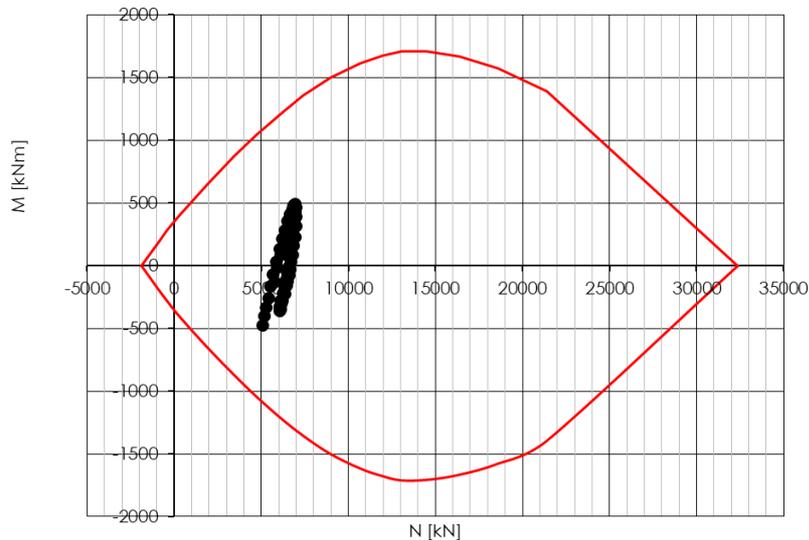


Figura 59 - Dominio resistente SLU canna DX (B=3.60 m, H=0.40 m) - Fase Lungo Termine (Step 11)

Verifica a taglio senza armatura specifica

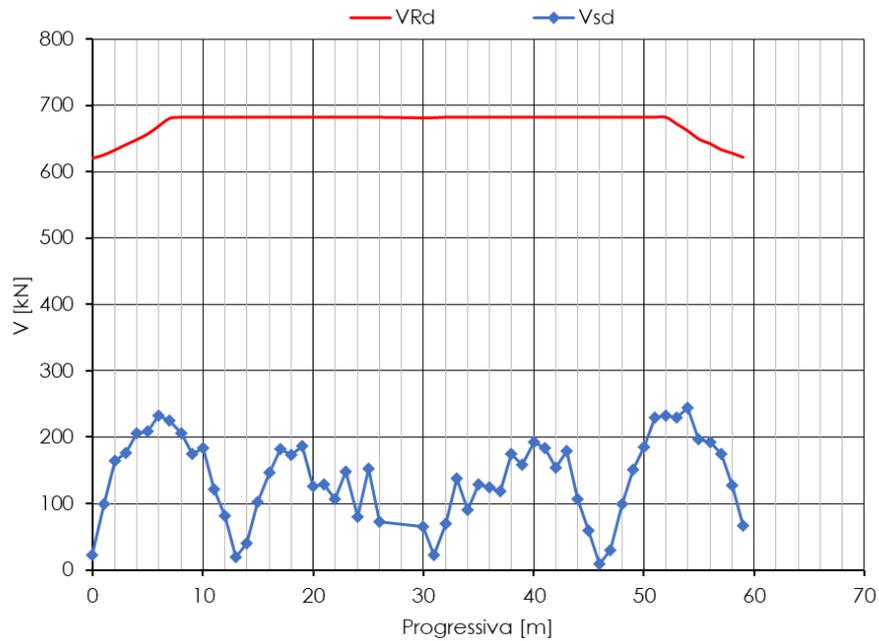


Figura 60 - Verifica SLU taglio canna DX (B=1.80 m, H=0.40 m) - Fase Lungo Termine (Step 11)

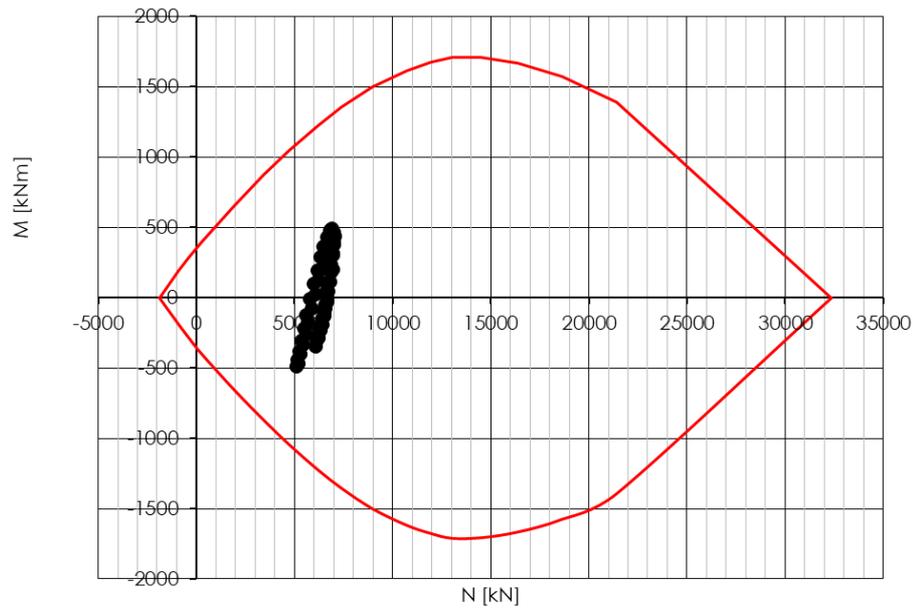


Figura 61 - Dominio resistente SLU canna SX (B=3.60 m, H=0.40 m) - Fase Lungo Termine (Step 11)

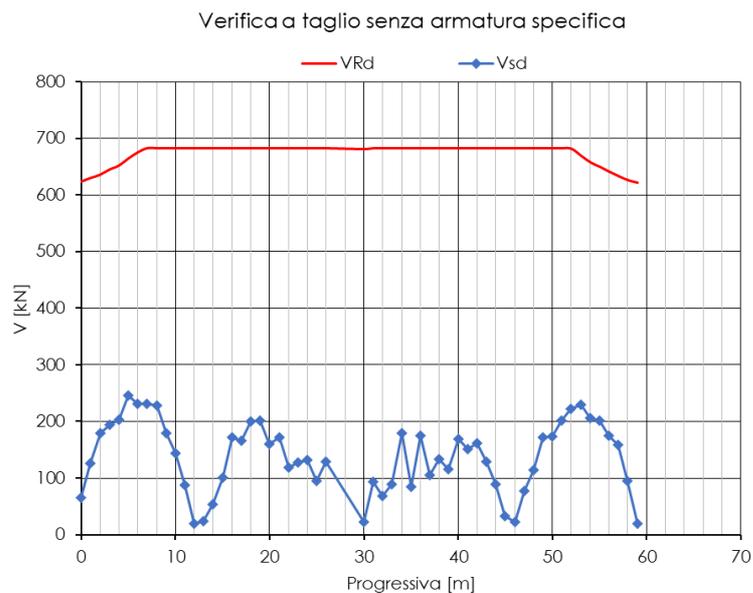


Figura 62 - Verifica SLU taglio canna SX (B=1.80 m, H=0.40 m) - Fase Lungo termine (Step 11)

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.

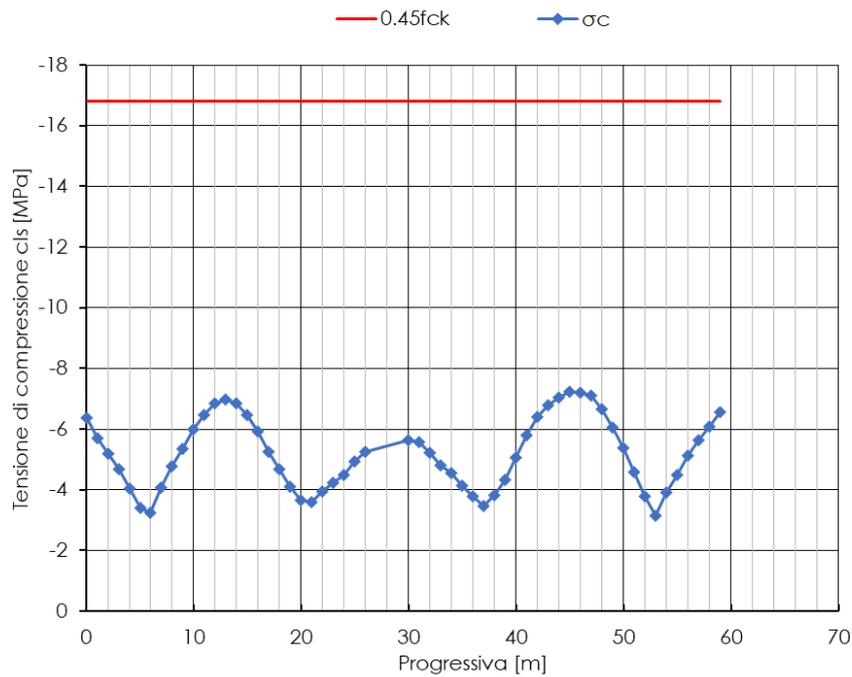


Figura 63 - Verifiche SLE tensione cls canna DX – Fase Lungo Termine (Step 11)

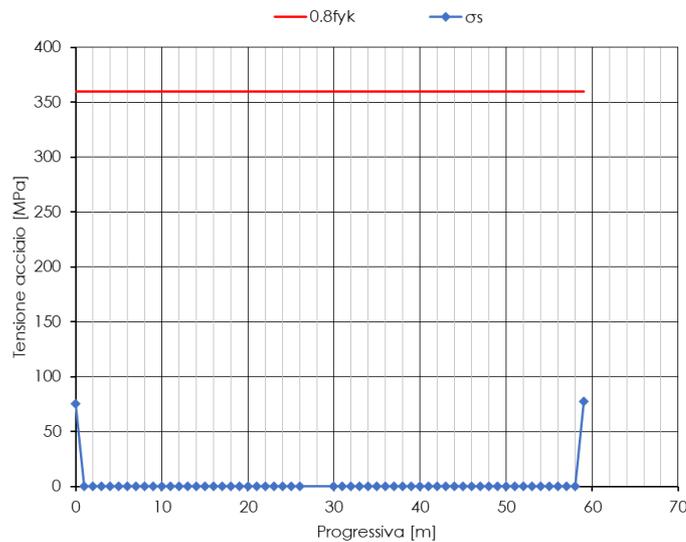


Figura 64 - Verifiche SLE tensione acciaio canna DX – Fase Lungo Termine (Step 11)

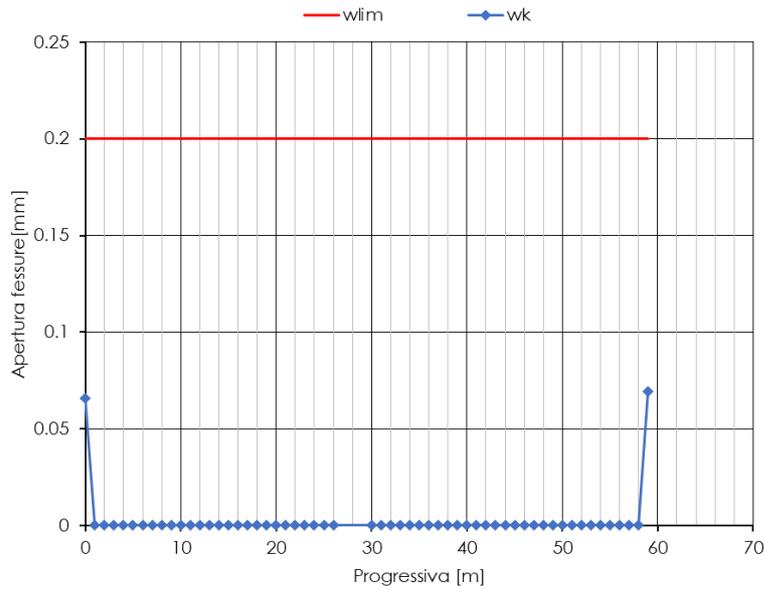


Figura 65 - Verifiche SLE fessurazione canna DX – Fase Lungo Termine (Step 11)

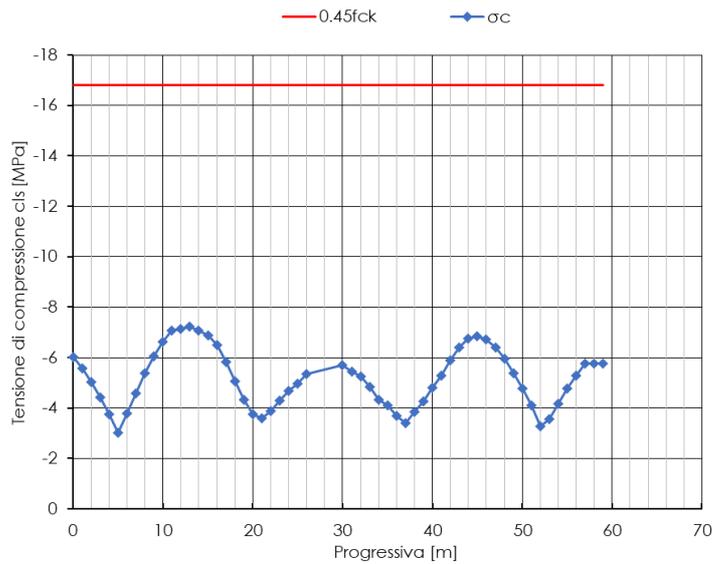


Figura 66 - Verifiche SLE tensione cls canna SX – Fase Lungo Termine (Step 11)

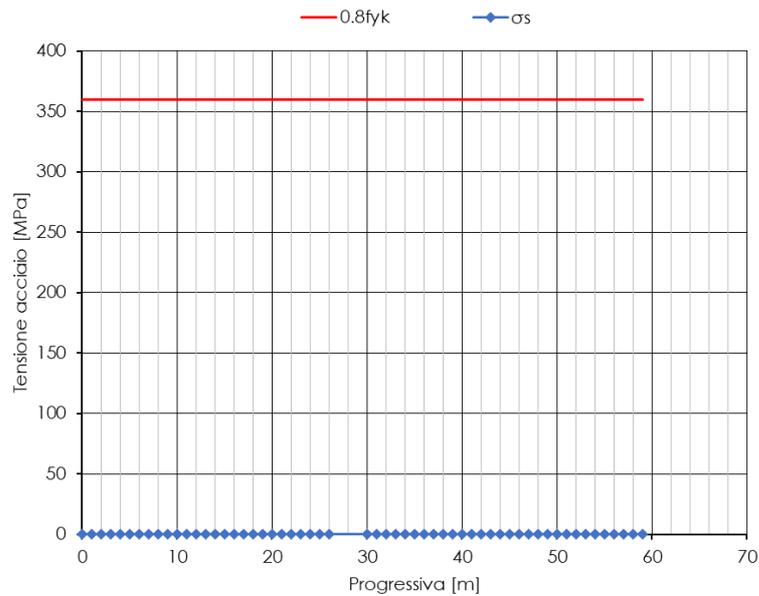


Figura 67 - Verifiche SLE tensione acciaio canna SX – Fase Lungo Termine (Step 11)

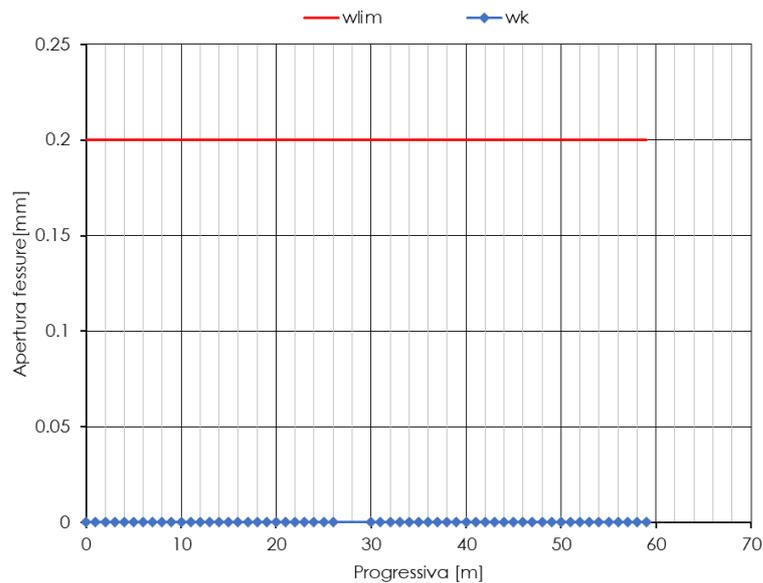


Figura 68 - Verifiche SLE fessurazione canna SX – Fase Lungo Termine (Step 11)

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]	0.1812
PGV/PGA	PGV/amax	[cm/s/g]	66080
riduzione	rid	[-]	0.8
peak ground velocity	PGV	[m/s]	119.7372
vel app. propagazione onde taglio	Cm	[m/s]	237.90
max deformazione taglio_TAO max	γ_{max}	[-]	0.000402
Accelerazione di progetto	ag	[g]	0.151
Amplificazione classe di suolo	S_c	-	1.2
Amplificazione topografica	S_T	-	1
Periodo T_c	T_c	[s]	421
max deformazione taglio	γ_{max}	[-]	0.402648
τ_{max} sisma	τ_{max}	[kPa]	46.39
Gmax da Vs	Gmax	[-]	115385

Figura 69 – parametri sismici

Nel seguito si riportano gli incrementi di sollecitazioni sismiche stimate con la formulazione di Wang (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** e **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**) nelle due ipotesi di scorrimento libero e perfetta aderenza all'interfaccia terreno-rivestimento (nel caso di momento flettente esse coincidono):

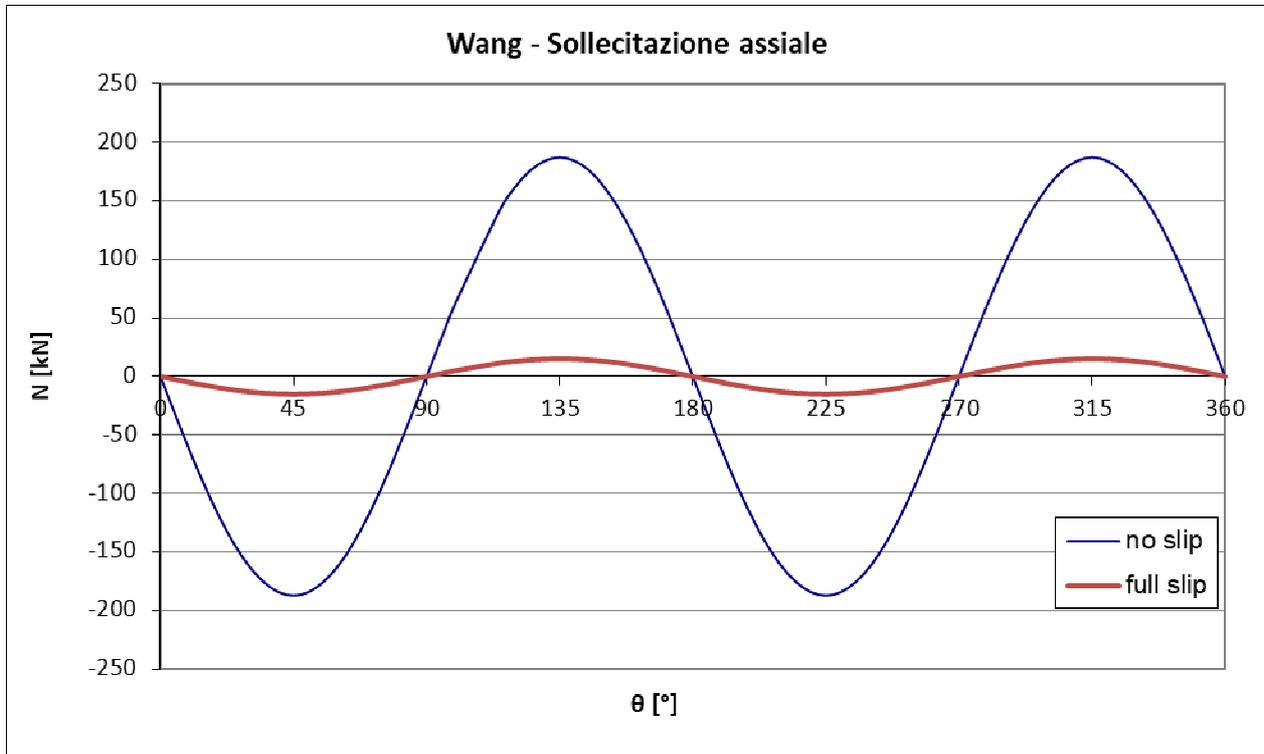


Figura 70 - Analisi sismica pseudo-statica in forma chiusa – incrementi di sforzo assiale

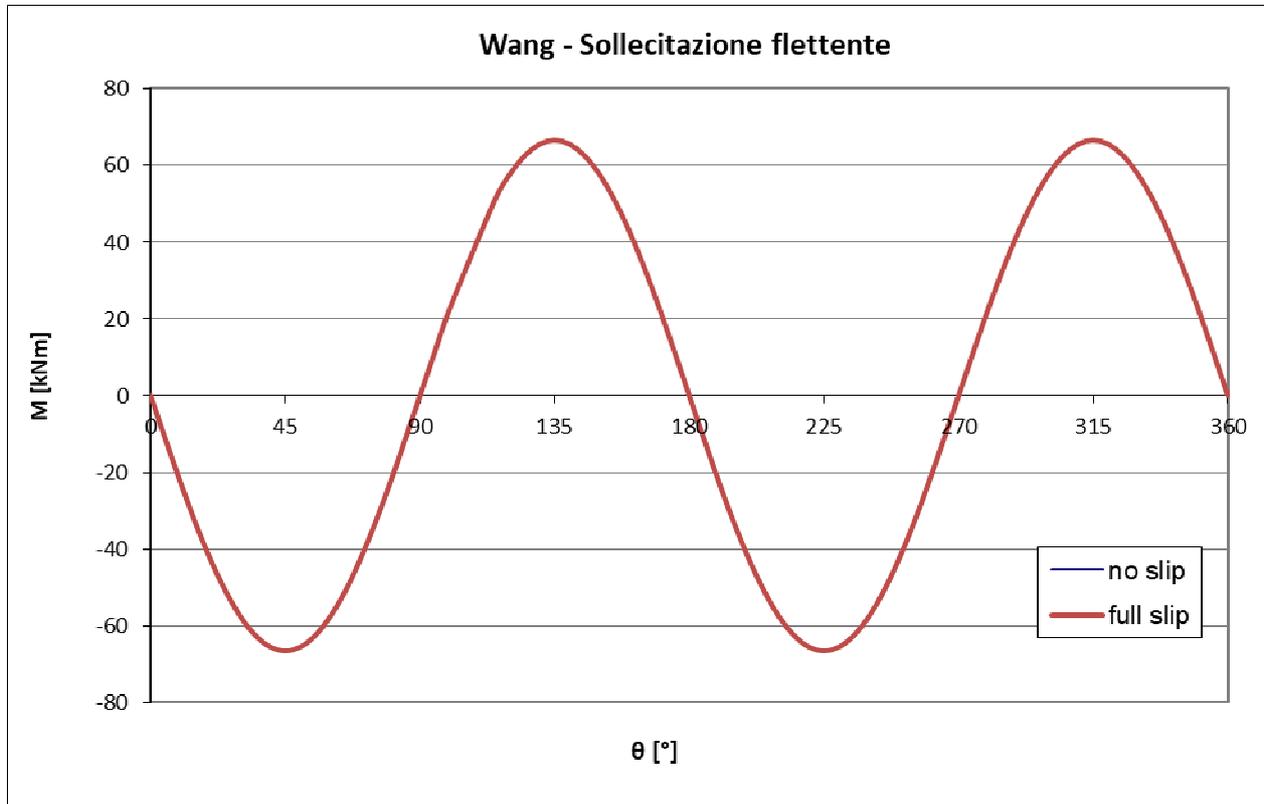


Figura 71 - Analisi sismica pseudo-statica in forma chiusa – incrementi di momento flettente

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):

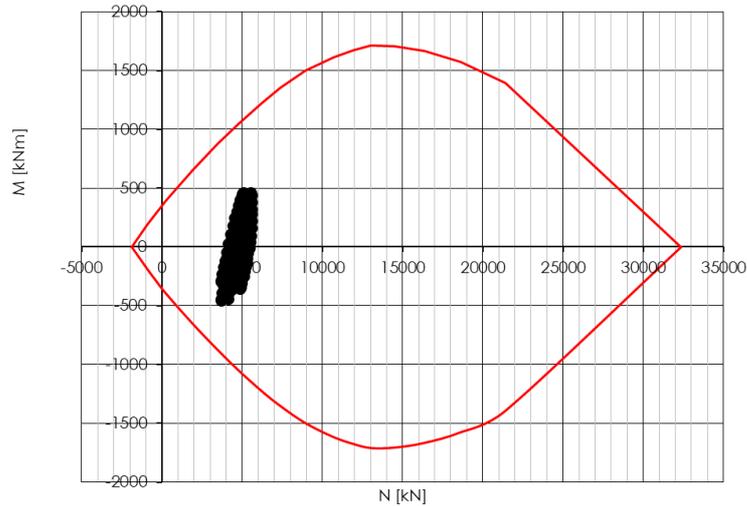


Figura 72- Dominio di resistenza M-N canna DX

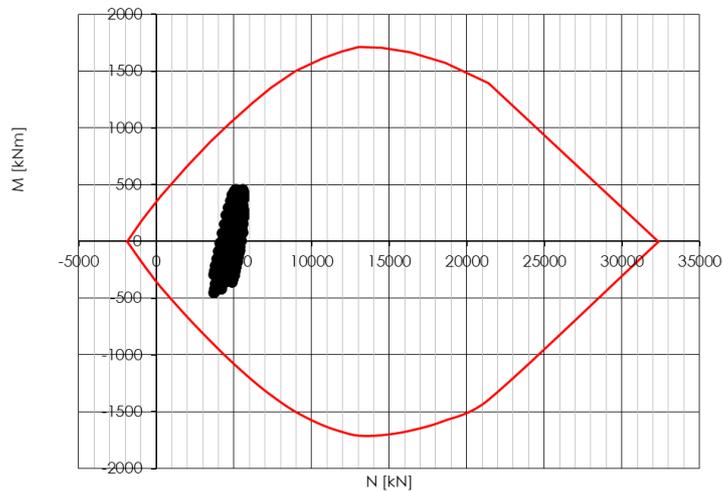


Figura 73- Dominio di resistenza M-N canna SX

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 $F_{rdu} < F_{max}$.

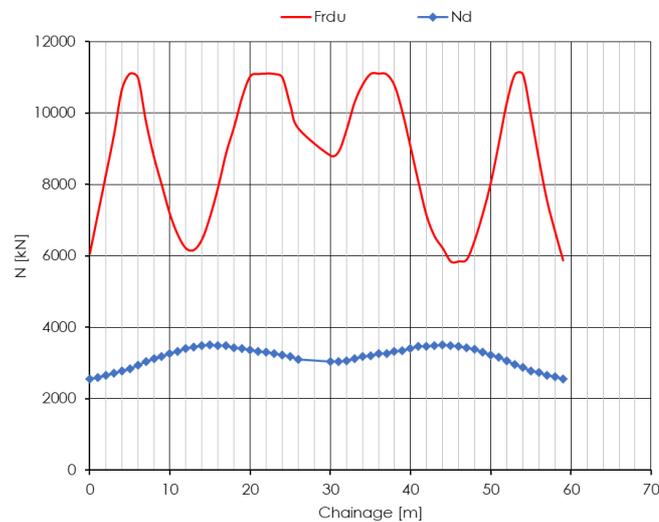


Figura 74. Canna DX– Fase LT – Step 11 - Verifica delle pressioni di contatto “difetto” intradosso

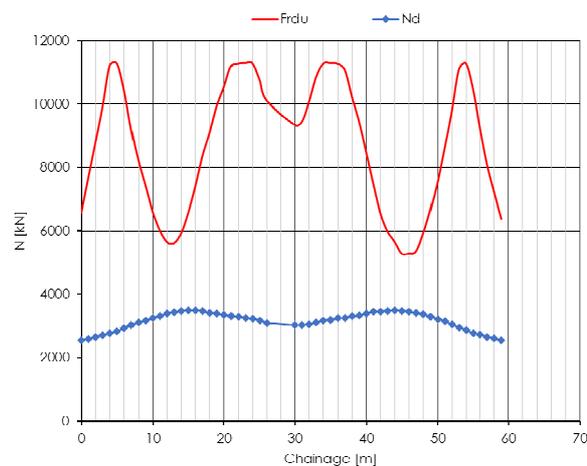


Figura 75. Canna DX – Fase LT – Step 11 - Verifica delle pressioni di contatto “difetto” estradosso

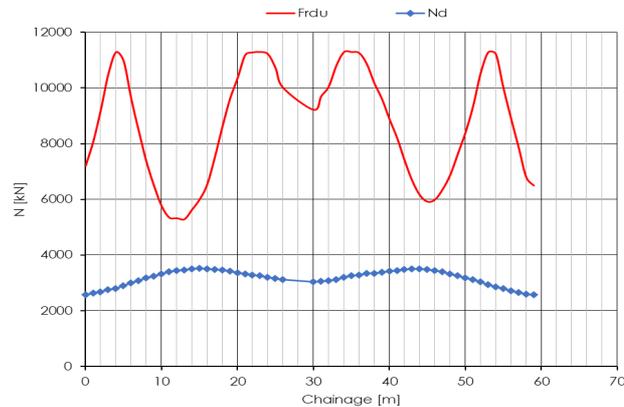


Figura 76. Canna SX – Fase LT – Step 11 - Verifica delle pressioni di contatto “difetto” intradosso

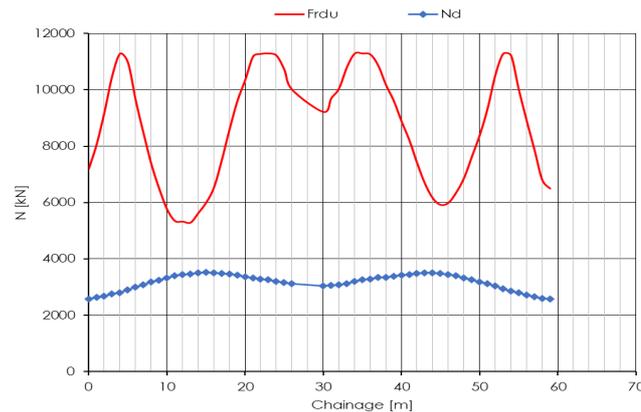


Figura 77. Canna SX – Fase LT – Step 11 - Verifica delle pressioni di contatto “difetto” estradosso

Di seguito si riporta in forma anche l’esito delle stesse verifiche in condizioni sismiche nella sezione e nella combinazione più gravosa.

Tabella 27 – Canna DX – Fase sisma– Step 11 - Verifica delle pressioni di contatto

Sez	NSLE	MSLE	M _{joint}	Eccentr	b ₁	d ₁	A _{c0}	b ₂	d ₂	A _{c1}	N _{SLU}	F _{rdu}	F _{max}
	[kN]	[kNm]	[kNm]	[mm]	[mm]	[mm]	[m ²]	[mm]	[mm]	[m ²]	[kN]	kN	kN
11	1966	-176	-295	-121	46	1652	0.076	139	1745	0.242	2555	2879	4853

Tabella 28 – Canna SX – Fase sisma – Step 11 - Verifica delle pressioni di contatto

Sez	NSLE	MSLE	M _{joint}	Eccentr	b ₁	d ₁	A _{c0}	b ₂	d ₂	A _{c1}	N _{SLU}	F _{rdu}	F _{max}
	[kN]	[kNm]	[kNm]	[mm]	[mm]	[mm]	[m ²]	[mm]	[mm]	[m ²]	[kN]	kN	kN
43	1971	-176	-296	-121	46	1652	0.077	139	1745	0.243	2563	2894	4876

Stabilità del fronte

La stabilità del fronte per la sezione in esame è stata analizzata con il Anagnostu e Kovari 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 adottando il metodo di Anagnostou e Kovari sono riassunti in tabella:

H [m]	γ [kN/m ³]	c'_k [MPa]	ϕ'_k [°]	h_0 [m]	$\Delta h=h_0-h_F$ [m]	γ_{M2} ($\tan \phi'_k$)	γ_{M2} (c'_k)
16	18.5	14	24	10	10	1.25	1.25

Tabella 29: Parametri di input per l'analisi di Anagnostou e Kovari

I risultati vengono presentati di seguito:

Unità	Progressiva [km]	F ₀	F ₁	F ₂	F ₃	s'_d [kPa]
Unità 3	76+049	0.46	3.21	0.64	0.03	60

Tabella 30: Coefficienti adimensionali per sezione 9

Dai risultati ottenuti si ottiene che per garantire la stabilità del fronte è necessario applicare una pressione pari a 60 kPa, valore compatibile con le prestazioni della macchina adottata per lo scavo. Per la tratta a basse coperture nei terreni alluvionali sarà necessario prevedere lo scavo in modalità chiusa con pressione al fronte.

10.3.5 Spinte per l'avanzamento della TBM

Spinta in condizioni ordinarie

La spinta della macchina in condizioni ordinarie è stata calcolata sulla base dei carichi ottenuti sullo scudo dalle analisi di diagnosi ad alte coperture (sezione 2) all'interno della formazione PDN. . 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



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

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO GALLERIA
NATURALE CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	110 di 118

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:

μ è il coefficiente di attrito metallo/terreno

R è il raggio di scavo

L è la lunghezza dello scudo

σ_{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 μ , per il quale, nel caso di scavo in roccia, possono assumersi valori in un range compreso tra 0,25 e 0,30. 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 0,30.

- 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 la pressione al fronte.

- forza necessaria allo scavo:

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

dove:

n° 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/m²

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 34591 kN (con riferimento, come detto, ad un coefficiente di attrito pari a 0.30).

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 μ pari a 0.45.

Si ottiene in tali condizioni una spinta necessaria per lo sbloccaggio della macchina pari a 41730 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 31. Dati geometrici e carichi spinta ordinaria

Numero piastre di spinta:	n_{piastre} :	21	
Numero di piaste di spinta su ogni concio:	n_c :	3	
Spinta totale della macchina:	S_T :	34591	kN
Spinta di progetto su ogni piastra:	S_M :	1977	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 32. Dati geometrici e carichi spinta di sbloccaggio

Numero piastre di spinta:	n_{piastre} :	21	
Numero di piaste di spinta su ogni concio:	n_c :	3	
Spinta totale della macchina:	S_T :	41730	kN
Spinta di progetto su ogni piastra:	S_M :	1987	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.

Per quanto riguarda il coefficiente parziale per la resistenza del calcestruzzo γ_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:

$$N = 2372.4 \text{ kN}$$

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

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

Condizioni di sblocco

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

dove:

$$N = 1987 \text{ kN}$$

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

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

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 concii in fase di scassero

Scasseratura e prima movimentazione

Nella fase di scasseratura i concii 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/m². 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:

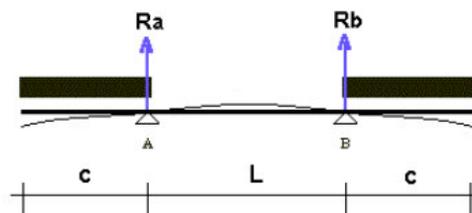


Figura 78 Fase di scasseratura - Schema statico

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

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

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

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



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

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO GALLERIA
NATURALE CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	114 di 118

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

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

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

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 TECNICA E DI CALCOLO GALLERIA
NATURALE CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	115 di 118

10.4 Azioni di mitigazione dei potenziali rischi

Sono di seguito descritte le principali criticità, legate al contesto geologico, idrogeologico, geotecnico e ambientale, che potrebbero avere ripercussioni sulla fase realizzativa della galleria, e le conseguenti azioni di mitigazione previste in progetto

Instabilità del fronte e del cavo

Tale rischio è presente nelle tratte a bassa copertura nei depositi alluvionali. In queste tratte si prevede l'avanzamento in modalità EPB, 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.

Corsi d'acqua

La galleria Castellari sotto-attraversa 5 corsi d'acqua, con una copertura minima di circa 11 m nel caso del torrente Nimbalto. In tali casi lo scavo sarà eseguito in modalità EPB che consente, nel caso di terreni con permeabilità elevata, di controbilanciare la pressione dell'acqua. Nello specifico, i battenti idraulici in corrispondenza del sottoattraversamento dei corsi d'acqua sono compatibili con le pressioni che la macchina riesce ad esercitare in modalità EPB.

Rischio cavità carsiche

Tale rischio è presente all'interno della formazione SPM.

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,



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

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO GALLERIA
NATURALE CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	116 di 118

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.

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 le Dolomie di San Piero a Monti 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.

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.

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 TECNICA E DI CALCOLO GALLERIA
NATURALE CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	118 di 118

12 CONCLUSIONI

Nella presente relazione sono state affrontate le problematiche progettuali connesse alla realizzazione della galleria Castellari 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, 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 CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

ALLEGATO 1

TITOLO	Analisi con il metodo delle linee caratteristiche
TIPO DI DOCUMENTO:	Documento - Formato A4
CODIFICA:	-
PAGINE:	66
DATA:	-
SORGENTE:	-
NOTE:	-

INDICE

1	SEZIONE 1	4
1.1	FASE DI DIAGNOSI	4
2	SEZIONE 2	8
2.1	FASE DI DIAGNOSI	8
2.2	FASE DI TERAPIA.....	11
2.2.1	ANALISI A1+M1+R1.....	12
3	SEZIONE 3	18
3.1	FASE DI DIAGNOSI	18
3.2	FASE DI TERAPIA.....	22
3.2.1	ANALISI A1+M1+R1.....	22
4	SEZIONE 4	28
4.1	FASE DI DIAGNOSI	28
5	SEZIONE 5	32
5.1	FASE DI DIAGNOSI	32
6	SEZIONE 6	36
6.1	FASE DI DIAGNOSI	36
6.1.1	ANALISI A1+M1+R1.....	40
7	SEZIONE 7	46
7.1	FASE DI DIAGNOSI	46
8	SEZIONE 8	50
8.1	FASE DI DIAGNOSI	50
8.2	FASE DI TERAPIA.....	54
8.2.1	ANALISI A1+M1+R1.....	54
8.2.2	ANALISI A2+M2+R2.....	60
9	ANALISI PER L'INDIVIDUAZIONE DELLE FORZE DI SCAVO.....	65



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

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 01 00 001	A	2

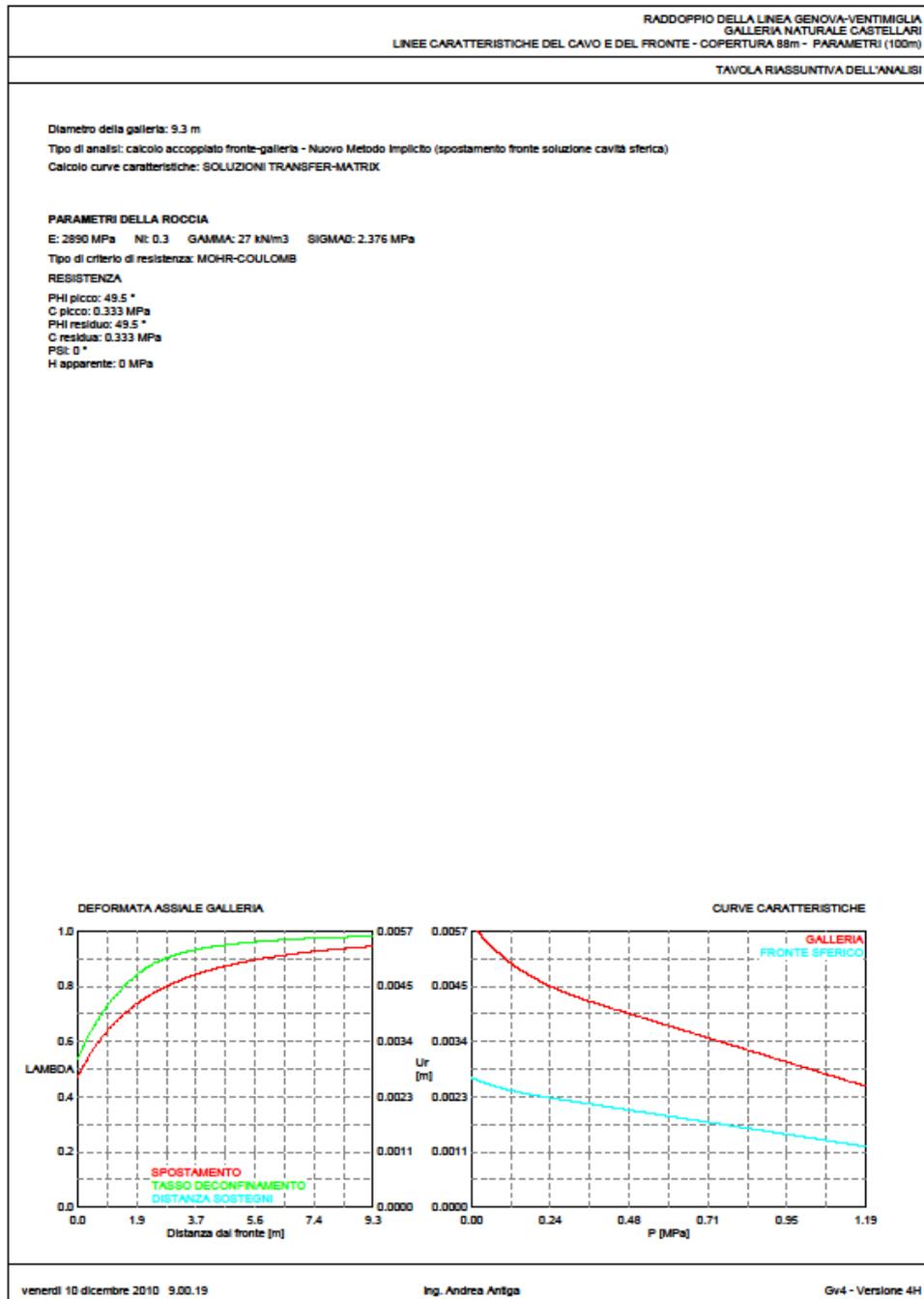


Figura 2 – Tavola Riassuntiva

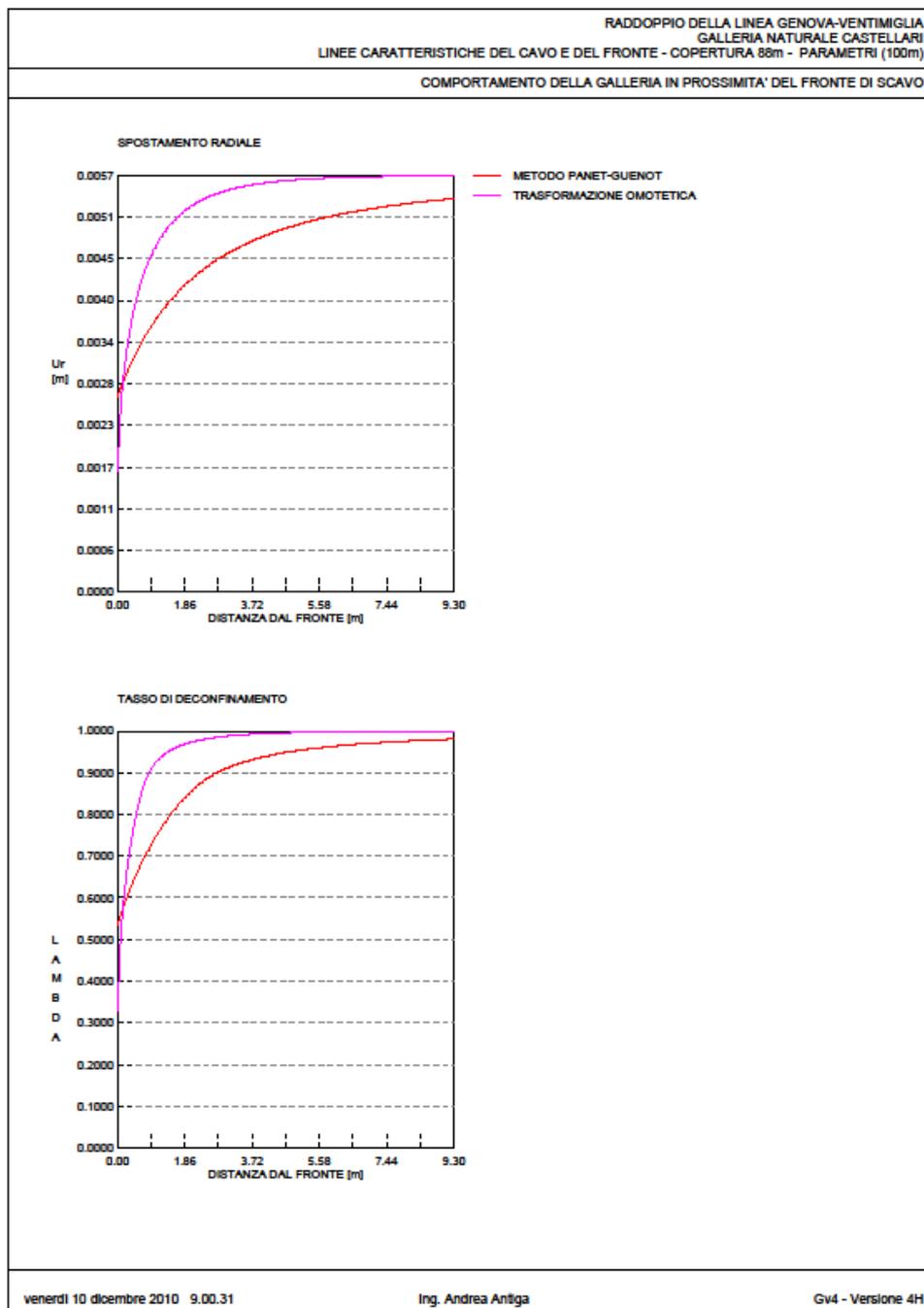


Figura 3 – deformata longitudinale

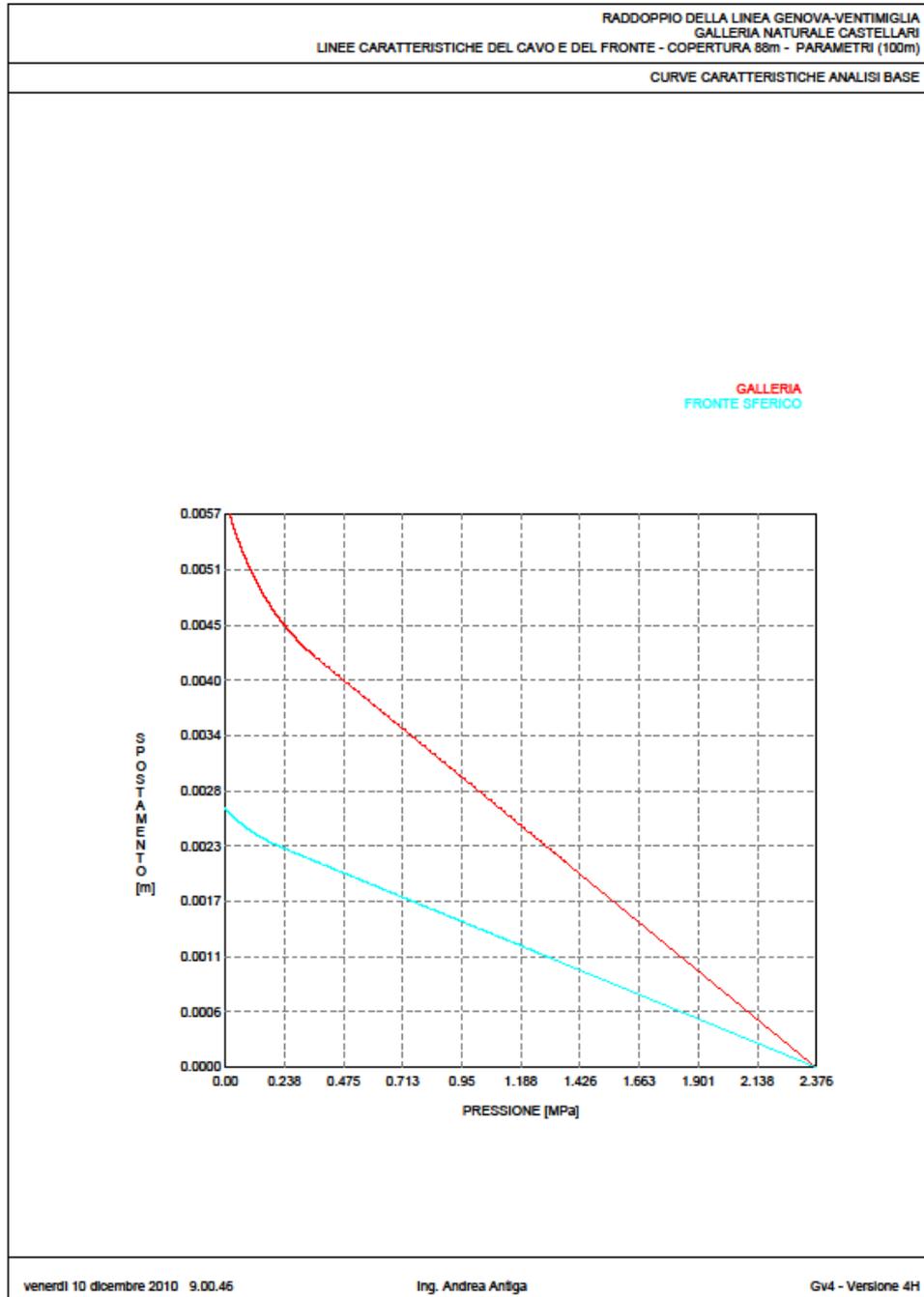


Figura 4 – curve caratteristiche

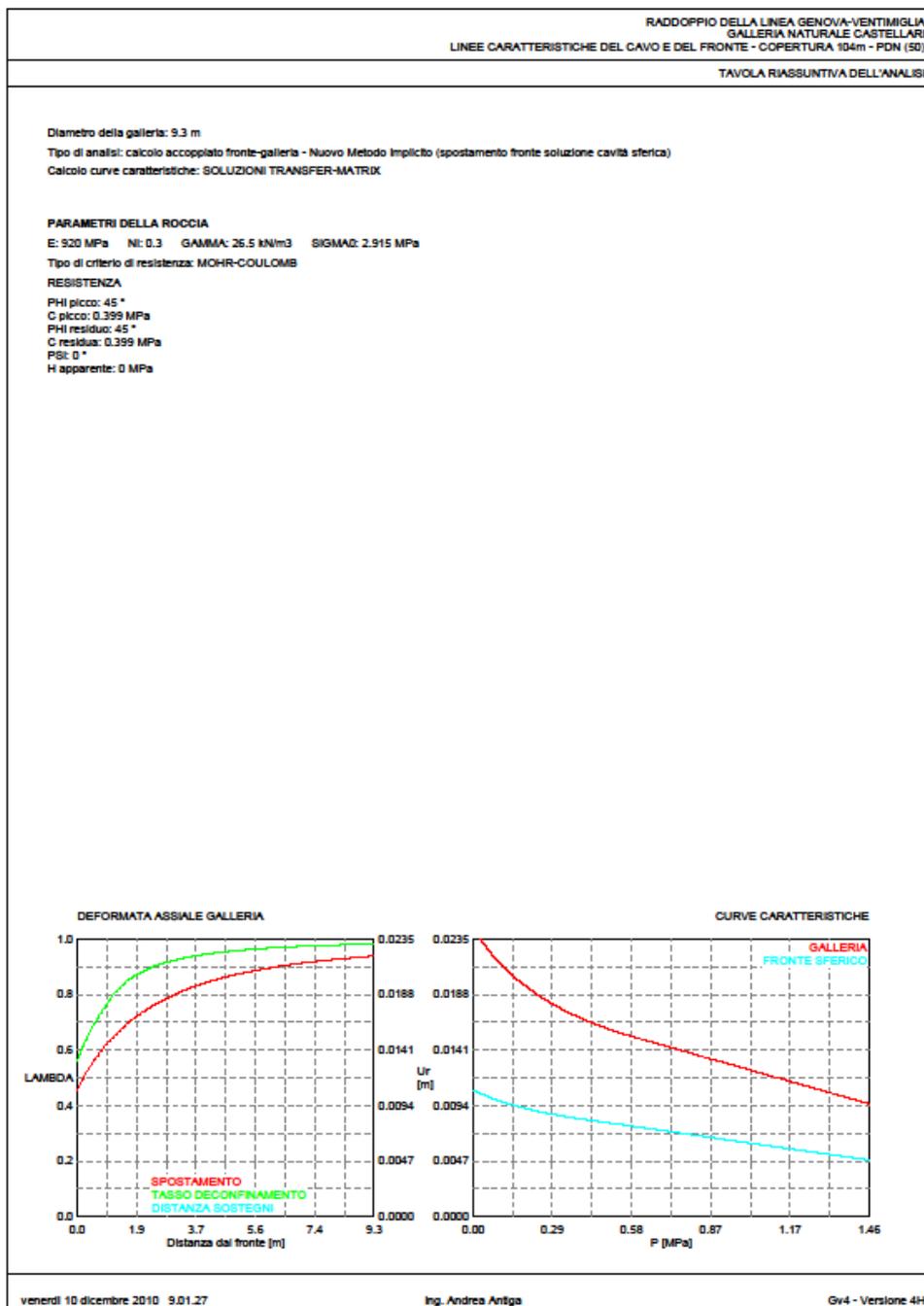


Figura 6– Tavola Riassuntiva

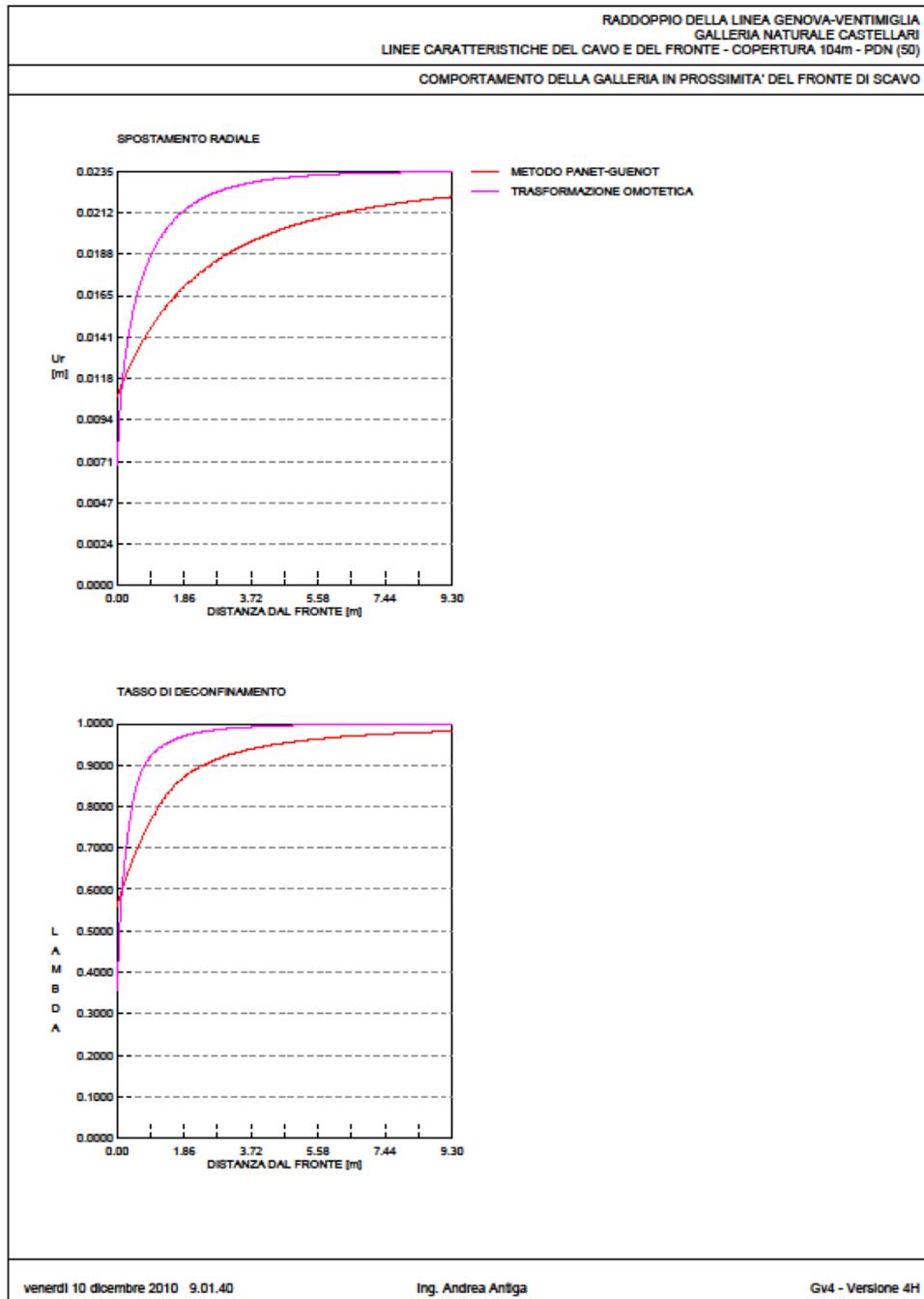


Figura 7 – deformata longitudinale

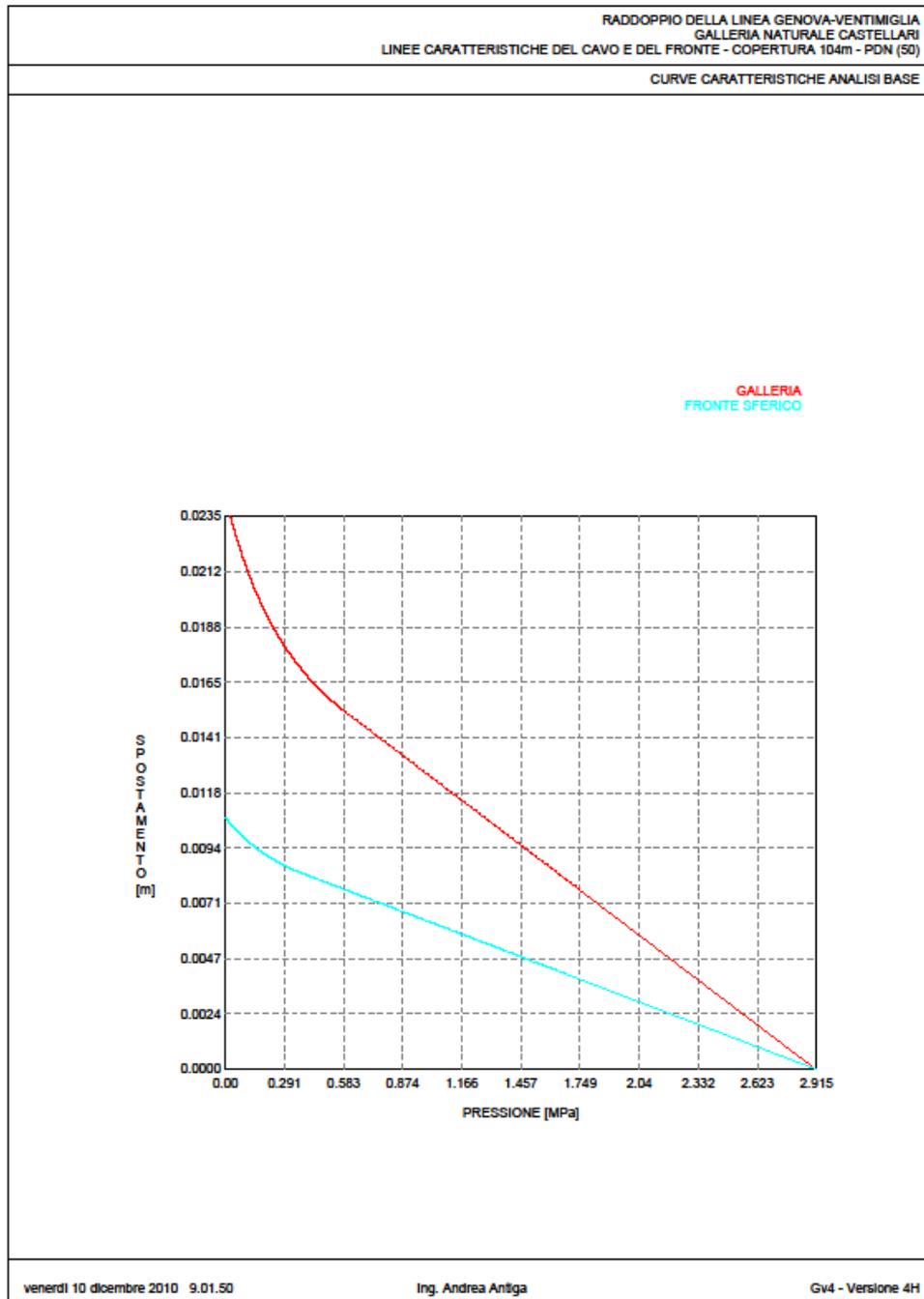


Figura 8 – curve caratteristiche

2.2.1 ANALISI AI+MI+RI

```

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

VERSIONE 4 (2003)

RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA
 GALLERIA NATURALE CASTELLARI
 LINEE CARATTERISTICHE DEL CAVO E DEL FRONTE - COPERTURA 104m - PDN (100)

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOCCIATO 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] 2.91500
 Modulo di Young [MPa] 920.00000
 Coefficiente di Poisson30000
 Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] . 26.50000
 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]39900
 Angolo attrito picco [°] 45.00000
 Coesione residua [MPa]39900
 Angolo attrito residuo [MPa] 45.00000
 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]00000
 Pressione sul fronte di scavo [MPa]00000
 Coefficiente di Poisson acciaio scudo30000
 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 CLS20000
 Resistenza compressione CLS [MPa] 15.75000
 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]025227
 Spostamento radiale galleria [m]023506
 Raggio plastico galleria [m] 5.601953
 Press. fine calcolo fronte sferico [MPa]000000
 Spostamento radiale fronte sferico [m]010695
 Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m]005248
 Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m]006817
 Raggio plastico fronte sferico [m] 4.993774

STATO GALLERIA AL FRONTE DI SCAVO (PER FRESA SCUDATA) -----

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
 GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IVOI	00	D 07 CL	GN 01 00 001	A	2

```

Metodo Panet-Guenot
  U [m] : .01070
  LAMBDA : .56058

Trasformazione Omotetica
  U [m] : .00682
  LAMBDA : .35729

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica
  U [m] : .01070
  LAMBDA : .56058

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns
  U [m] : .00525
  LAMBDA : .27507

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica
  U [m] : .00682
  LAMBDA : .35729

STATO GALLERIA ALLA MESSA IN OPERA DEL RIVESTIMENTO -----

Metodo Panet-Guenot
  U [m] : .02175
  LAMBDA : .97750

Trasformazione Omotetica
  U [m] : .02344
  LAMBDA : .99927

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica
  U [m] : .02174
  LAMBDA : .97736

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns
  U [m] : .02108
  LAMBDA : .96743

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica
  U [m] : .02127
  LAMBDA : .97029
  
```

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] ..... .025227
Spot. radiale galleria fine calcolo [m] ..... .023506
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] ..... 5.601953

PRESA SCUDATA -----
Raggio plastico al punto di equilibrio [m] ..... 4.65000
Pressione al punto di equilibrio [MPa] ..... .87041
Spostamento al punto di equilibrio [m] ..... .01338
Convergenza radiale scudo [m] ..... .00269
Tensione scudo [MPa] ..... 128.16292
Coefficiente di sicurezza scudo ..... 2.04349
Pressione rottura scudo [MPa] ..... 1.68423
Rigidezza scudo [MPa] ..... 1426.46768

RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) -----
Raggio plastico punto di equilibrio [m] ..... 4.65000
Pressione punto di equilibrio [MPa] ..... .72022
Spostamento punto di equilibrio [MPa] ..... .01437
Spostamento galleria alla messa in opera [m] ..... .01338
Convergenza radiale rivestimento [m] ..... .00098
Tensione CLS [MPa] ..... 8.56922
Coefficiente di sicurezza CLS ..... 1.83797
Pressione rottura CLS [MPa] ..... 1.32375
Rigidezza anello CLS [MPa] ..... 3333.66955
Tasso di deconfinamento alla messa in opera ..... .977358
  
```

Figura 9– output di calcolo

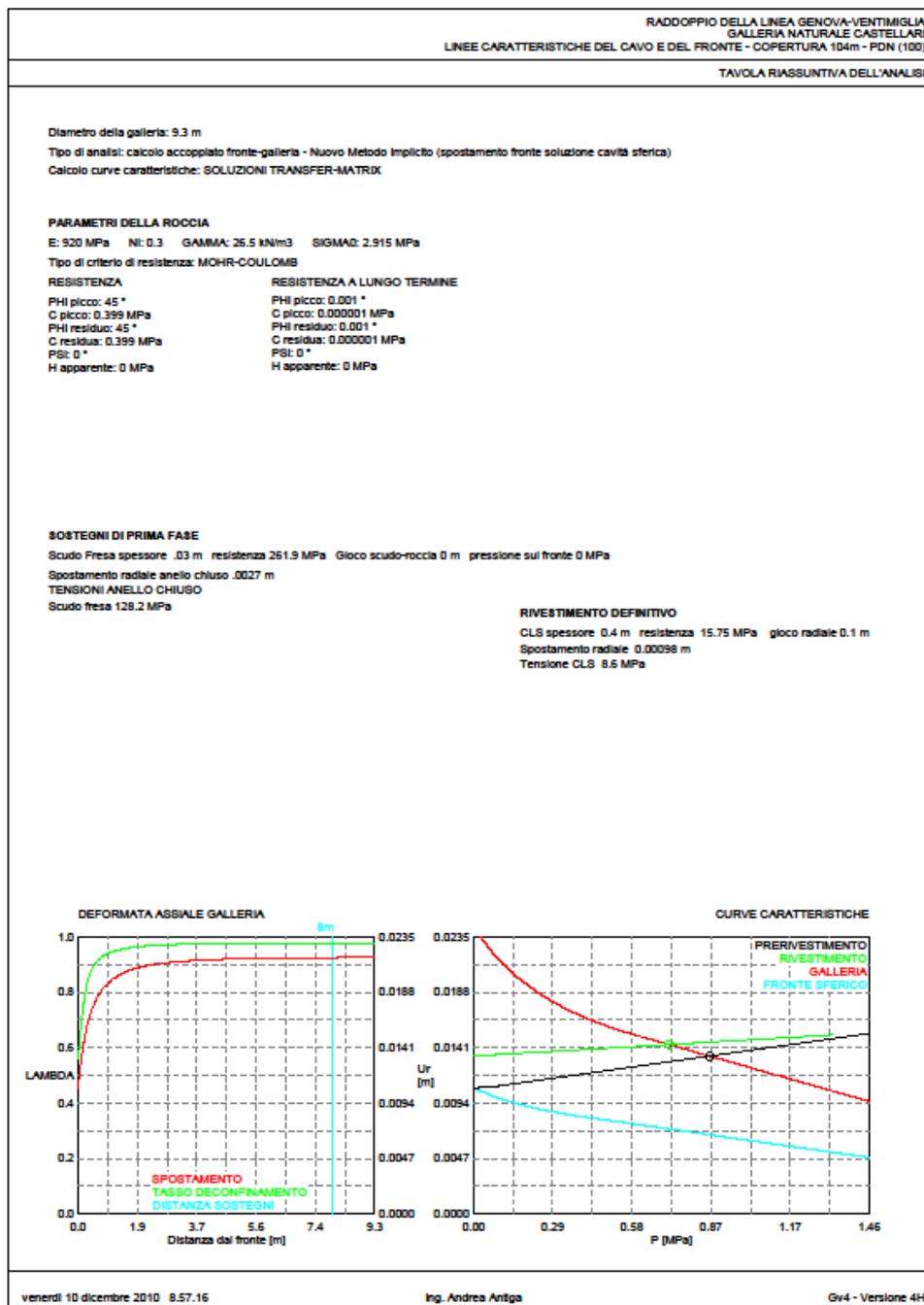


Figura 10– Tavola Riassuntiva



Figura 11 – Risultati Sostegni

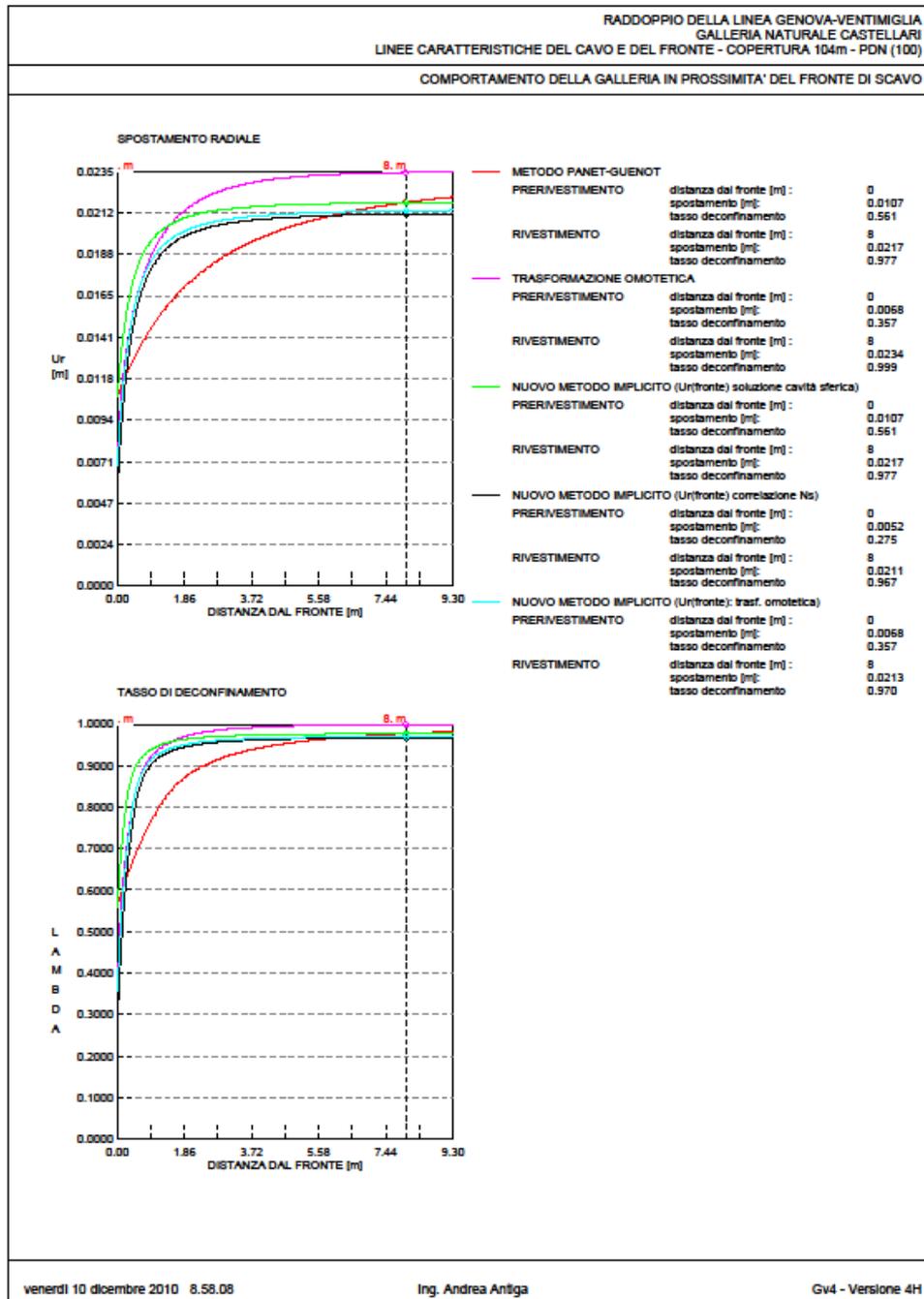


Figura 12 – Deformata Longitudinale

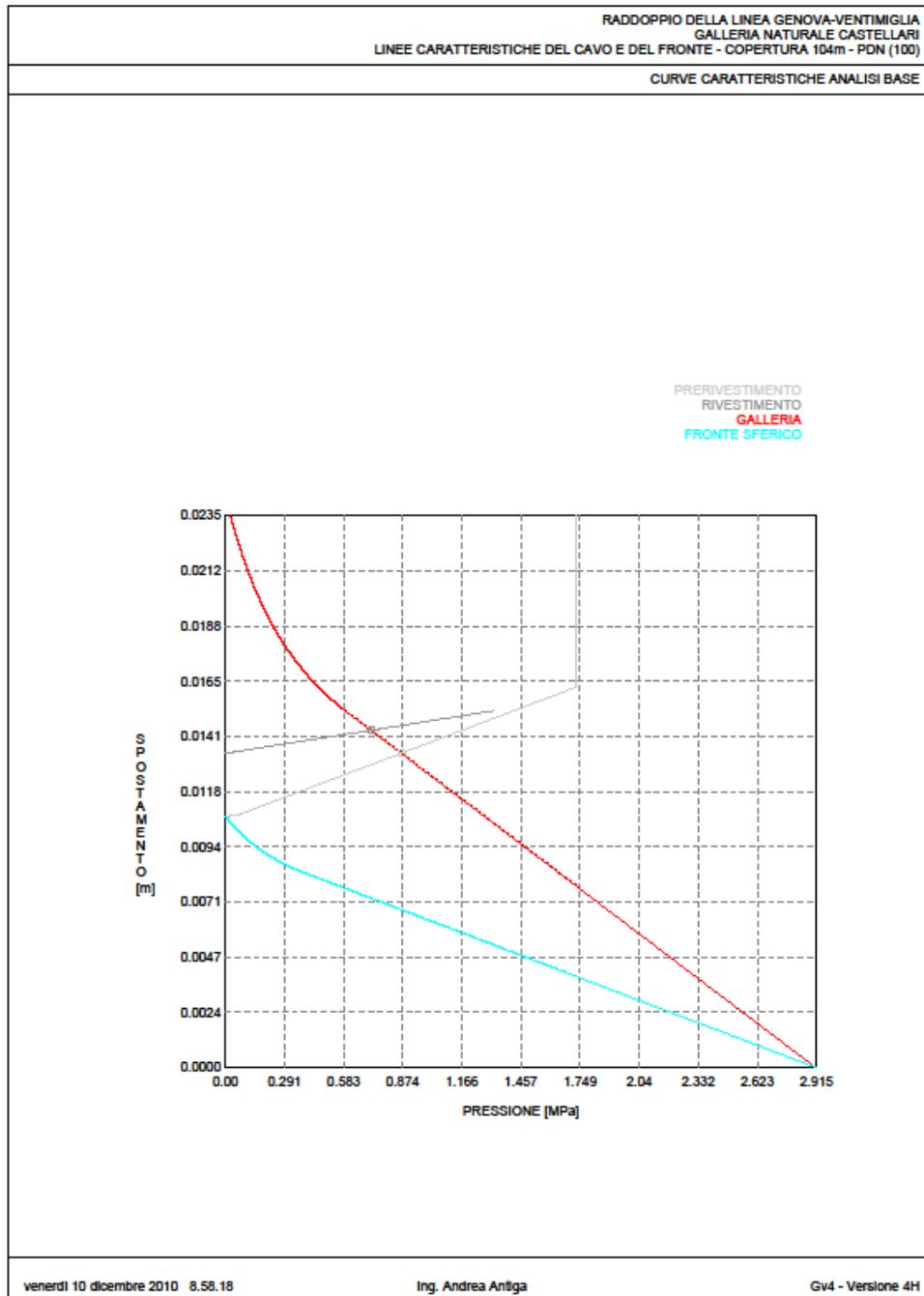


Figura 13 – Curve Caratteristiche

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 38m - PEN (50)

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOCCIATO FRONTE-GALLERIA
VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 3
1 -> metodo Panet-Guesnot (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] ..... 1.13900
Modulo di Young [MPa] ..... 340.00000
Coefficiente di Poisson ..... 0.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] ..... 26.50000
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] ..... 0.17100
Angolo attrito picco [°] ..... 43.00000
Coesione residua [MPa] ..... 0.17100
Angolo attrito residuo [MPa] ..... 43.00000
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] ..... 0.026748
Spostamento radiale galleria [m] ..... 0.024960
Raggio plastico galleria [m] ..... 5.659352
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] ..... 0.00000
Spostamento radiale fronte sferico [m] ..... 0.011302
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] ..... 0.005776
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ..... 0.007239
Raggio plastico fronte sferico [m] ..... 5.007344

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] ..... 0.026748
Spost. radiale galleria fine calcolo [m] ..... 0.024960
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] ..... 5.659352
    
```

Figura 14 – output di calcolo

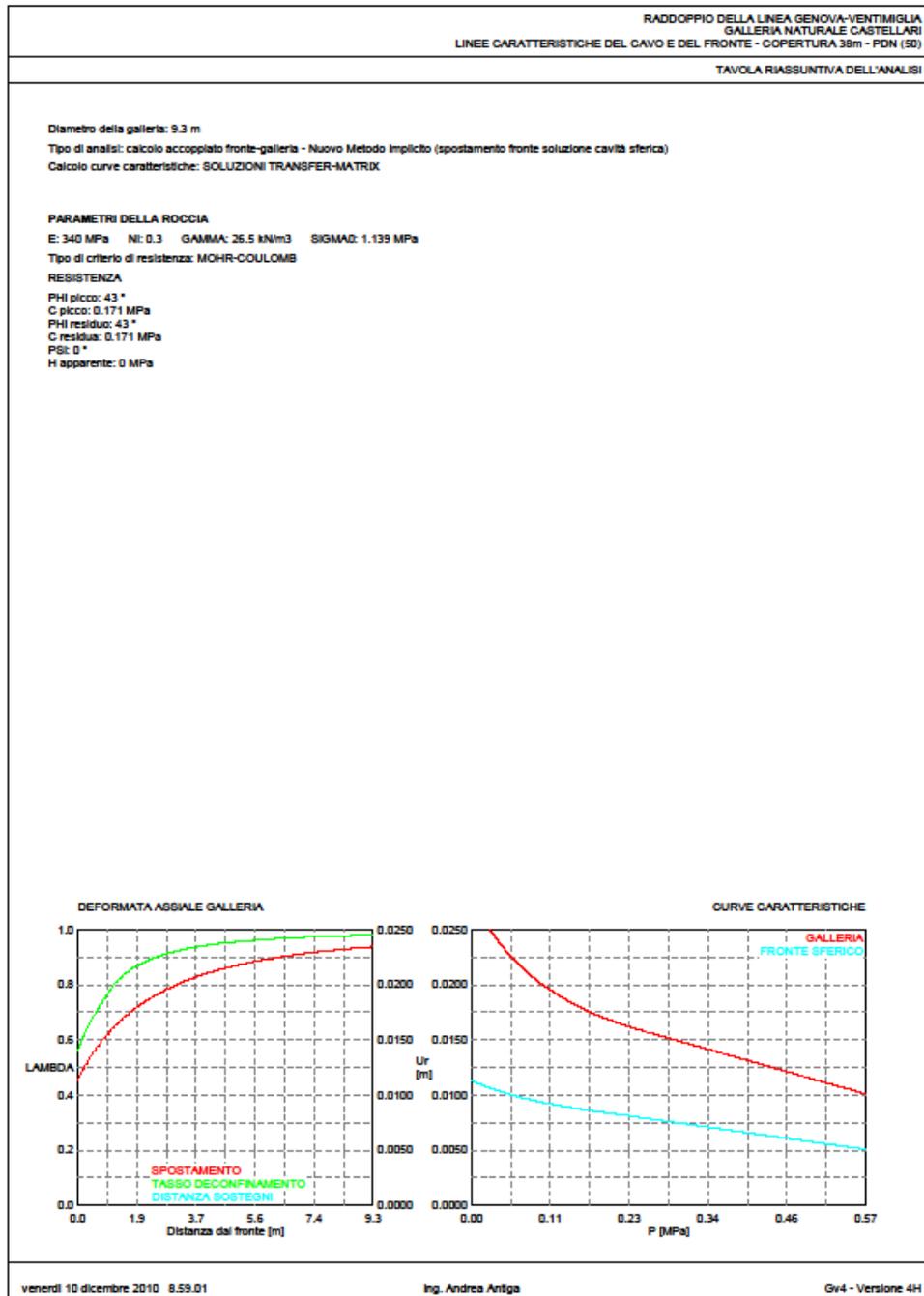


Figura 15 – Tavola Riassuntiva

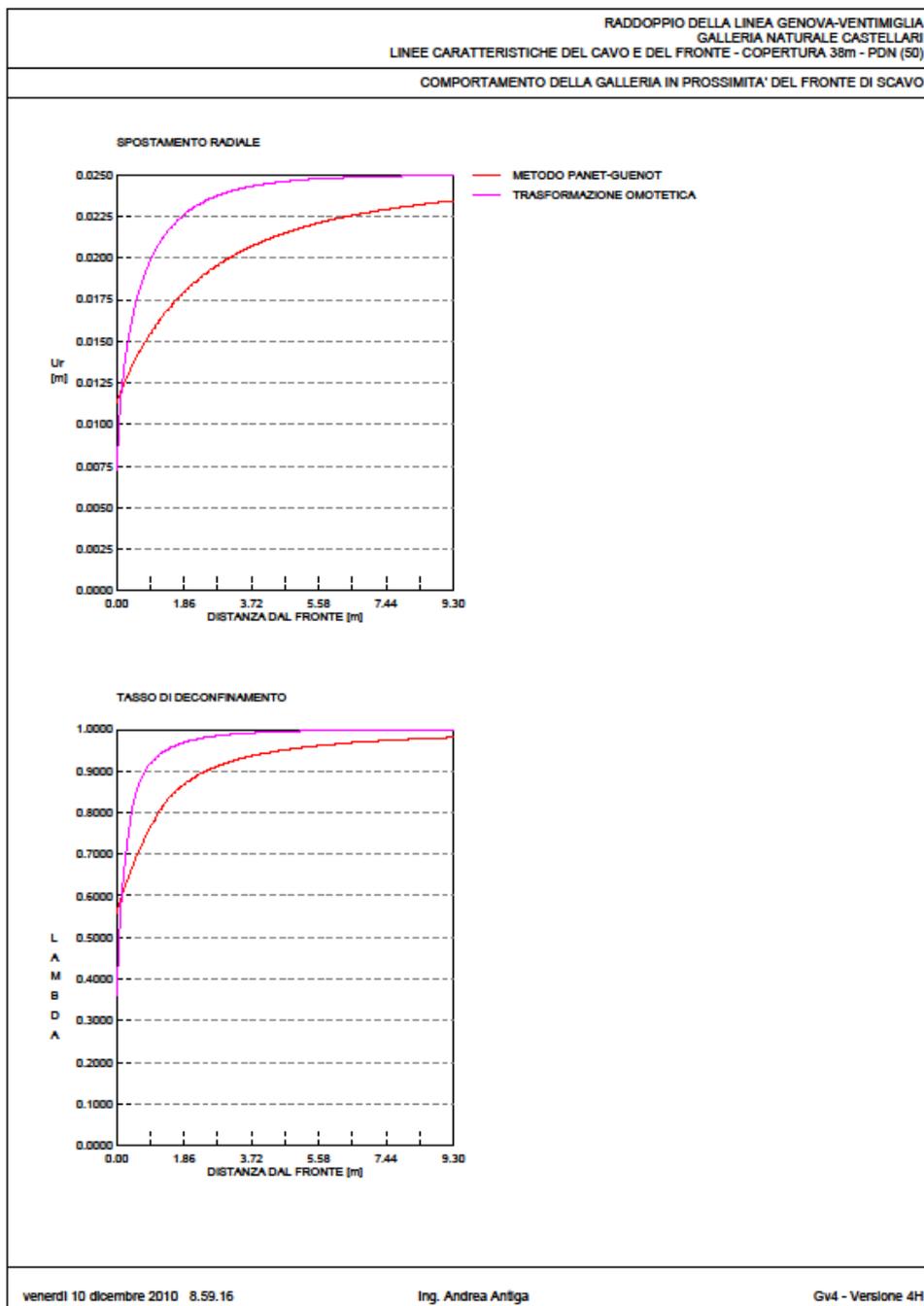


Figura 16– deformata longitudinale

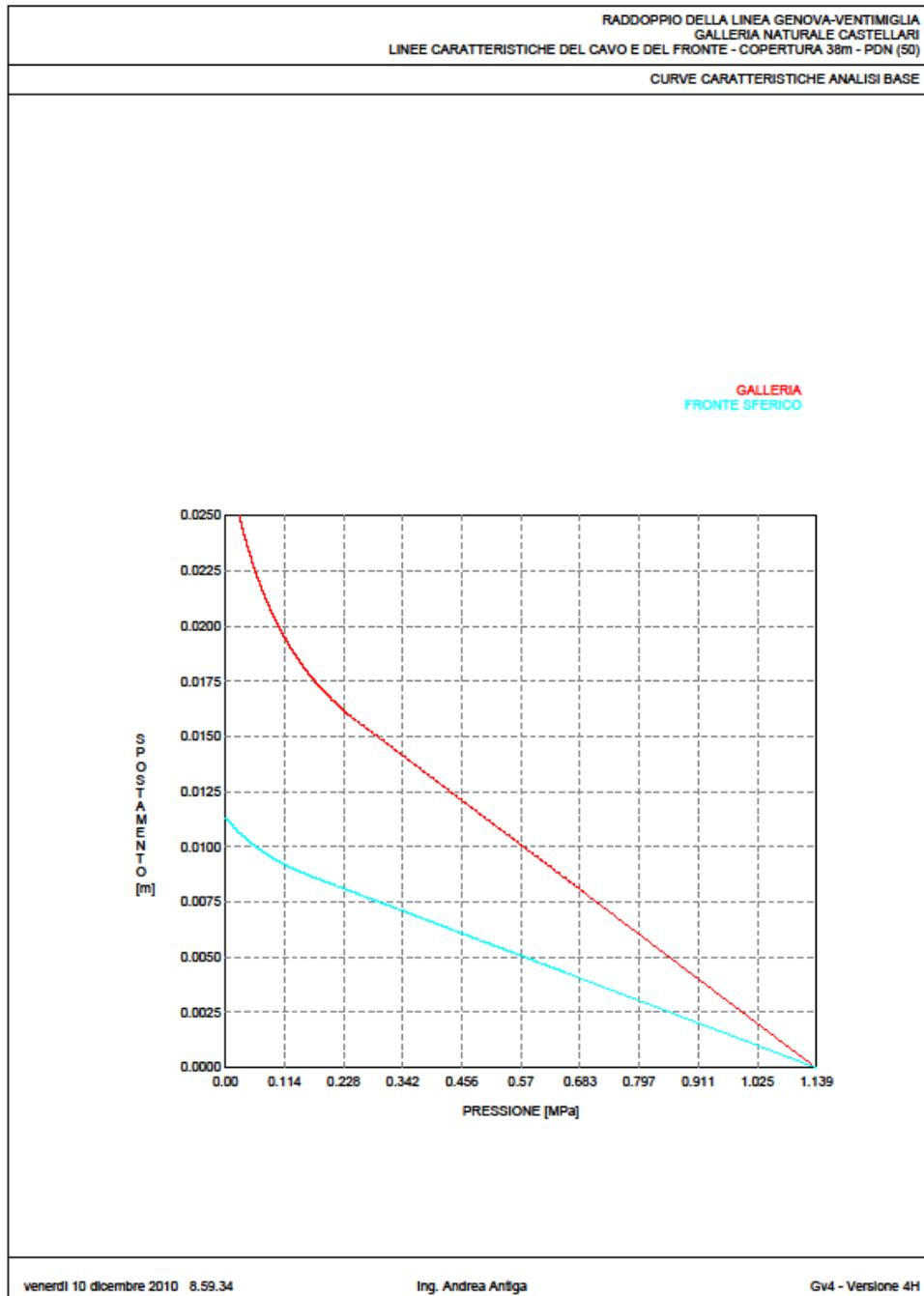


Figura 17– curve caratteristiche

3.2 FASE DI TERAPIA

3.2.1 ANALISI A1+MI+RI

```

#####          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 38m - PDN (50) - A1M1

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] 1.13900
 Modulo di Young [MPa] 340.00000
 Coefficiente di Poisson30000
 Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] .. 26.50000
 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]17100
 Angolo attrito picco [°] 43.00000
 Coesione residua [MPa]17100
 Angolo attrito residuo [MPa] 43.00000
 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]00000
 Pressione sul fronte di scavo [MPa]00000
 Coefficiente di Poisson acciaio scudo30000
 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 CLS20000
 Resistenza compressione CLS [MPa] 15.75000
 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]026748
 Spostamento radiale galleria [m]024960
 Raggio plastico galleria [m] 5.659352
 Press. fine calcolo fronte sferico [MPa]000000
 Spostamento radiale fronte sferico [m]011302
 Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m]005776
 Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m]007239
 Raggio plastico fronte sferico [m] 5.007344

STATO GALLERIA AL FRONTE DI SCAVO (PER FRESA SCUDATA) -----

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
 GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 01 00 001	A	2

```

Metodo Panet-Guenot
  U [m] : .01130
  LAMBDA : .56028

Trasformazione Omotetica
  U [m] : .00724
  LAMBDA : .35884

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica
  U [m] : .01130
  LAMBDA : .56028

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns
  U [m] : .00578
  LAMBDA : .28634

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica
  U [m] : .00724
  LAMBDA : .35884
  
```

STATO GALLERIA ALLA MESSA IN OPERA DEL RIVESTIMENTO -----

```

Metodo Panet-Guenot
  U [m] : .02306
  LAMBDA : .97607

Trasformazione Omotetica
  U [m] : .02489
  LAMBDA : .99923

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica
  U [m] : .02267
  LAMBDA : .97037

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns
  U [m] : .02187
  LAMBDA : .95790

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica
  U [m] : .02208
  LAMBDA : .96123
  
```

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] ..... .026748
Spost. radiale galleria fine calcolo [m] ..... .024960
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] ..... 5.659352

FRESA SCUDATA -----
Raggio plastico al punto di equilibrio [m] ..... 4.65000
Pressione al punto di equilibrio [MPa] ..... .42666
Spostamento al punto di equilibrio [m] ..... .01262
Convergenza radiale scudo [m] ..... .00131
Tensione scudo [MPa] ..... 62.67182
Coefficiente di sicurezza scudo ..... 4.17891
Pressione rottura scudo [MPa] ..... 1.68423
Rigidità scudo [MPa] ..... 1426.46768

RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) -----
Raggio plastico punto di equilibrio [m] ..... 4.65000
Pressione punto di equilibrio [MPa] ..... .39613
Spostamento punto di equilibrio [MPa] ..... .01316
Spostamento galleria alla messa in opera [m] ..... .01262
Convergenza radiale rivestimento [m] ..... .00054
Tensione CLS [MPa] ..... 4.71319
Coefficiente di sicurezza CLS ..... 3.34168
Pressione rottura CLS [MPa] ..... 1.32375
Rigidità anello CLS [MPa] ..... 3333.66955
Tasso di deconfinamento alla messa in opera ..... .970374
  
```

Figura 18– output di calcolo

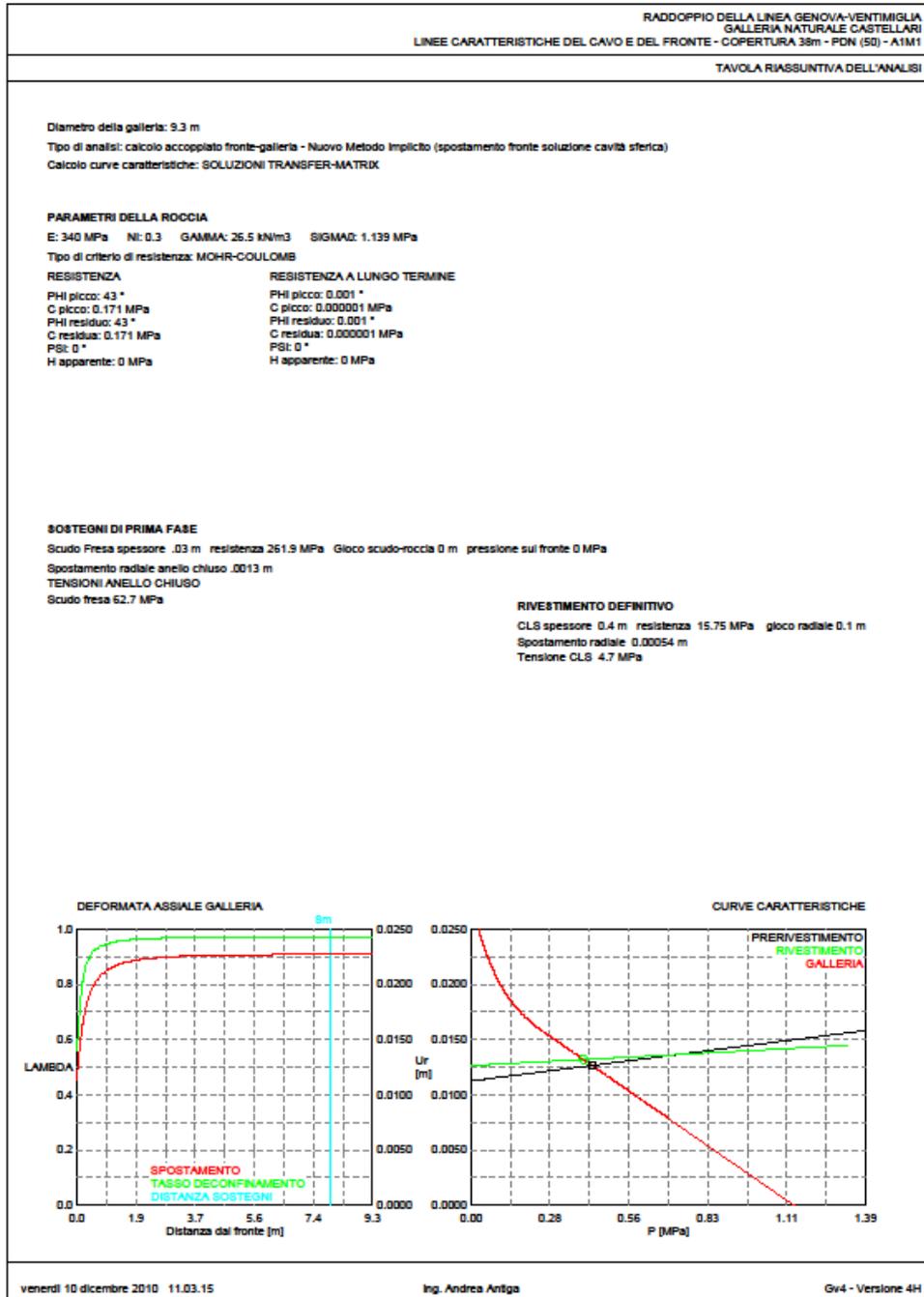


Figura 19– Tavola Riassuntiva



Figura 20 – Risultati Sostegni

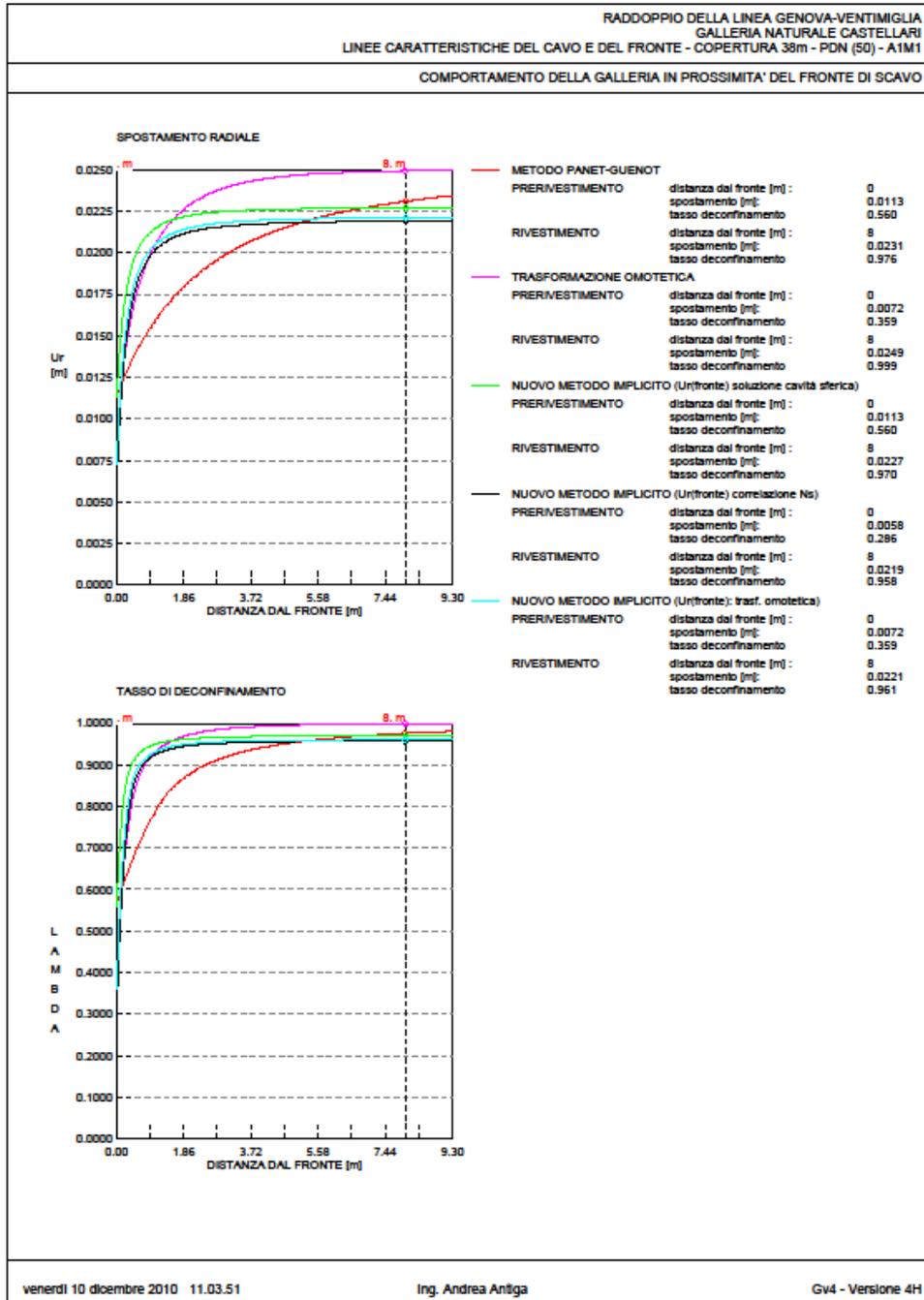


Figura 21 – Deformata Longitudinale

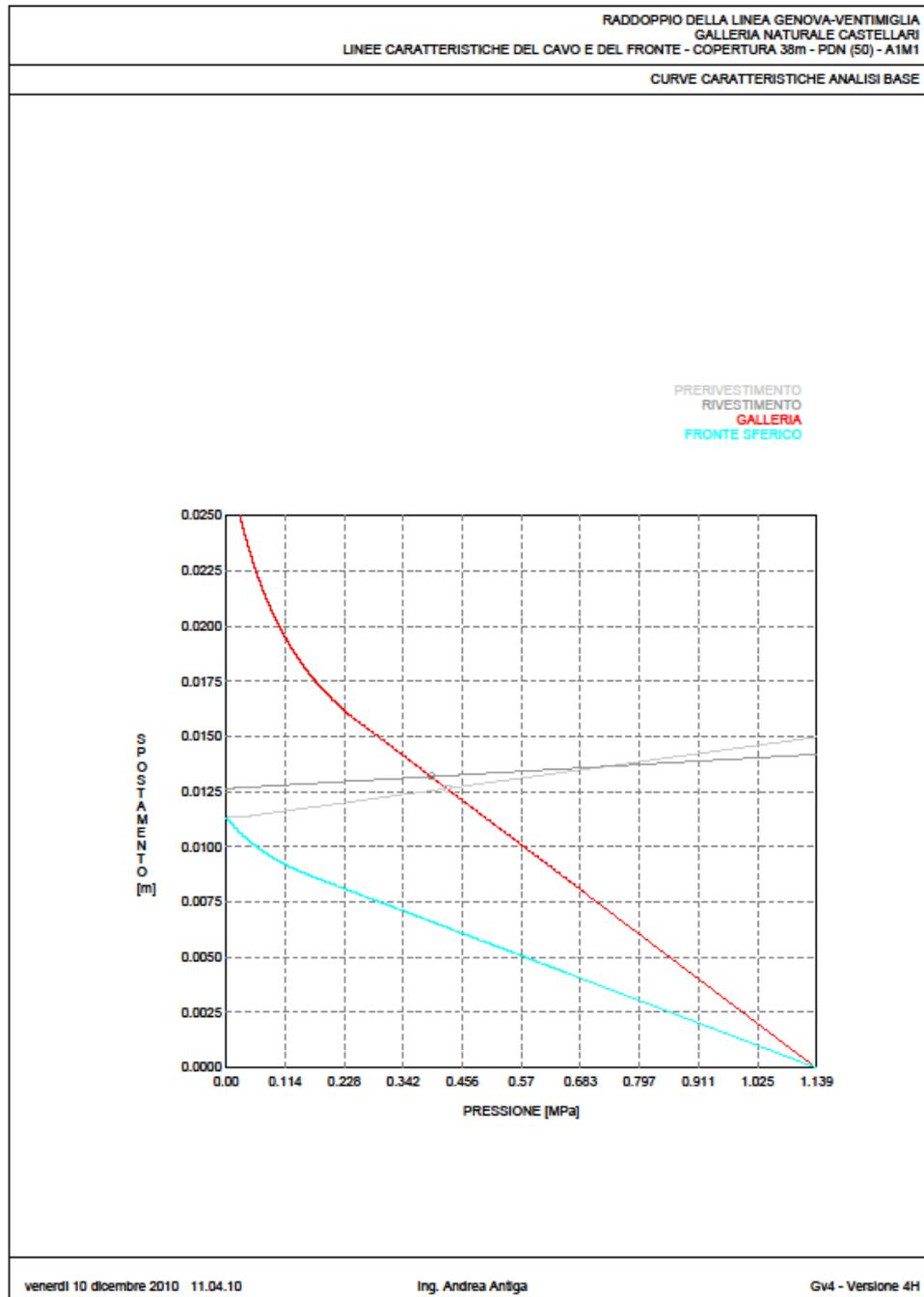


Figura 22 – Curve Caratteristiche

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
 GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 01 00 001	A	2

4 SEZIONE 4

4.1 FASE DI DIAGNOSI

```

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

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

RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA
GALLERIA NATURALE CASTELLARI
LINEA CARATTERISTICA DEL CAVO E DEL FRONTE - FAGLIA PRC KM 71+611

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOCCIATO FRONTE-GALLERIA
VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 3
1 -> metodo Panet-Cusanot (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] ..... 2.35900
Modulo di Young [MPa] ..... 500.00000
Coefficiente di Poisson ..... 0.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] ..... 26.50000
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] ..... 0.31100
Angolo attrito picco [°] ..... 41.00000
Coesione residua [MPa] ..... 0.31100
Angolo attrito residuo [MPa] ..... 41.00000
Angolo dilatanza [°] ..... 0.00000
Modulo di softening apparente Hs [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] ..... 0.035761
Spostamento radiale galleria [m] ..... 0.038539
Raggio plastico galleria [m] ..... 5.999485
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] ..... 0.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] ..... 0.016978
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] ..... 0.007564
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ..... 0.011176
Raggio plastico fronte sferico [m] ..... 5.147475

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] ..... 0.035761
Spost. radiale galleria fine calcolo [m] ..... 0.038539
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] ..... 5.999485

```

Figura 23 – output di calcolo

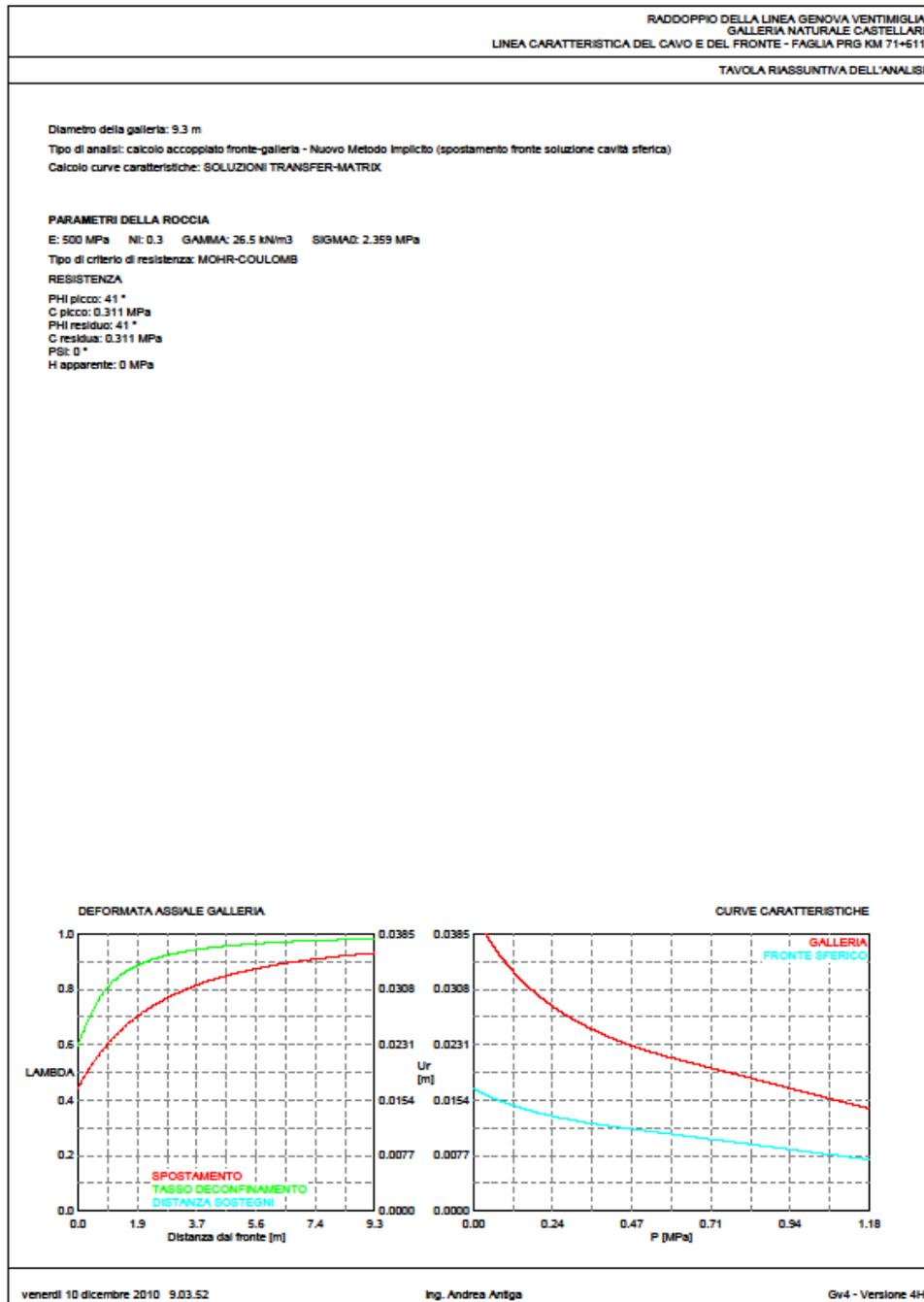


Figura 24 – Tavola Riassuntiva

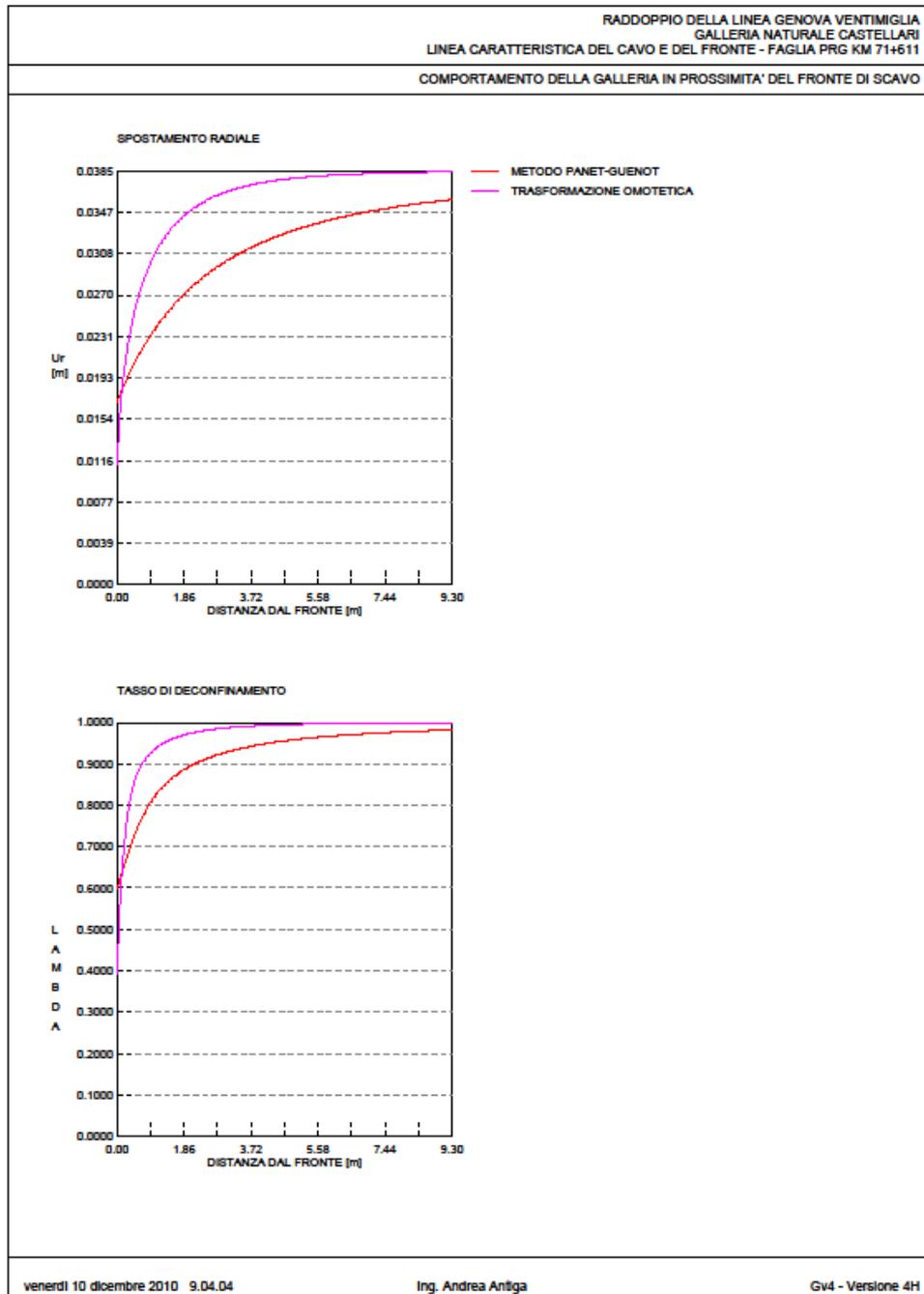


Figura 25– deformata longitudinale

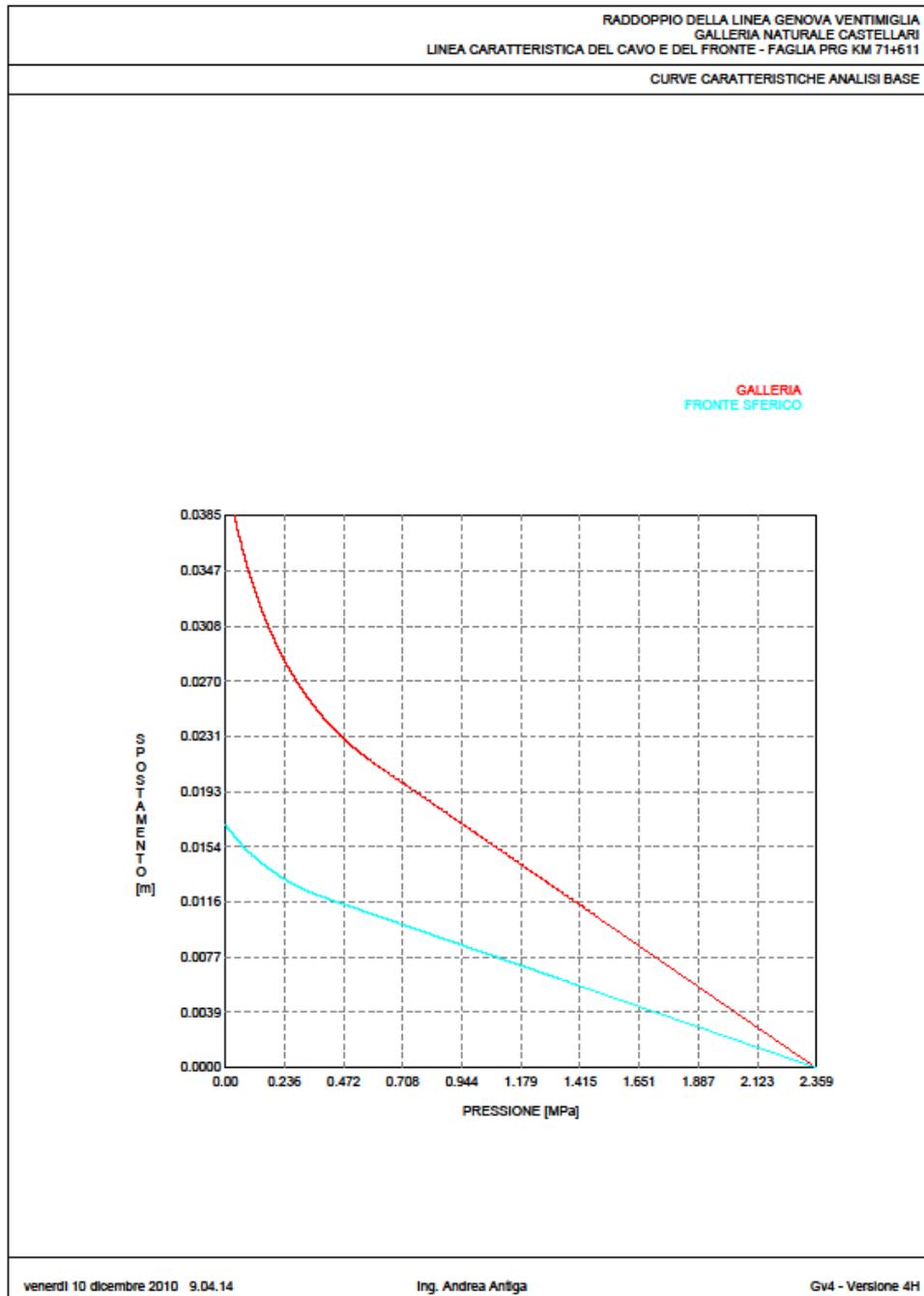


Figura 26– curve caratteristiche

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
 GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 01 00 001	A	2

5 SEZIONE 5

5.1 FASE DI DIAGNOSI

```

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

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

RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA
GALLERIA NATURALE CASTELLARI
LINEA CARATTERISTICA DEL CAVO E DEL FRONTE - FAGLIA PRC KM 72+169

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOCCIATO FRONTE-GALLERIA
VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 3
1 -> metodo Panet-Cusanot (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] ..... 1.74900
Modulo di Young [MPa] ..... 300.00000
Coefficiente di Poisson ..... 0.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] .. 26.50000
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] ..... .14400
Angolo attrito picco [°] ..... 41.00000
Coesione residua [MPa] ..... .14400
Angolo attrito residuo [MPa] ..... 41.00000
Angolo dilatanza [°] ..... .00000
Modulo di softening apparente Hs [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] ..... .054496
Spostamento radiale galleria [m] ..... .059271
Raggio plastico galleria [m] ..... 6.706458
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] ..... .000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] ..... .024936
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] ..... .005897
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ... .017189
Raggio plastico fronte sferico [m] ..... 5.439786

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] ..... .054496
Spost. radiale galleria fine calcolo [m] ..... .059271
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] ..... 6.706458

```

Figura 27– output di calcolo

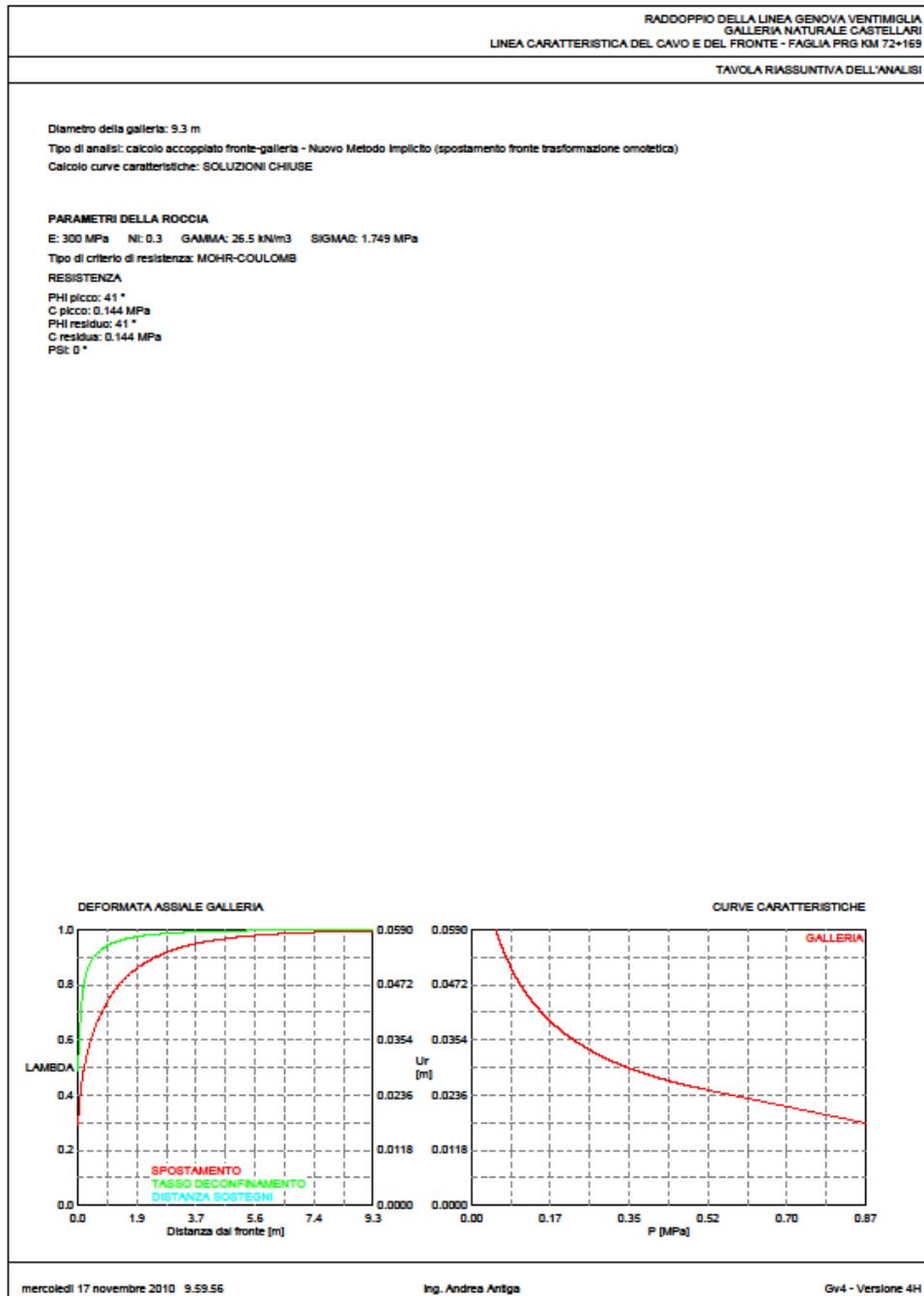


Figura 28– Tavola Riassuntiva

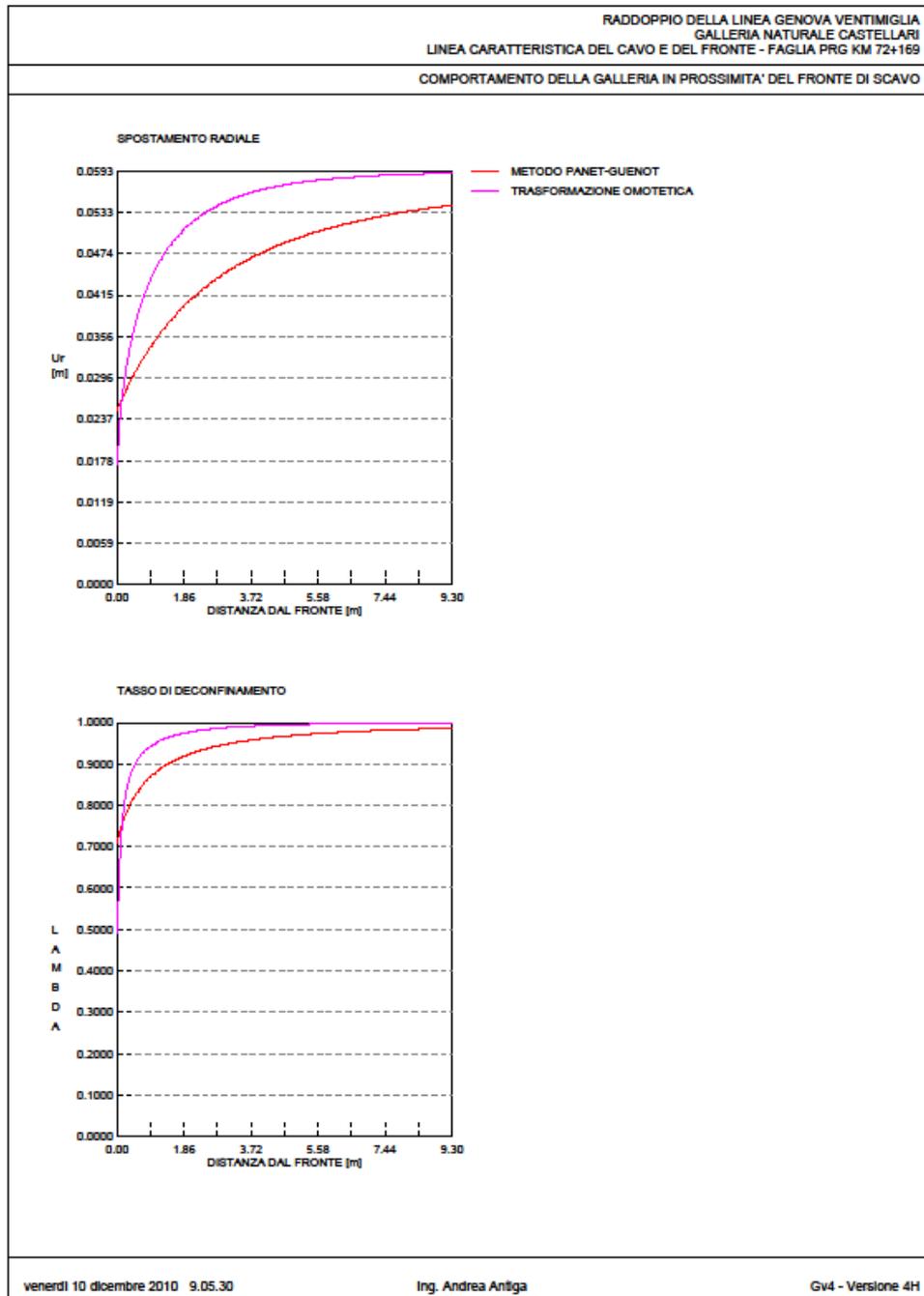


Figura 29– deformata longitudinale

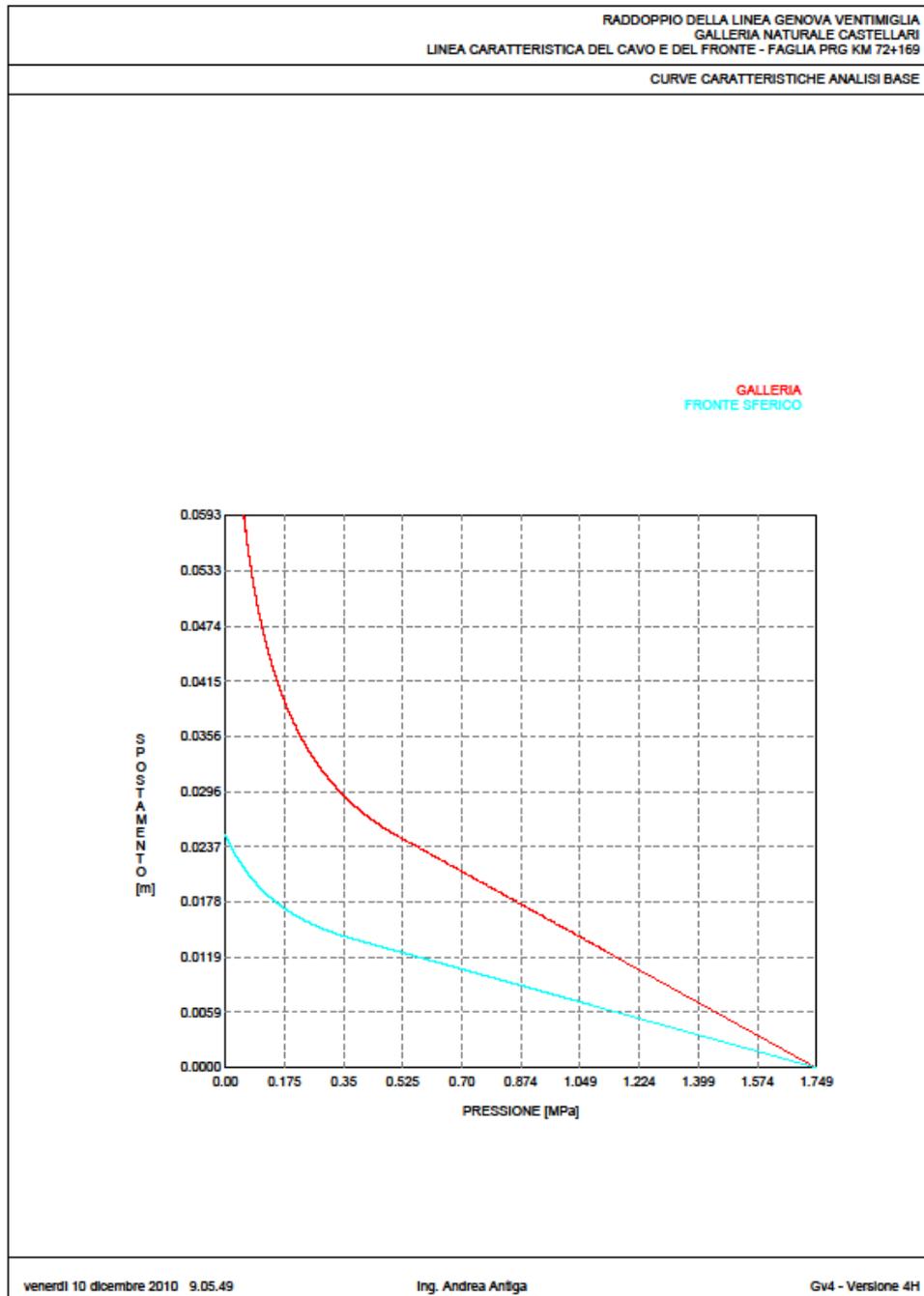


Figura 30– curve caratteristiche

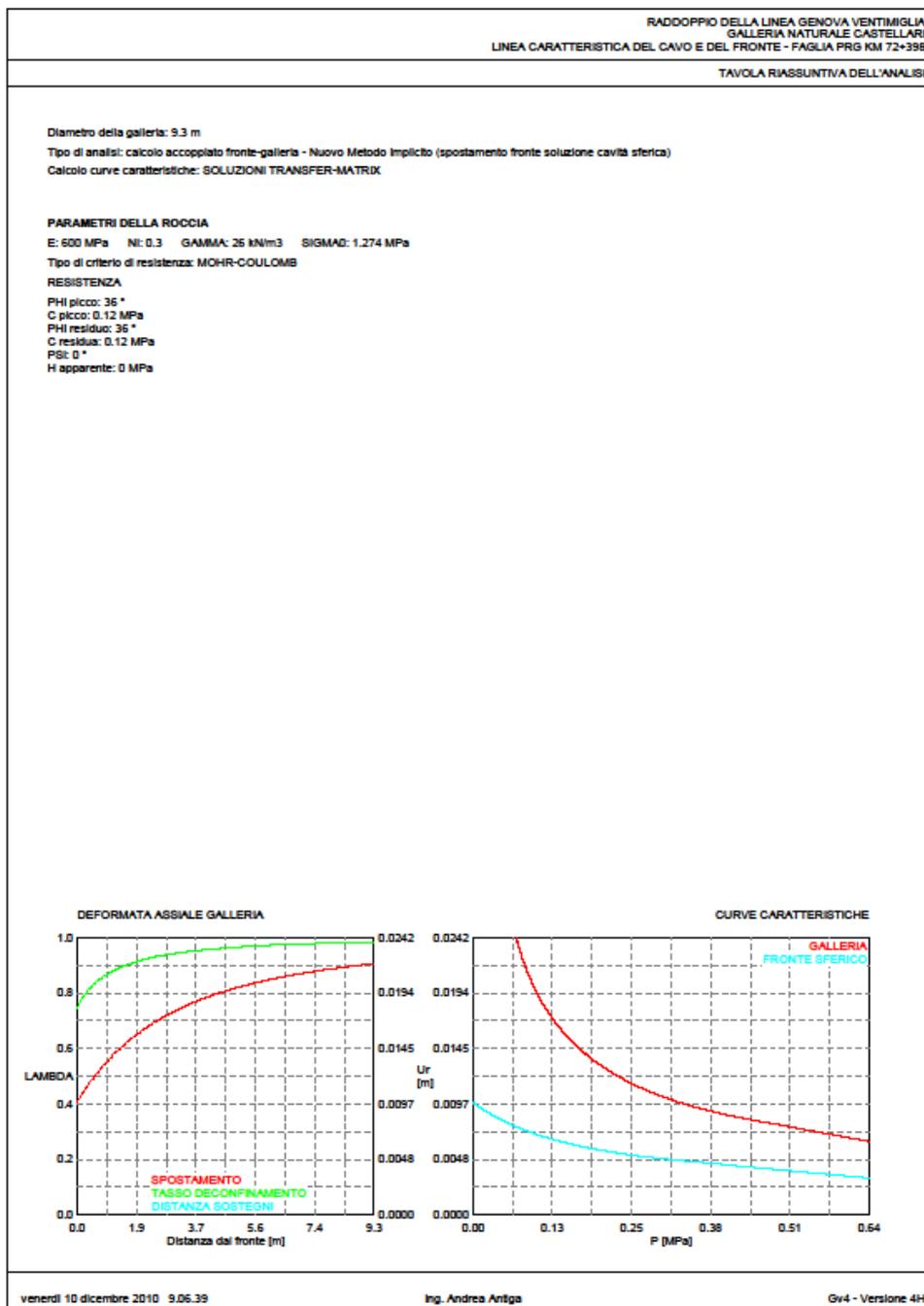


Figura 32– Tavola Riassuntiva

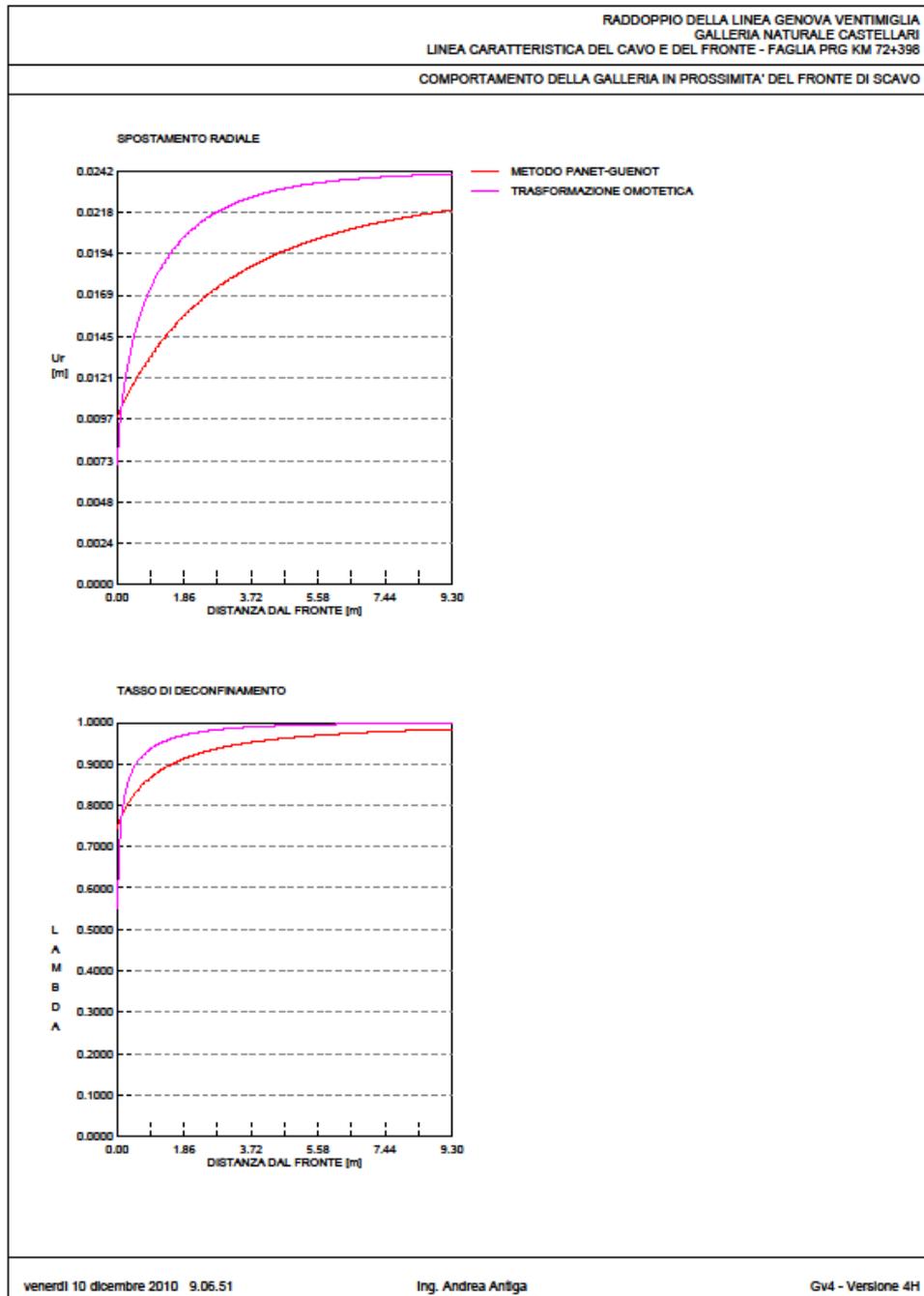


Figura 33– deformata longitudinale

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
 GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 01 00 001	A	2

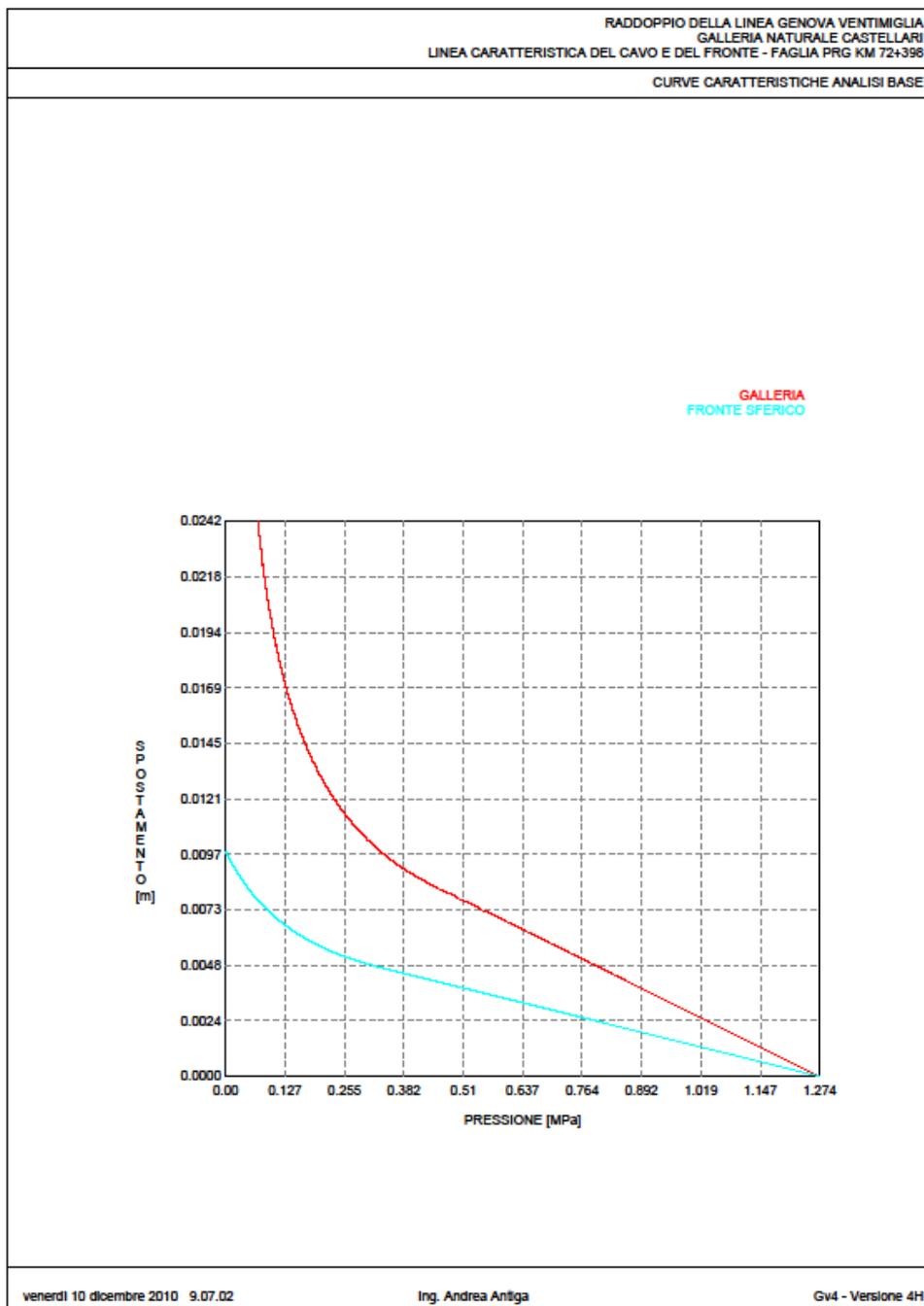


Figura 34– curve caratteristiche

6.1.1 ANALISI A1+MI+RI

```

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

```

VERSIONE 4 (2003)

RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA
 GALLERIA NATURALE CASTELLARI
 LINEA CARATTERISTICA DEL CAVO E DEL FRONTE - FAGLIA PRG KM 72+398 - A1M1

- 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] 1.27400
 Modulo di Young [MPa] 600.00000
 Coefficiente di Poisson30000
 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]12000
 Angolo attrito picco [°] 36.00000
 Coesione residua [MPa]12000
 Angolo attrito residuo [MPa] 36.00000
 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]00000
 Pressione sul fronte di scavo [MPa]00000
 Coefficiente di Poisson acciaio scudo30000
 Modulo Young acciaio scudo [MPa] 200000.00000
 Resistenza acciaio scudo [MPa] 261.91000
 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 CLS20000
 Resistenza compressione CLS [MPa] 15.75000
 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]069444
 Spostamento radiale galleria [m]024197
 Raggio plastico galleria [m] 7.320924
 Press. fine calcolo fronte sferico [MPa]000000
 Spostamento radiale fronte sferico [m]009801
 Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m]002408
 Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m]007017
 Raggio plastico fronte sferico [m] 5.653924

STATO GALLERIA AL FRONTE DI SCAVO (PER FRESA SCUDATA) -----

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
 GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 01 00 001	A	2

```

Metodo Panet-Guenot
  U [m] : .00980
  LAMBDA : .74585

Trasformazione Omotetica
  U [m] : .00702
  LAMBDA : .54883

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica
  U [m] : .00980
  LAMBDA : .74585

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns
  U [m] : .00241
  LAMBDA : .18831

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica
  U [m] : .00702
  LAMBDA : .54883

STATO GALLERIA ALLA MESSA IN OPERA DEL RIVESTIMENTO -----
Metodo Panet-Guenot
  U [m] : .02148
  LAMBDA : .98012

Trasformazione Omotetica
  U [m] : .02392
  LAMBDA : .99819

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica
  U [m] : .01961
  LAMBDA : .96306

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns
  U [m] : .01773
  LAMBDA : .94192

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica
  U [m] : .01887
  LAMBDA : .95523
  
```

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] ..... .069444
Spost. radiale galleria fine calcolo [m] ..... .024197
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] ..... 7.320924

FRESA SCUDATA -----
Raggio plastico al punto di equilibrio [m] ..... 5.16570
Pressione al punto di equilibrio [MPa] ..... .28917
Spostamento al punto di equilibrio [m] ..... .01064
Convergenza radiale scudo [m] ..... .00084
Tensione scudo [MPa] ..... 39.84132
Coefficiente di sicurezza scudo ..... 6.57383
Pressione rottura scudo [MPa] ..... 1.68429
Rigidezza scudo [MPa] ..... 1426.46768

RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) -----
Raggio plastico punto di equilibrio [m] ..... 5.24399
Pressione punto di equilibrio [MPa] ..... .27281
Spostamento punto di equilibrio [MPa] ..... .01101
Spostamento galleria alla messa in opera [m] ..... .01064
Convergenza radiale rivestimento [m] ..... .00037
Tensione CLS [MPa] ..... 3.24588
Coefficiente di sicurezza CLS ..... 4.85230
Pressione rottura CLS [MPa] ..... 1.32375
Rigidezza anello CLS [MPa] ..... 3333.66955
Tasso di deconfinamento alla messa in opera ..... .963060
  
```

Figura 35– output di calcolo

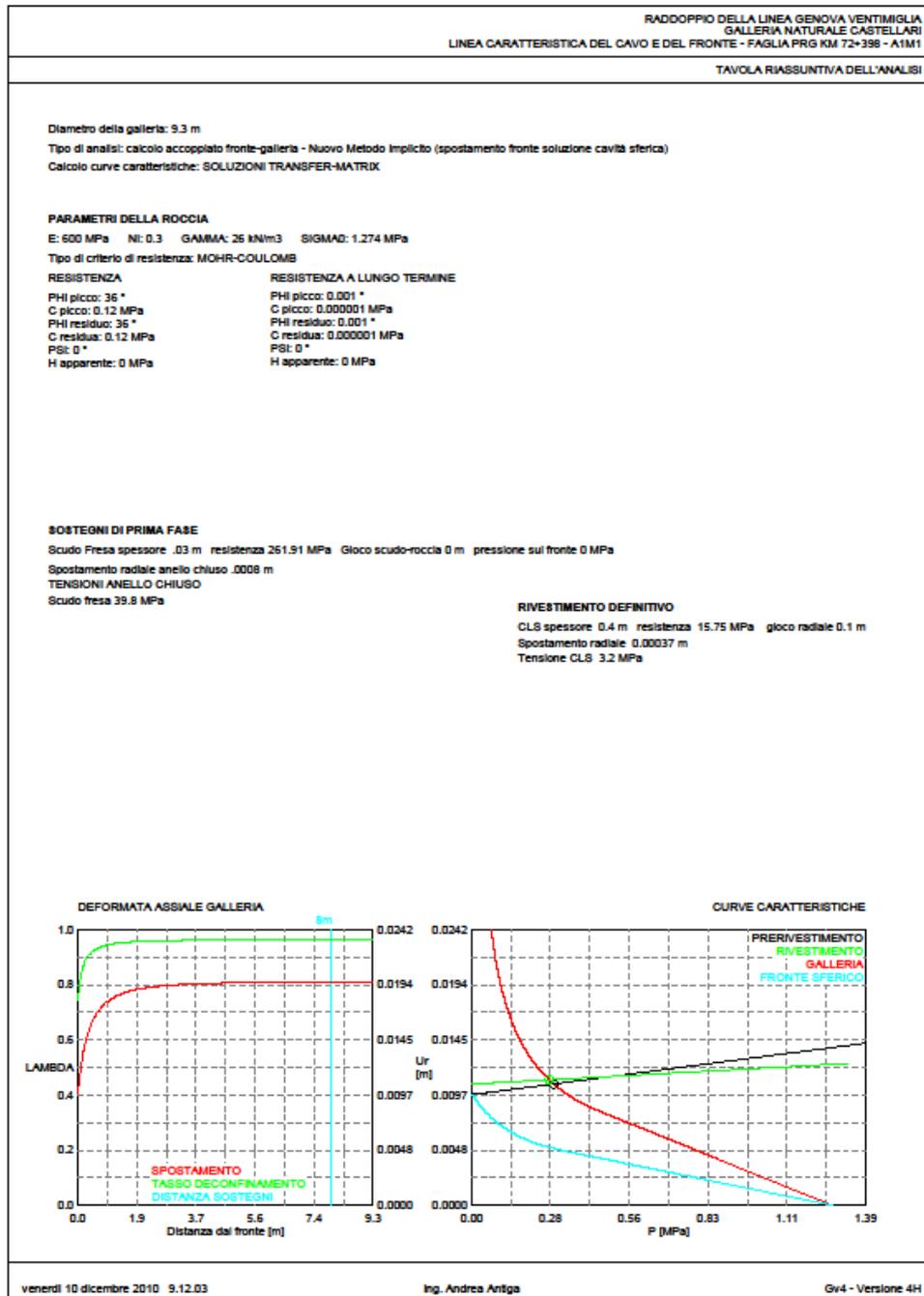


Figura 36– Tavola Riassuntiva



Figura 37 – Risultati Sostegni

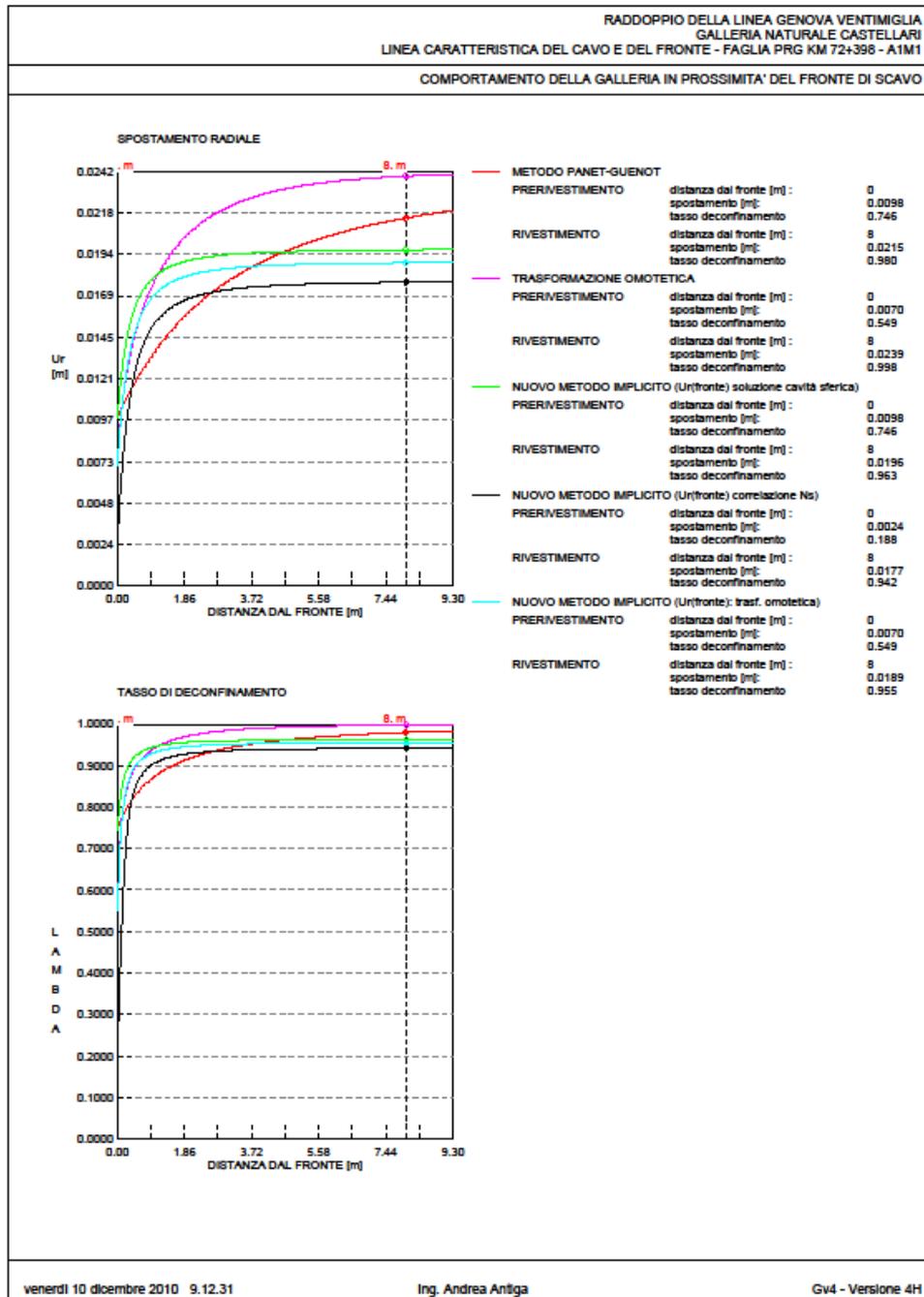


Figura 38 – Deformata Longitudinale

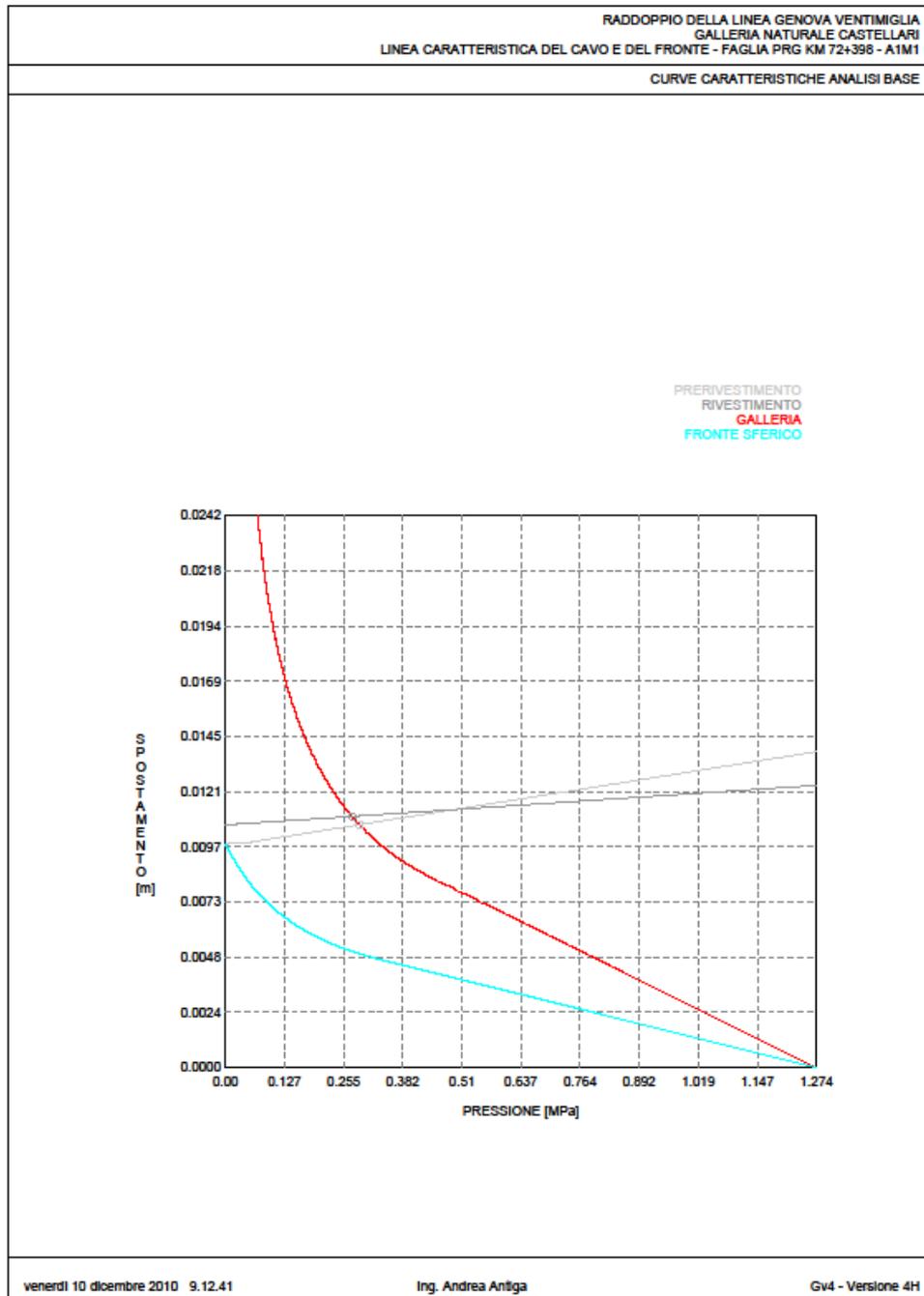


Figura 39 – Curve Caratteristiche

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
 GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 01 00 001	A	2

7 SEZIONE 7

7.1 FASE DI DIAGNOSI

```

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

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

RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA VENTIMIGLIA
GALLERIA NATURALE CASTELLARI
LINEA CARATTERISTICA DEL CAVO E DEL FRONTE - FAGLIA PRC KM 74+038

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOCCIATO FRONTE-GALLERIA
VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 3
1 -> metodo Panet-Cusanot (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] ..... 1.90800
Modulo di Young [MPa] ..... 300.00000
Coefficiente di Poisson ..... 0.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [KN/m3] .. 26.50000
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] ..... 0.14400
Angolo attrito picco [°] ..... 41.00000
Coesione residua [MPa] ..... 0.14400
Angolo attrito residuo [MPa] ..... 41.00000
Angolo dilatanza [°] ..... 0.00000
Modulo di softening apparente Hs [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] ..... 0.058391
Spostamento radiale galleria [m] ..... 0.067547
Raggio plastico galleria [m] ..... 6.853426
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] ..... 0.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] ..... 0.028185
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] ..... 0.006721
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ... 0.019589
Raggio plastico fronte sferico [m] ..... 5.502333

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] ..... 0.058391
Spost. radiale galleria fine calcolo [m] ..... 0.067547
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] ..... 6.853426

```

Figura 40– output di calcolo

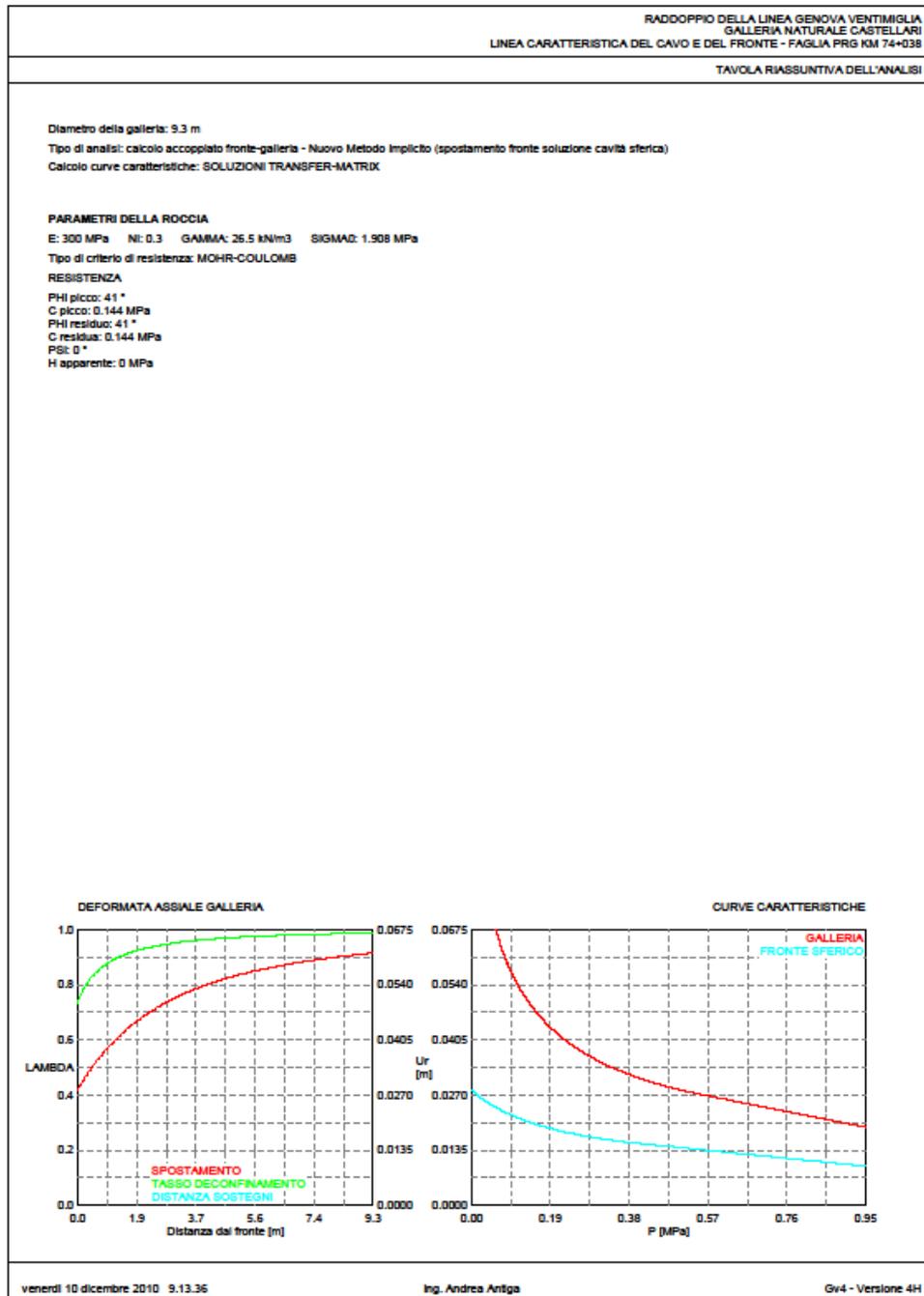


Figura 41 – Tavola Riassuntiva

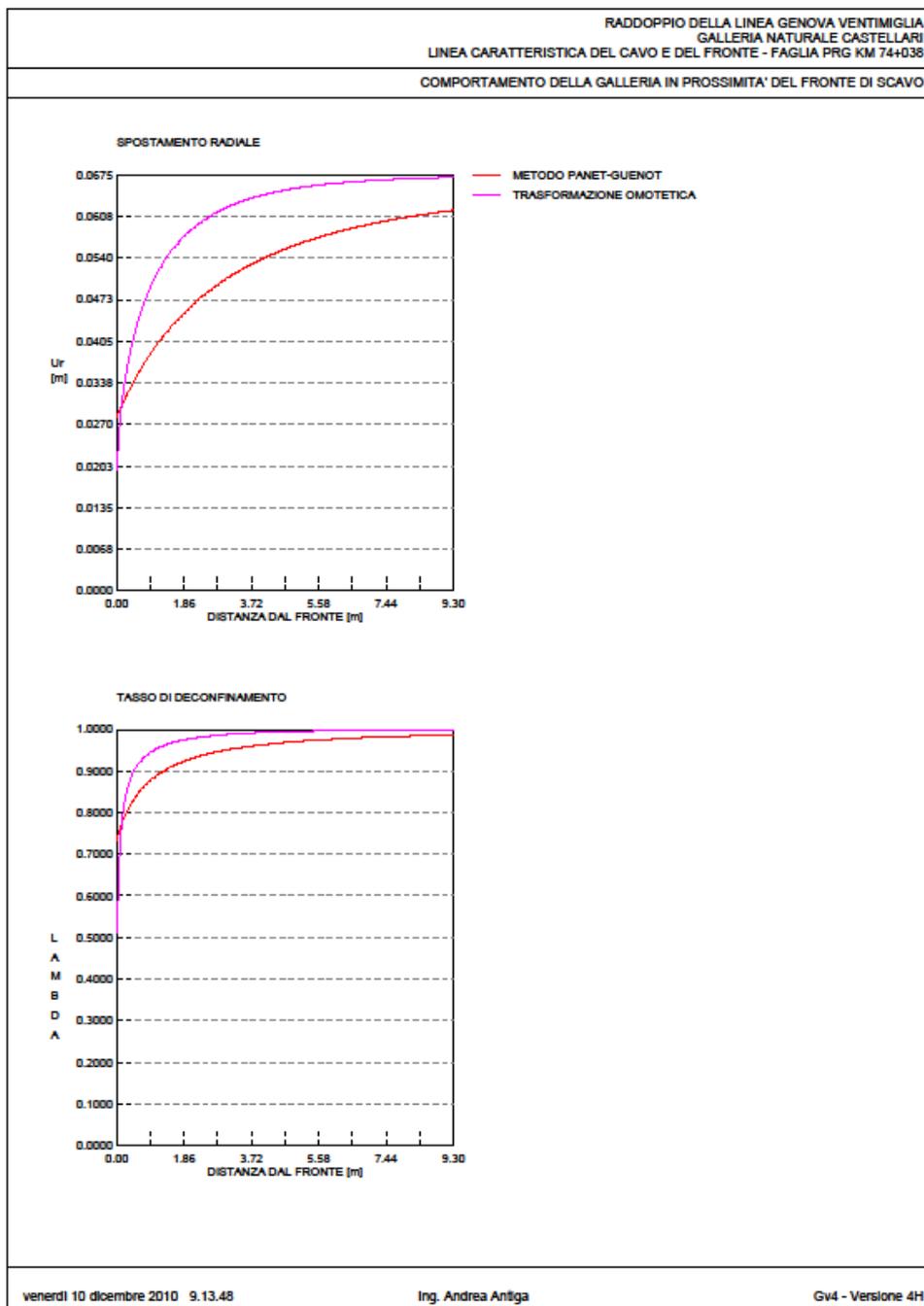


Figura 42 – deformata longitudinale

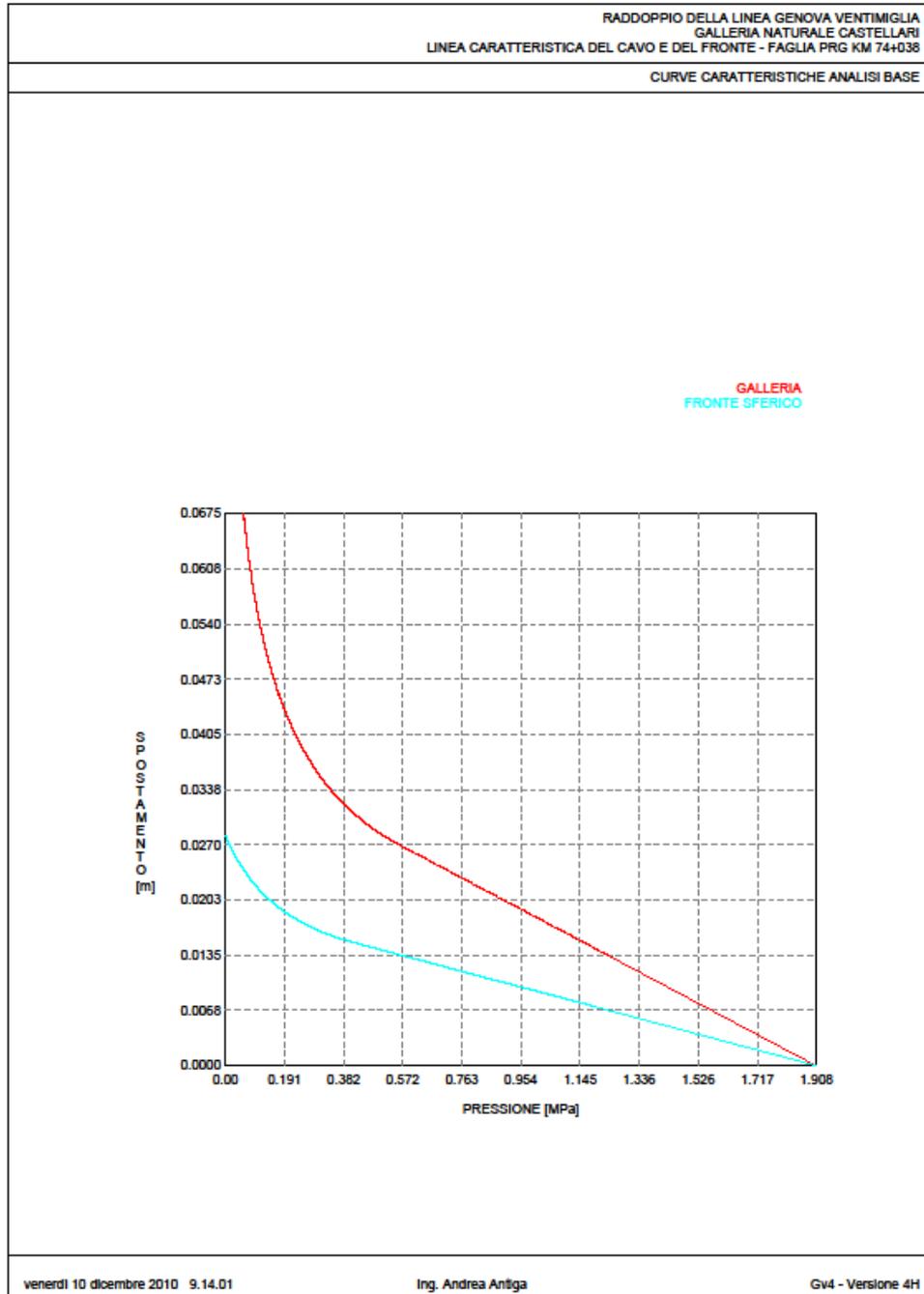


Figura 43– curve caratteristiche

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
 GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 01 00 001	A	2

8 SEZIONE 8

8.1 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 36m - PARAM. IMBocchi

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOCCIATO FRONTE-GALLERIA
VALUTAZIONE DEFORMATA GALLERIA AL FRONTE: 3
1 -> metodo Panet-Guesnot (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] ..... 0.67800
Modulo di Young [MPa] ..... 100.00000
Coefficiente di Poisson ..... 0.30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] ..... 18.50000
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] ..... 0.02000
Angolo attrito picco [°] ..... 30.00000
Coesione residua [MPa] ..... 0.02000
Angolo attrito residuo [MPa] ..... 30.00000
Angolo dilatanza [°] ..... 0.00000
Modulo di softening apparente Hs [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] ..... 0.196329
Spostamento radiale galleria [m] ..... 0.300817
Raggio plastico galleria [m] ..... 15.262395
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] ..... 0.000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] ..... 0.091948
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] ..... 0.029931
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ..... 0.087237
Raggio plastico fronte sferico [m] ..... 8.122707

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] ..... 0.196329
Spot. radiale galleria fine calcolo [m] ..... 0.300817
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] ..... 15.262395

```

Figura 44– output di calcolo

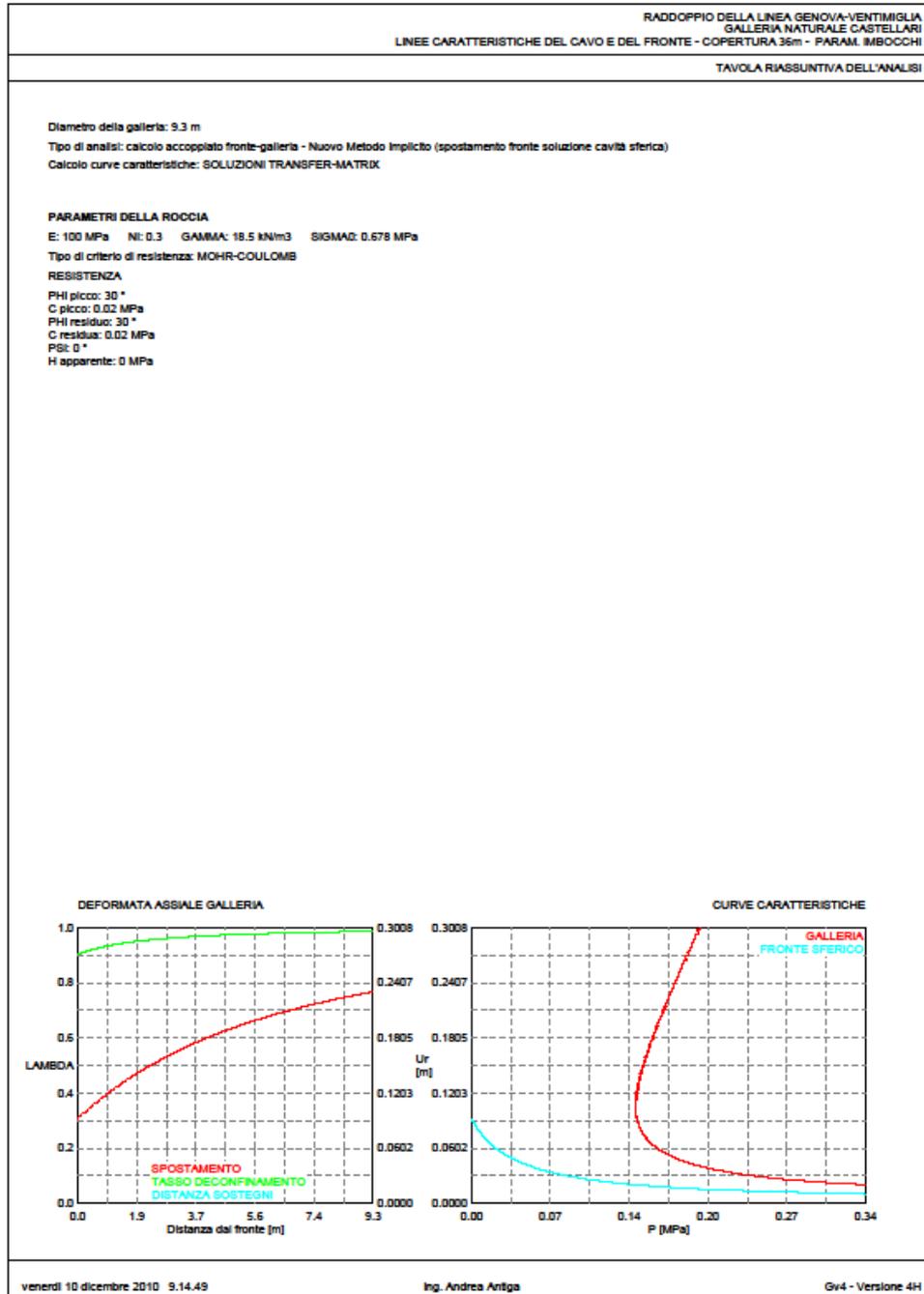


Figura 45 – Tavola Riassuntiva

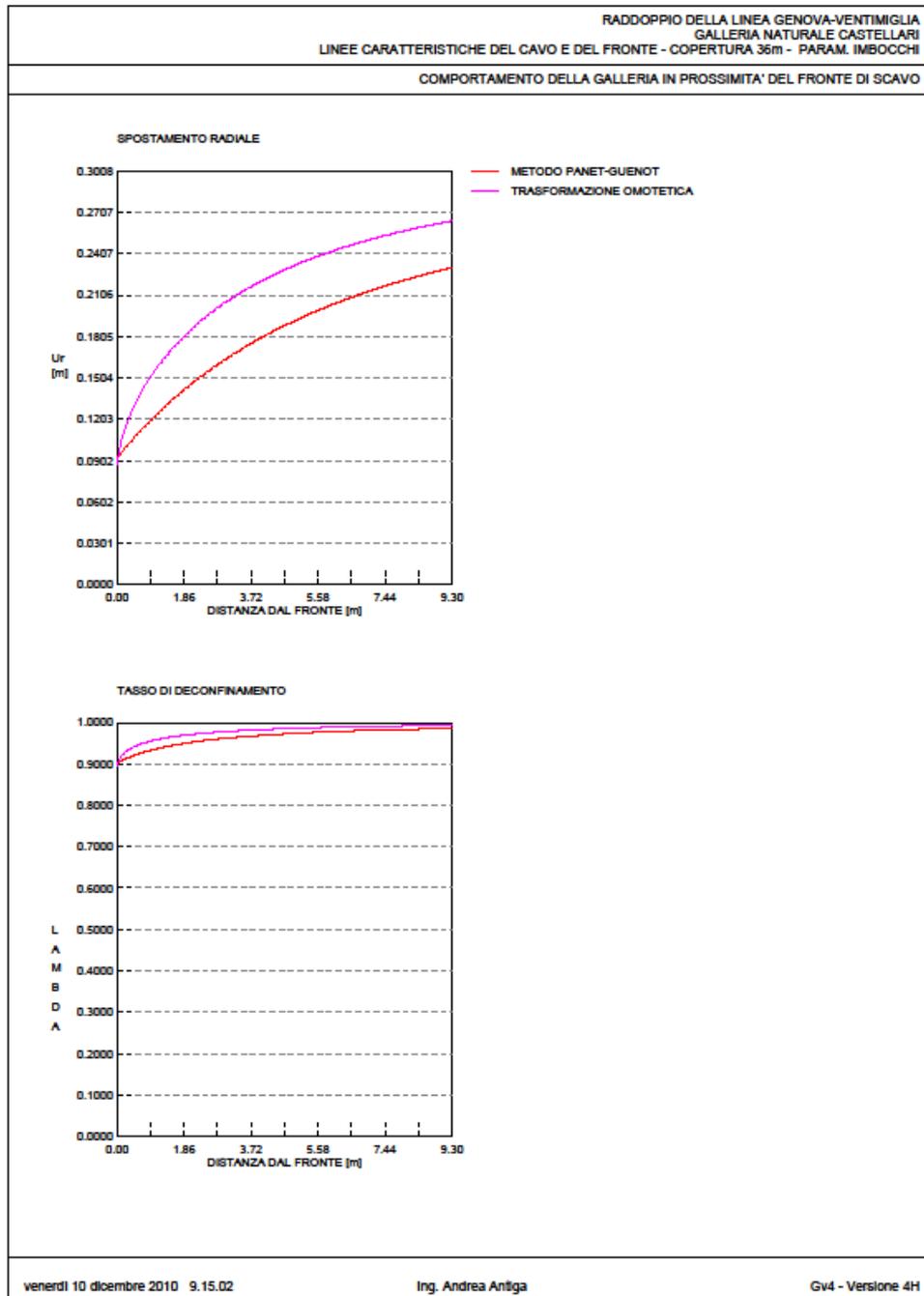


Figura 46– deformata longitudinale

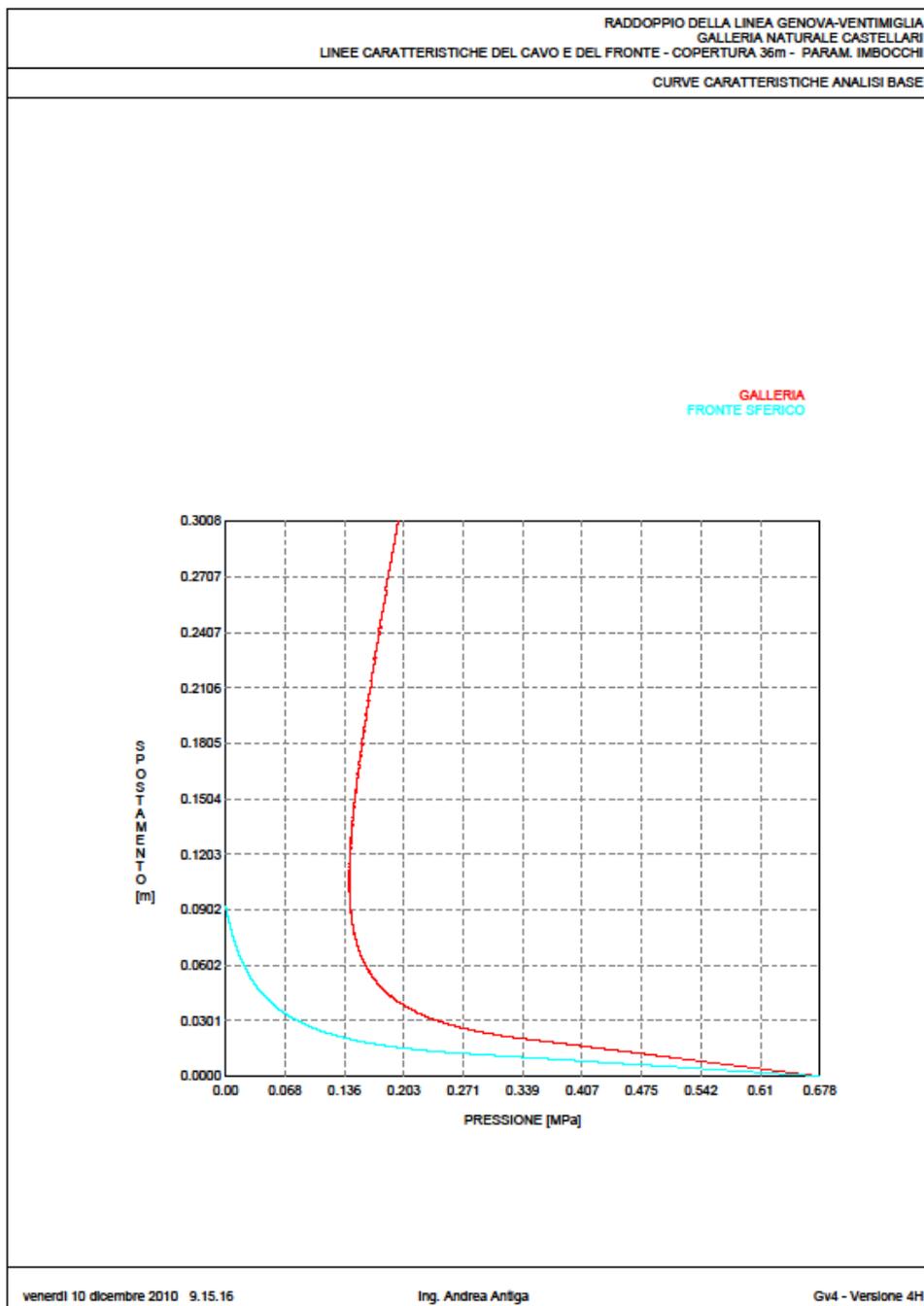


Figura 47– curve caratteristiche



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

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
 GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 01 00 001	A	2

8.2 FASE DI TERAPIA

8.2.1 ANALISI A1+MI+RI

```

#####          CALCOLO GALLERIE CON METODO
#####          CONVERGENZA-CONFINAMENTO
###           SOLUTORE ANALITICO
###
###  #####  ##  ##  ##
###  #####  ##  ##  ##
#####  ##  ##  ##  ##
#####          ##  ##  ##  ##
#####          #####
#####          ##
  
```

VERSIONE 4 (2003)

RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA
 GALLERIA NATURALE CASTELLARI
 LINEE CARATTERISTICHE DEL CAVO E DEL FRONTE - COPERTURA 36m - PARAM. IMBOCCHI

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOCCIATO 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] ..... .67800
Modulo di Young [MPa] ..... 100.00000
Coefficiente di Poisson ..... .30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] . 18.50000
RESISTENZA ROCCIA
Coesione picco [MPa] ..... .02000
Angolo attrito picco [°] ..... 30.00000
Coesione residua [MPa] ..... .02000
Angolo attrito residuo [MPa] ..... 30.00000
Angolo dilatanza [°] ..... .00000

FRESA SCUDATA -----
Spessore scudo metallico [m] ..... .03000
Gioco tra scudo e roccia [m] ..... .00000
Pressione sul fronte di scavo [MPa] ..... .20000
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] ..... 15.75000
Opzione calcolo rivestimento ..... 0
[0 prerinvestimenti non collaboranti a lungo termine]
[1 prerinvestimenti 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 galleria non sostenuta [MPa] .. .189874
Spostamento radiale galleria non sostenuta [m] .... .293787
Raggio plastico galleria non sostenuta [m] ..... 14.913448
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] ..... .200000
Spostamento radiale fronte sferico [m] ..... .015339
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] ..... .029232
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ... .085198
Raggio plastico fronte sferico [m] ..... 4.966786
  
```

STATO GALLERIA AL FRONTE DI SCAVO (PER FRESA SCUDATA) -----

```

Metodo Panet-Guenot
U [m] : .01534
LAMBDA : .37425

Trasformazione Omotetica
U [m] : .08520
  
```

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
 GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 01 00 001	A	2

```

LAMBDA : .89234

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica
U [m] : .01534
LAMBDA : .37425

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns
U [m] : .02923
LAMBDA : .65451

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica
U [m] : .08520
LAMBDA : .89234

STATO GALLERIA ALLA MESSA IN OPERA DEL RIVESTIMENTO -----

Metodo Panet-Guenot
U [m] : .19006
LAMBDA : .97417

Trasformazione Omotetica
U [m] : .25249
LAMBDA : .99212

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica
U [m] : .08130
LAMBDA : .88571

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns
U [m] : .08825
LAMBDA : .89716

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica
U [m] : .12264
LAMBDA : .93624
  
```

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] ..... .189874
Spost. radiale galleria fine calcolo [m] ..... .293787
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] ..... 14.913448

FRESA SCUDATA -----
Raggio plastico al punto di equilibrio [m] ..... 4.65000
Pressione al punto di equilibrio [MPa] ..... .40531
Spostamento al punto di equilibrio [m] ..... .01648
Convergenza radiale scudo [m] ..... .00115
Tensione scudo [MPa] ..... 54.64606
Coefficiente di sicurezza scudo ..... 4.79266
Pressione rottura scudo [MPa] ..... 1.68423
Rigidità scudo [MPa] ..... 1426.46768

RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) -----
Raggio plastico al punto di equilibrio [m] ..... 4.65000
Pressione al punto di equilibrio [MPa] ..... .39596
Spostamento al punto di equilibrio [m] ..... .01705
Spostamento galleria alla messa in opera [m] ..... .01648
Convergenza radiale rivestimento [m] ..... .00057
Tensione CLS [MPa] ..... 4.80990
Coefficiente di sicurezza ..... 3.27450
Pressione rottura anello CLS [MPa] ..... 1.29657
Rigidità anello CLS [MPa] ..... 3257.34953
Tasso di deconfinamento alla messa in opera ..... .885705
  
```

Figura 48– output di calcolo

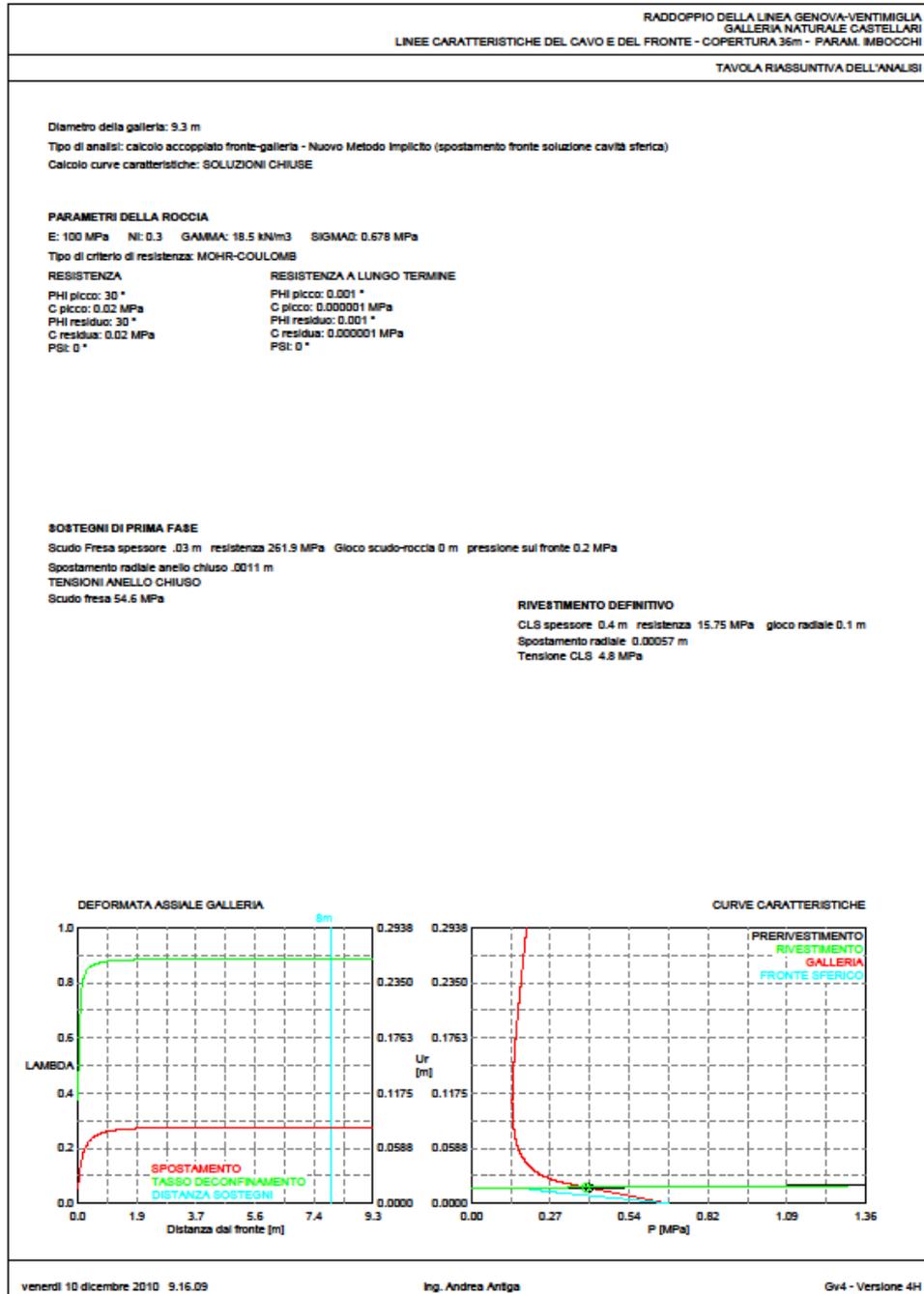


Figura 49– Tavola Riassuntiva



Figura 50 – Risultati Sostegni

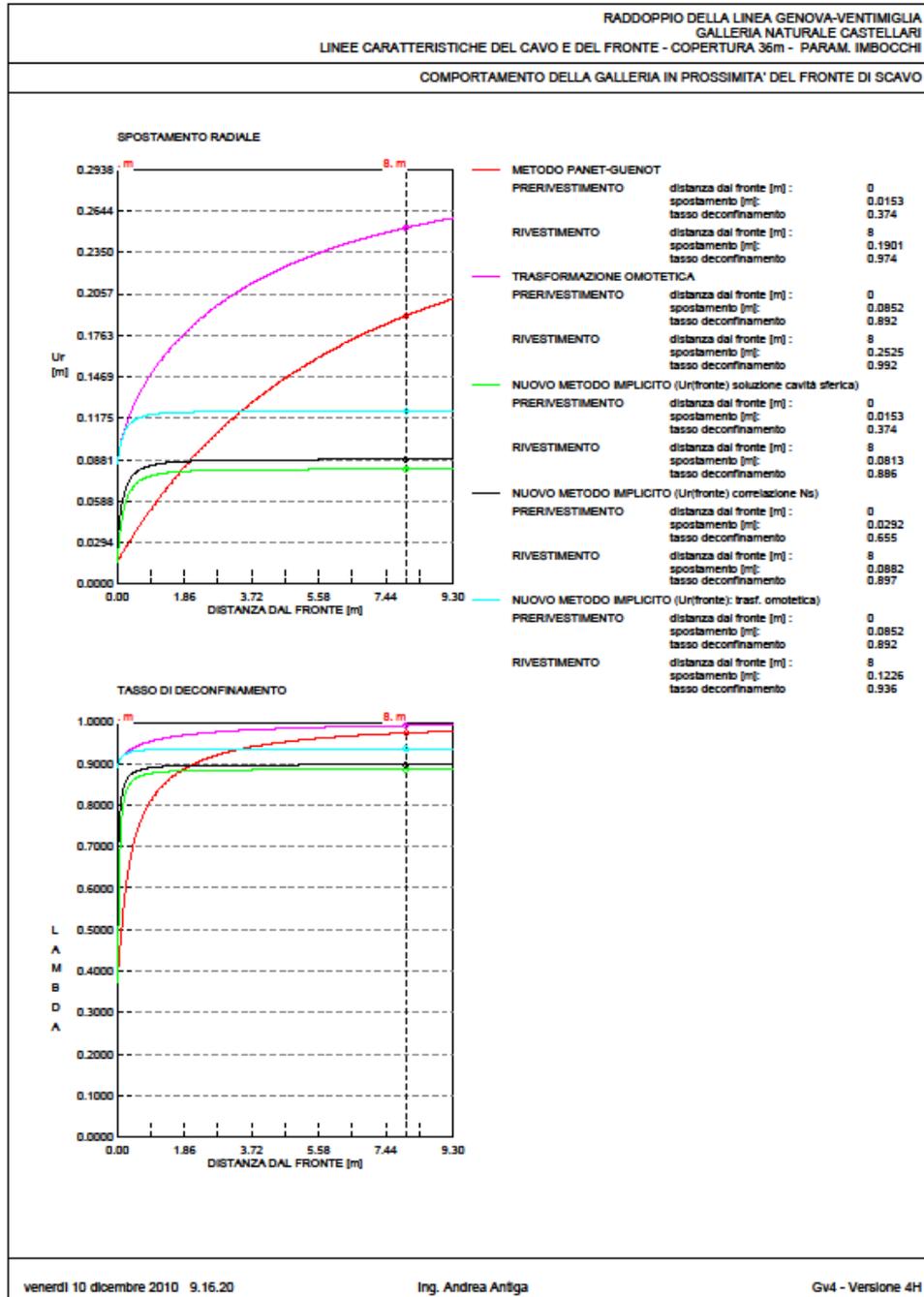


Figura 51 – Deformata Longitudinale

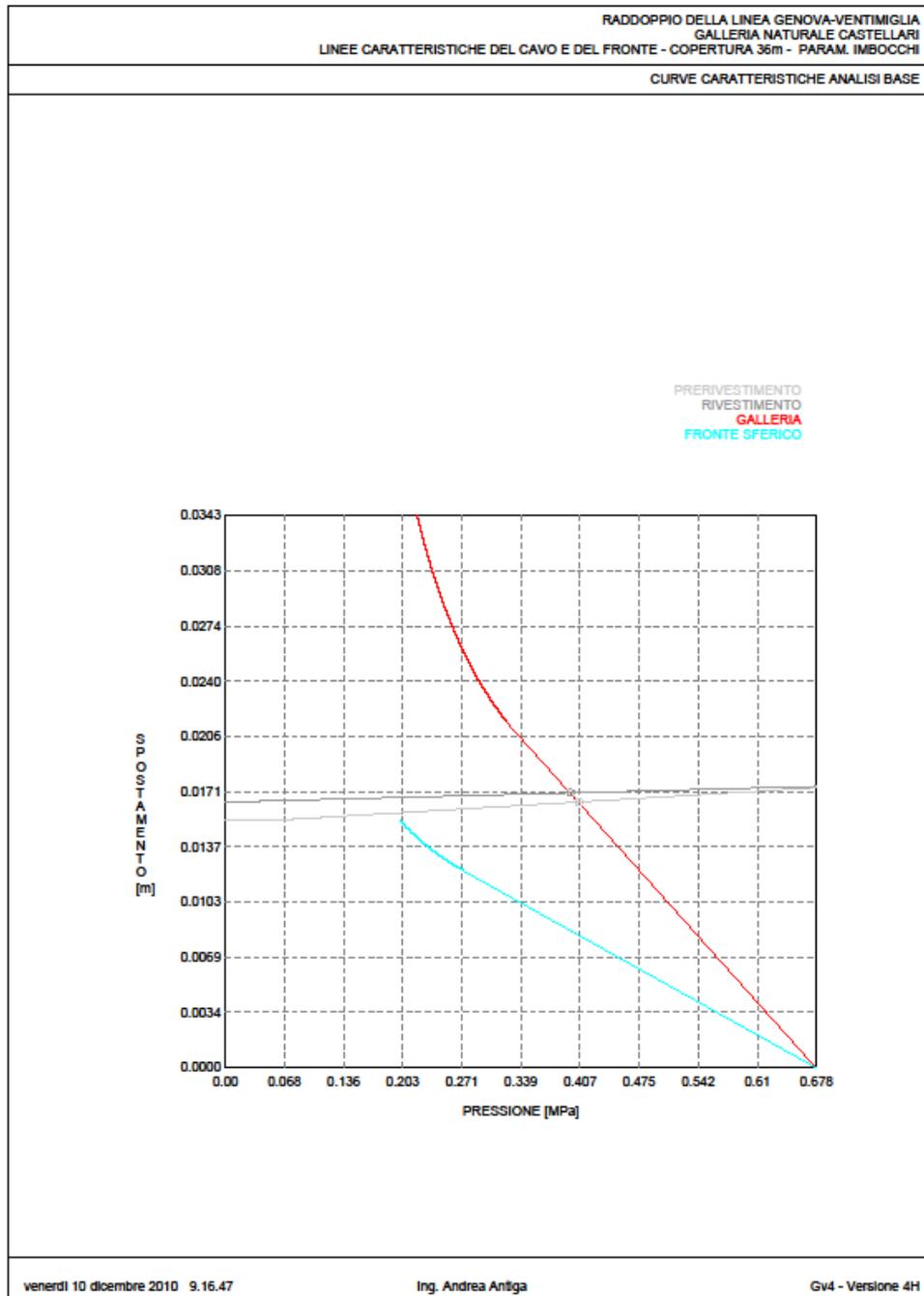


Figura 52 – Curve Caratteristiche



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

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 01 00 001	A	2

8.2.2 ANALISI A2+M2+R2

```
#####          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 36m - PARAM. IMBOCCHI

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] ..... .67800
Modulo di Young [MPa] ..... 100.00000
Coefficiente di Poisson ..... .30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] . 18.50000
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] ..... .01600
Angolo attrito picco [°] ..... 24.79000
Coesione residua [MPa] ..... .01600
Angolo attrito residuo [MPa] ..... 24.79000
Angolo dilatazione [°] ..... .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] ..... .00000
Pressione sul fronte di scavo [MPa] ..... .20000
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] ..... 15.75000
Opzione calcolo rivestimento ..... 0
[0 prerinvestimenti non collaboranti a lungo termine]
[1 prerinvestimenti 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] ..... .402856
Spostamento radiale galleria [m] ..... .765689
Raggio plastico galleria [m] ..... 26.425986
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] ..... .200000
Spostamento radiale fronte sferico [m] ..... .018005
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] ..... .076186
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ... .222050
Raggio plastico fronte sferico [m] ..... 5.416538
```

STATO GALLERIA AL FRONTE DI SCAVO (PER FRESA SCUDATA) -----

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
 GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 01 00 001	A	2

```

Metodo Panet-Guenot
  U [m] : .01801
  LAMBDA : .44102

Trasformazione Omotetica
  U [m] : .22205
  LAMBDA : .92991

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica
  U [m] : .01801
  LAMBDA : .44102

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns
  U [m] : .07619
  LAMBDA : .80651

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica
  U [m] : .22205
  LAMBDA : .92991

STATO GALLERIA ALLA MESSA IN OPERA DEL RIVESTIMENTO -----
Metodo Panet-Guenot
  U [m] : .36163
  LAMBDA : .96433

Trasformazione Omotetica
  U [m] : .52823
  LAMBDA : .98454

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da soluzione cavità sferica
  U [m] : .10219
  LAMBDA : .84858

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da correlazione Ns
  U [m] : .13967
  LAMBDA : .88593

Nuovo Metodo Implicito - convergenza al fronte da trasformazione omotetica
  U [m] : .25513
  LAMBDA : .94081
  
```

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] ..... 402856
Spost. radiale galleria fine calcolo [m] ..... 765689
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] ..... 26.425986

PRESA SCUDATA -----
Raggio plastico al punto di equilibrio [m] ..... 4.76756
Pressione al punto di equilibrio [MPa] ..... 36619
Spostamento al punto di equilibrio [m] ..... 01896
Convergenza radiale scudo [m] ..... 00096
Tensione scudo [MPa] ..... 45.76362
Coefficiente di sicurezza scudo ..... 5.72289
Pressione rottura scudo [MPa] ..... 1.68423
Rigidezza scudo [MPa] ..... 1426.46768

RIVESTIMENTO DEFINITIVO (ANELLO CLS) -----
Raggio plastico punto di equilibrio [m] ..... 4.83036
Pressione punto di equilibrio [MPa] ..... 36034
Spostamento punto di equilibrio [MPa] ..... 01946
Spostamento galleria alla messa in opera [m] ..... 01896
Convergenza radiale rivestimento [m] ..... 00049
Tensione CLS [MPa] ..... 4.28729
Coefficiente di sicurezza CLS ..... 3.67365
Pressione rottura CLS [MPa] ..... 1.32375
Rigidezza anello CLS [MPa] ..... 3333.66955
Tasso di deconfinamento alla messa in opera ..... 848582
  
```

Figura 53– output di calcolo

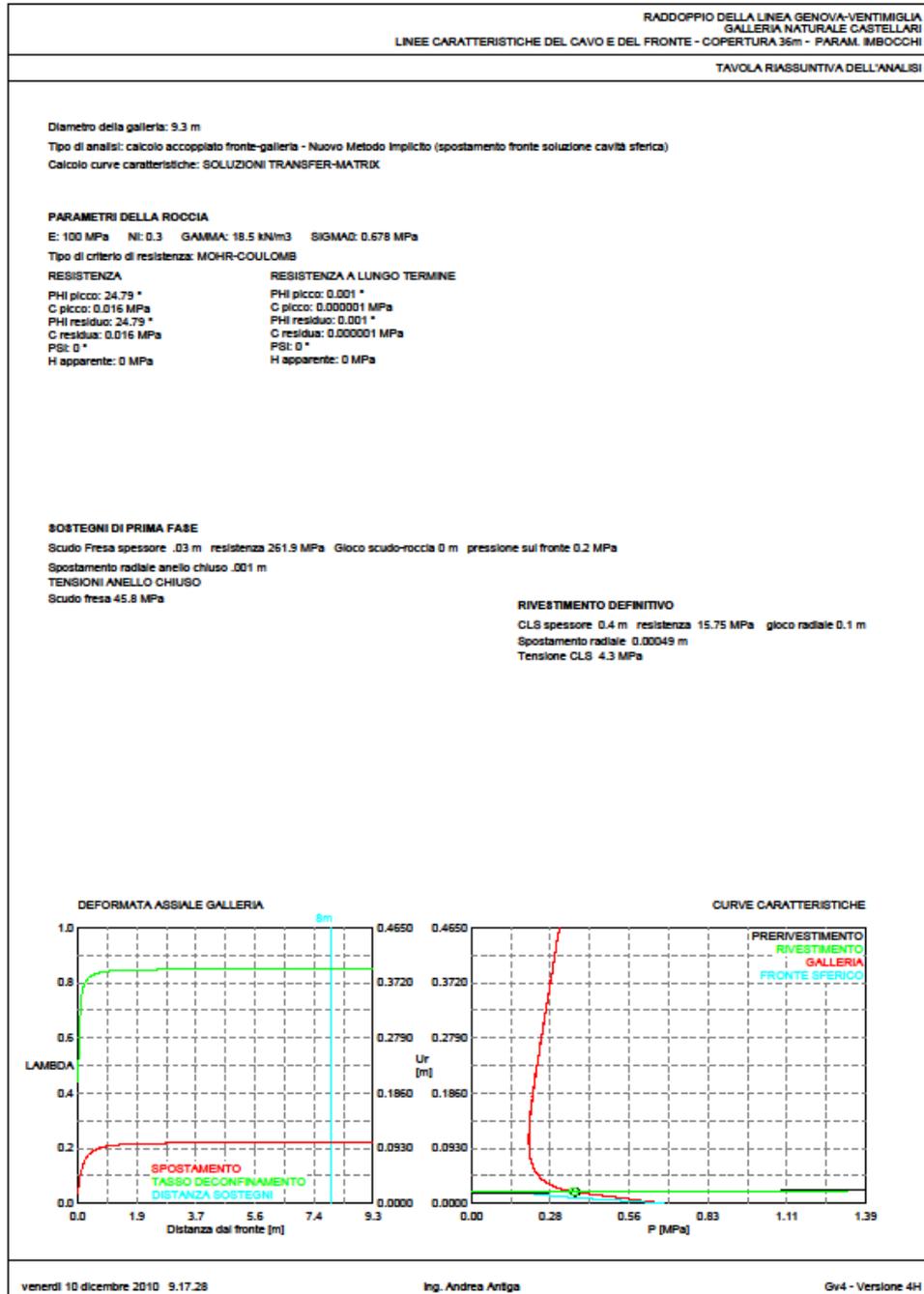


Figura 54– Tavola Riassuntiva

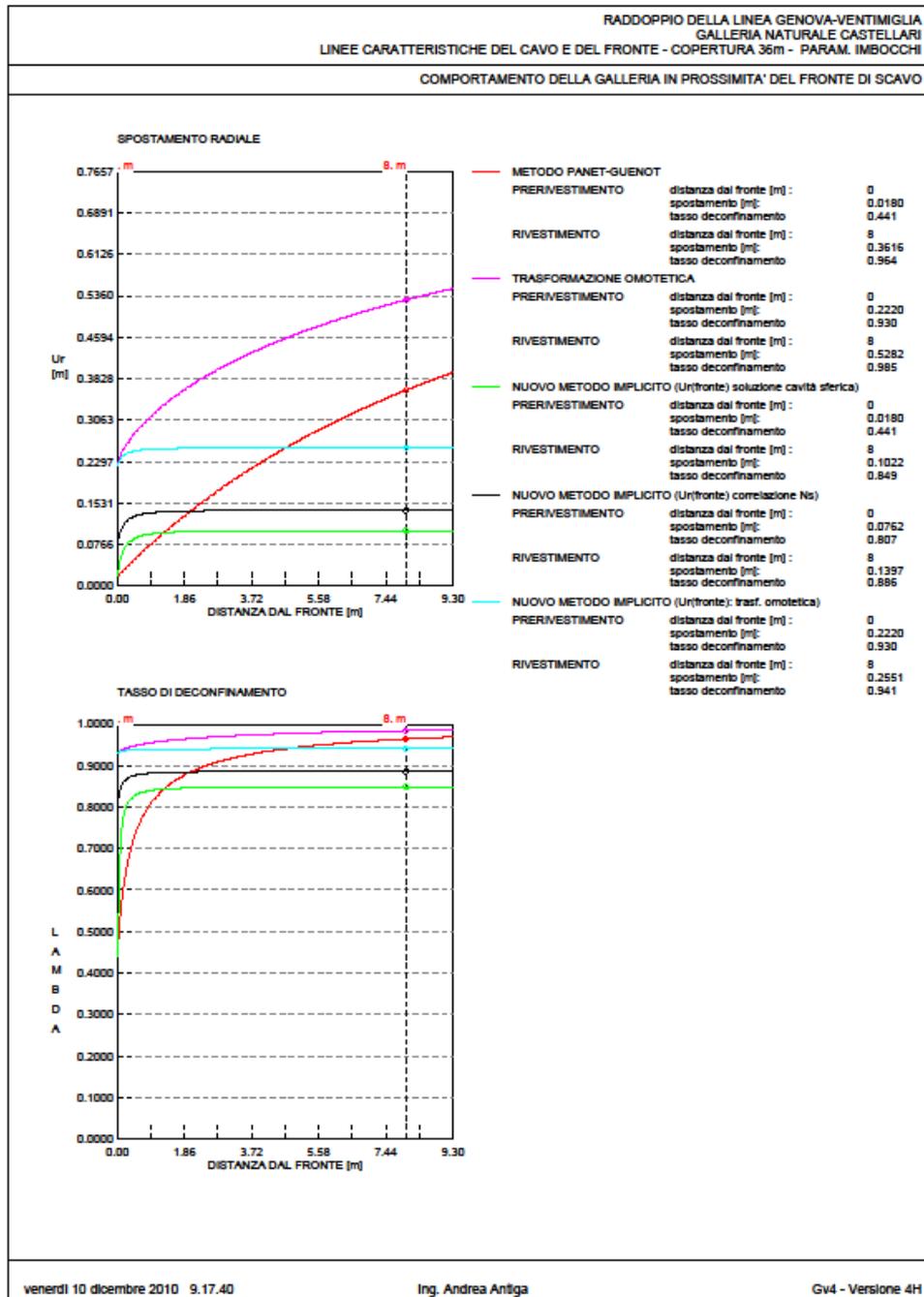


Figura 55 – deformata longitudinale

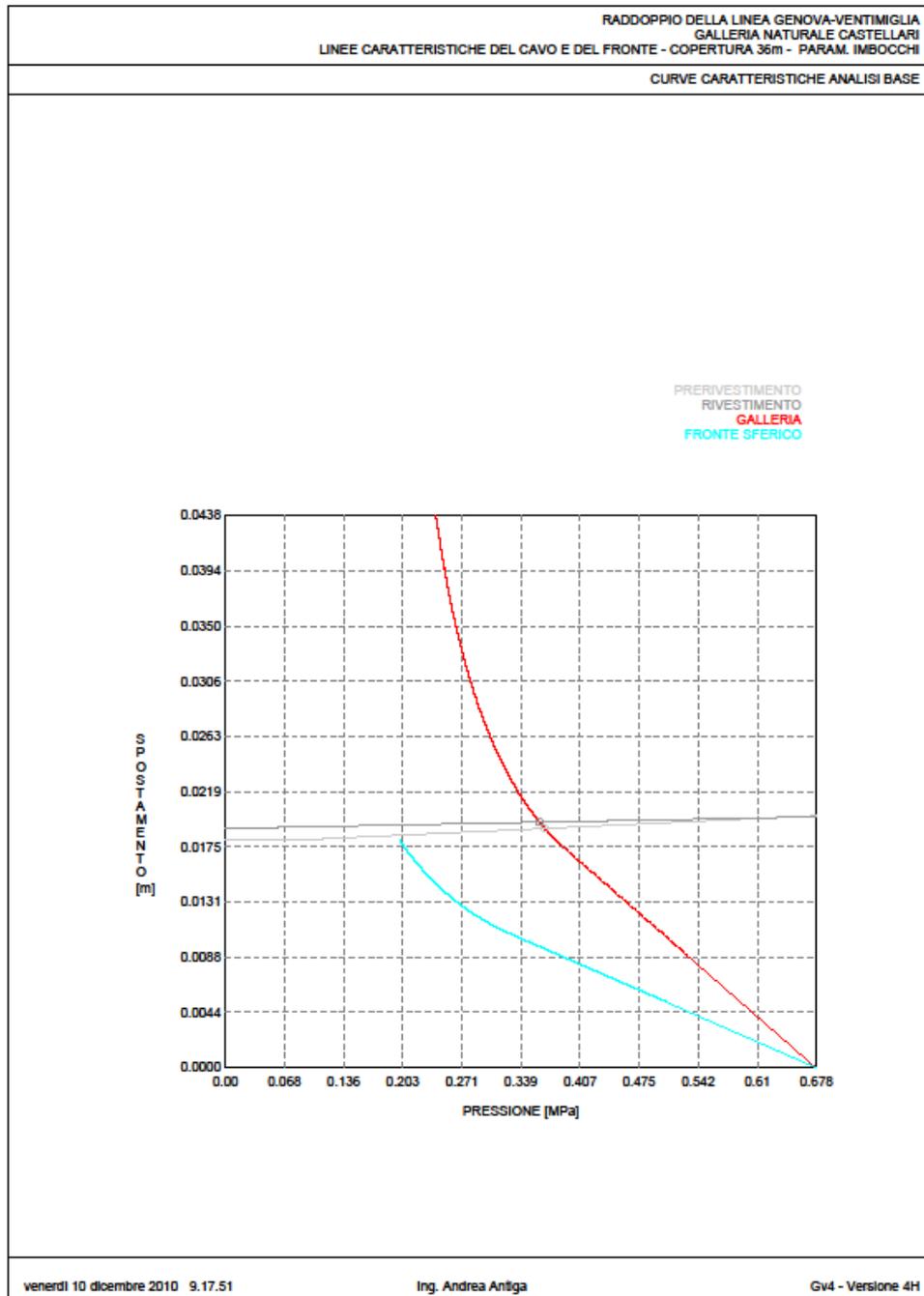


Figura 56 – Curve Caratteristiche

9 ANALISI PER L'INDIVIDUAZIONE DELLE FORZE DI SCAVO

```

#####
#####          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 36m - PARAM. IMBocchi

TIPO DI ANALISI: CALCOLO ACCOCCIATO 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)

DATI ANALISI

R galleria [m] ..... 4.65000

PARAMETRI GEOTECNICI .....
Tensione originaria [MPa] ..... .67800
Modulo di Young [MPa] ..... 100.00000
Coefficiente di Poisson ..... .30000
Peso specifico (sovraccarico gravitativo) [kN/m3] ..... 18.50000
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] ..... .02000
Angolo attrito picco [°] ..... 30.00000
Coesione residua [MPa] ..... .02000
Angolo attrito residuo [MPa] ..... 30.00000
Angolo dilatanza [°] ..... .00000
Modulo di softening apparente Ha [MPa] ..... .00000
Modulo di softening H [MPa] ..... .00000

RISULTATO ANALISI FRONTE DI SCAVO

Press. fine calcolo curva galleria [MPa] ..... .196329
Spostamento radiale galleria [m] ..... .300817
Raggio plastico galleria [m] ..... 15.262395
Press. fine calcolo fronte sferico [MPa] ..... .000000
Spostamento radiale fronte sferico [m] ..... .091948
Spostamento radiale fronte (correl. Ns) [m] ..... .029931
Spostamento radiale fronte (trasf. omotet.) [m] ... .087237
Raggio plastico fronte sferico [m] ..... 8.122707

RISULTATO ANALISI GALLERIA

Pressione fine calcolo [MPa] ..... .196329
Spost. radiale galleria fine calcolo [m] ..... .300817
Raggio plastico galleria fine calcolo [m] ..... 15.262395

```

Figura 57– output di calcolo

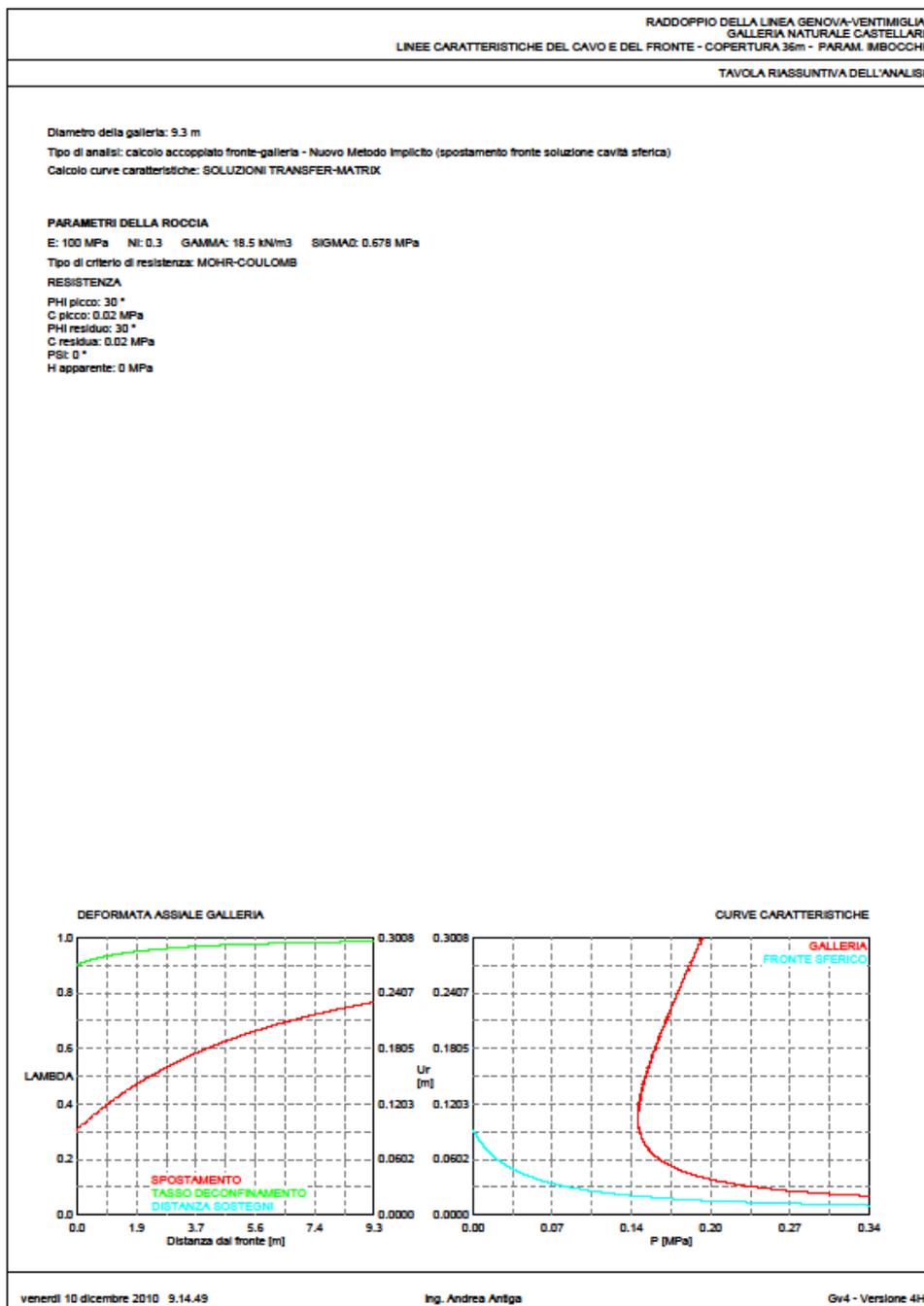


Figura 58– output di calcolo



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

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

ALLEGATO 2

TITOLO	Interazione opera-terreno – Risultati delle analisi
TIPO DI DOCUMENTO:	Documento - Formato A4
CODIFICA:	-
PAGINE:	112
DATA:	-
SORGENTE:	-
NOTE:	-



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

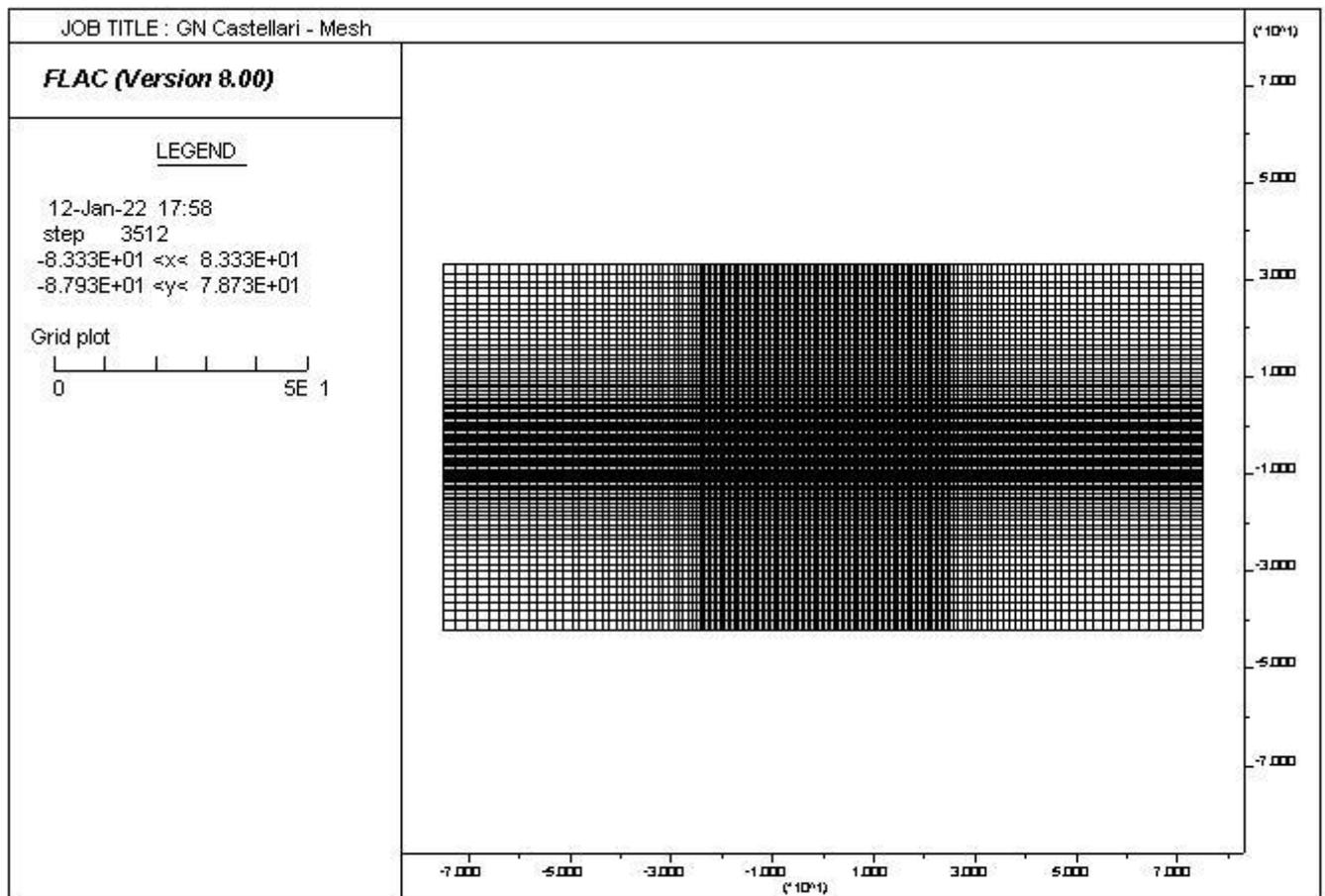
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

1 ALLEGATO

1.1 ANALISI N. 1

FASE 3

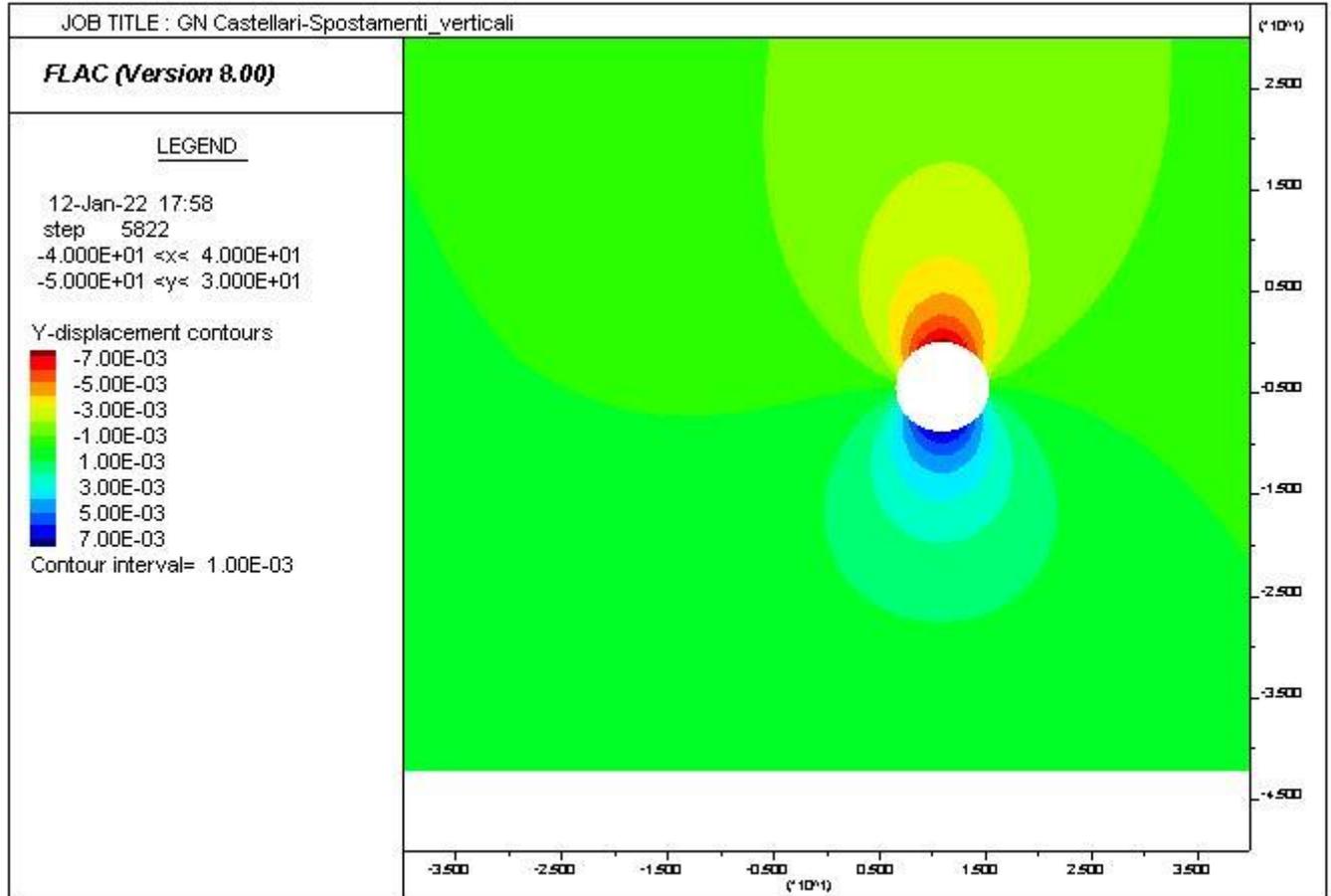




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

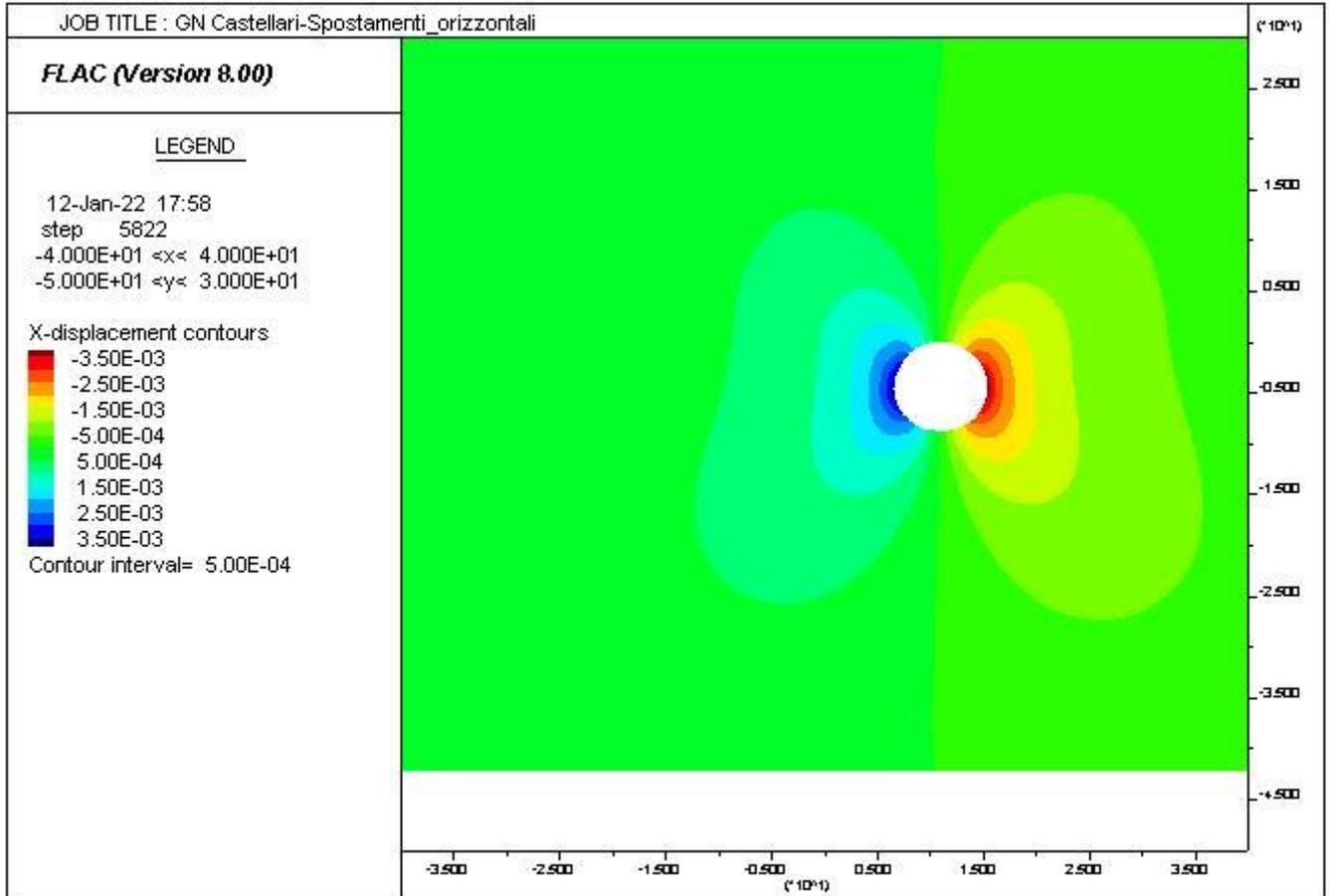




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

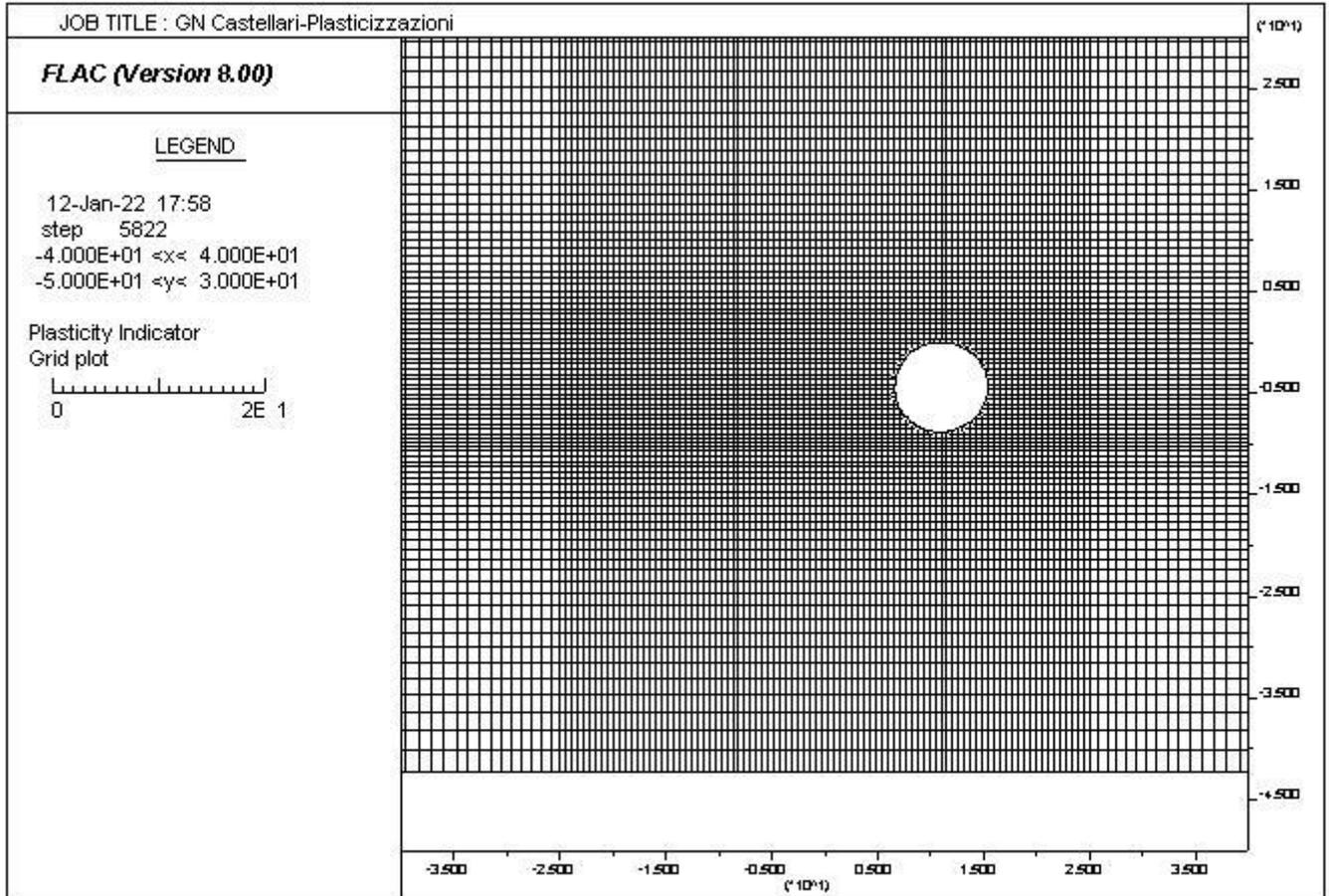




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

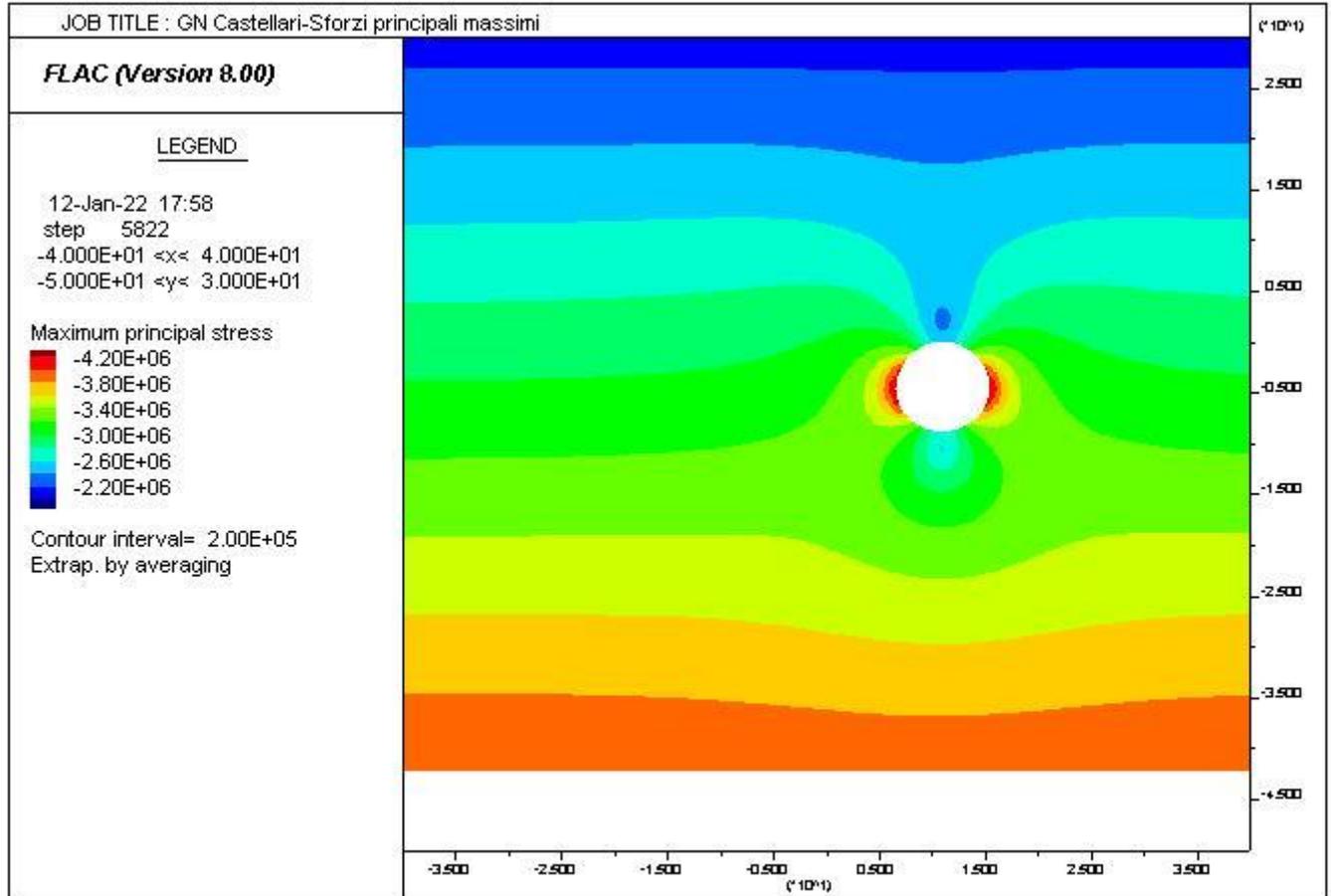




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1



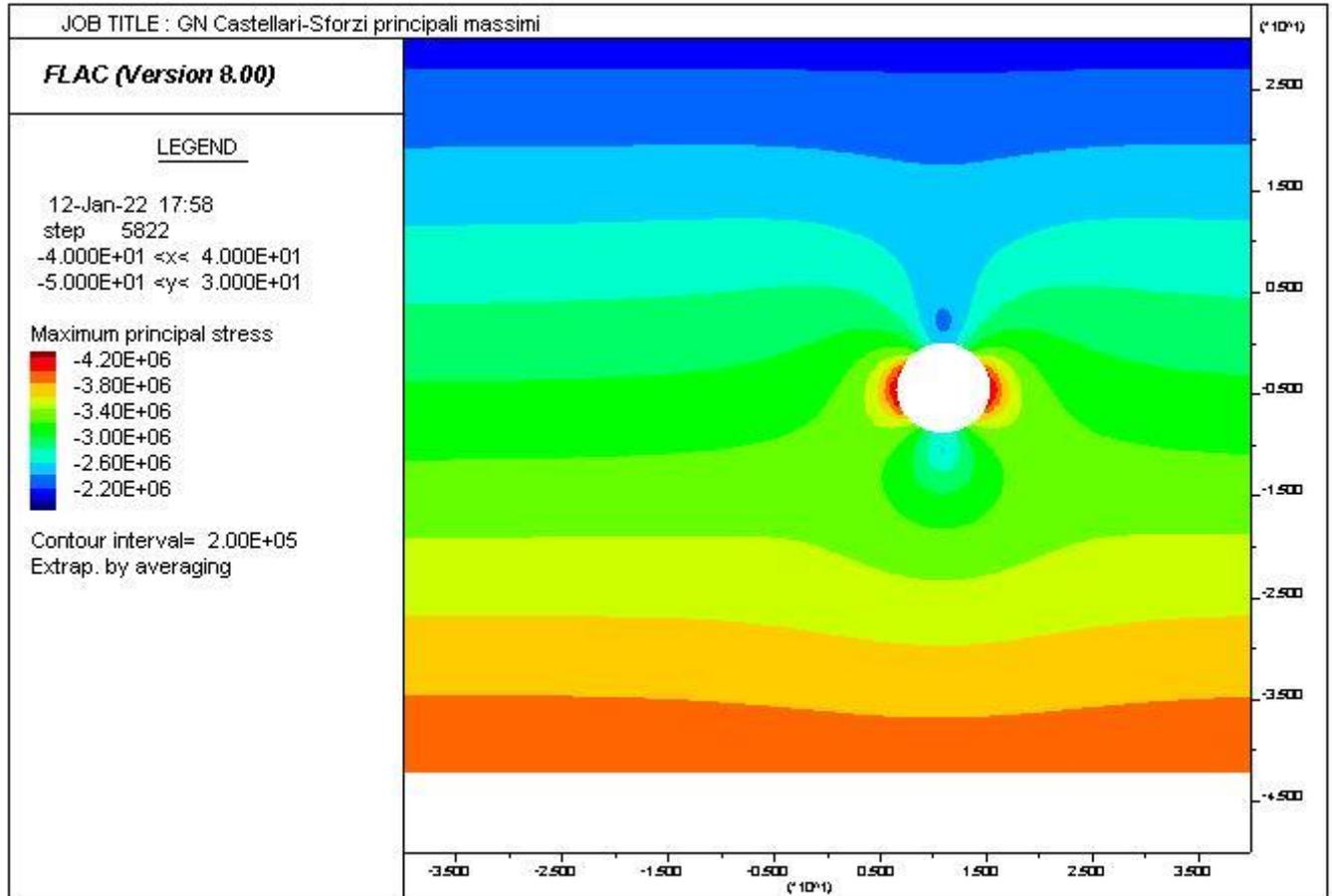


RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

FASE 5

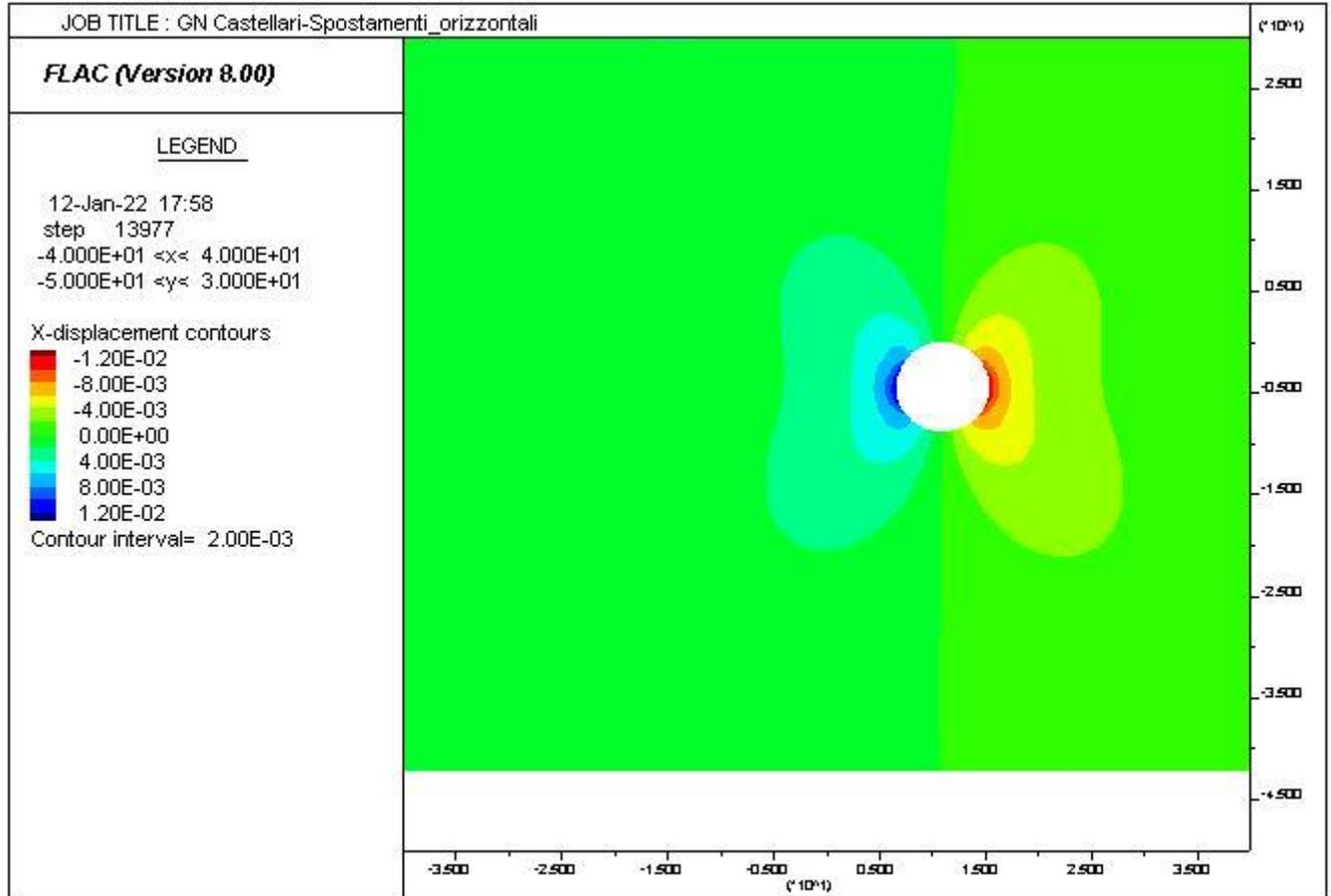




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

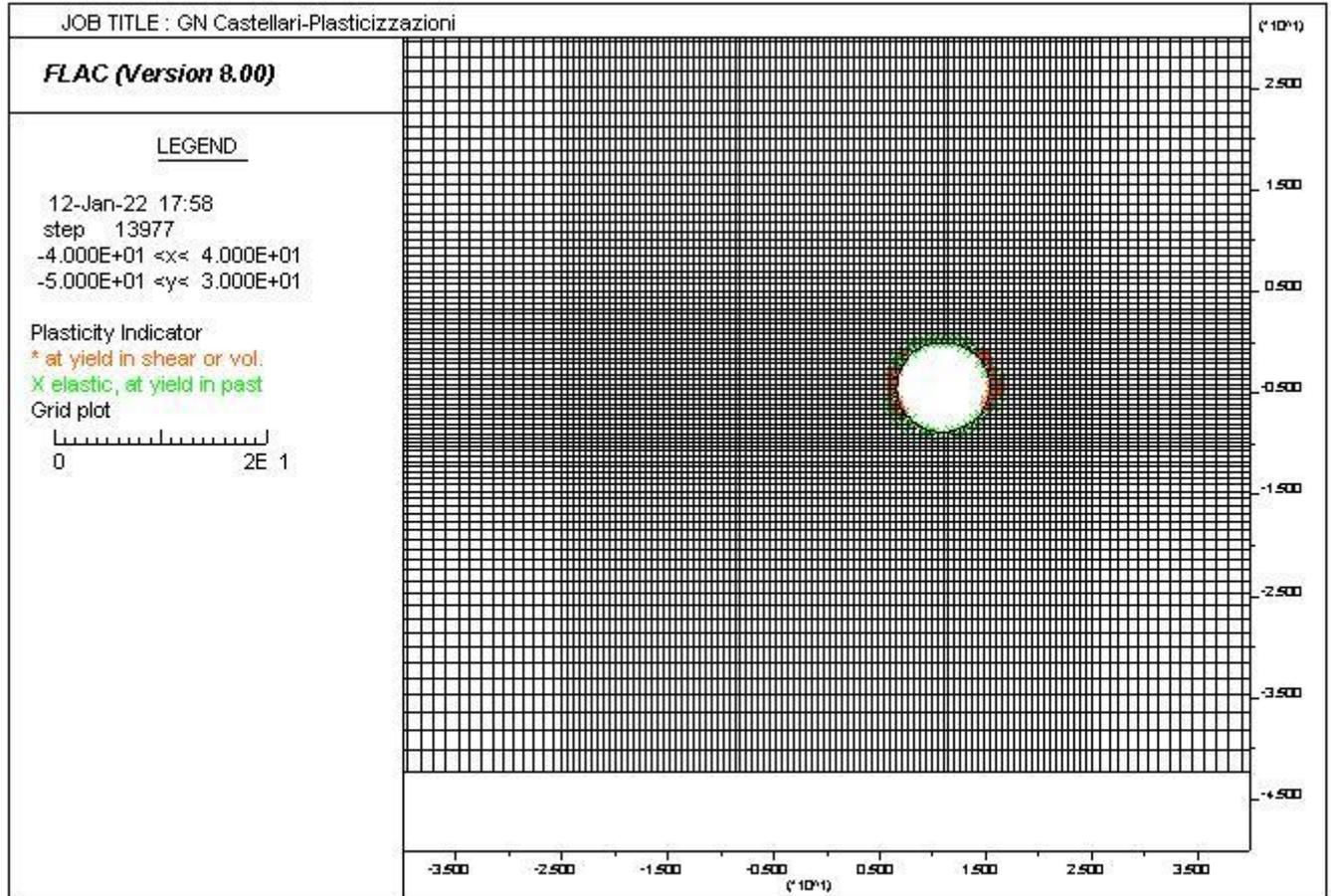




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

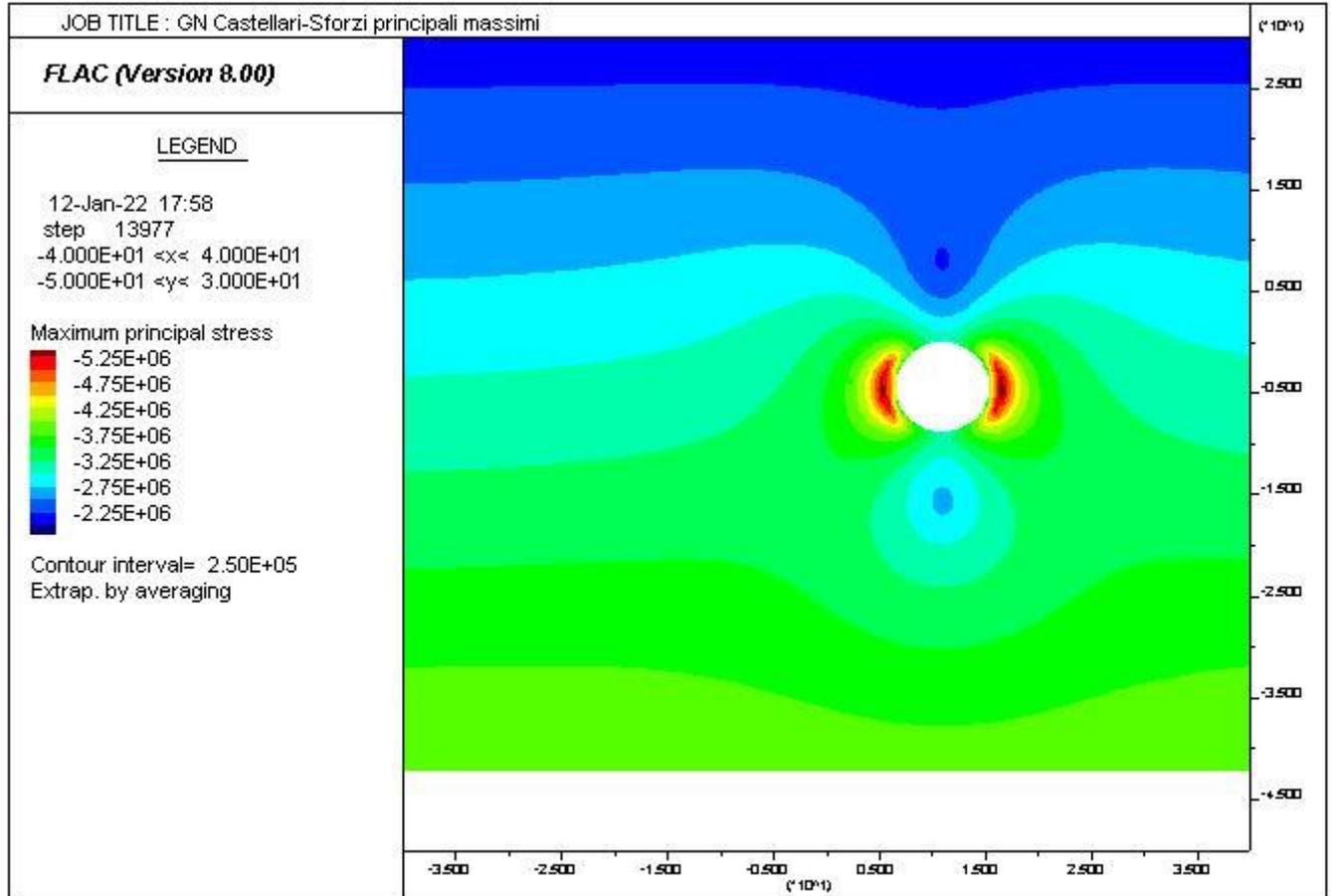




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1



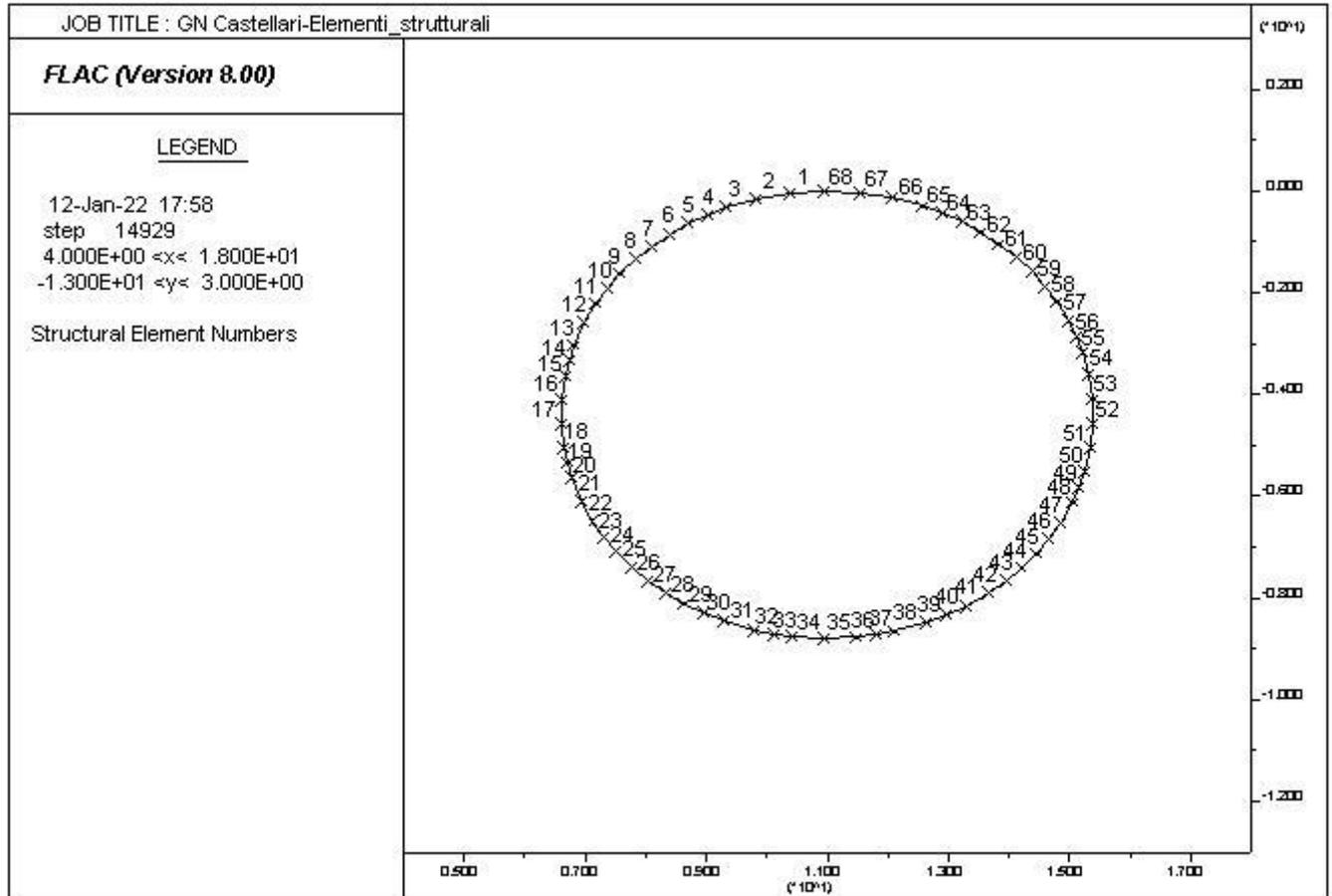


RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

FASE 6

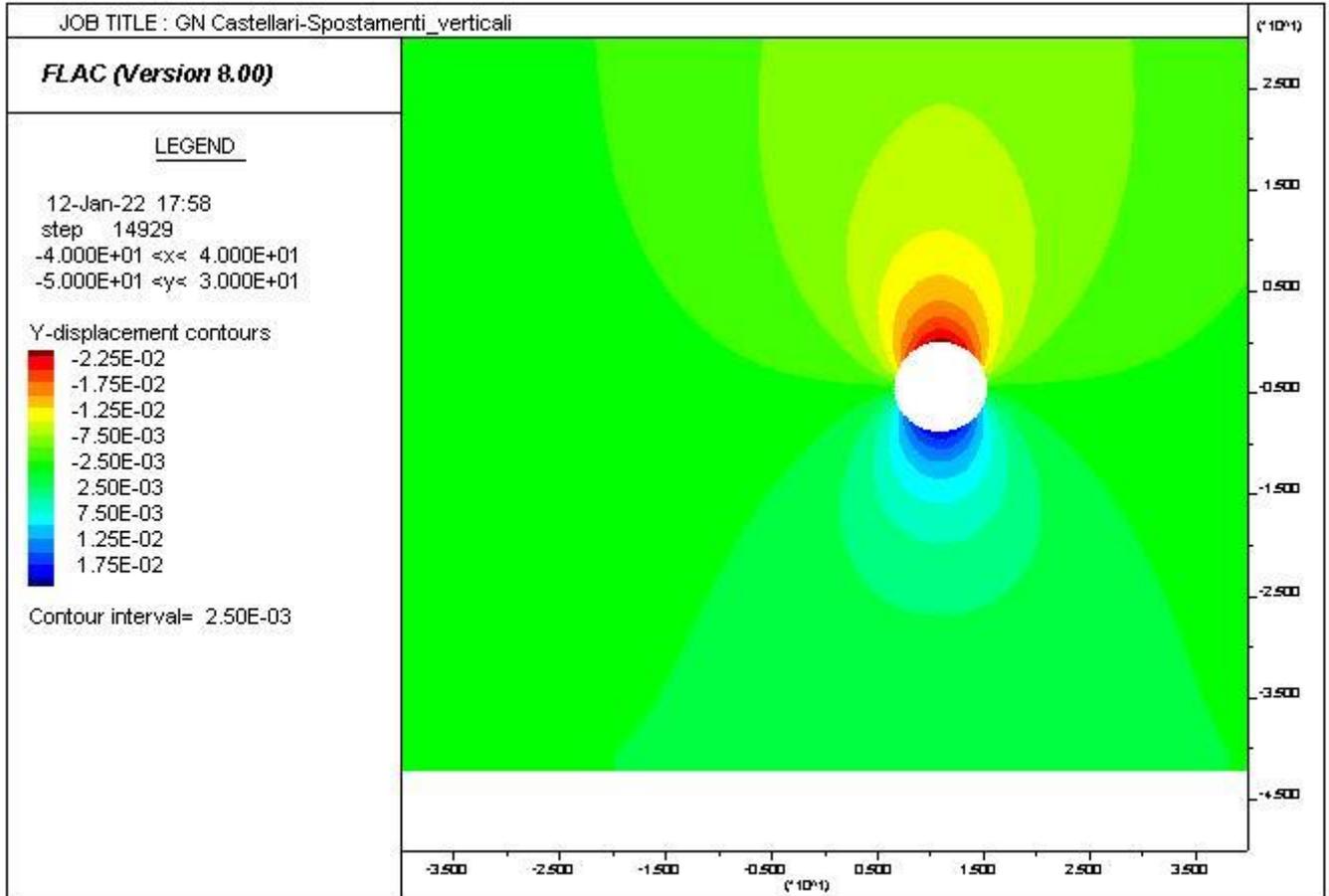




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

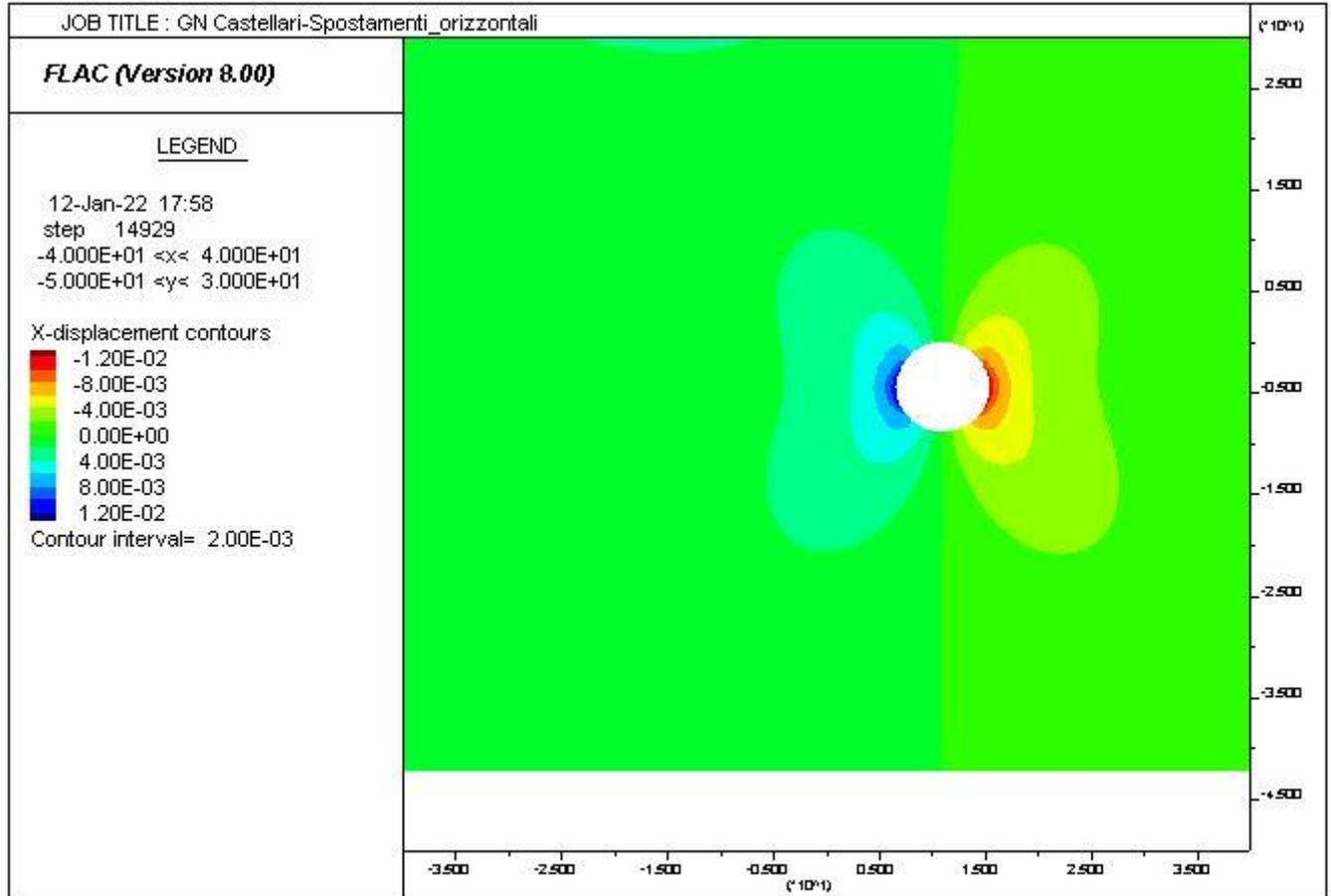




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

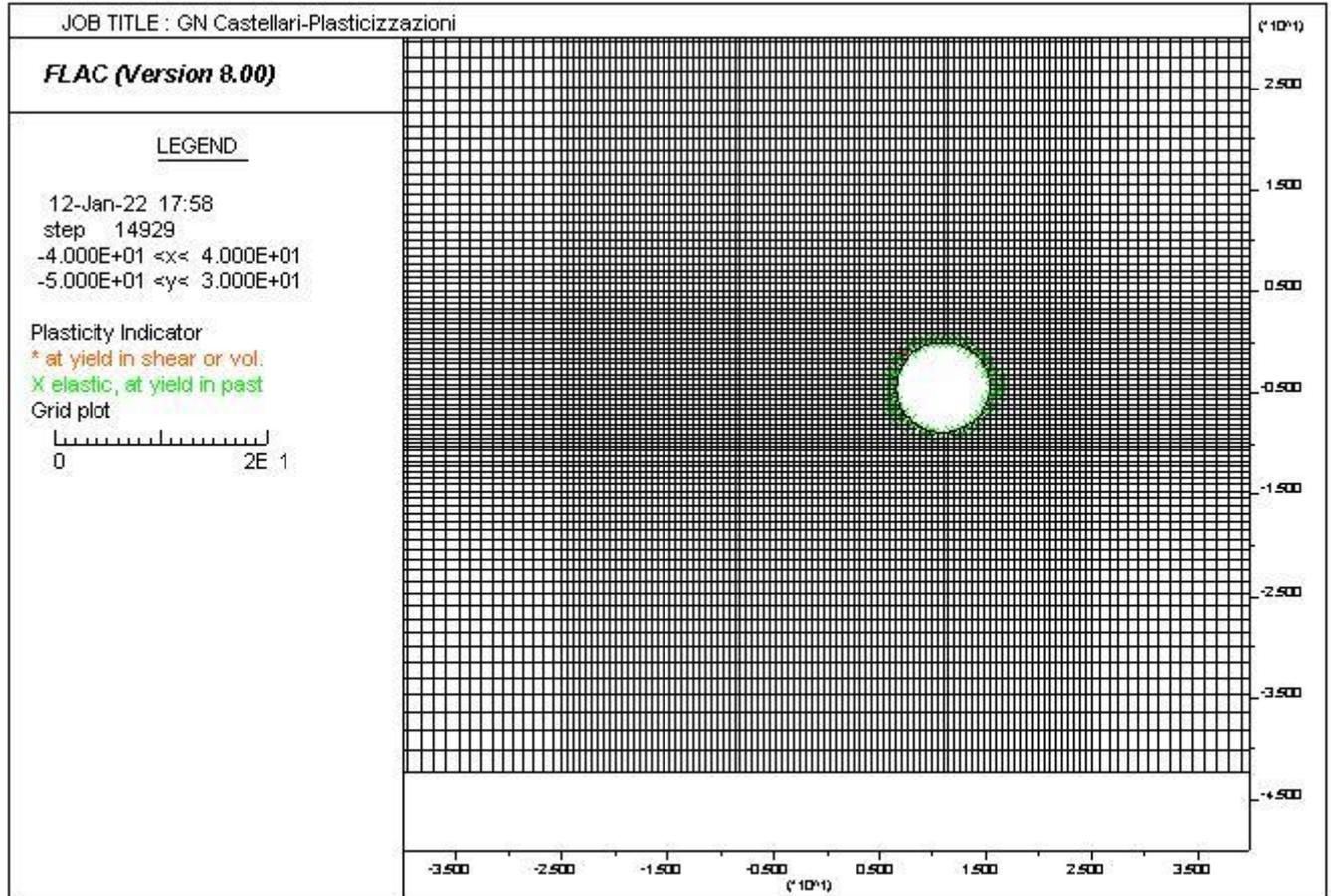




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

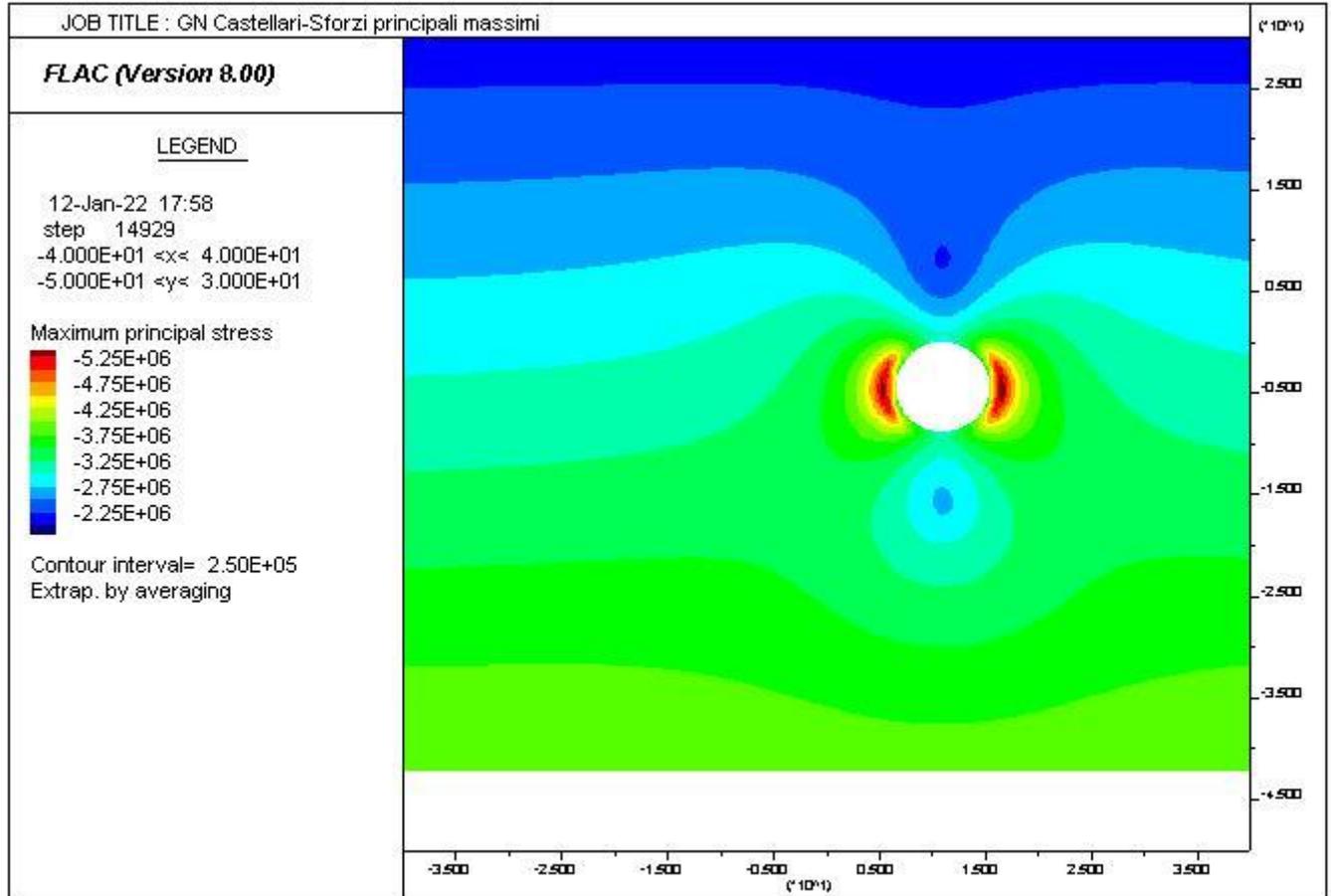




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

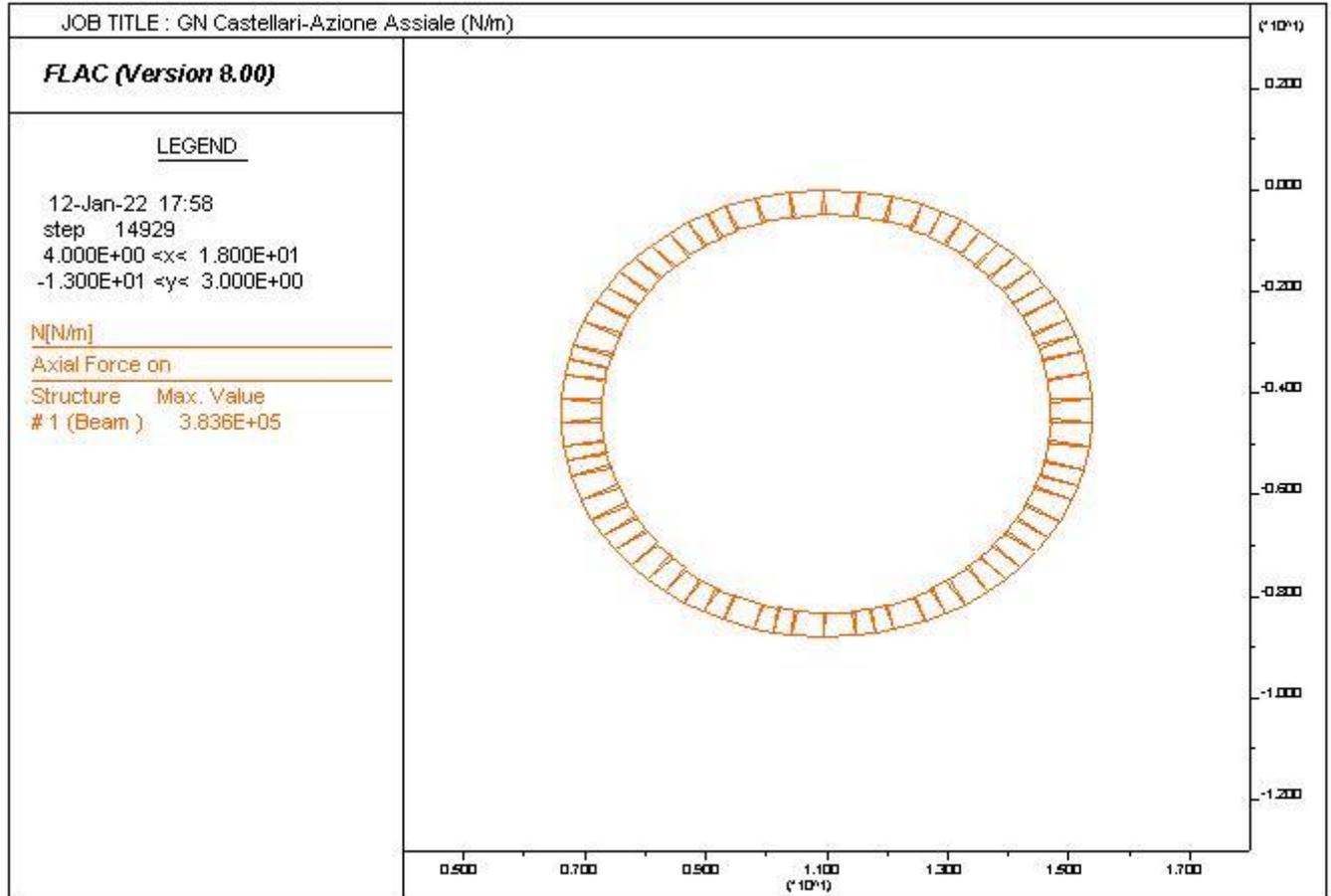




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

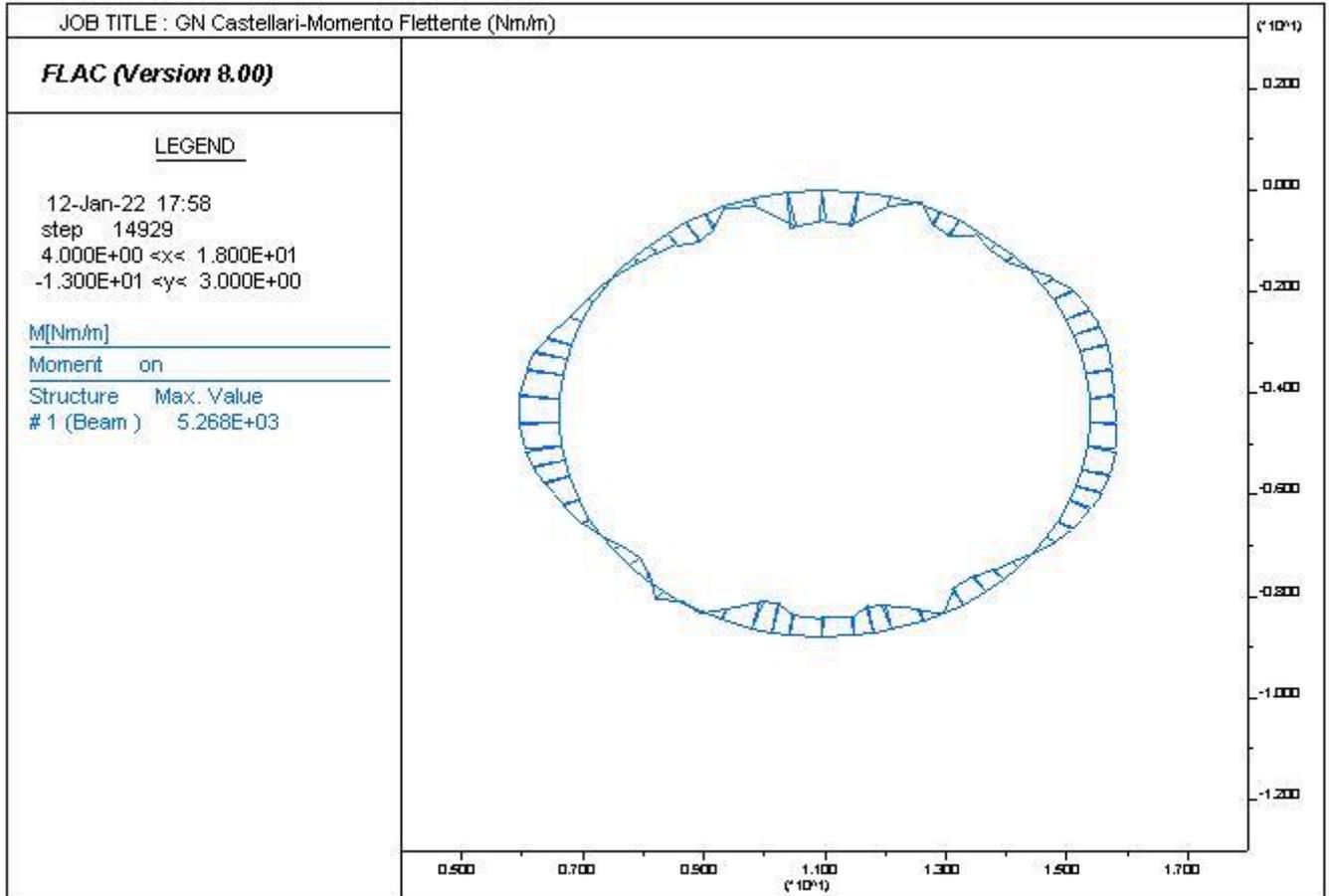




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
 GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

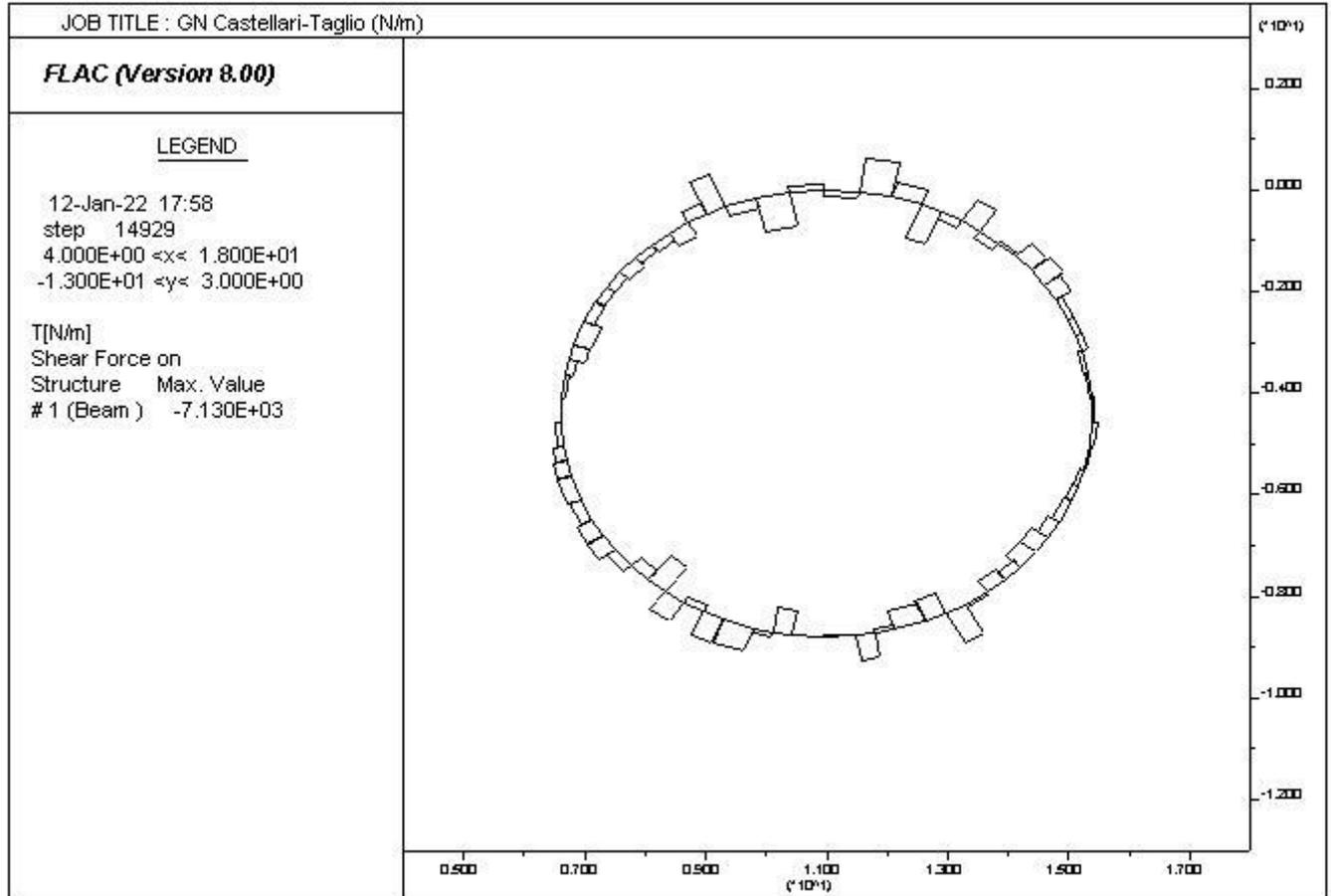




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1



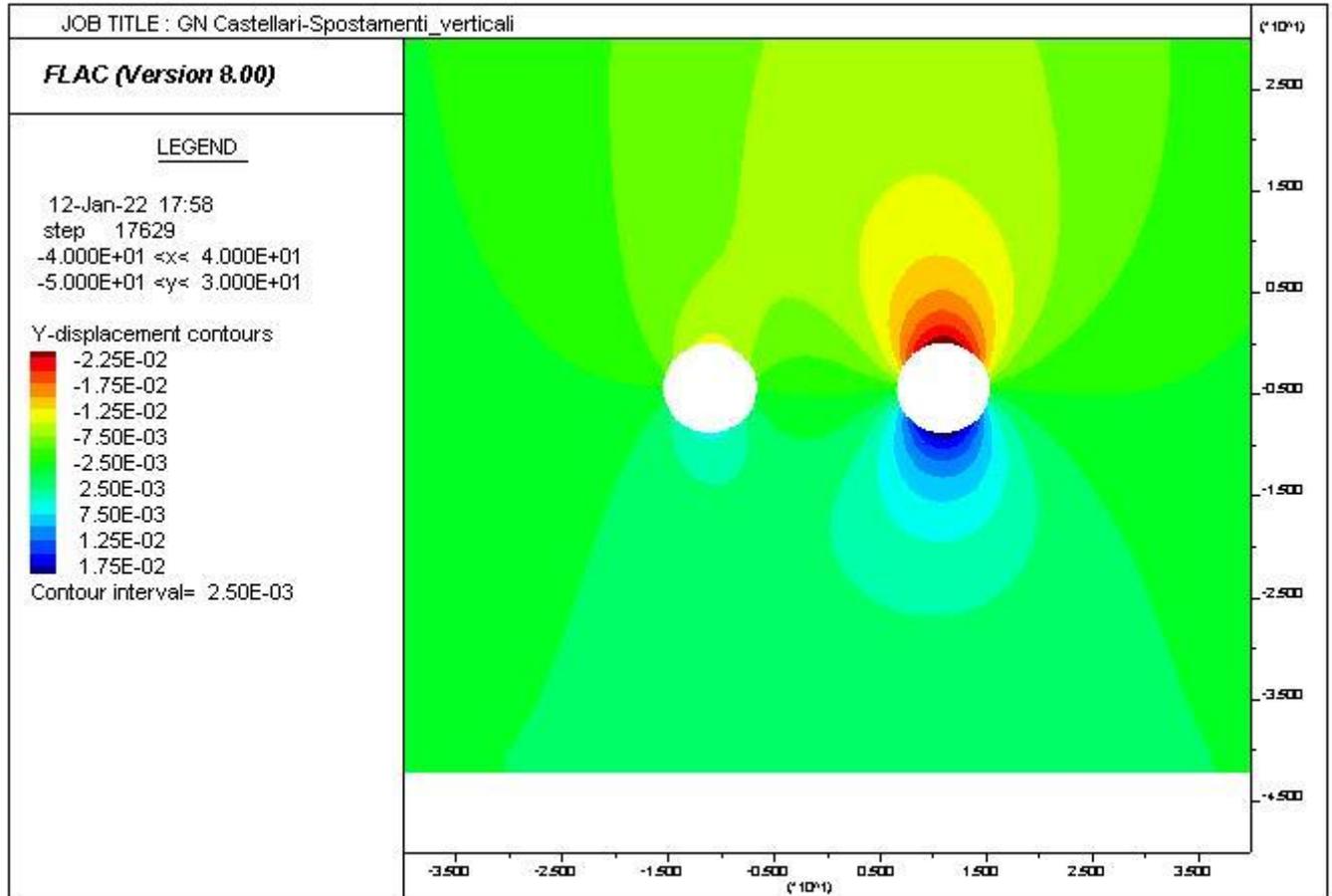


RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

FASE 7

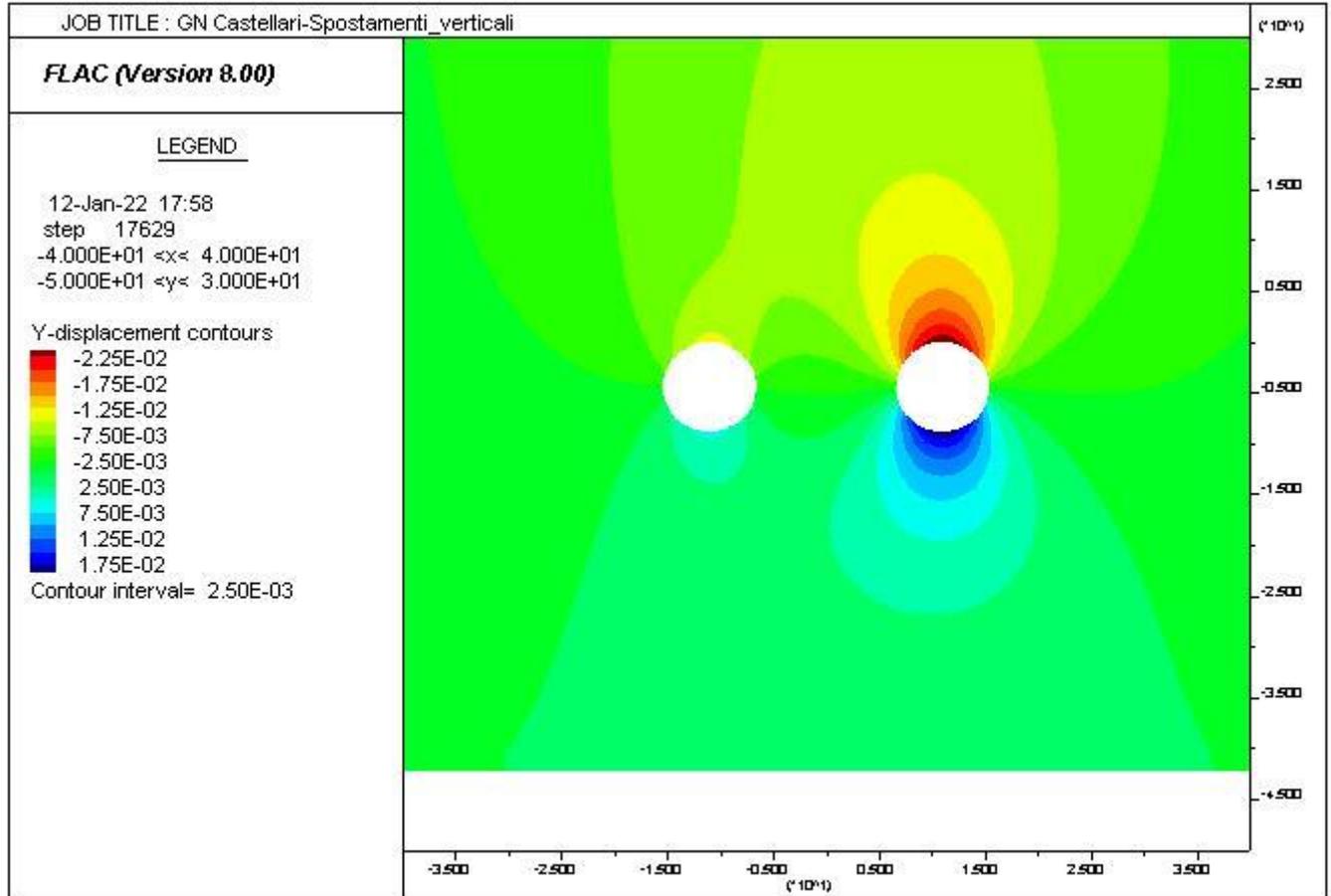




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

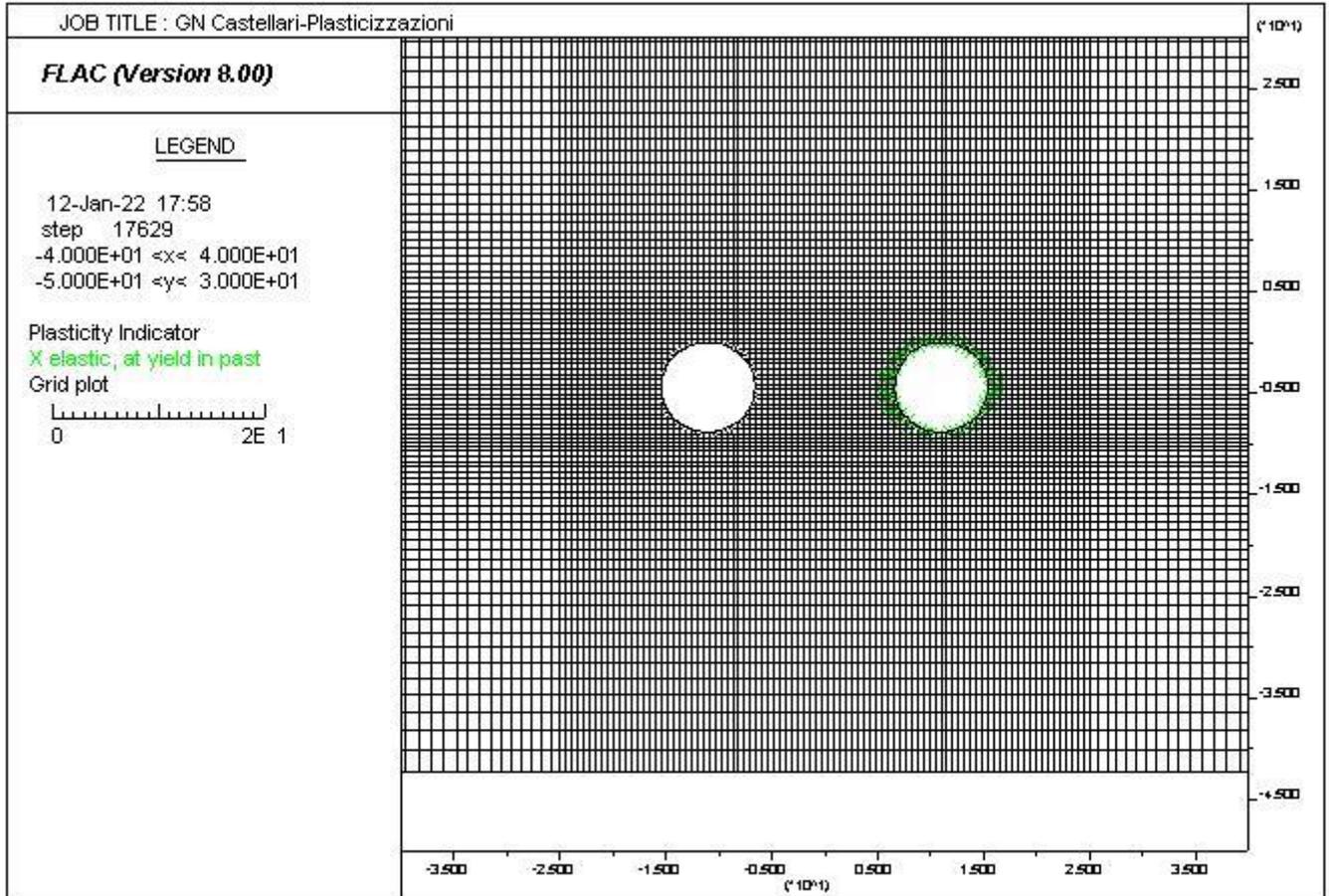




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
 GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

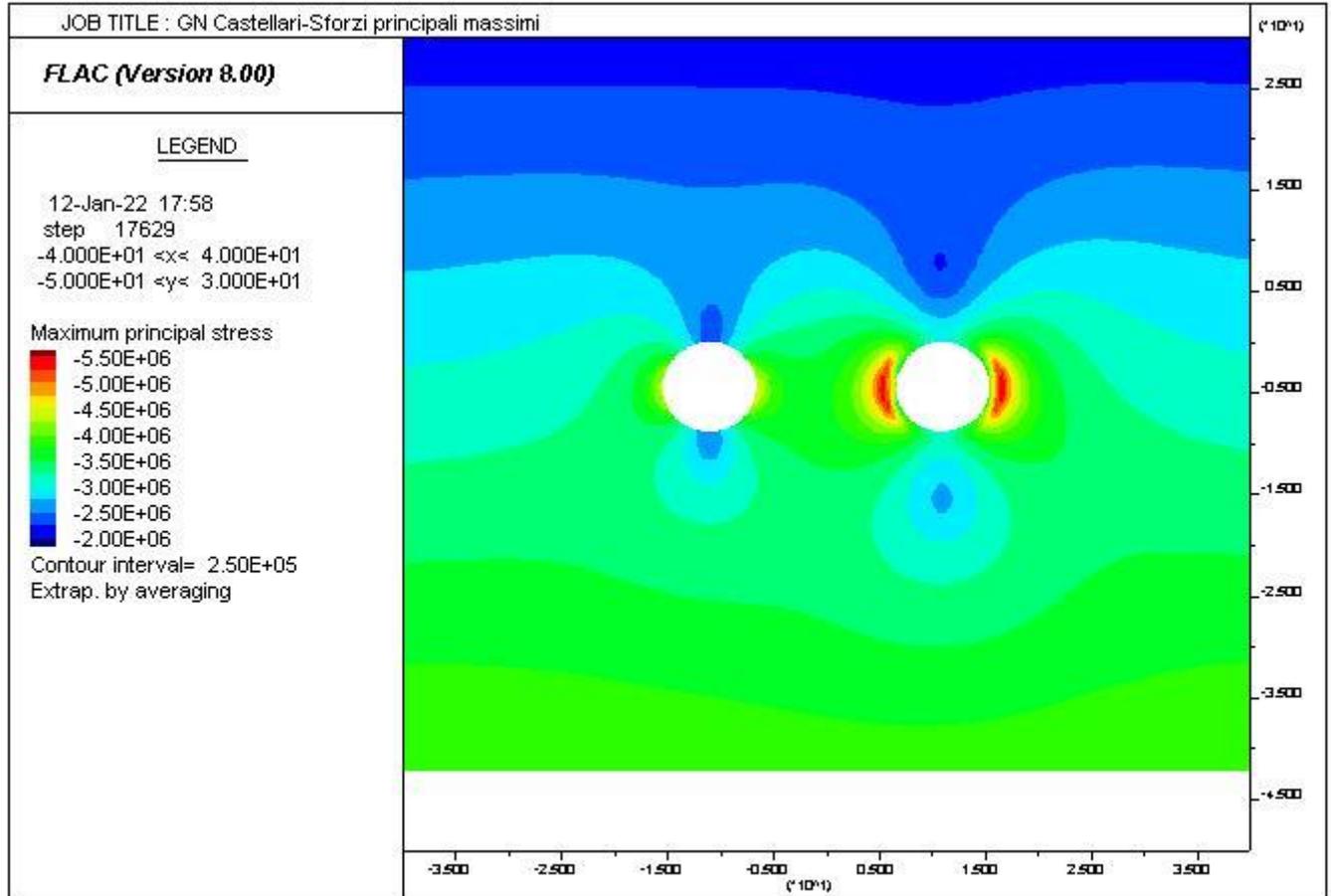




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1



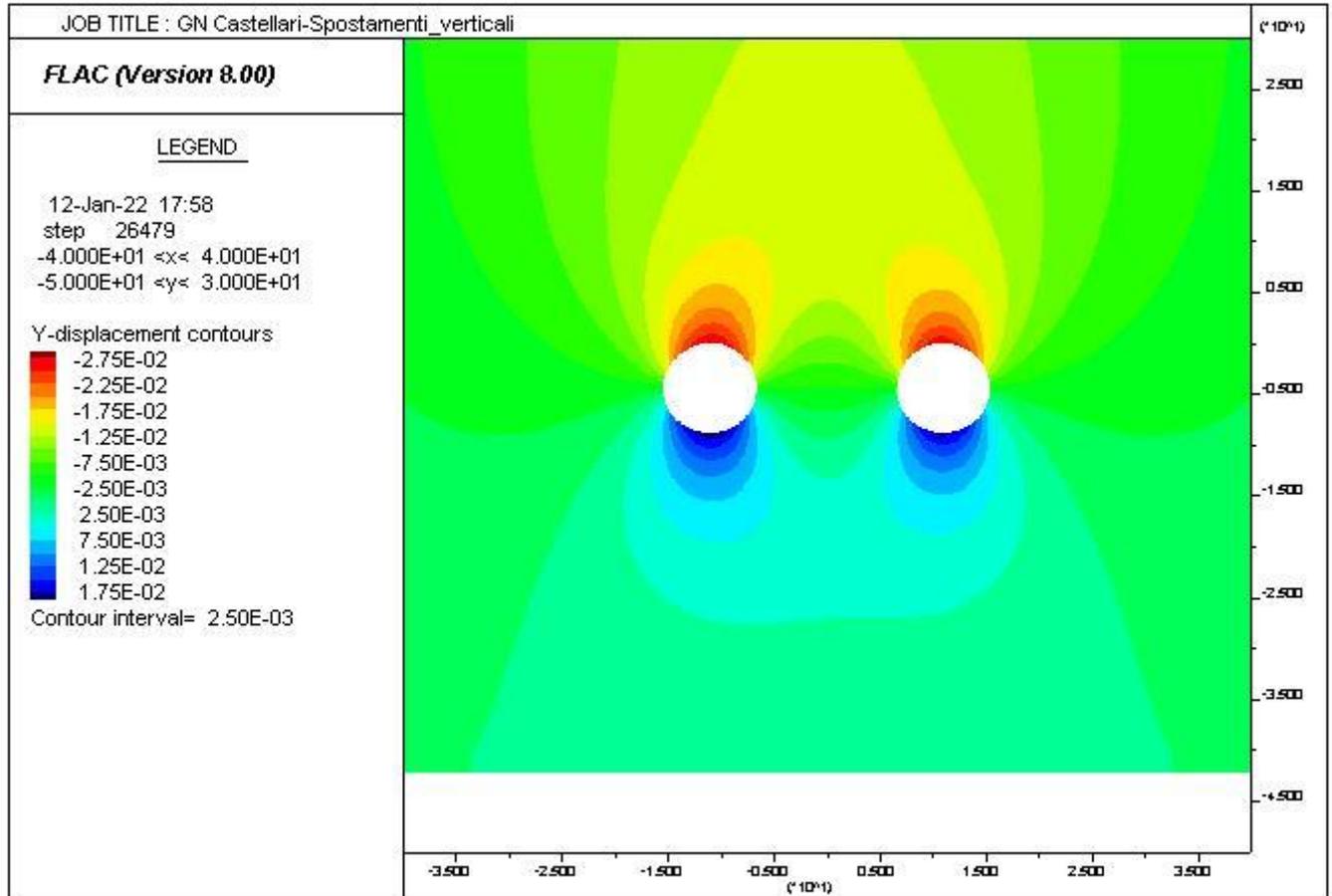


RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

FASE 9

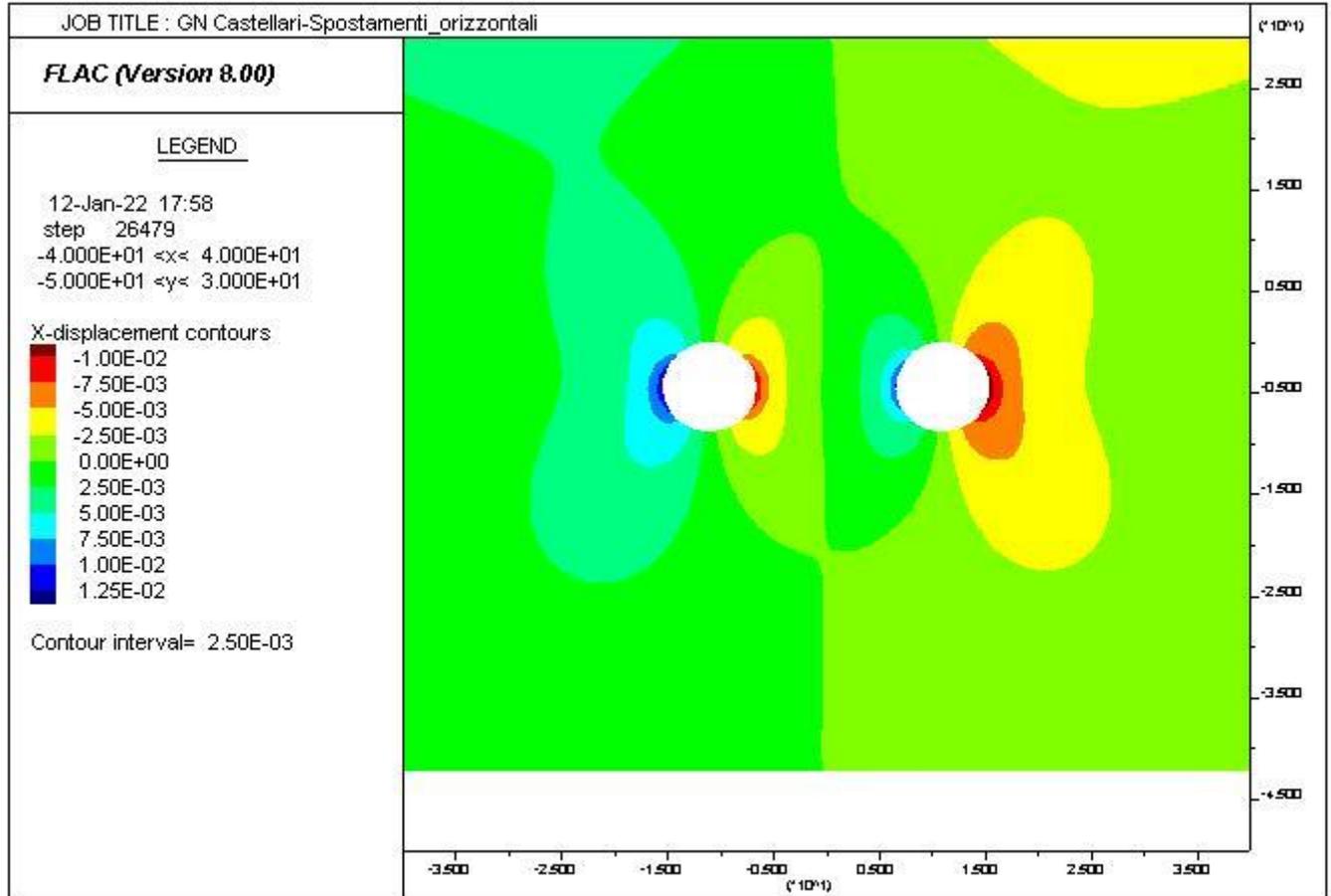




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

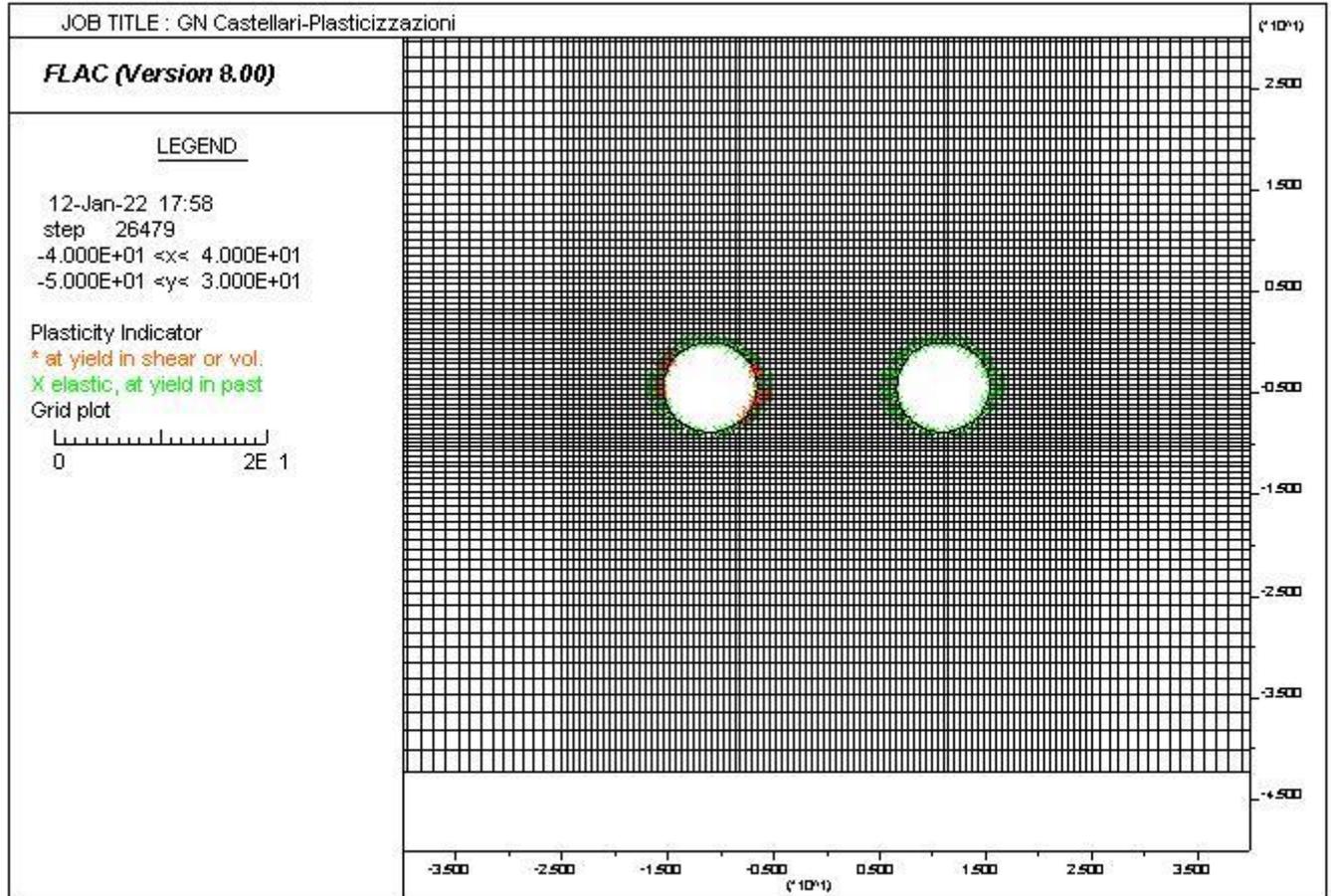




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

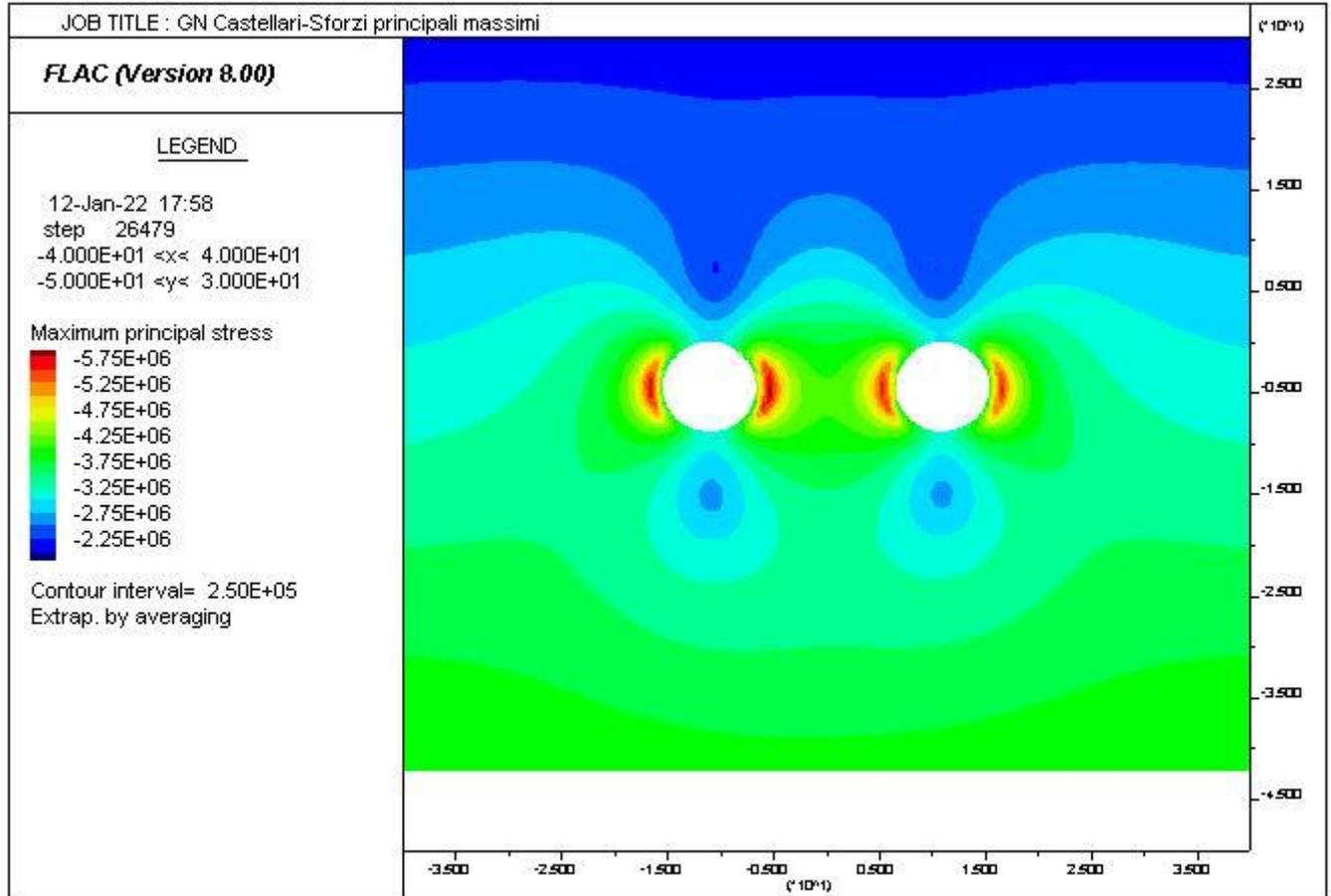




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1



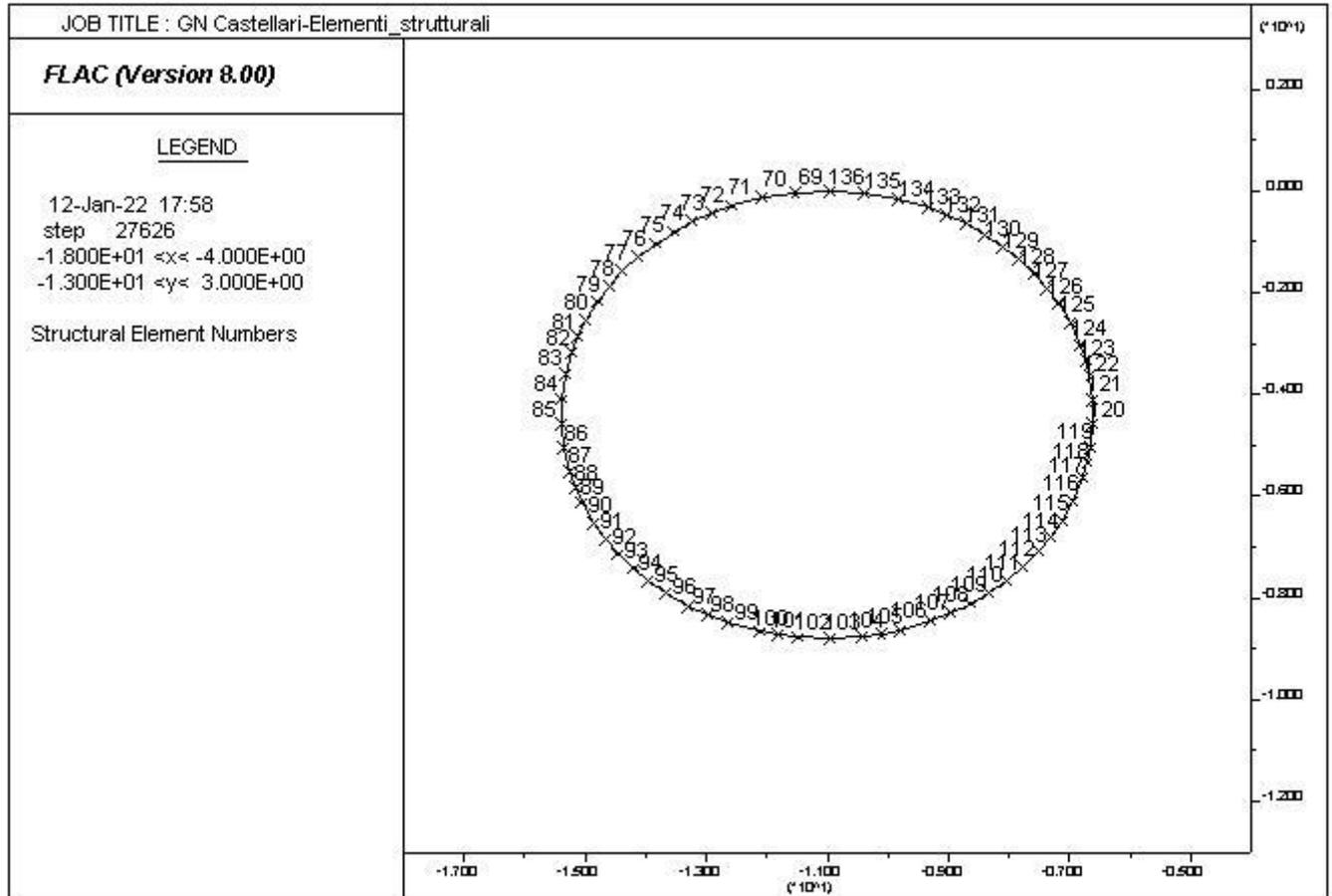


RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
 GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

FASE 10

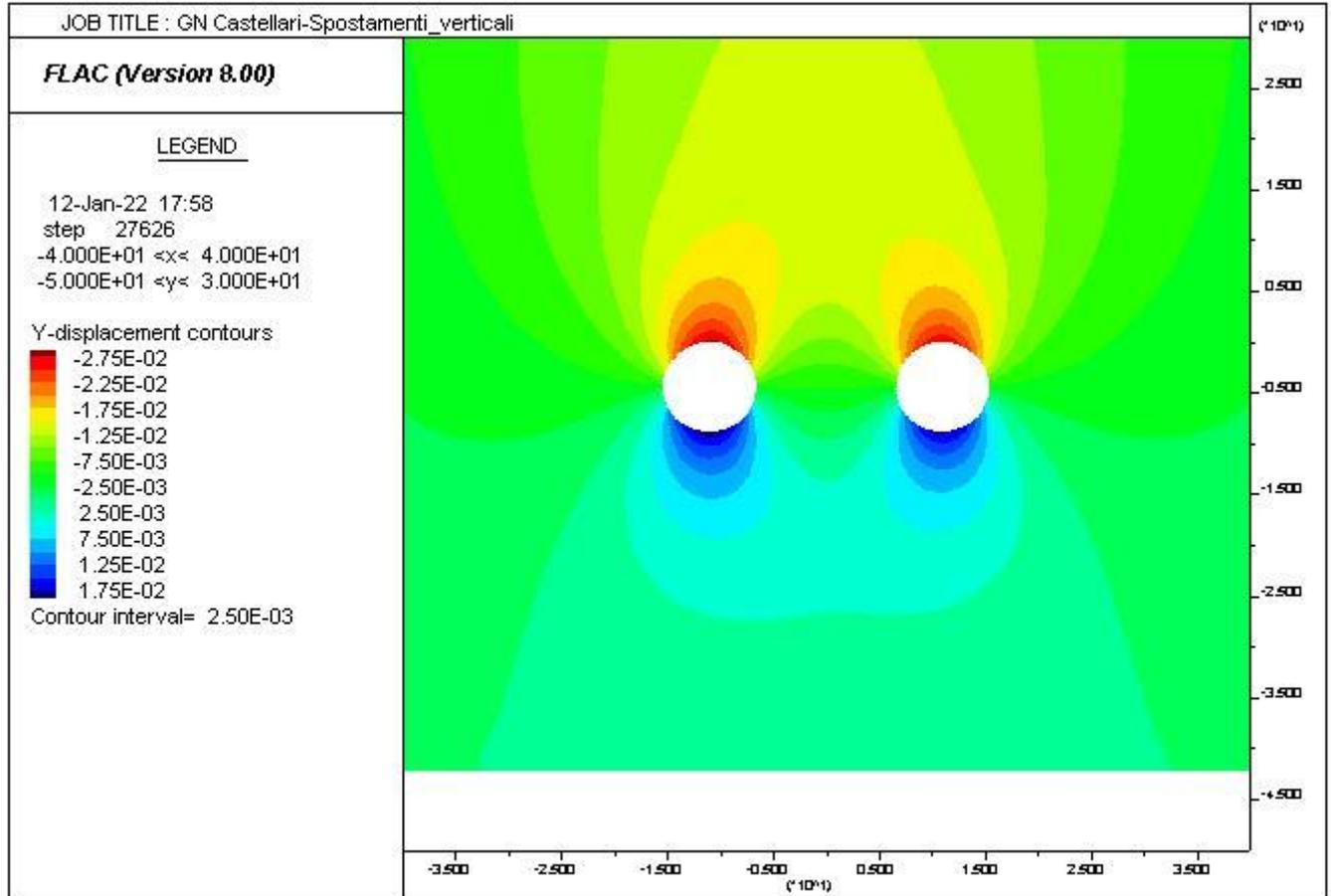




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

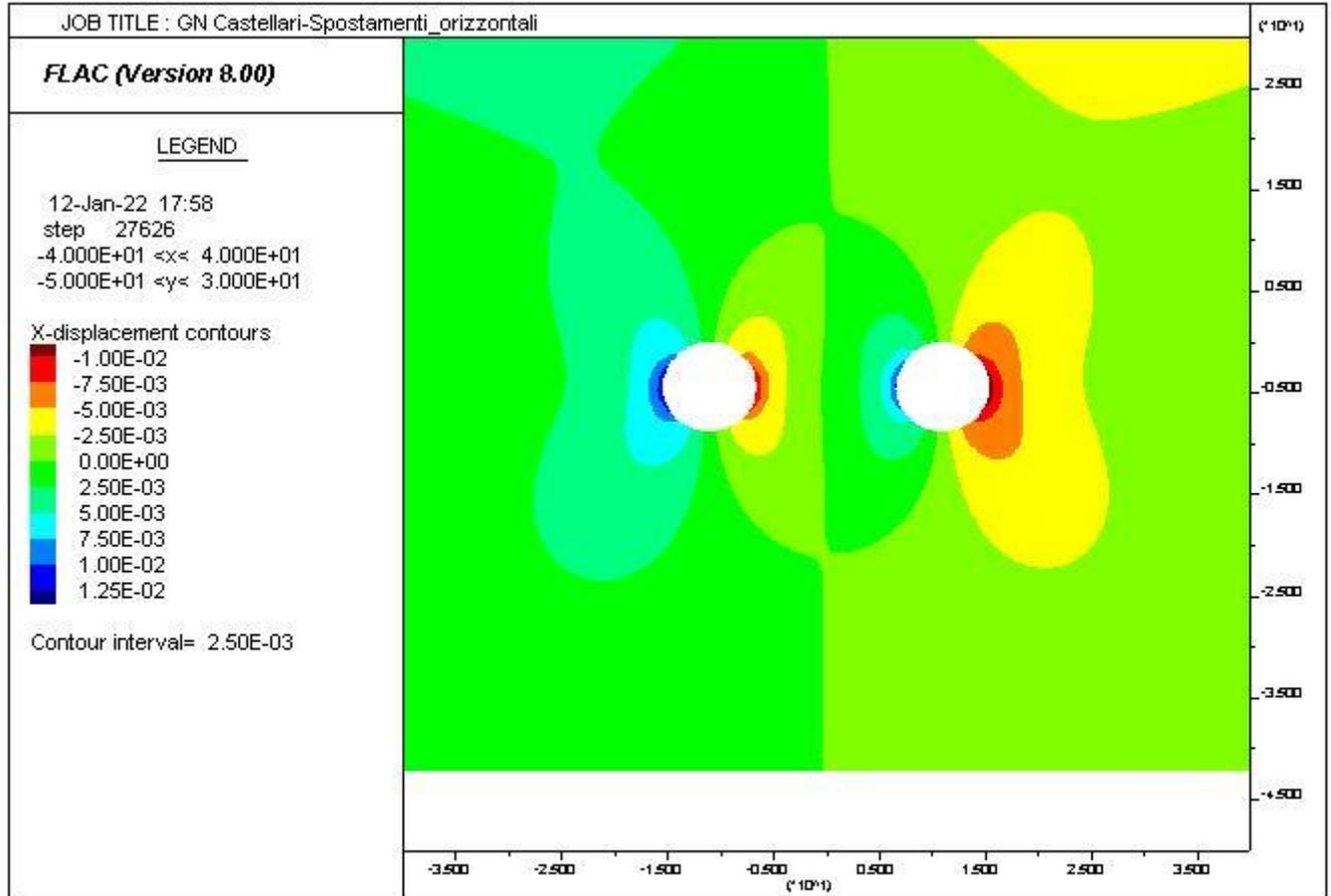




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

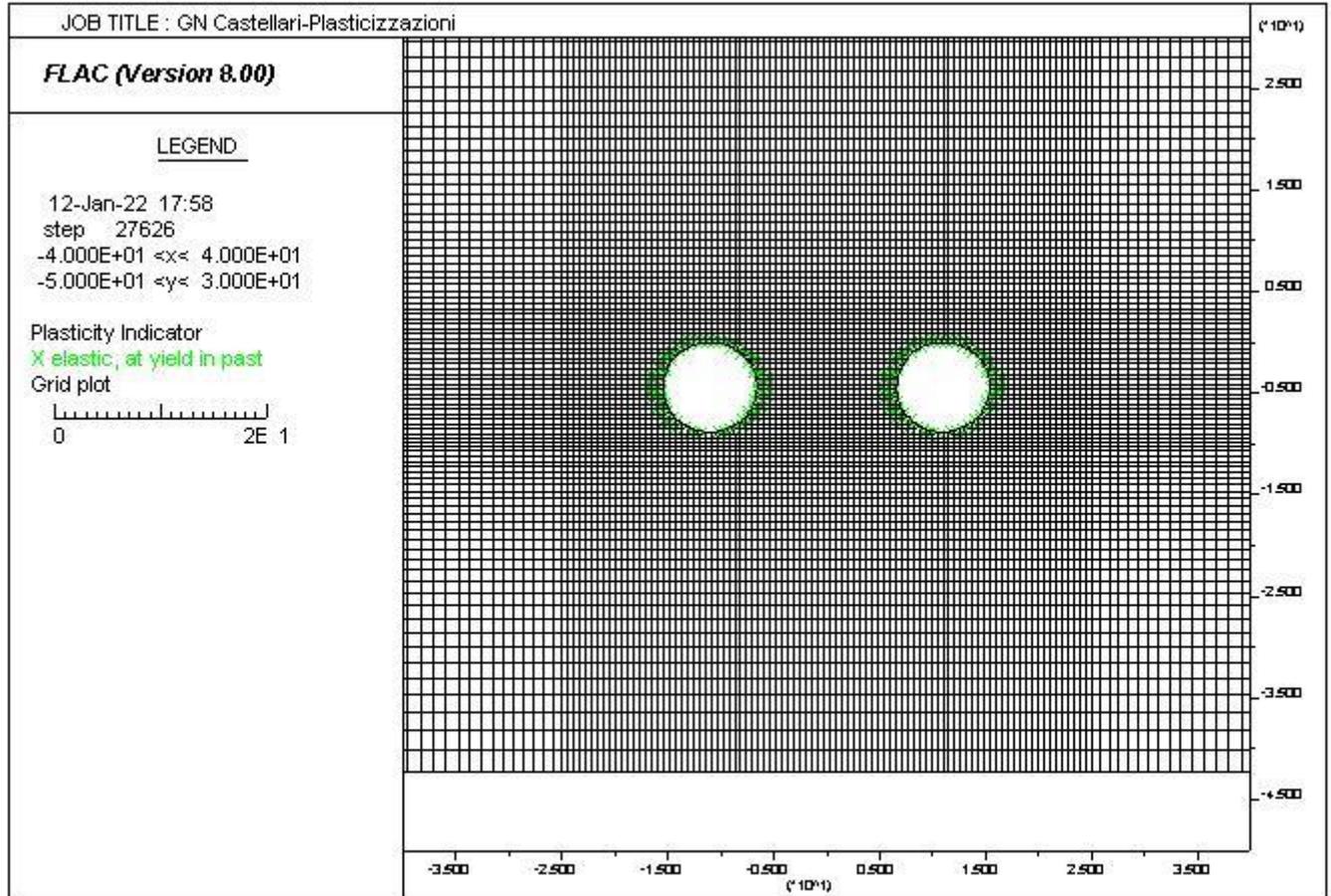




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

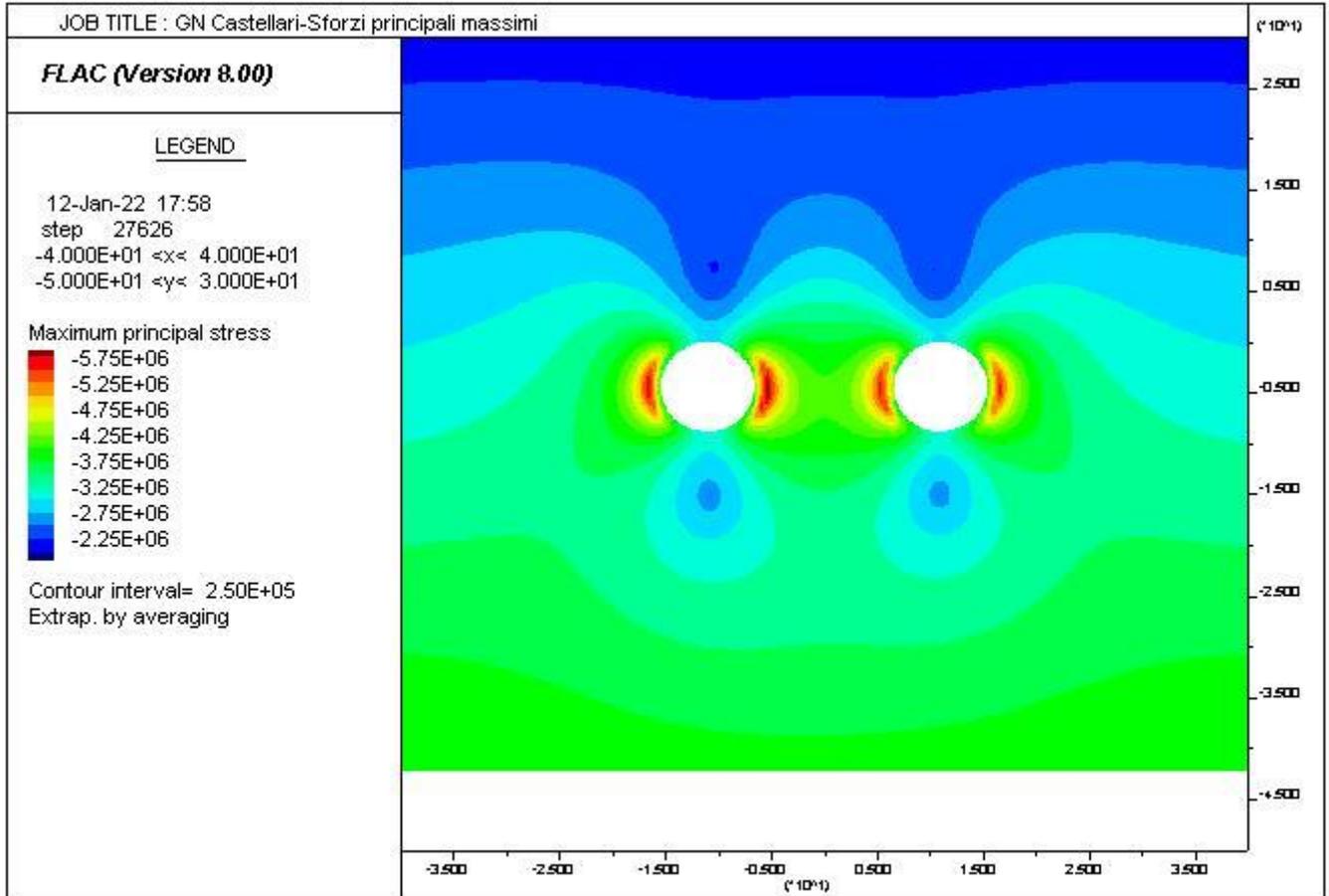




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

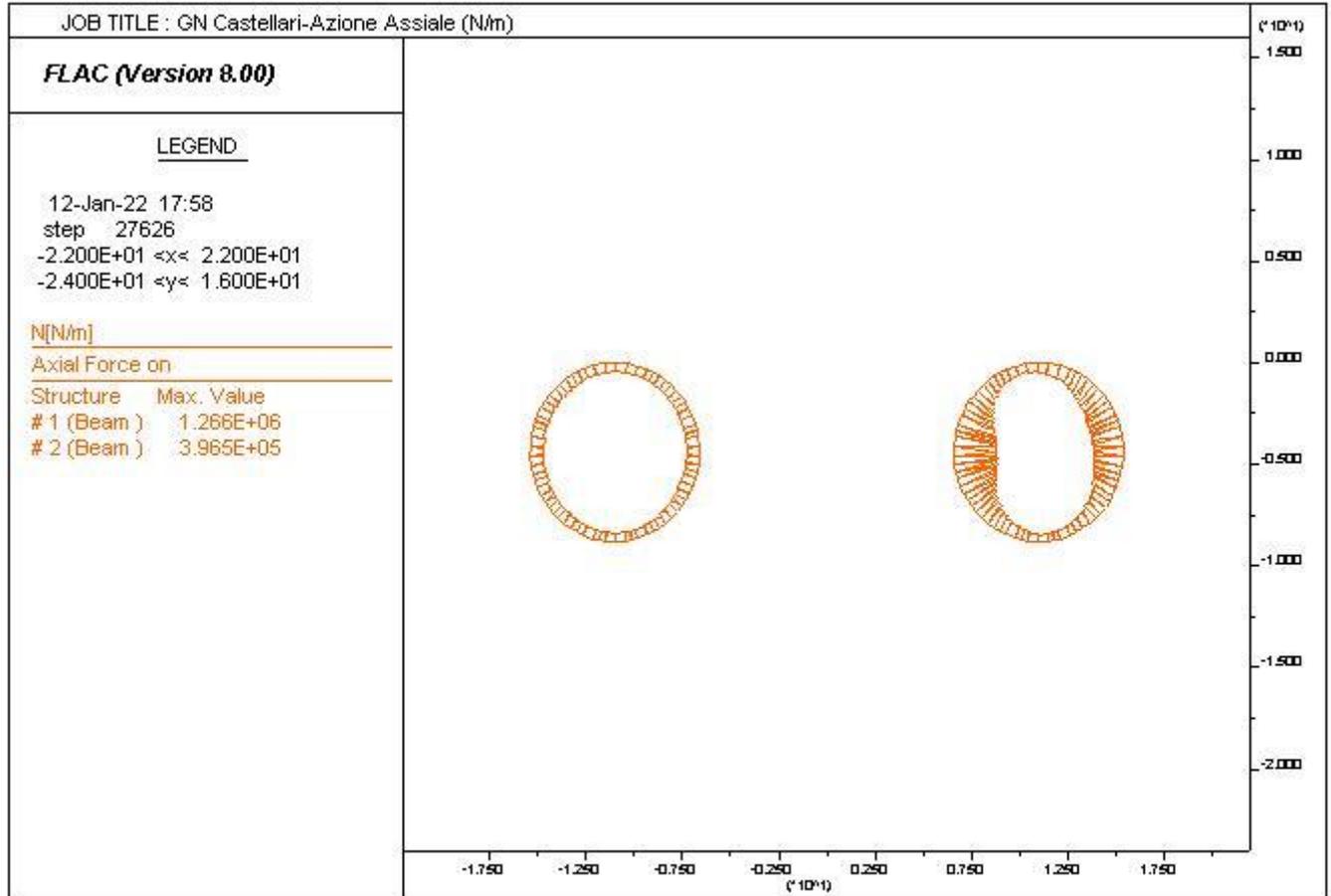




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

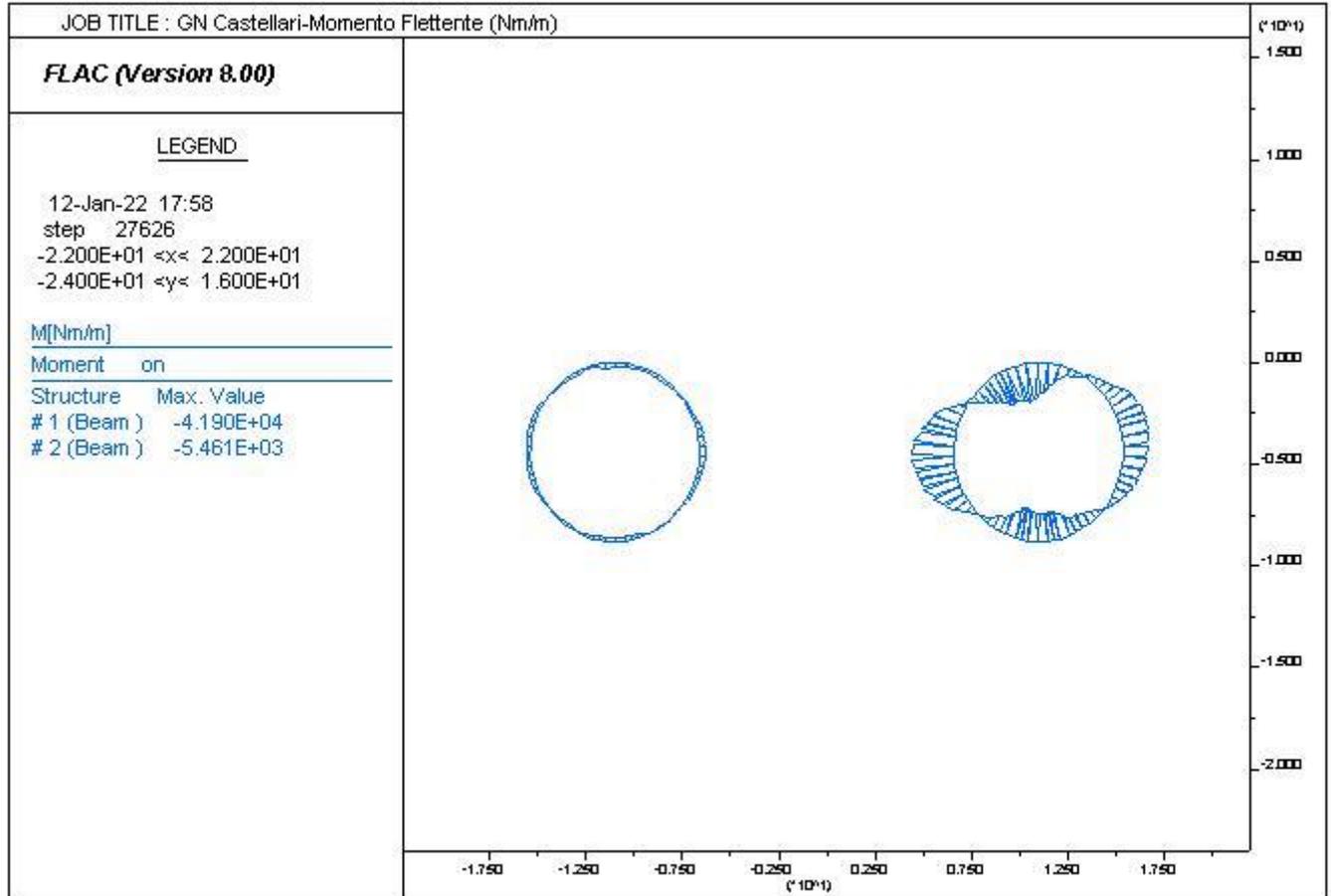




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

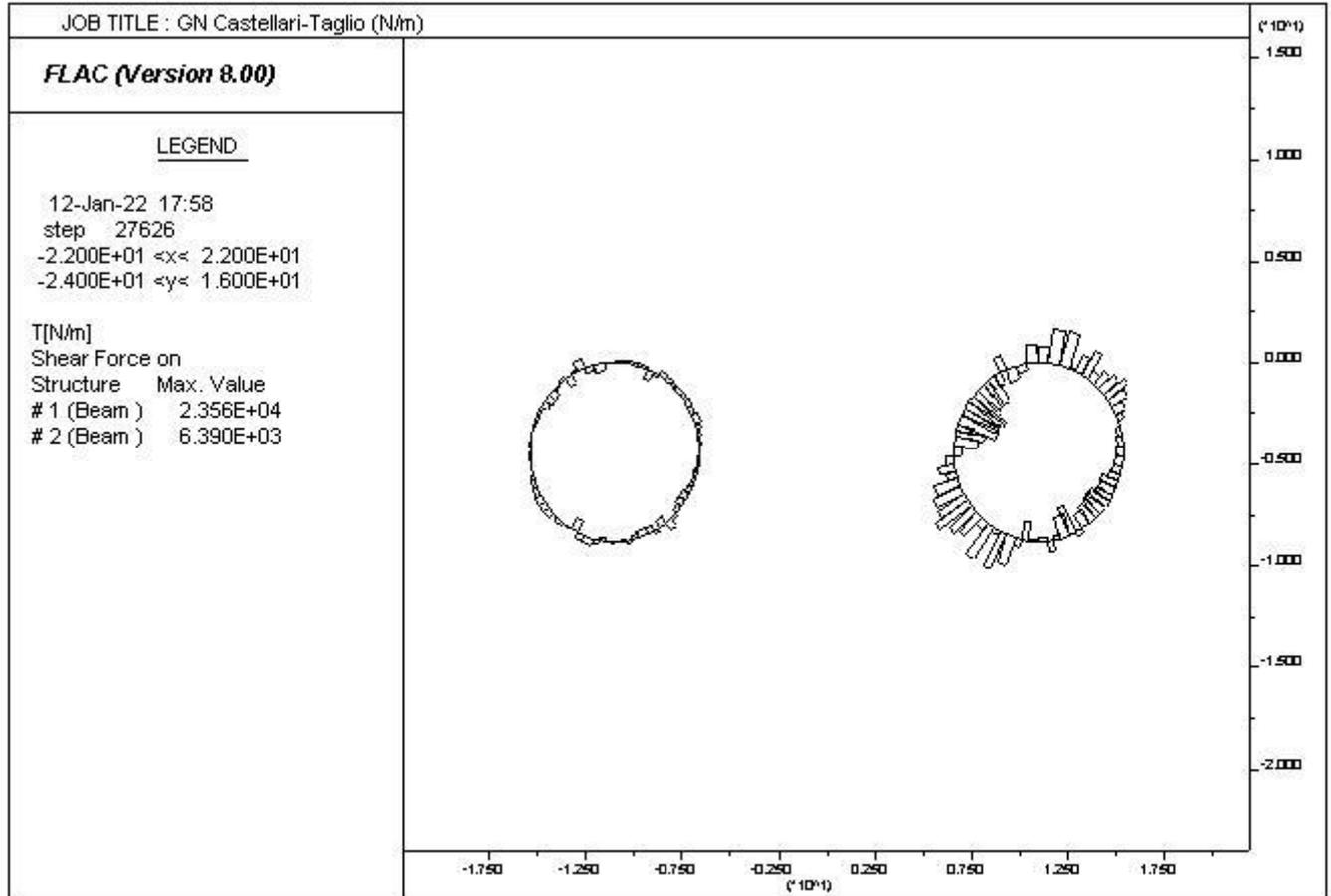




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1



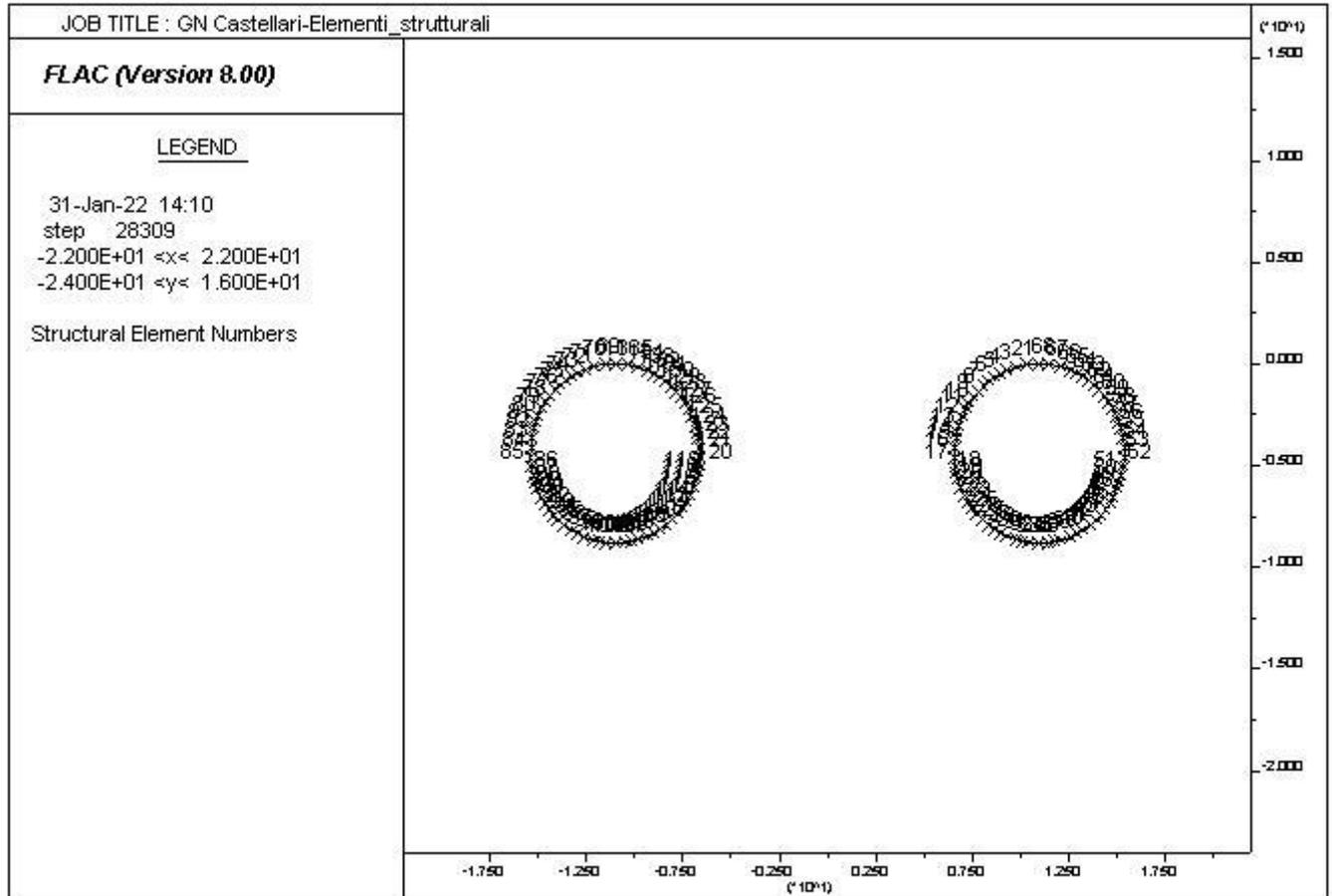


RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

FASE 11



RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
 GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

JOB TITLE : GN Castellari-Spostamenti verticali

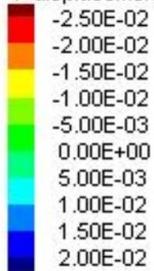
($\cdot 10^{-4}$)

FLAC (Version 8.00)

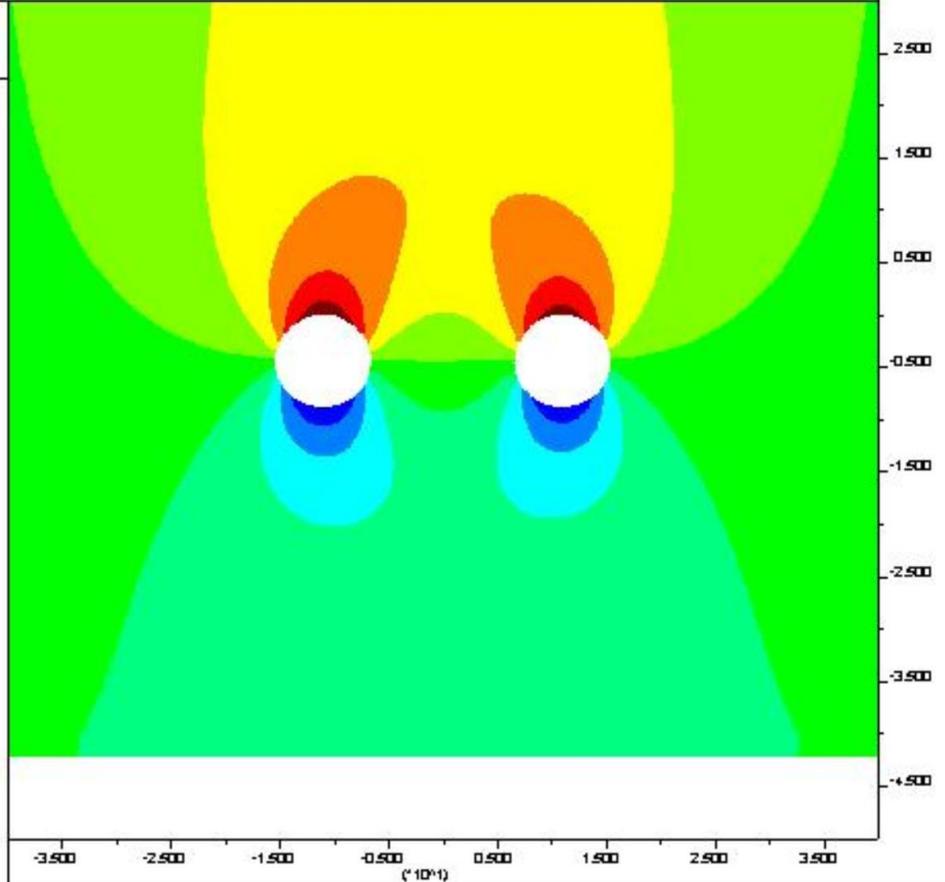
LEGEND

27-Jun-24 18:22
 step 28418
 -4.000E+01 <x< 4.000E+01
 -5.000E+01 <y< 3.000E+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 CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

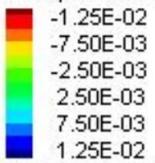
JOB TITLE : GN Castellari-Spostamenti orizzontali

FLAC (Version 8.00)

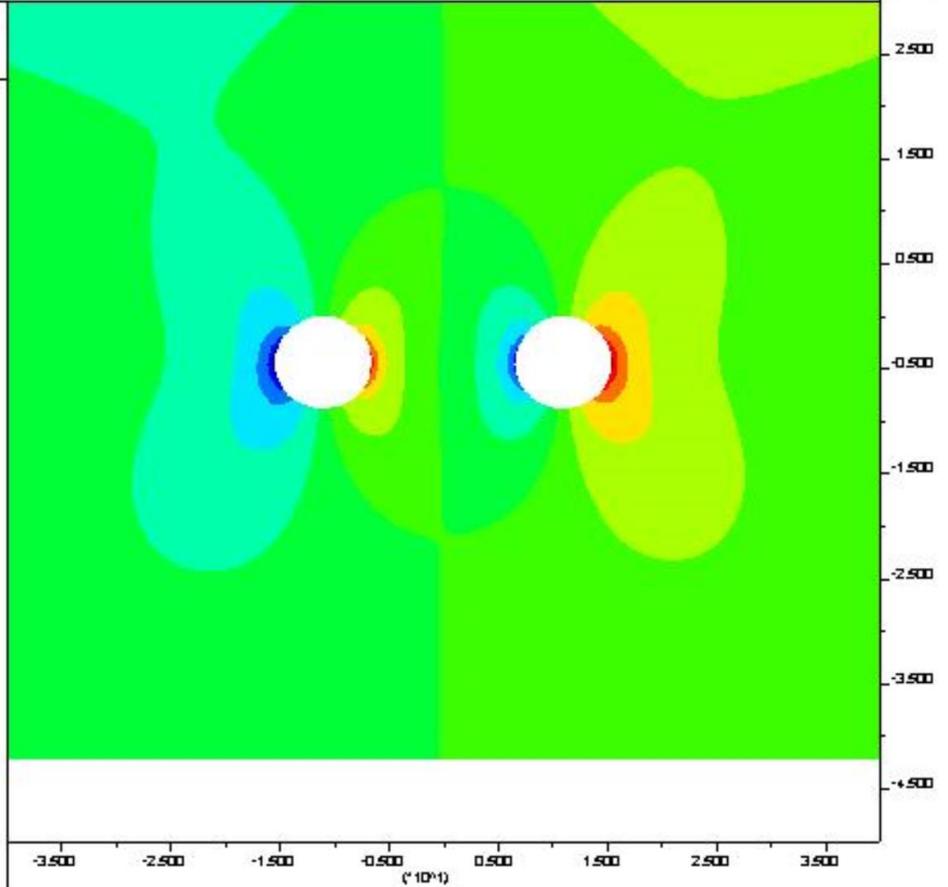
LEGEND

27-Jun-24 18:22
step 28418
-4.000E+01 <x< 4.000E+01
-5.000E+01 <y< 3.000E+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 CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

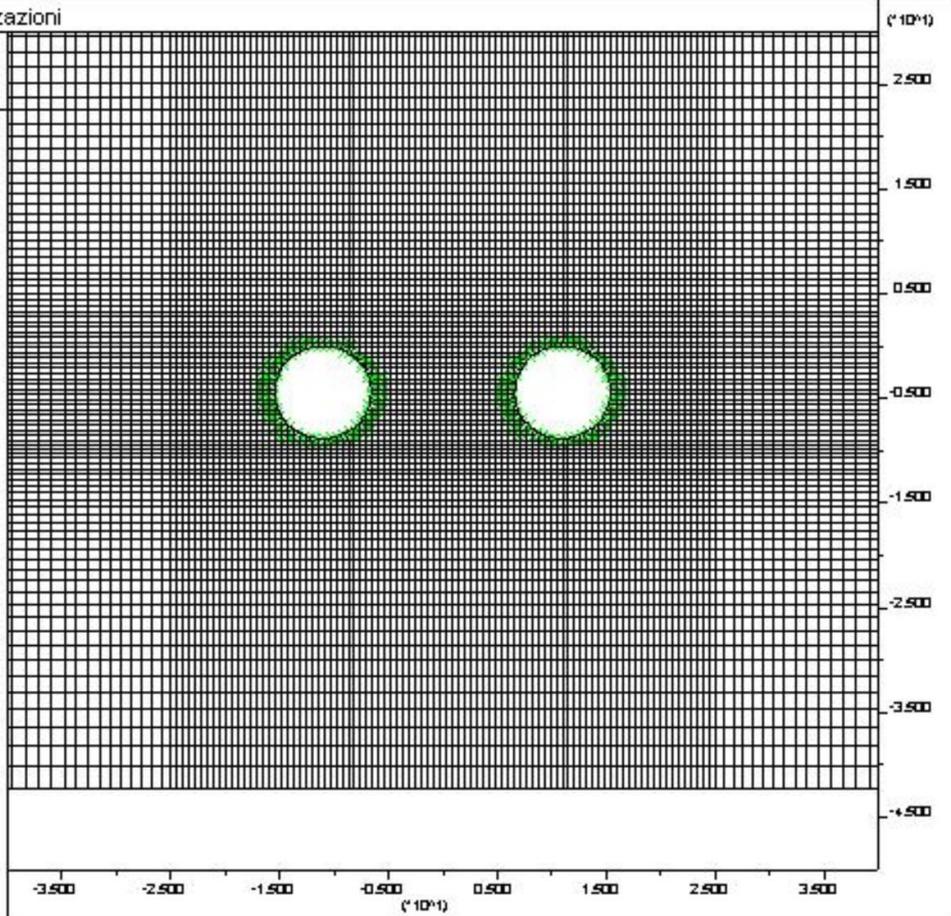
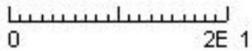
JOB TITLE : GN Castellari-Plasticizzazioni

FLAC (Version 8.00)

LEGEND

27-Jun-24 18:22
step 28418
-4.000E+01 <x< 4.000E+01
-5.000E+01 <y< 3.000E+01

Plasticity Indicator
X elastic, at yield in past
Grid plot



RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
 GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

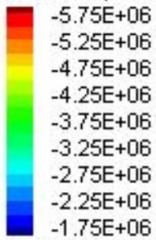
JOB TITLE : GN Castellari-Sforzi principali massimi

FLAC (Version 8.00)

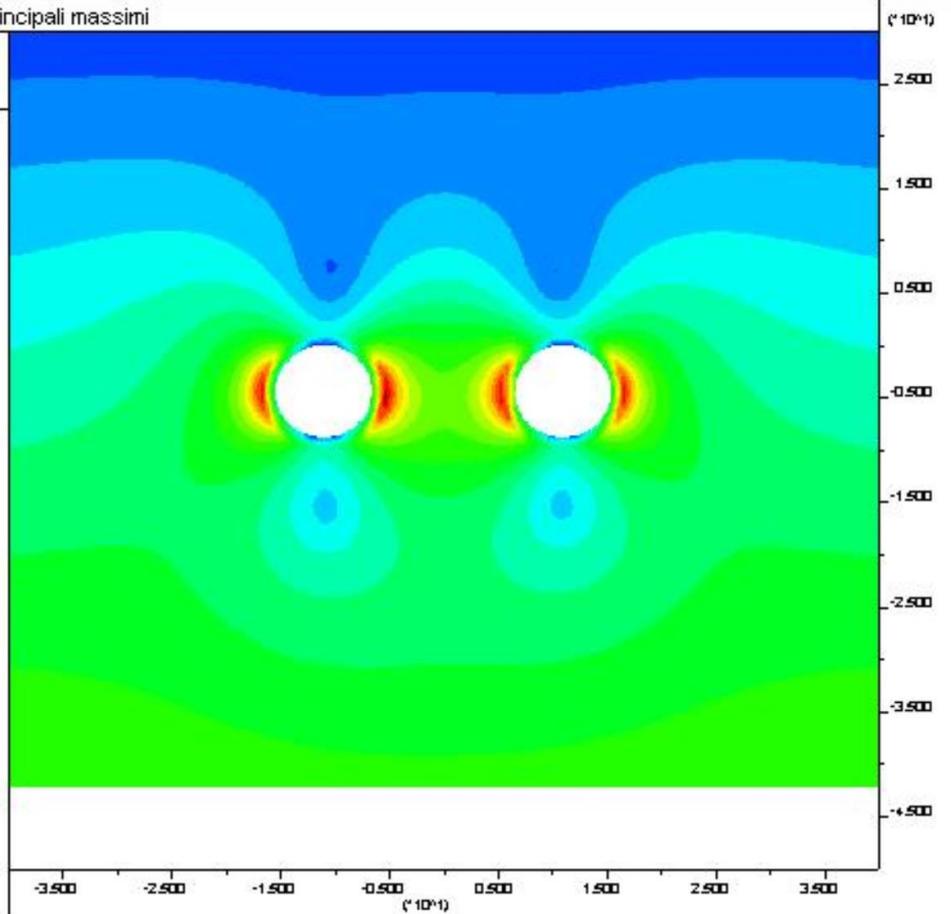
LEGEND

27-Jun-24 18:22
 step 28418
 -4.000E+01 <x< 4.000E+01
 -5.000E+01 <y< 3.000E+01

Maximum principal stress



Contour interval= 2.50E+05
 Extrap. by averaging





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

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

JOB TITLE : GN Castellari-Azione Assiale [N/m]

FLAC (Version 8.00)

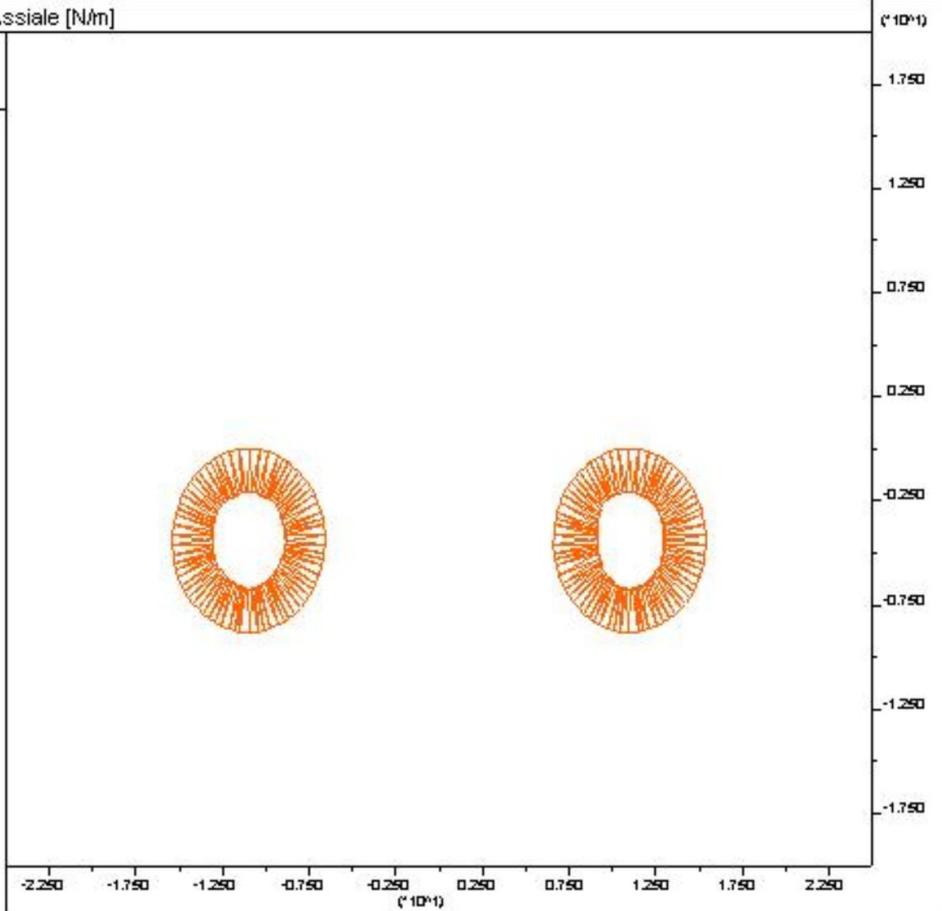
LEGEND

27-Jun-24 18:22
step 28418
-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)	4.604E+06
# 2 (Beam)	4.219E+06





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

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

JOB TITLE : GN Castellari-Momento Flettente [Nm/m]

(*10⁴)

FLAC (Version 8.00)

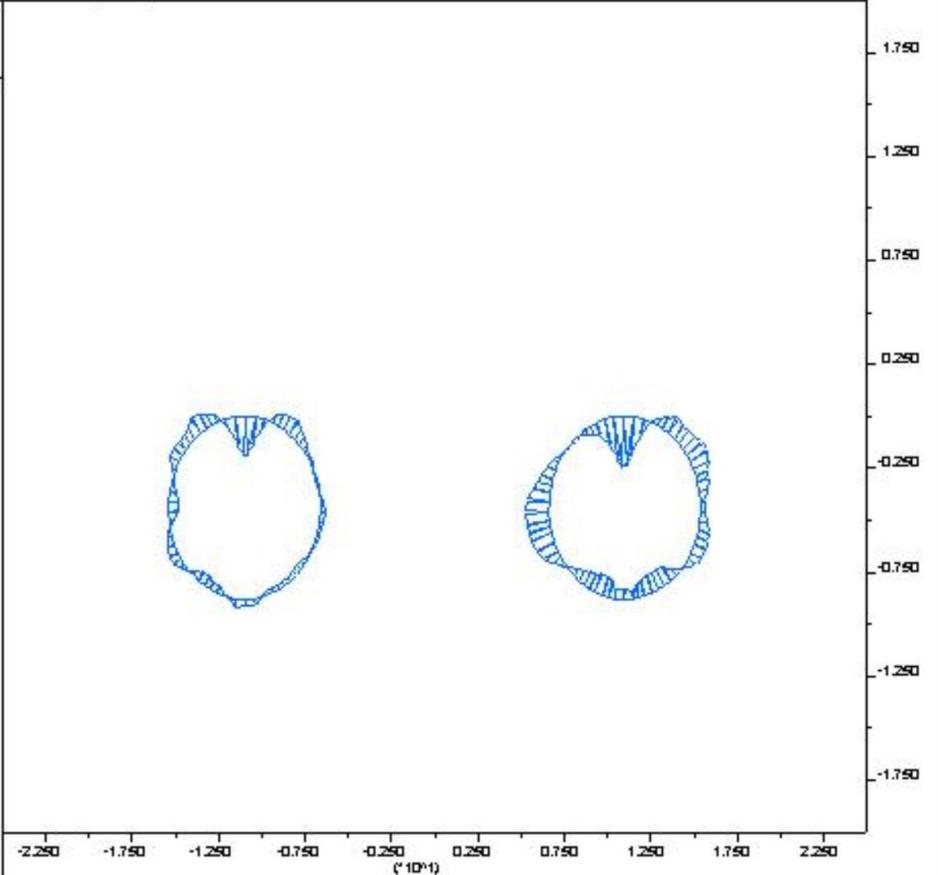
LEGEND

27-Jun-24 18:22
step 28418
-2.500E+01 <x< 2.500E+01
-2.000E+01 <y< 2.000E+01

M[Nm/m]

Moment on

Structure	Max. Value
# 1 (Beam)	8.551E+04
# 2 (Beam)	6.588E+04





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

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

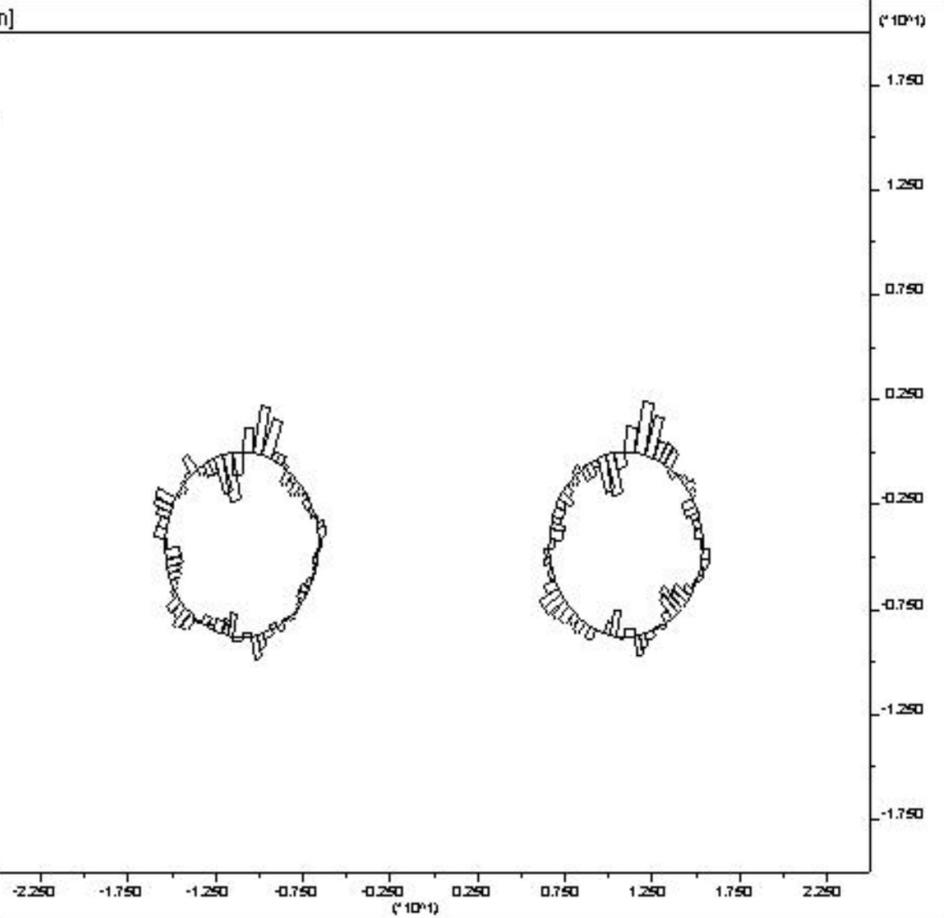
JOB TITLE : GN Castellari-Taglio [N/m]

FLAC (Version 8.00)

LEGEND

27-Jun-24 18:22
step 28418
-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) -6.960E+04
2 (Beam) -6.450E+04





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

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
 GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

Si riportano di seguito le sollecitazioni in termini di sforzo normale e momento flettente derivanti dai modelli.

	Nk	Mk	Tk
Elem	kN/m	kN m/m	kN/m
136.0	-3795	47.22	-32.33
135.0	-3853	11.4	-64.5
134.0	-3924	-16.23	-53.15
133.0	-3842	-20.53	-12.03
132.0	-3866	-24.95	-12.77
131.0	-3831	-26.58	-4.365
130.0	-3750	-18.99	19.82
129.0	-3777	-16.21	7.623
128.0	-3868	-8.485	20.57
127.0	-3916	-4.813	10.33
126.0	-3943	-4.645	0.521
125.0	-4020	-0.2388	10.02
124.0	-4059	2.503	5.202
123.0	-4091	2.067	-2.356
122.0	-4100	-0.8561	-9.836
121.0	-4135	-6.585	-12.08
120.0	-4162	-9.353	-5.629
119.0	-4174	-8.03	3.077
118.0	-4179	-5.965	7.035
117.0	-4188	-4.79	4.02
116.0	-4185	-3.963	2.157
115.0	-4195	-0.4312	7.451
114.0	-4163	4.363	13.18
113.0	-4154	8.642	11.58
112.0	-4131	10.7	5.622
111.0	-4127	10.05	-1.56
110.0	-4093	7.99	-5.402
109.0	-4045	8.68	2.084
108.0	-4015	5.623	-8.334
107.0	-3944	7.795	6.855
106.0	-3969	3.769	-7.278
105.0	-3954	-2.289	-18.68
104.0	-3914	-12.19	-30.69
103.0	-3792	-9.819	4.526
102.0	-3796	-13.5	-6.882



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

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
 GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

101.0	-3925	-3.903	29.79
100.0	-3971	2.784	21.22
99.0	-4004	11.59	16.21
98.0	-3983	13.61	5.133
97.0	-4069	18.4	13.1
96.0	-4108	17.18	-2.57
95.0	-4097	9.135	-22.32
94.0	-4117	-1.411	-29.56
93.0	-4027	-8.956	-20.4
92.0	-4041	-16.94	-21.7
91.0	-4116	-19.28	-6.665
90.0	-4178	-15.72	7.849
89.0	-4180	-10.02	17.47
88.0	-4189	-4.141	18.25
87.0	-4213	7.813	25.71
86.0	-4219	18.98	23.13
85.0	-4209	20.02	2.129
84.0	-4192	12.34	-16.05
83.0	-4156	6.257	-13.44
82.0	-4089	-0.07055	-19.21
81.0	-4053	-9.152	-27.63
80.0	-4014	-21.95	-29.2
79.0	-3934	-20.72	3.285
78.0	-3909	-17.84	8.112
77.0	-3858	-18.66	-2.249
76.0	-3815	-21.03	-6.456
75.0	-3779	-30.61	-24.95
74.0	-3845	-26.57	11.13
73.0	-3887	-20.44	17.32
72.0	-3866	-13.7	19.02
71.0	-3953	12.22	49.27
70.0	-3867	48.23	64.15
69.0	-3796	65.88	30.61
68.0	-3752	65.6	-34.33
67.0	-3851	26.7	-69.6
66.0	-3927	-2.784	-56.28
65.0	-3894	-11.87	-25.67
64.0	-3950	-21.57	-27.81



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

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
 GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

63.0	-3938	-30.89	-24.59
62.0	-3883	-27.75	8.056
61.0	-3955	-28.7	-3.691
60.0	-4015	-31.26	-6.803
59.0	-4087	-36.15	-13.59
58.0	-4133	-39.41	-8.657
57.0	-4217	-31.02	19.51
56.0	-4266	-25.09	18.14
55.0	-4301	-21.22	12.14
54.0	-4360	-16.67	10.08
53.0	-4412	-10.81	12.17
52.0	-4434	-9.944	1.734
51.0	-4413	-14.95	-10.31
50.0	-4363	-20.35	-11.57
49.0	-4326	-22.2	-5.697
48.0	-4299	-24.14	-5.848
47.0	-4271	-23.33	1.856
46.0	-4191	-18.28	13.7
45.0	-4121	-8.321	27.1
44.0	-4076	1.312	25.81
43.0	-4148	15.41	39.4
42.0	-4102	26.46	31.59
41.0	-4096	32.18	12.91
40.0	-4034	30.71	-3.956
39.0	-3932	31.6	3.233
38.0	-3941	26.02	-10.19
37.0	-3911	20.07	-18.26
36.0	-3858	11.51	-26.83
35.0	-3719	17.01	10.26
34.0	-3724	15.91	-2.065
33.0	-3859	26.68	34.39
32.0	-3913	32.31	17.2
31.0	-3943	32.37	0.2239
30.0	-3950	26.18	-16.83
29.0	-4039	26.04	-0.09446
28.0	-4116	18.83	-18.53
27.0	-4193	13.55	-13.58
26.0	-4282	4.809	-23.12



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

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

25.0	-4315	-6.206	-28.54
24.0	-4391	-17.59	-32.3
23.0	-4448	-29.24	-33.21
22.0	-4499	-37.01	-17.83
21.0	-4553	-40.86	-7.556
20.0	-4590	-41.3	-1.107
19.0	-4590	-44.22	-9.759
18.0	-4604	-47.63	-7.182
17.0	-4600	-44.13	7.783
16.0	-4555	-34.27	21.19
15.0	-4497	-27.48	22.33
14.0	-4462	-23.4	13.92
13.0	-4376	-16.22	15.3
12.0	-4257	-10.68	13.13
11.0	-4162	-3.12	21.43
10.0	-4071	0.8071	11.4
9.0	-3958	1.63	1.947
8.0	-3845	5.903	10.87
7.0	-3752	3.139	-7.285
6.0	-3798	9.752	17.37
5.0	-3796	16.47	18.84
4.0	-3740	19.84	9.665
3.0	-3789	44.22	47.02
2.0	-3783	73.67	53.34
1.0	-3730	85.51	20.53



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

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
 GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

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			
120	-10.70	-7.37	-151.95	-119.05	-16.8075	-10.70	0	0.2	VERIF.
119	-9.57	-8.77	-141.54	-133.60	-16.8075	-9.57	0	0.2	VERIF.
118	-9.91	-8.77	-145.76	-134.45	-16.8075	-9.91	0	0.2	VERIF.
117	-9.87	-8.42	-144.33	-130.03	-16.8075	-9.87	0	0.2	VERIF.
116	-10.08	-8.32	-146.73	-129.34	-16.8075	-10.08	0	0.2	VERIF.
115	-10.05	-8.18	-146.05	-127.53	-16.8075	-10.05	0	0.2	VERIF.
114	-9.59	-8.26	-140.51	-127.28	-16.8075	-9.59	0	0.2	VERIF.
113	-9.56	-8.42	-140.51	-129.21	-16.8075	-9.56	0	0.2	VERIF.
112	-9.51	-8.91	-141.06	-135.15	-16.8075	-9.51	0	0.2	VERIF.
111	-9.49	-9.15	-141.50	-138.15	-16.8075	-9.49	0	0.2	VERIF.
110	-9.55	-9.22	-142.40	-139.17	-16.8075	-9.55	0	0.2	VERIF.
109	-9.58	-9.56	-143.62	-143.45	-16.8075	-9.58	0	0.2	VERIF.
108	-9.75	-9.57	-145.80	-144.06	-16.8075	-9.75	0	0.2	VERIF.
107	-9.81	-9.67	-146.79	-145.35	-16.8075	-9.81	0	0.2	VERIF.
106	-9.79	-9.73	-146.69	-146.09	-16.8075	-9.79	0	0.2	VERIF.
105	-10.07	-9.61	-149.94	-145.35	-16.8075	-10.07	0	0.2	VERIF.
104	-10.24	-9.58	-151.86	-145.35	-16.8075	-10.24	0	0.2	VERIF.
103	-10.22	-9.65	-151.83	-146.24	-16.8075	-10.22	0	0.2	VERIF.
102	-10.16	-9.74	-151.29	-147.13	-16.8075	-10.16	0	0.2	VERIF.
101	-10.14	-9.80	-151.20	-147.86	-16.8075	-10.14	0	0.2	VERIF.
100	-10.10	-9.82	-150.81	-148.05	-16.8075	-10.10	0	0.2	VERIF.
99	-10.00	-9.97	-149.93	-149.63	-16.8075	-10.00	0	0.2	VERIF.
98	-10.06	-9.76	-150.16	-147.12	-16.8075	-10.06	0	0.2	VERIF.
97	-10.19	-9.58	-151.33	-145.31	-16.8075	-10.19	0	0.2	VERIF.
96	-10.21	-9.46	-151.23	-143.77	-16.8075	-10.21	0	0.2	VERIF.
95	-10.18	-9.47	-150.86	-143.85	-16.8075	-10.18	0	0.2	VERIF.
94	-10.02	-9.46	-148.93	-143.36	-16.8075	-10.02	0	0.2	VERIF.
93	-9.93	-9.32	-147.45	-141.40	-16.8075	-9.93	0	0.2	VERIF.
92	-9.75	-9.36	-145.32	-141.40	-16.8075	-9.75	0	0.2	VERIF.
91	-9.66	-9.11	-143.54	-138.11	-16.8075	-9.66	0	0.2	VERIF.
90	-9.58	-9.31	-143.03	-140.40	-16.8075	-9.58	0	0.2	VERIF.
89	-9.51	-8.56	-140.24	-130.83	-16.8075	-9.51	0	0.2	VERIF.
88	-9.48	-9.21	-141.50	-138.78	-16.8075	-9.48	0	0.2	VERIF.
87	-9.55	-9.35	-142.76	-140.82	-16.8075	-9.55	0	0.2	VERIF.



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

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
 GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. ALLEGATI
 IV01 00 D 07 CL GN 03 00 001 B 1

86	-9.94	-9.12	-147.00	-138.93	-16.8075	-9.94	0	0.2	VERIF.
85	-9.96	-9.00	-146.96	-137.47	-16.8075	-9.96	0	0.2	VERIF.
84	-10.33	-9.04	-151.69	-138.87	-16.8075	-10.33	0	0.2	VERIF.
83	-10.38	-9.17	-152.66	-140.69	-16.8075	-10.38	0	0.2	VERIF.
82	-10.07	-9.43	-149.47	-143.10	-16.8075	-10.07	0	0.2	VERIF.
81	-9.85	-9.75	-147.49	-146.51	-16.8075	-9.85	0	0.2	VERIF.
80	-9.90	-9.27	-146.91	-140.67	-16.8075	-9.90	0	0.2	VERIF.
79	-10.22	-9.02	-150.19	-138.38	-16.8075	-10.22	0	0.2	VERIF.
78	-10.48	-9.12	-153.68	-140.25	-16.8075	-10.48	0	0.2	VERIF.
77	-10.50	-9.39	-154.65	-143.70	-16.8075	-10.50	0	0.2	VERIF.
76	-10.30	-9.60	-152.74	-145.76	-16.8075	-10.30	0	0.2	VERIF.
75	-10.12	-9.83	-151.01	-148.13	-16.8075	-10.12	0	0.2	VERIF.
74	-10.30	-9.75	-153.15	-147.70	-16.8075	-10.30	0	0.2	VERIF.
73	-10.71	-9.37	-157.25	-144.03	-16.8075	-10.71	0	0.2	VERIF.
72	-10.72	-9.31	-157.26	-143.31	-16.8075	-10.72	0	0.2	VERIF.
71	-10.41	-9.54	-153.98	-145.38	-16.8075	-10.41	0	0.2	VERIF.
70	-10.11	-9.67	-150.57	-146.21	-16.8075	-10.11	0	0.2	VERIF.
69	-9.74	-9.73	-146.02	-145.97	-16.8075	-9.74	0	0.2	VERIF.
68	-9.97	-9.33	-147.90	-141.53	-16.8075	-9.97	0	0.2	VERIF.
67	-10.33	-8.78	-150.97	-135.67	-16.8075	-10.33	0	0.2	VERIF.
66	-10.09	-8.64	-147.68	-133.25	-16.8075	-10.09	0	0.2	VERIF.
65	-9.93	-8.68	-145.79	-133.36	-16.8075	-9.93	0	0.2	VERIF.
64	-9.84	-8.53	-144.25	-131.25	-16.8075	-9.84	0	0.2	VERIF.
63	-9.82	-8.34	-143.54	-128.89	-16.8075	-9.82	0	0.2	VERIF.
62	-10.07	-7.92	-145.59	-124.27	-16.8075	-10.07	0	0.2	VERIF.
61	-10.09	-8.22	-146.54	-128.03	-16.8075	-10.09	0	0.2	VERIF.
60	-9.97	-8.53	-145.91	-131.67	-16.8075	-9.97	0	0.2	VERIF.
59	-9.68	-8.72	-142.81	-133.26	-16.8075	-9.68	0	0.2	VERIF.
58	-9.84	-8.98	-145.40	-136.89	-16.8075	-9.84	0	0.2	VERIF.
57	-10.90	-7.51	-154.87	-121.27	-16.8075	-10.90	0	0.2	VERIF.
56	-11.35	-6.72	-158.49	-112.59	-16.8075	-11.35	0	0.2	VERIF.
55	-11.24	-6.62	-156.82	-111.11	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
54	-10.11	-8.23	-146.80	-128.20	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
53	-9.45	-9.25	-141.18	-139.24	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
52	-9.69	-8.85	-143.17	-134.90	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
51	-10.16	-8.64	-148.55	-133.52	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
50	-10.46	-8.29	-151.37	-129.85	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
49	-10.22	-8.27	-148.31	-128.98	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.



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

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
 GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. ALLEGATI
 IV01 00 D 07 CL GN 03 00 001 B 1

48	-10.42	-8.40	-151.21	-131.22	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
47	-10.66	-8.46	-154.25	-132.47	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
46	-11.00	-8.46	-158.52	-133.33	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
45	-11.22	-8.45	-161.30	-133.84	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
44	-11.13	-8.95	-161.38	-139.76	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
43	-11.04	-9.27	-161.06	-143.58	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
42	-10.98	-9.49	-160.96	-146.18	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
41	-10.96	-9.79	-161.48	-149.87	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
40	-10.88	-10.12	-161.30	-153.77	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
39	-10.90	-10.20	-161.78	-154.85	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
38	-11.03	-9.98	-162.78	-152.36	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
37	-11.10	-9.67	-162.87	-148.69	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
36	-11.08	-9.52	-162.19	-146.73	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
35	-11.08	-9.38	-161.91	-145.09	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
34	-10.99	-9.35	-160.62	-144.37	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
33	-10.62	-9.33	-156.01	-143.27	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
32	-10.10	-9.52	-150.04	-144.24	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
31	-9.75	-9.66	-145.99	-145.08	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
30	-10.42	-9.33	-153.47	-142.74	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
29	-10.70	-8.83	-155.68	-137.25	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
28	-10.88	-8.62	-157.46	-135.04	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
27	-10.68	-8.52	-154.73	-133.34	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
26	-10.47	-8.25	-151.40	-129.38	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
25	-10.30	-8.47	-149.78	-131.65	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
24	-9.42	-8.30	-138.51	-127.42	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
23	-10.12	-8.25	-147.08	-128.49	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
22	-10.45	-8.18	-150.97	-128.46	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
21	-10.52	-8.25	-152.06	-129.51	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
20	-10.32	-8.48	-150.16	-131.92	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
19	-10.53	-8.70	-153.29	-135.14	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
18	-10.46	-9.13	-153.52	-140.40	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
17	-10.46	-9.50	-154.43	-144.99	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
16	-10.36	-10.02	-154.57	-151.21	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
15	-10.49	-10.05	-156.23	-151.91	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
14	-11.07	-9.83	-162.91	-150.65	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
13	-11.62	-9.56	-169.00	-148.63	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
12	-12.01	-9.41	-173.53	-147.74	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
11	-12.28	-9.40	-176.80	-148.33	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.



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

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
 GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. ALLEGATI
 IV01 00 D 07 CL GN 03 00 001 B 1

10	-12.38	-9.47	-178.27	-149.50	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
9	-12.48	-9.37	-179.29	-148.48	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
8	-12.64	-9.28	-180.98	-147.79	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
7	-12.50	-9.40	-179.62	-148.87	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
6	-12.05	-9.64	-174.58	-150.70	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
5	-11.67	-9.74	-170.14	-150.99	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
4	-11.44	-9.80	-167.47	-151.17	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
3	-10.99	-9.85	-161.90	-150.60	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
2	-10.51	-9.76	-155.72	-148.28	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
1	-10.02	-9.80	-149.69	-147.52	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	-9.72	-9.66	-145.64	-145.07	-16.8075	360			
	-9.48	-9.36	-141.89	-140.75	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	-9.36	-8.94	-139.34	-135.23	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	-9.04	-8.82	-135.06	-132.87	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	-9.38	-8.70	-139.01	-132.21	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	-9.62	-8.46	-141.27	-129.80	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	-9.60	-8.20	-140.45	-126.63	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	-10.58	-7.46	-150.69	-119.88	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	-11.60	-6.41	-160.74	-109.41	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	-11.89	-5.87	-162.97	-103.39	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.

1.2 ANALISI N. 2

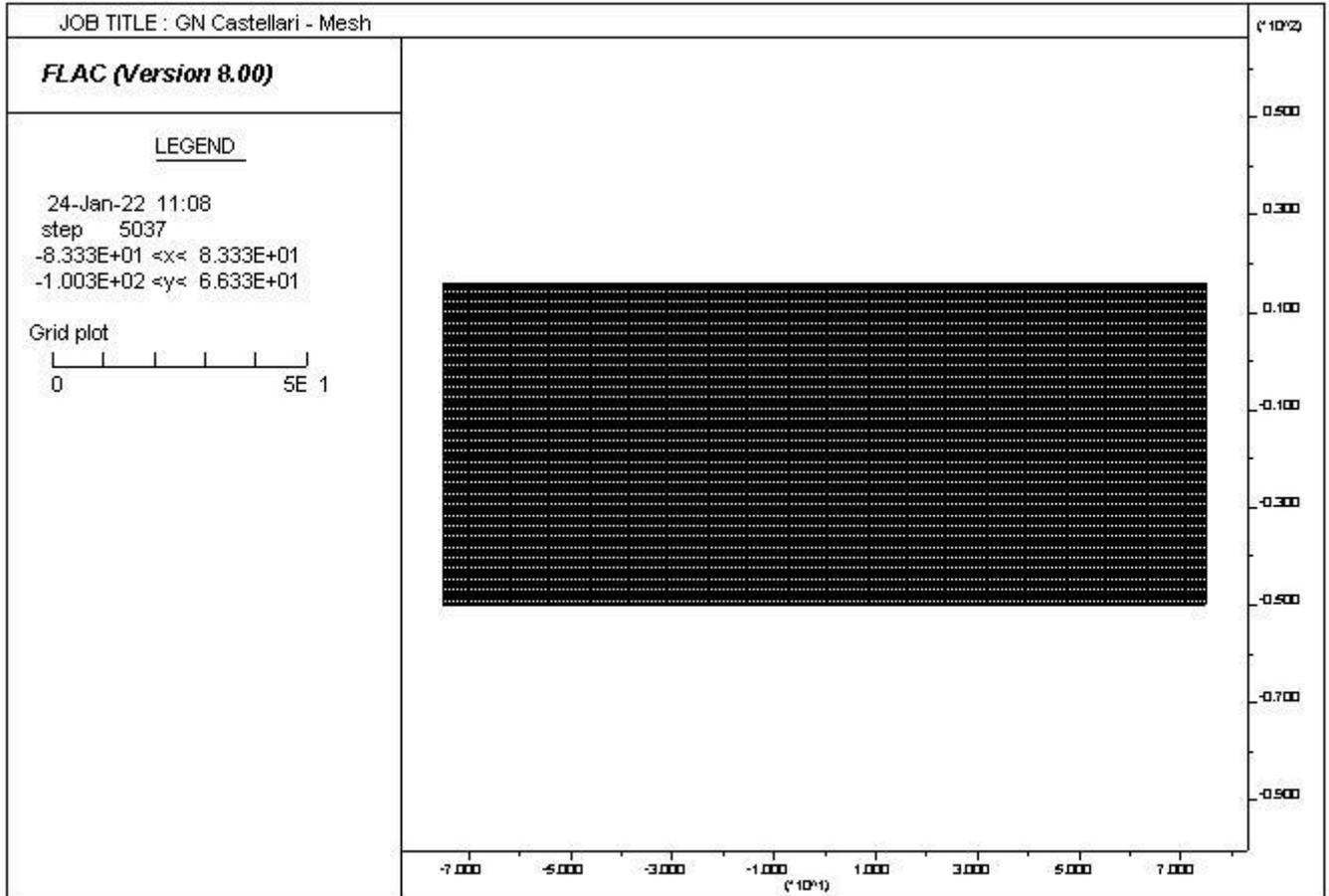
FASE 3



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

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

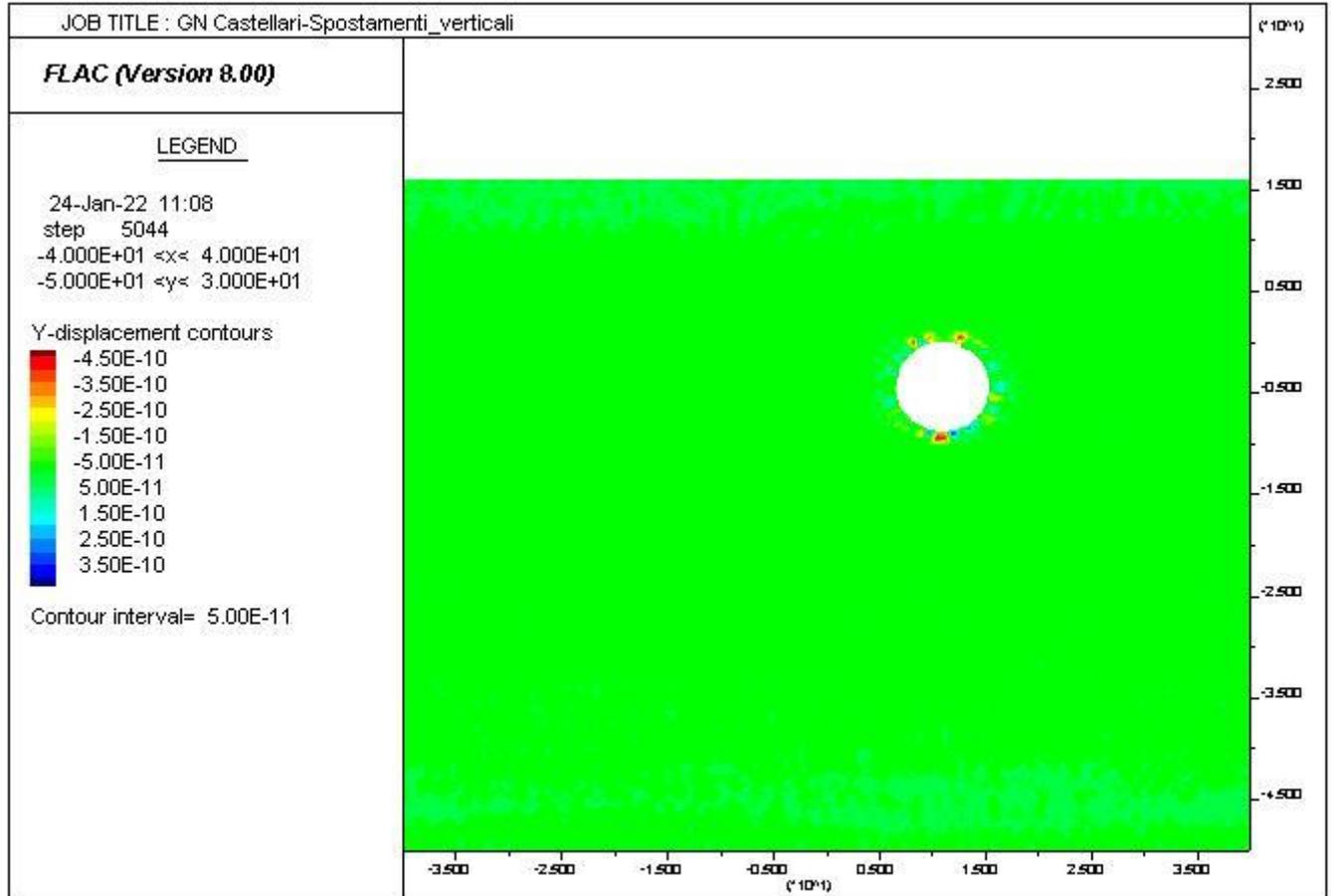




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

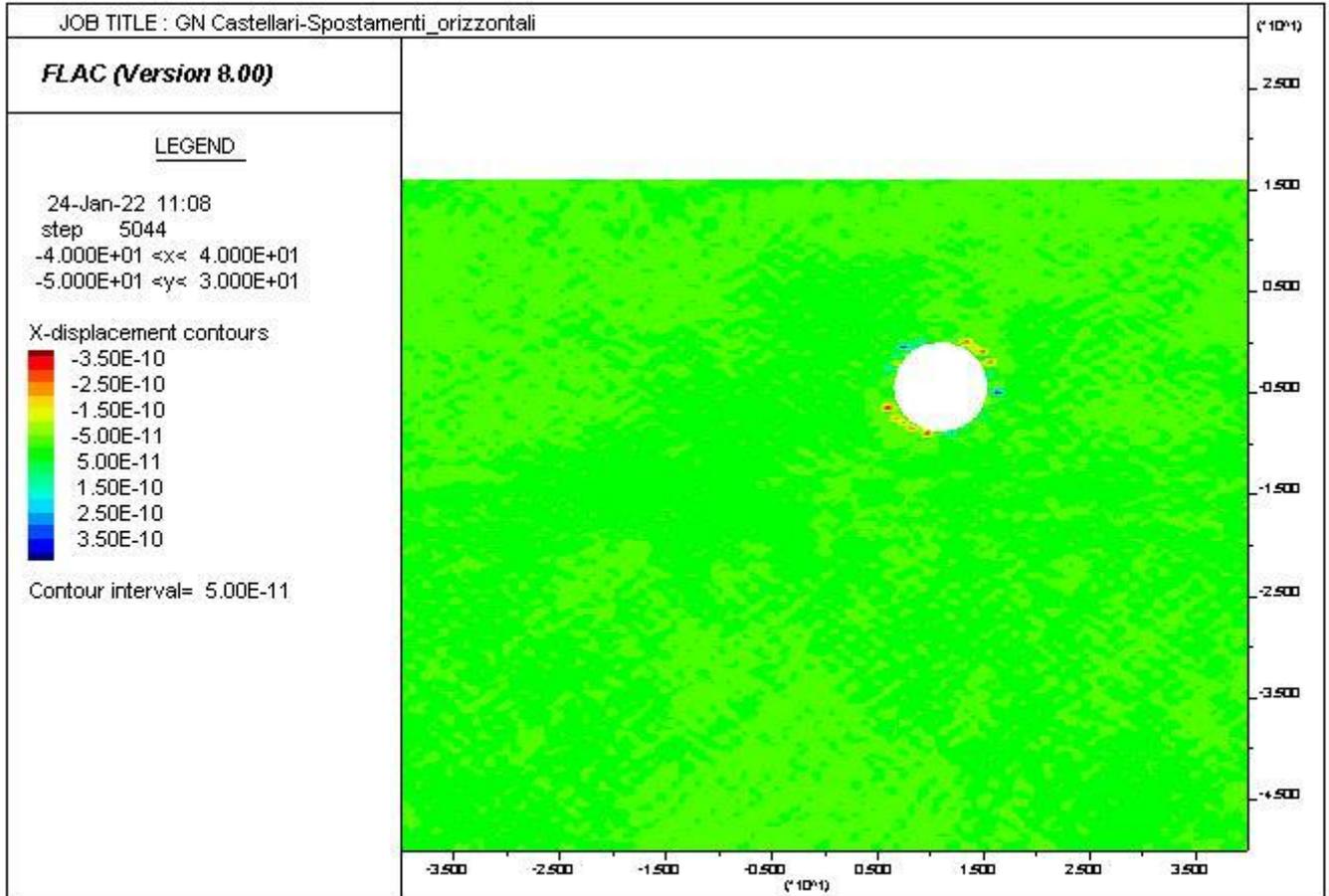




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

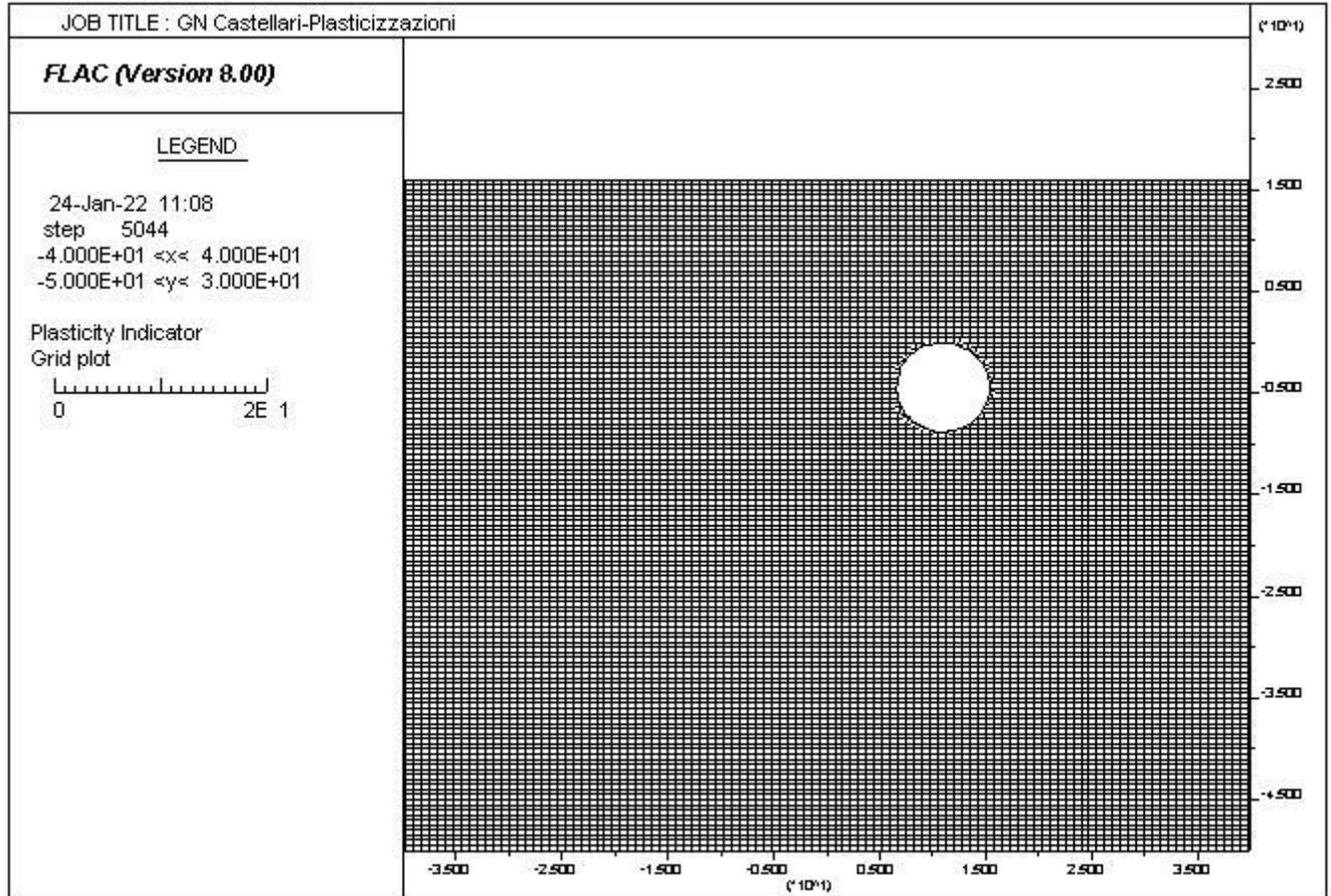




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

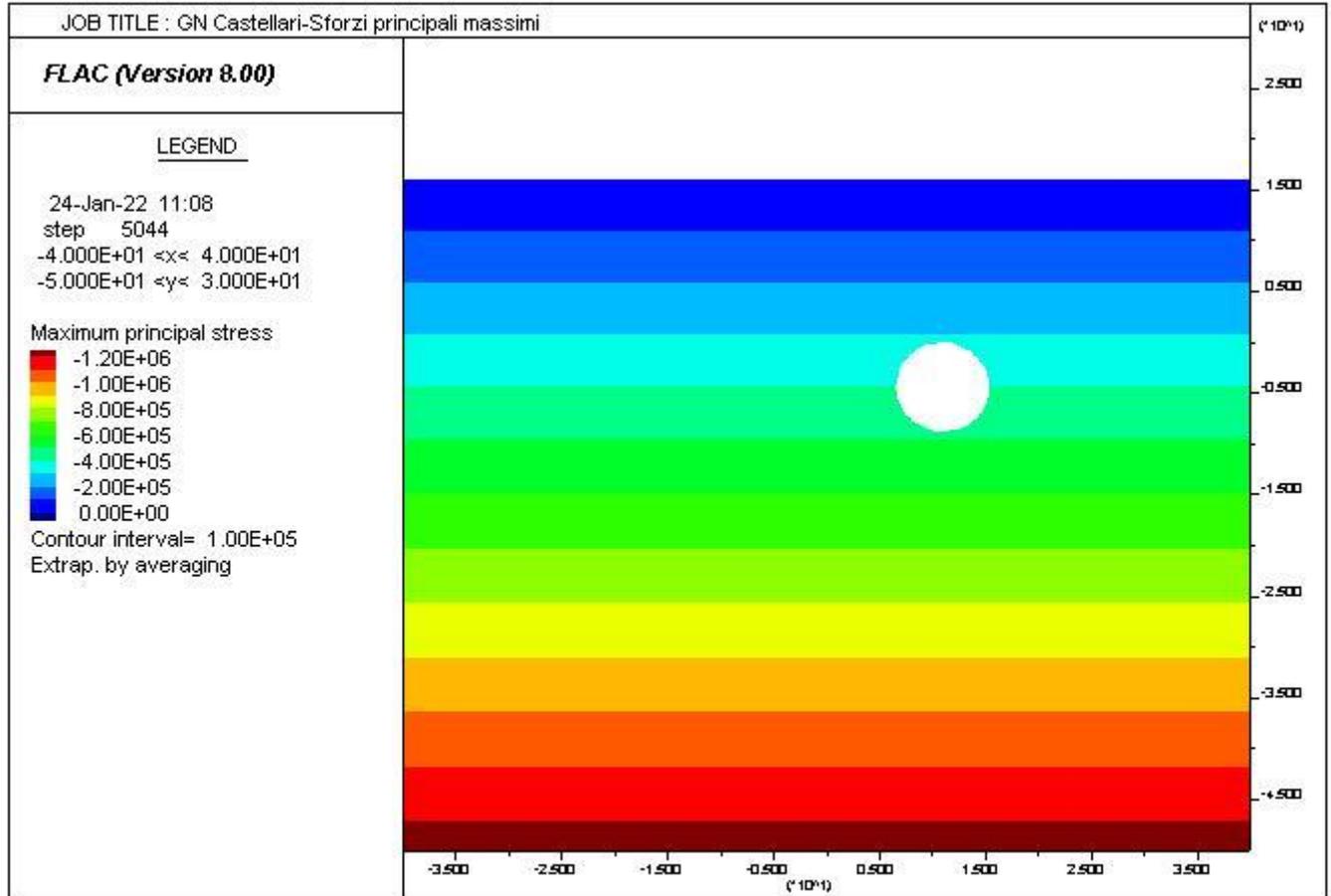




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
 GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

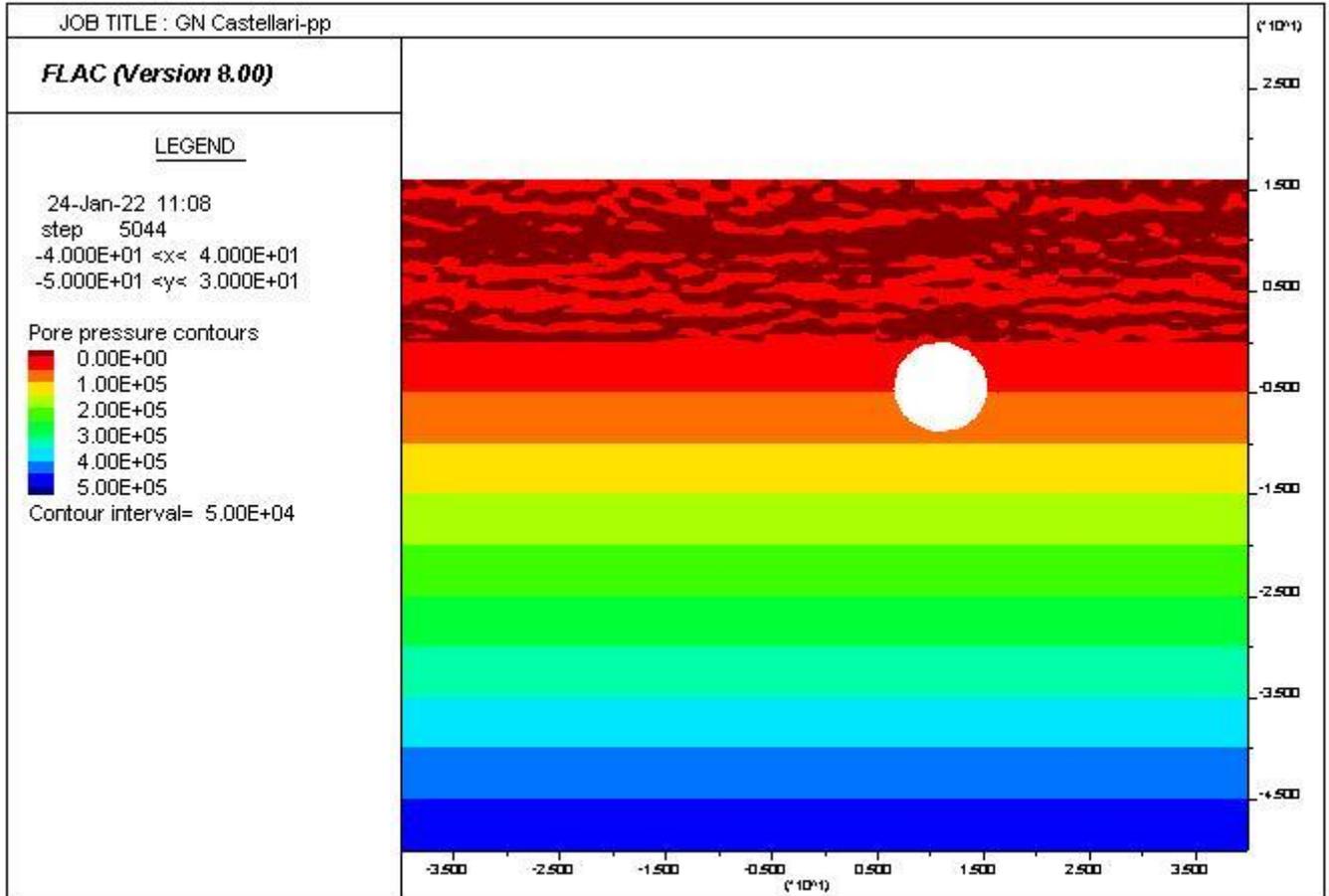




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
 GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1



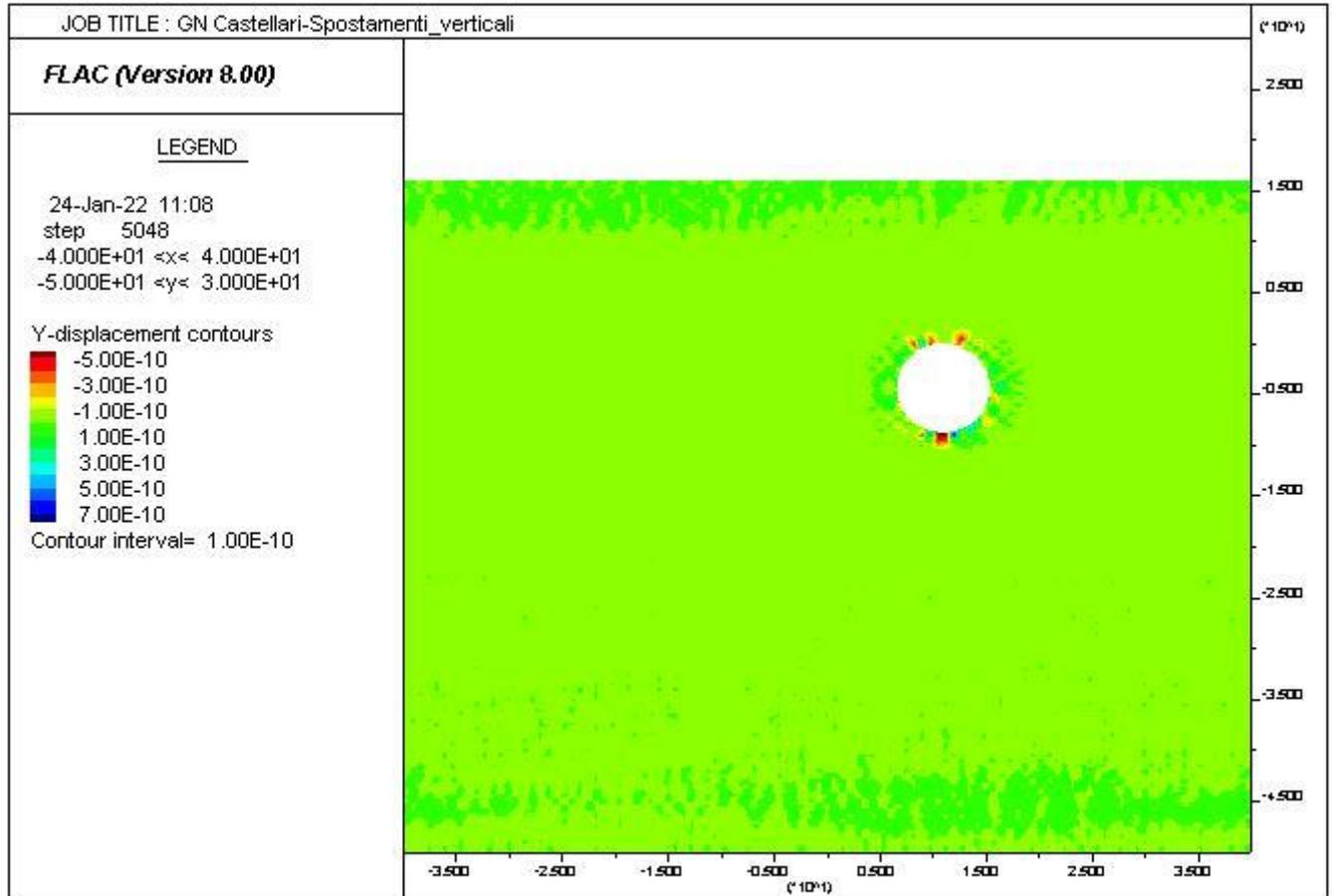


RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

FASE 4

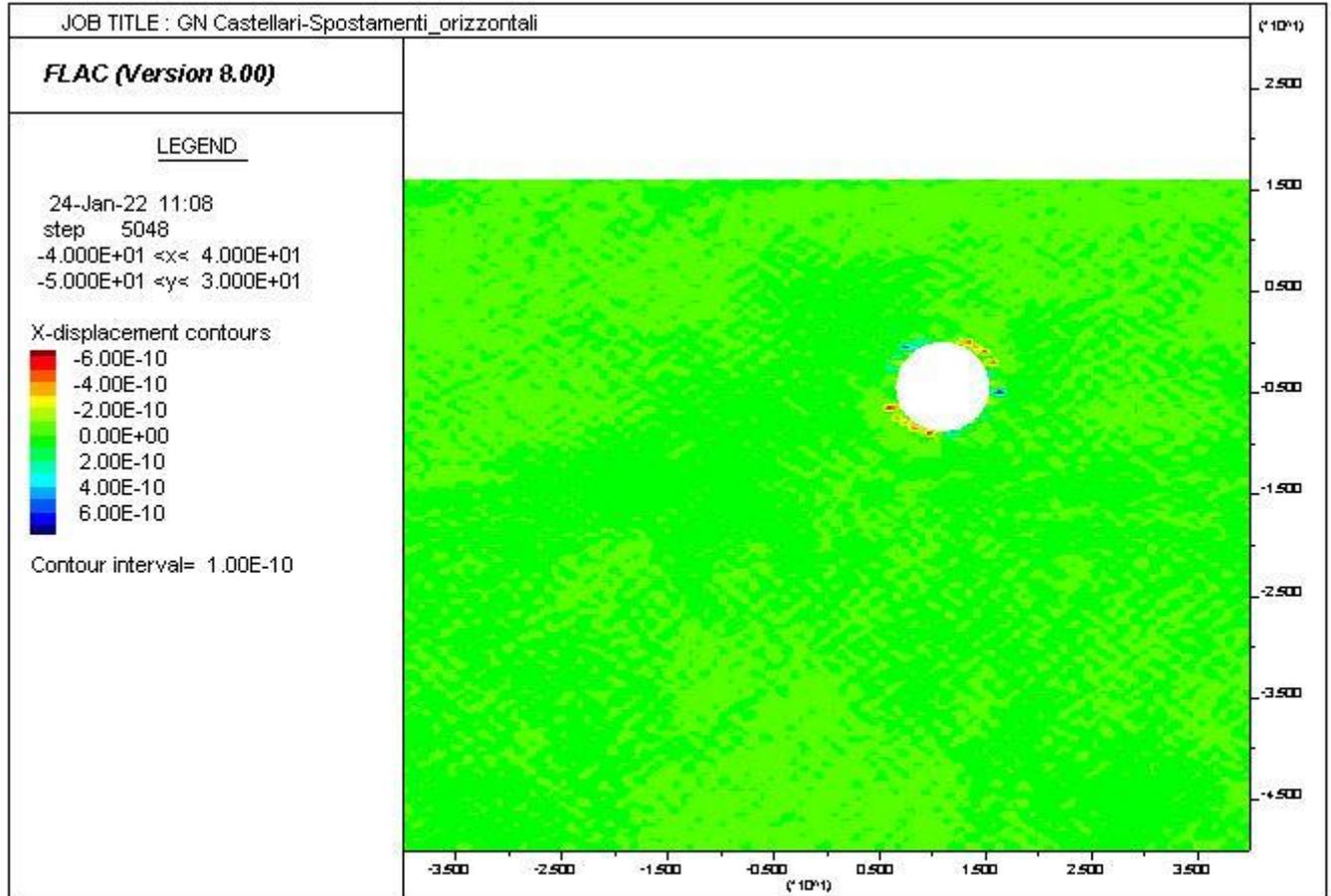




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

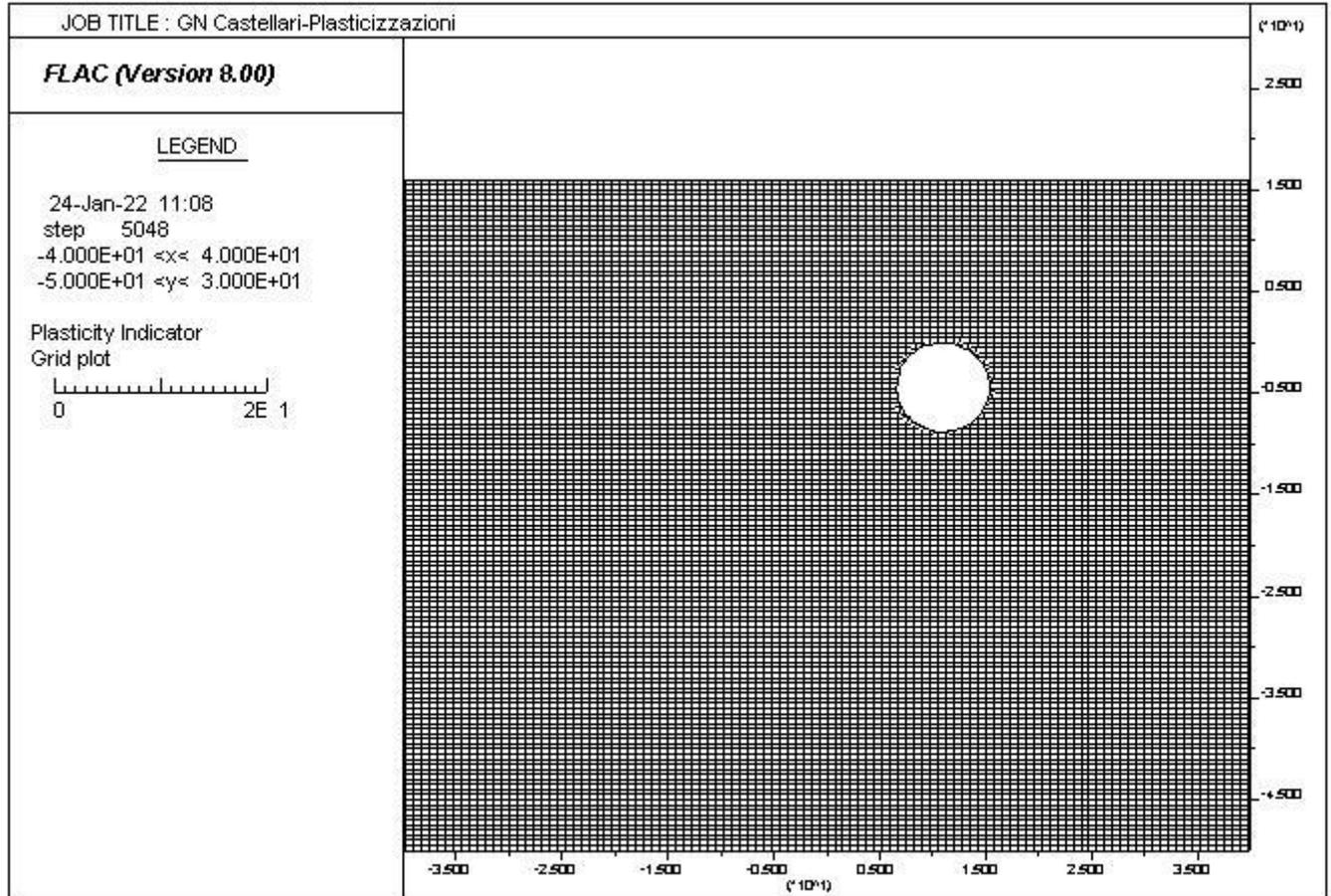




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

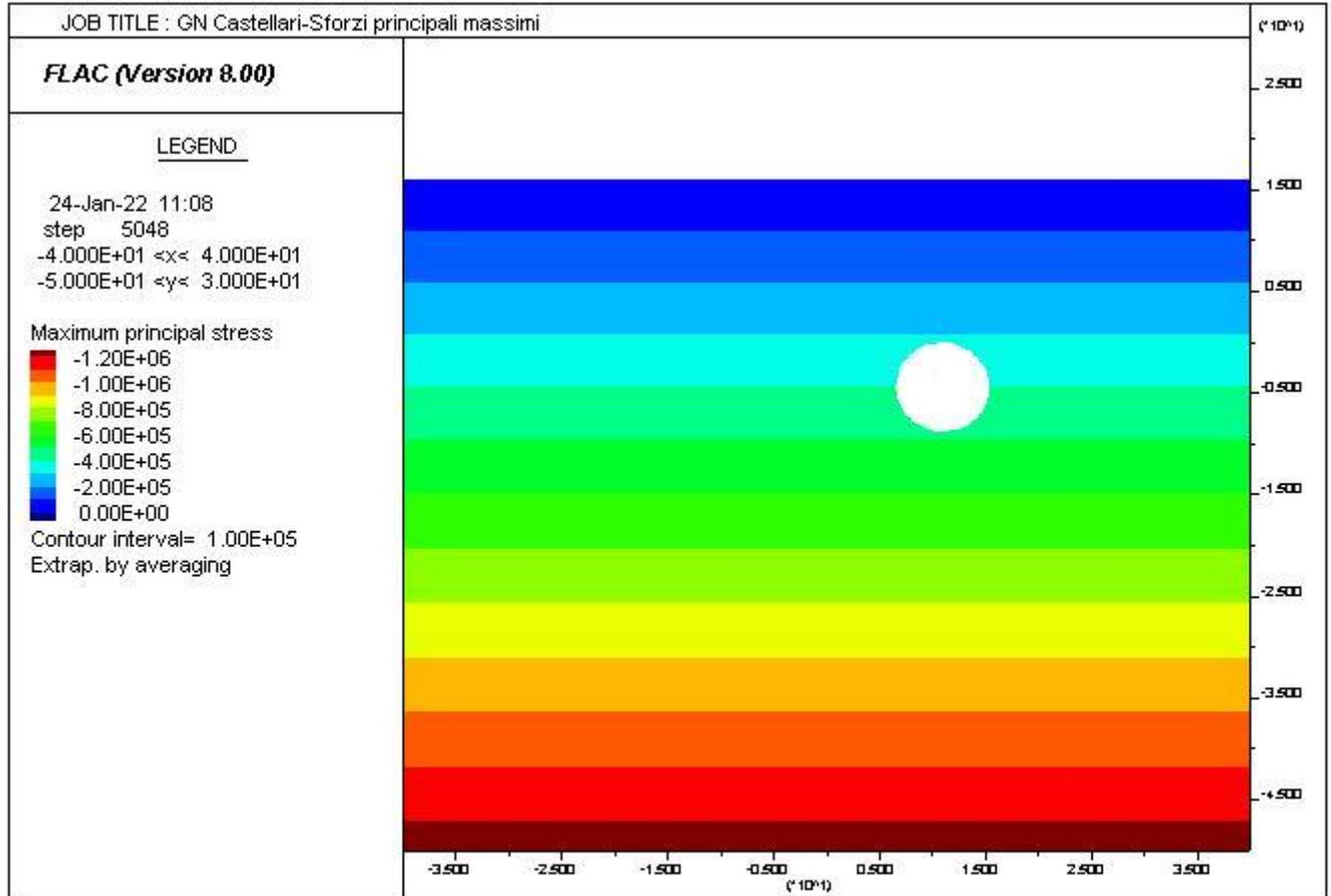




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

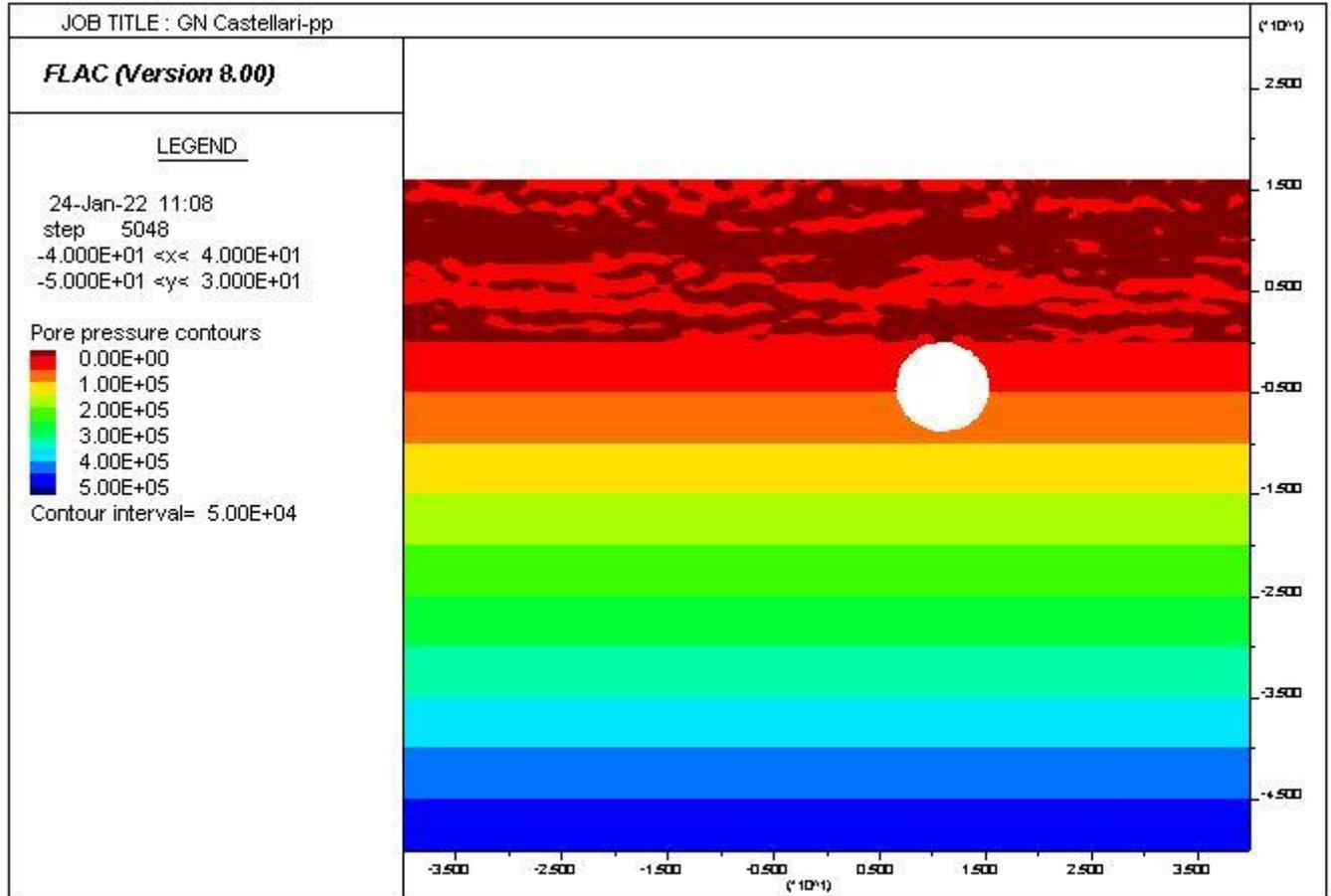




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1



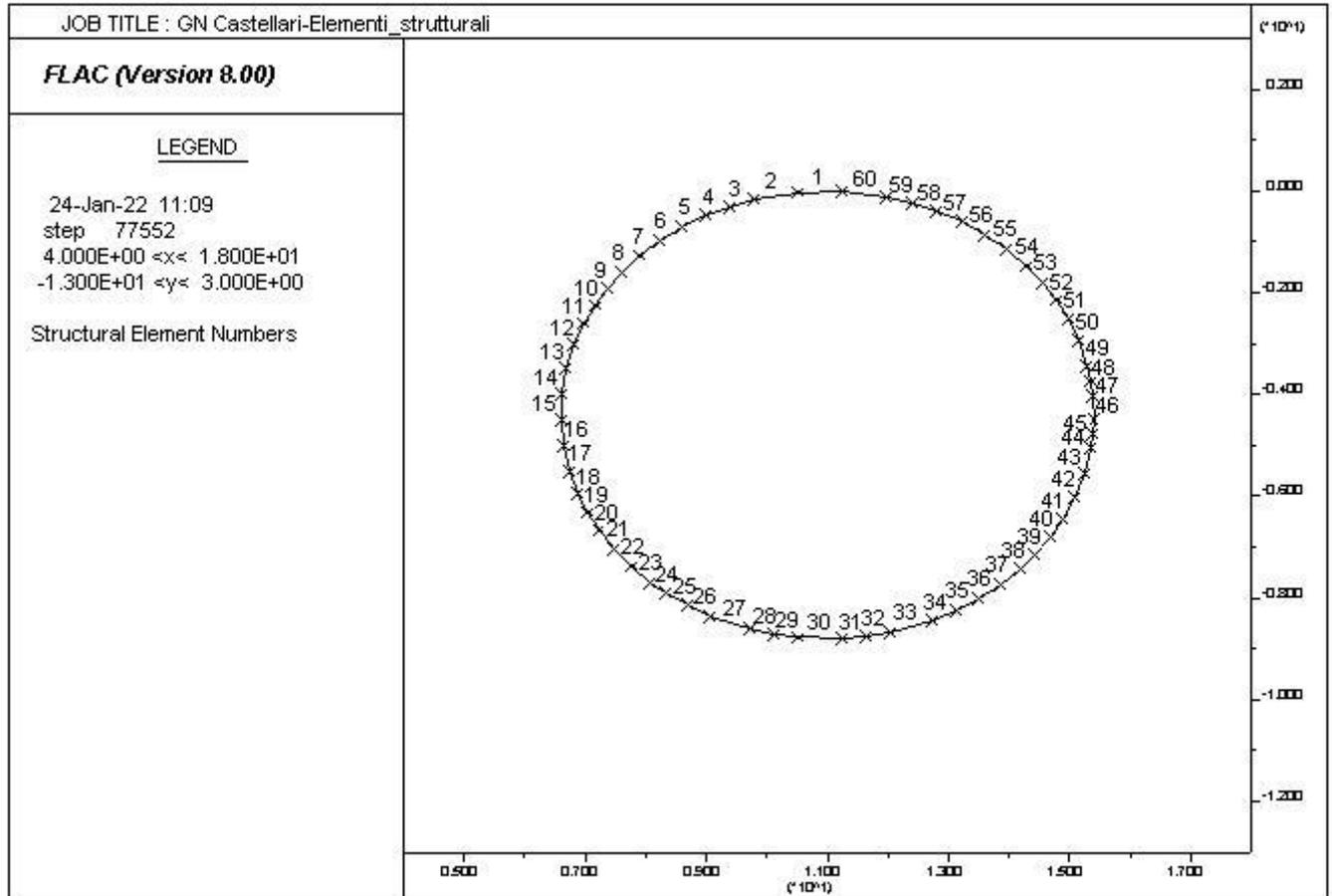


RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
 GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

FASE 5

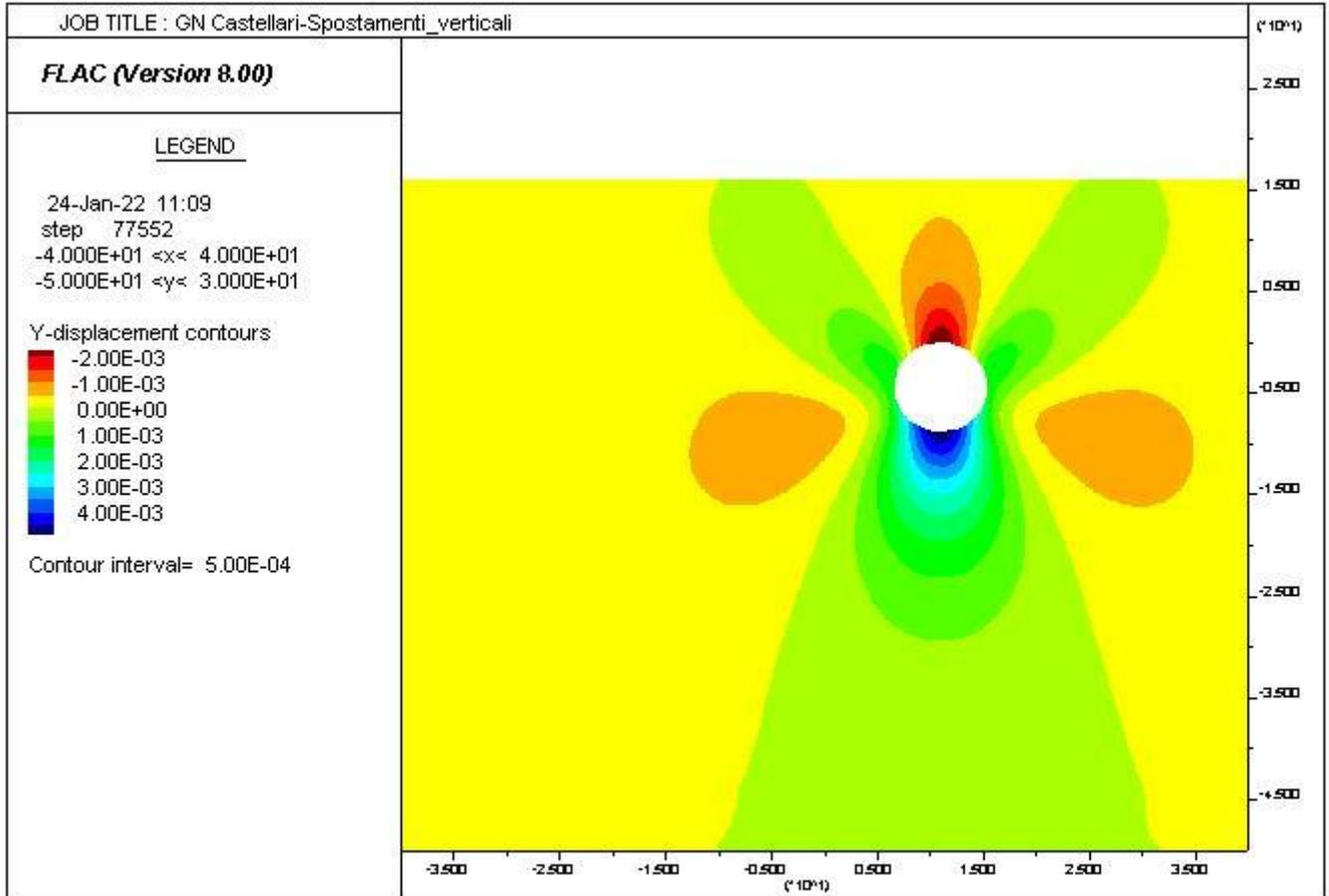




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

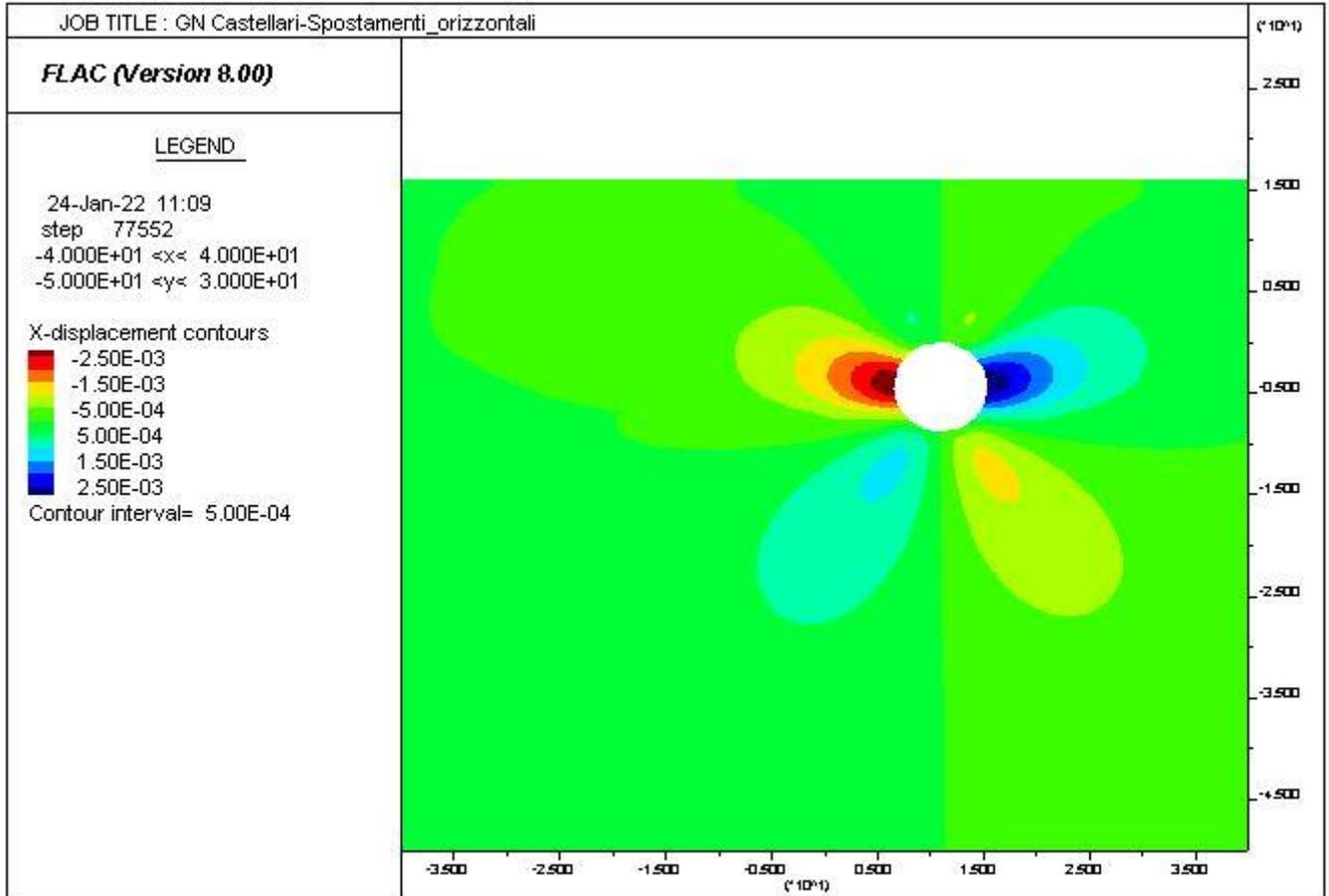




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

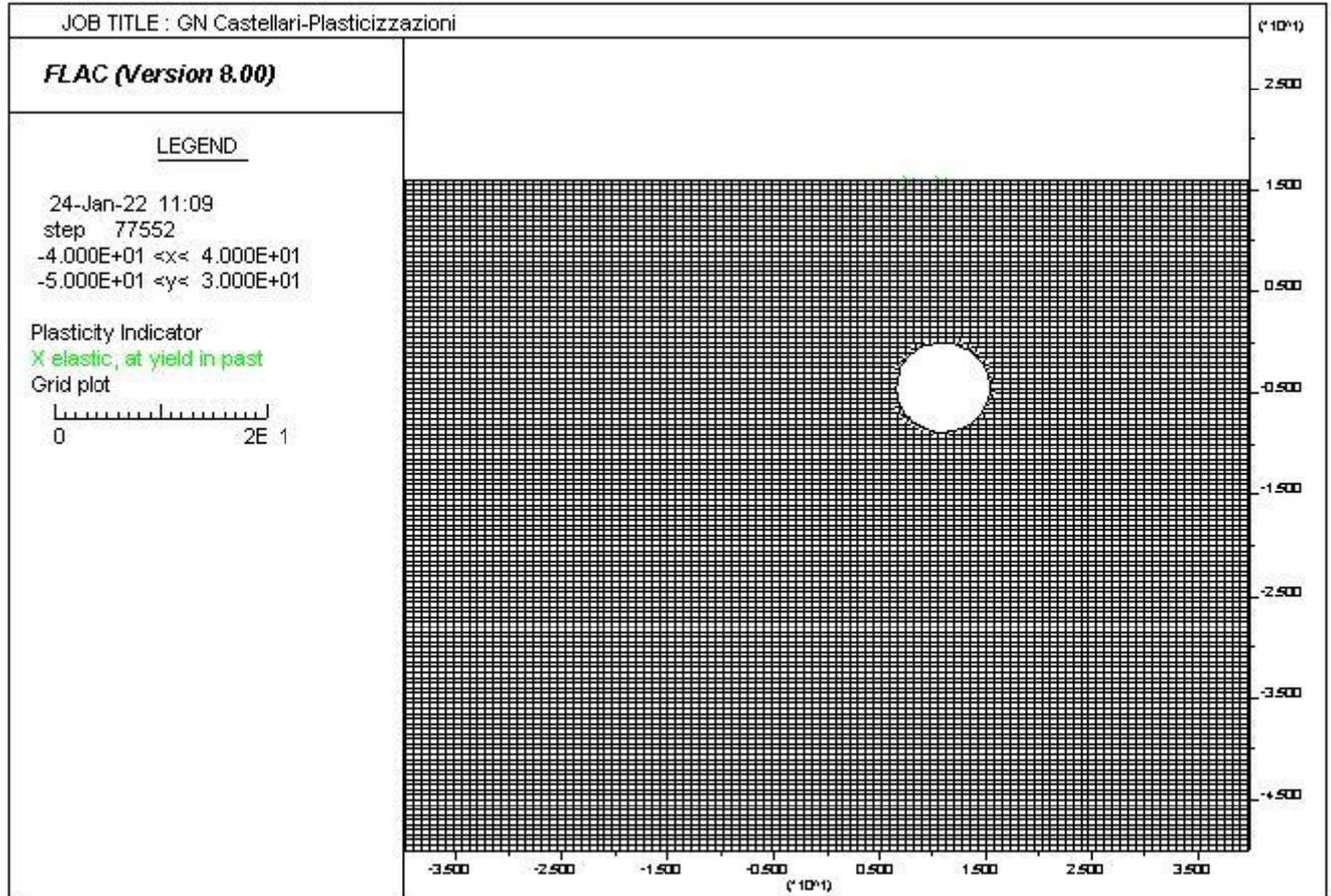




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

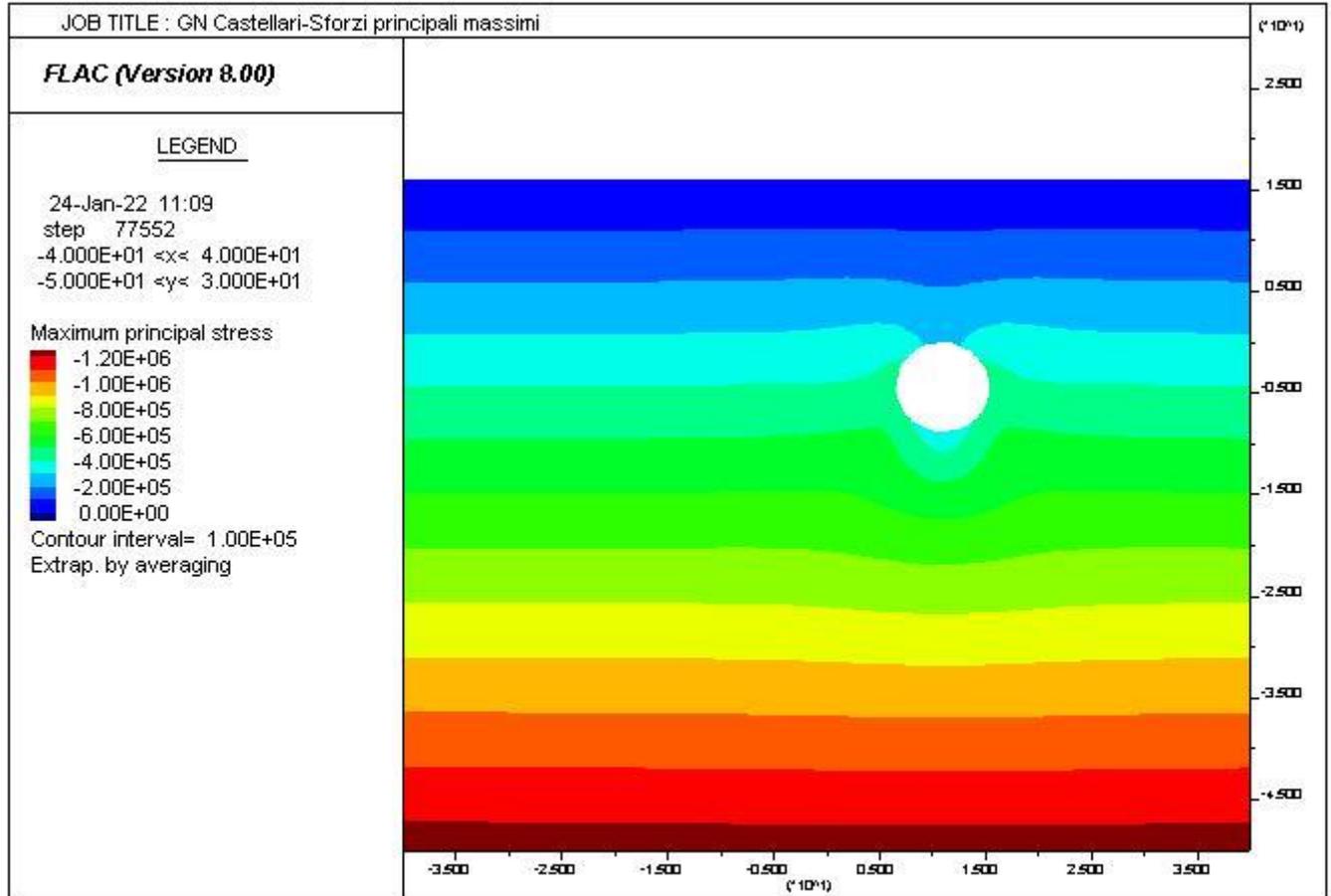




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

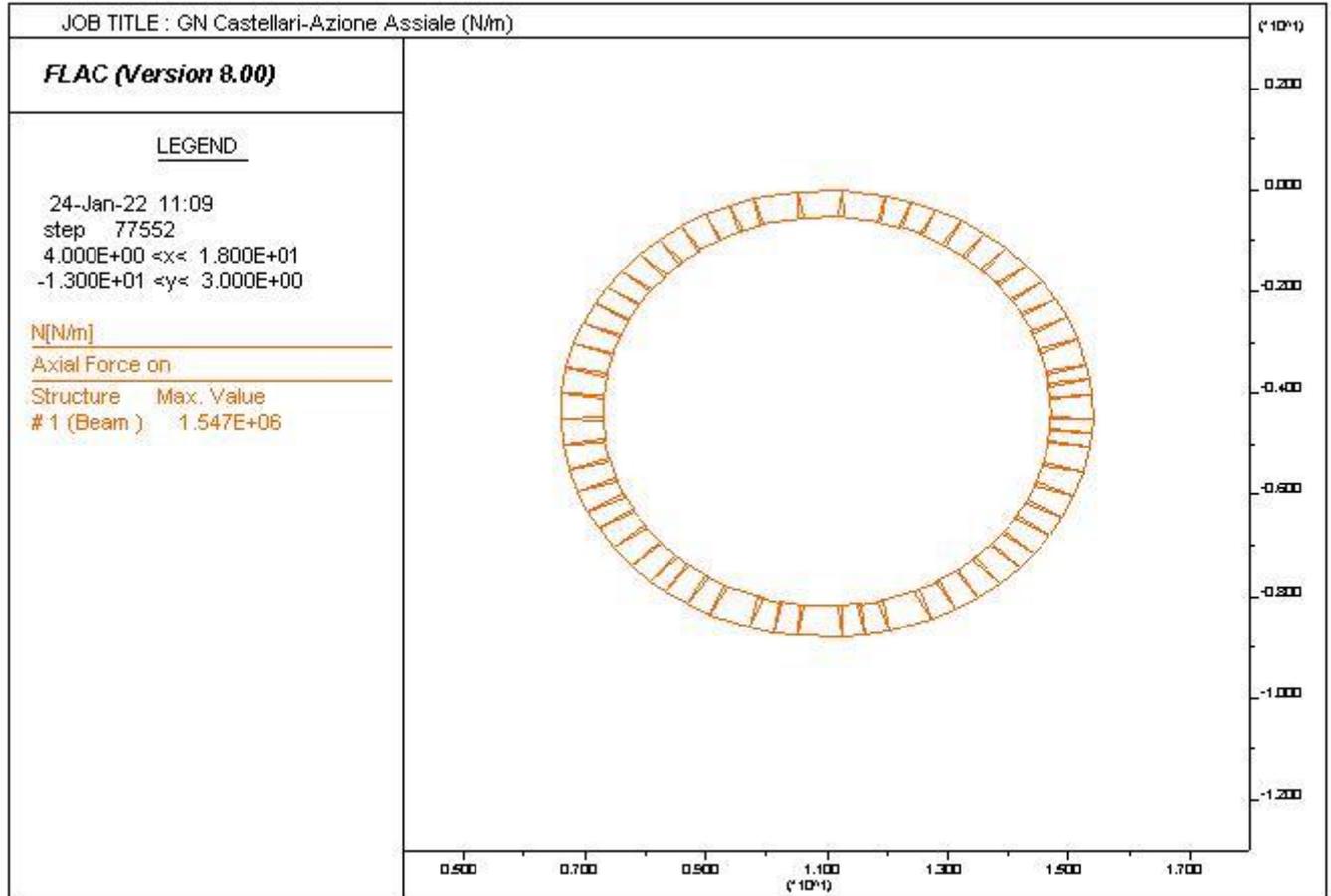




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

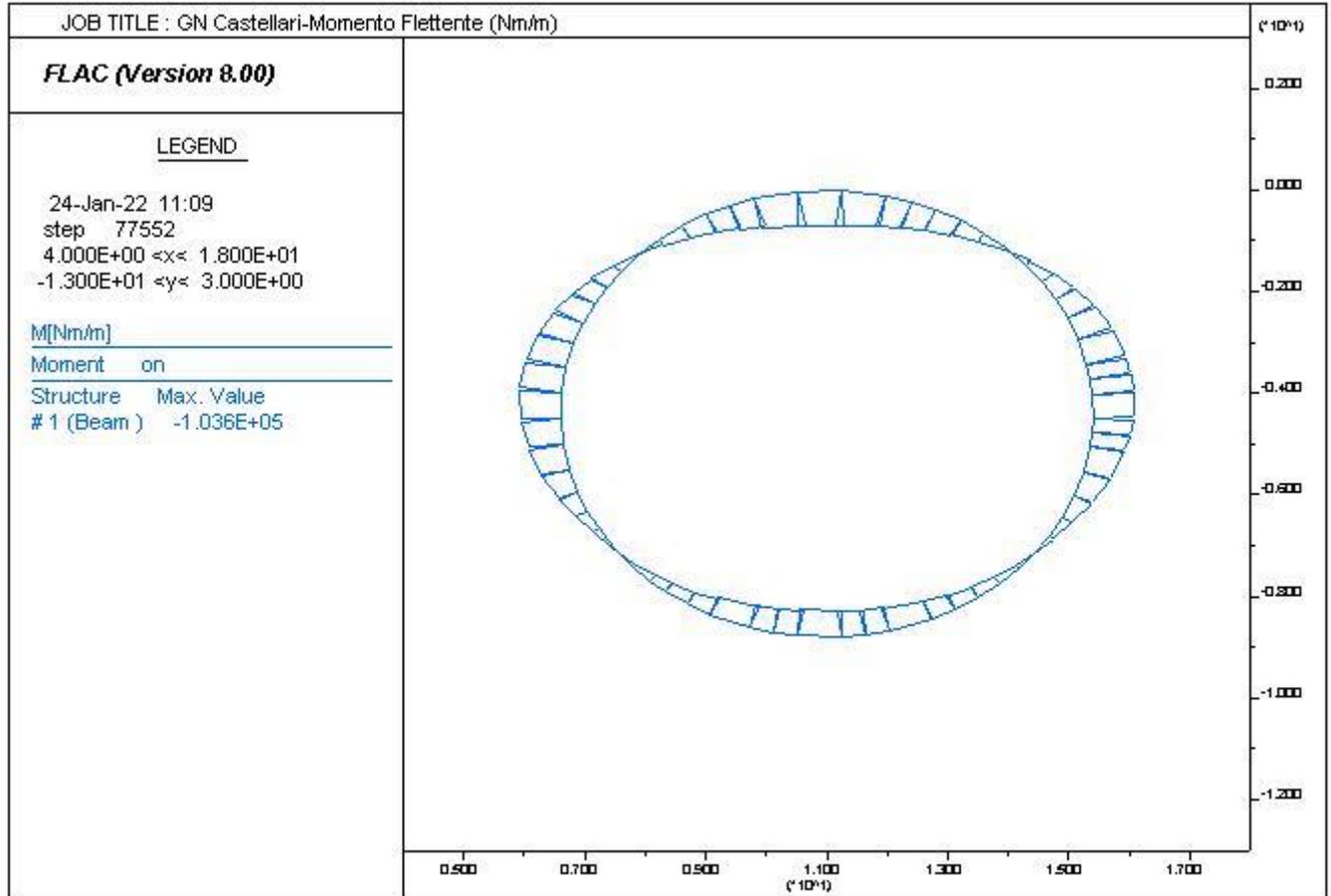




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

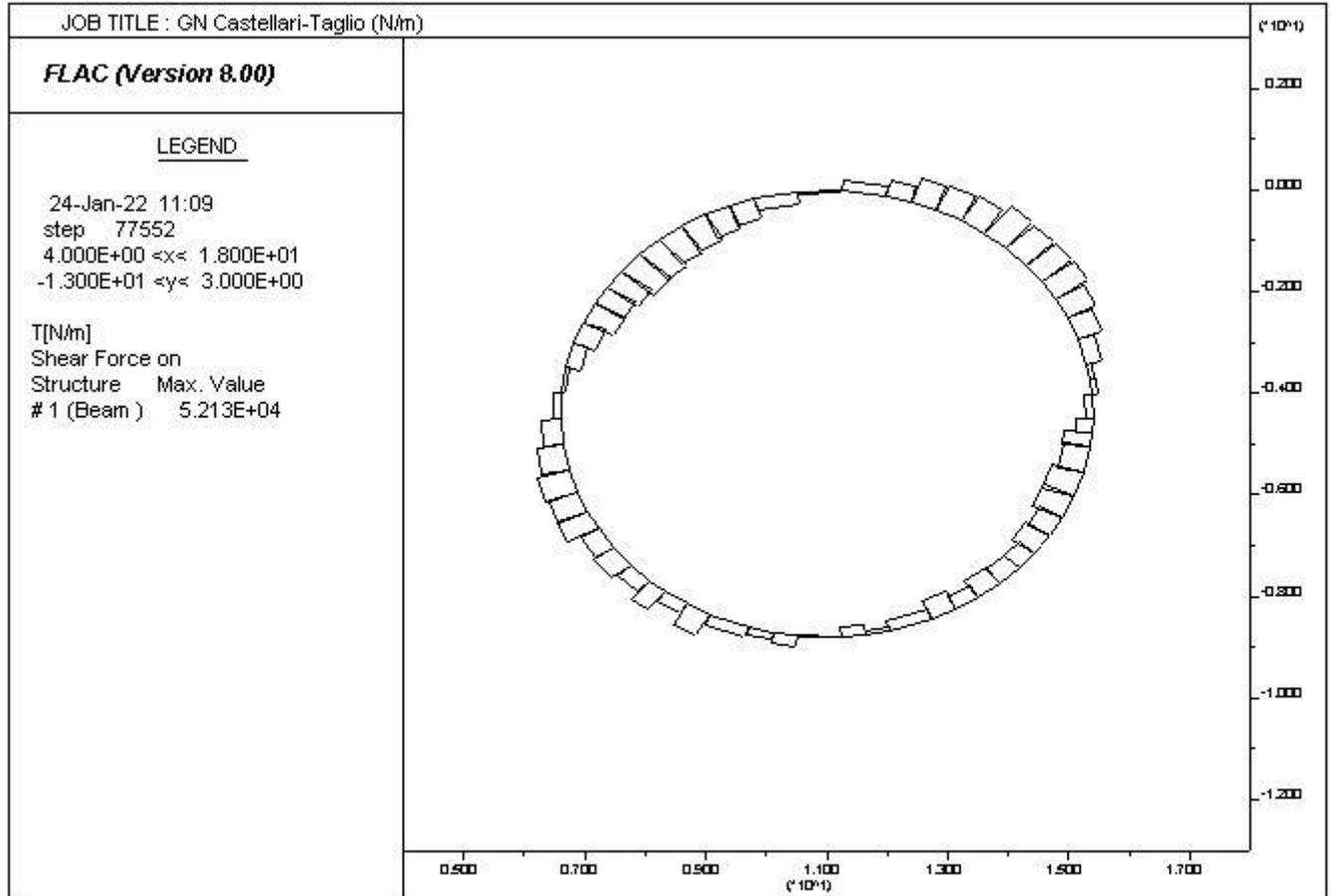




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

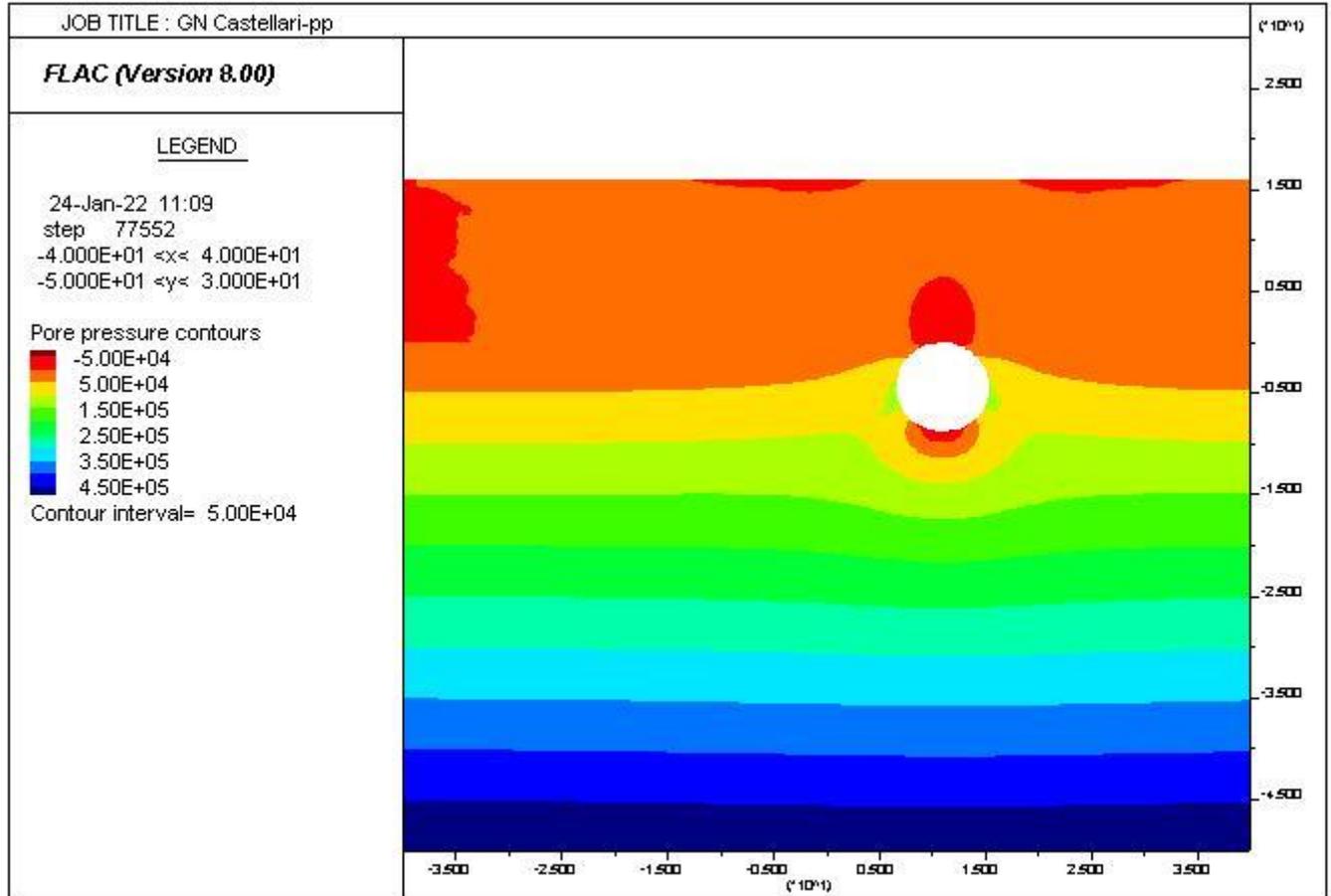




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1



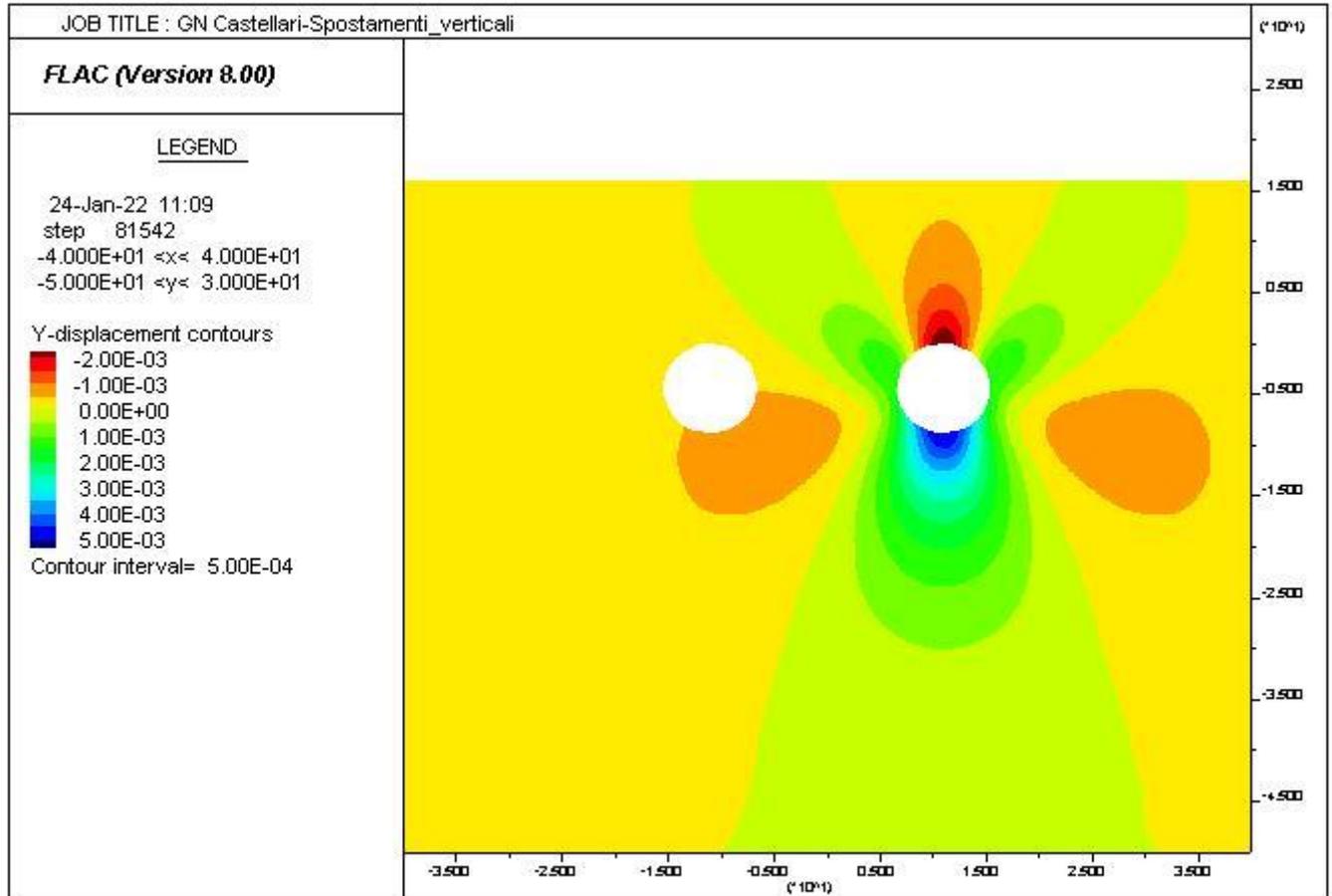


RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

FASE 6

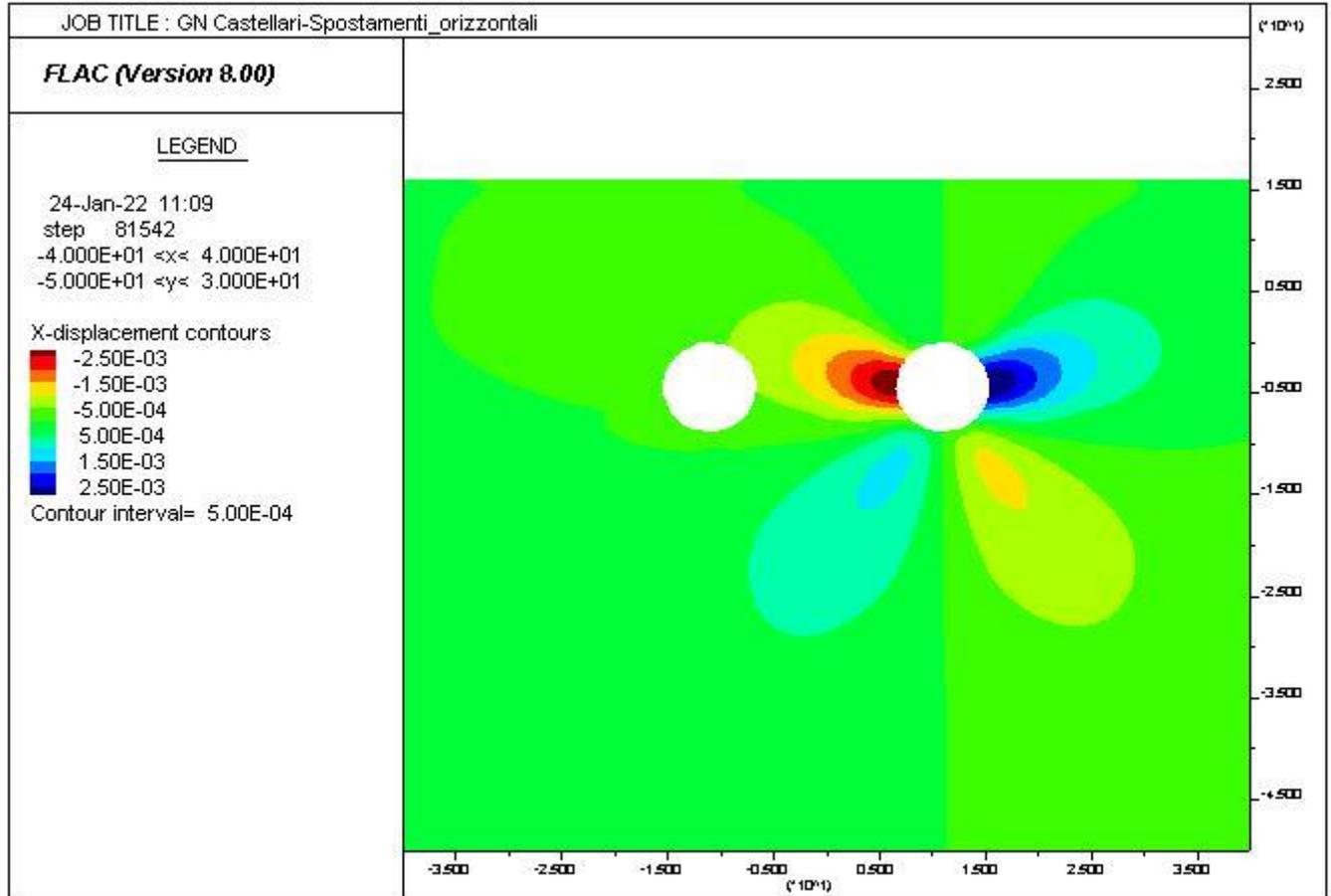




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

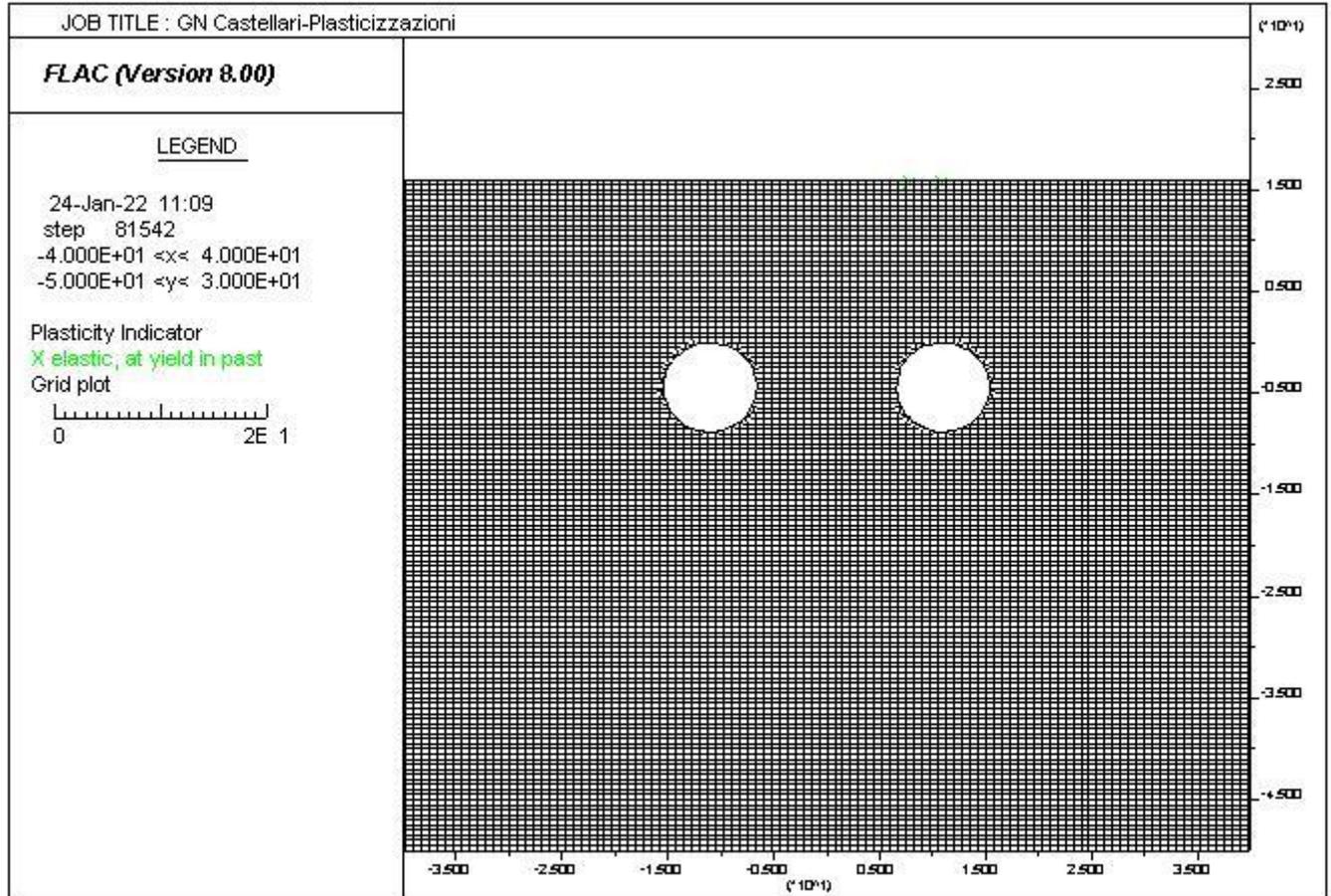




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

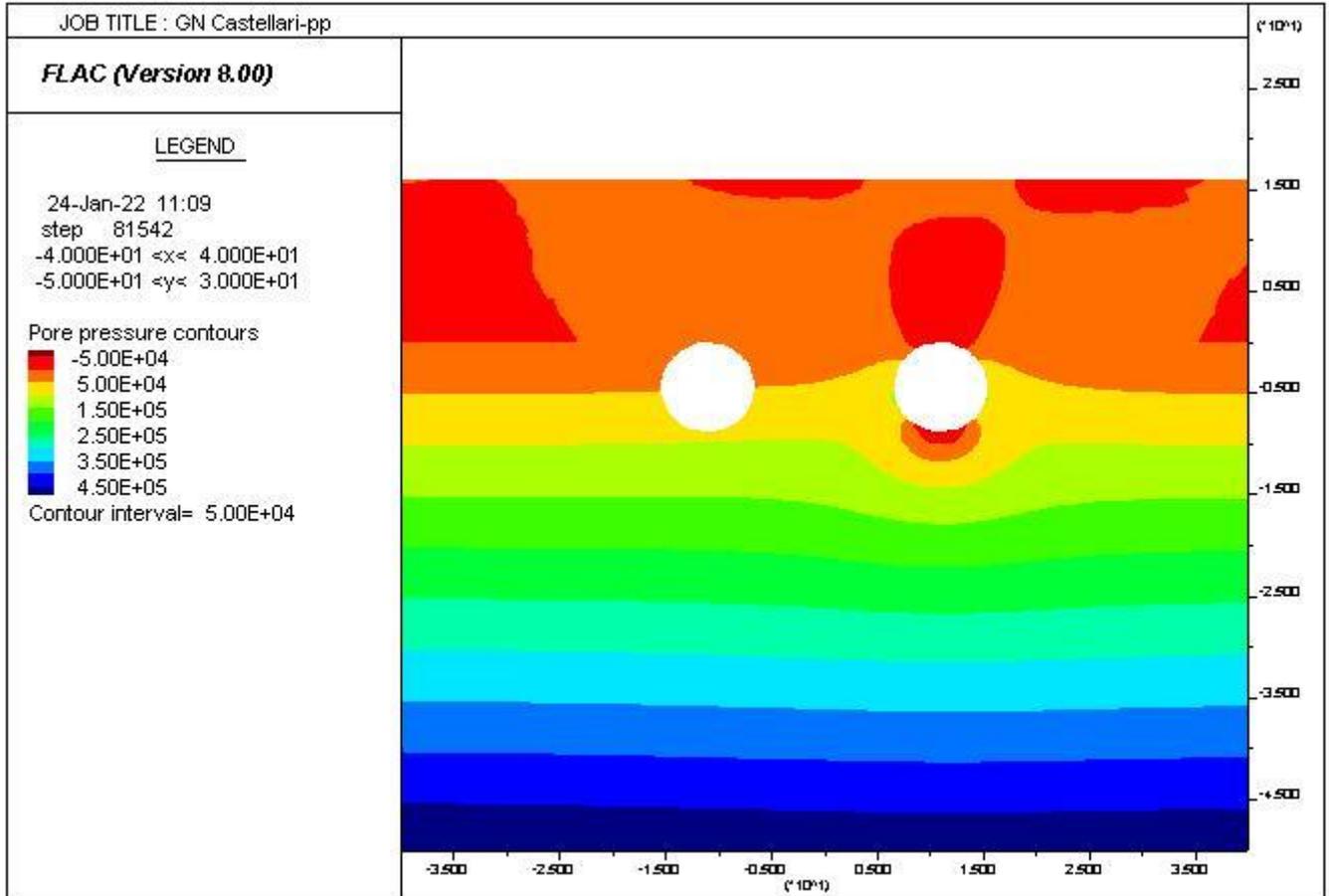




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

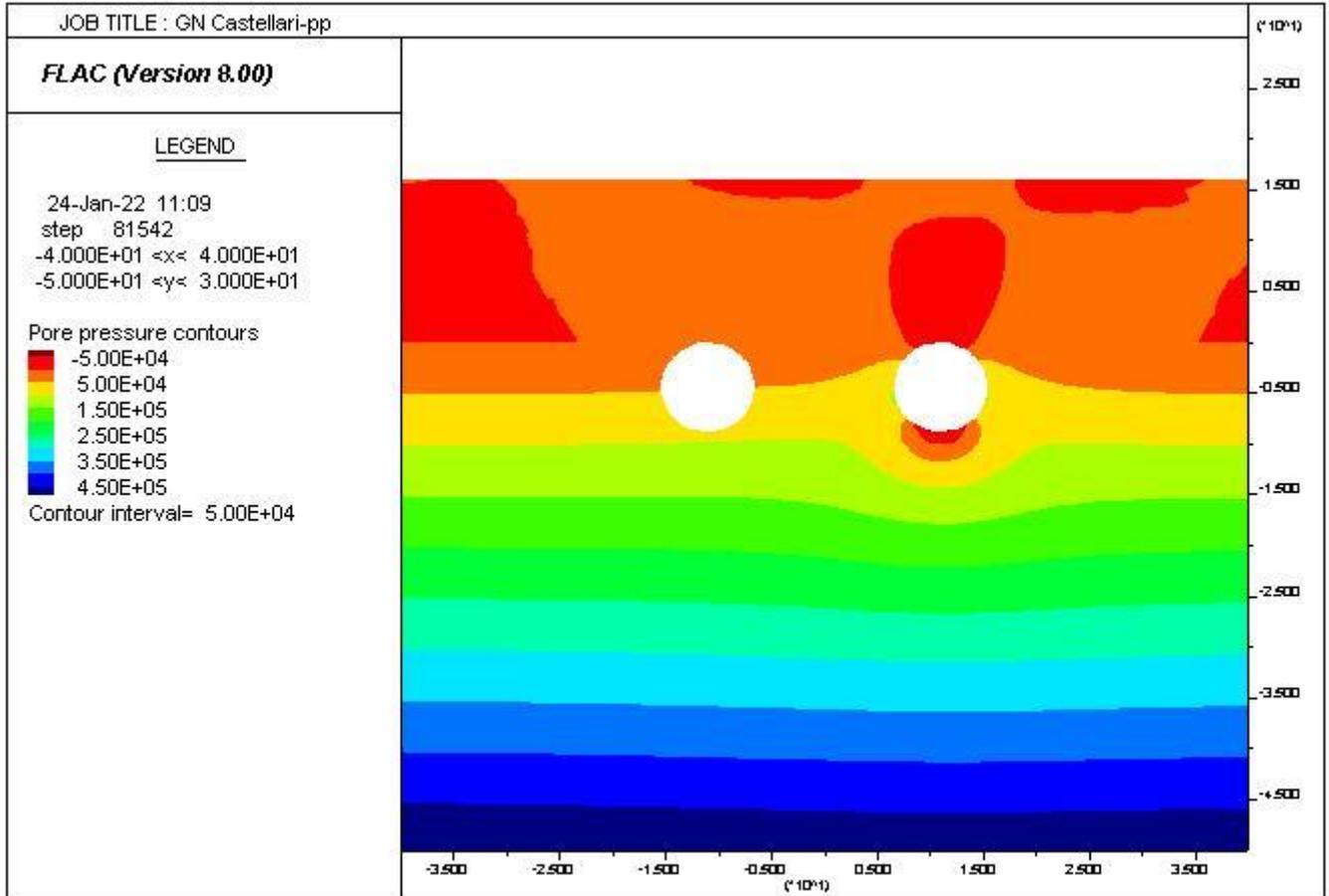




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1



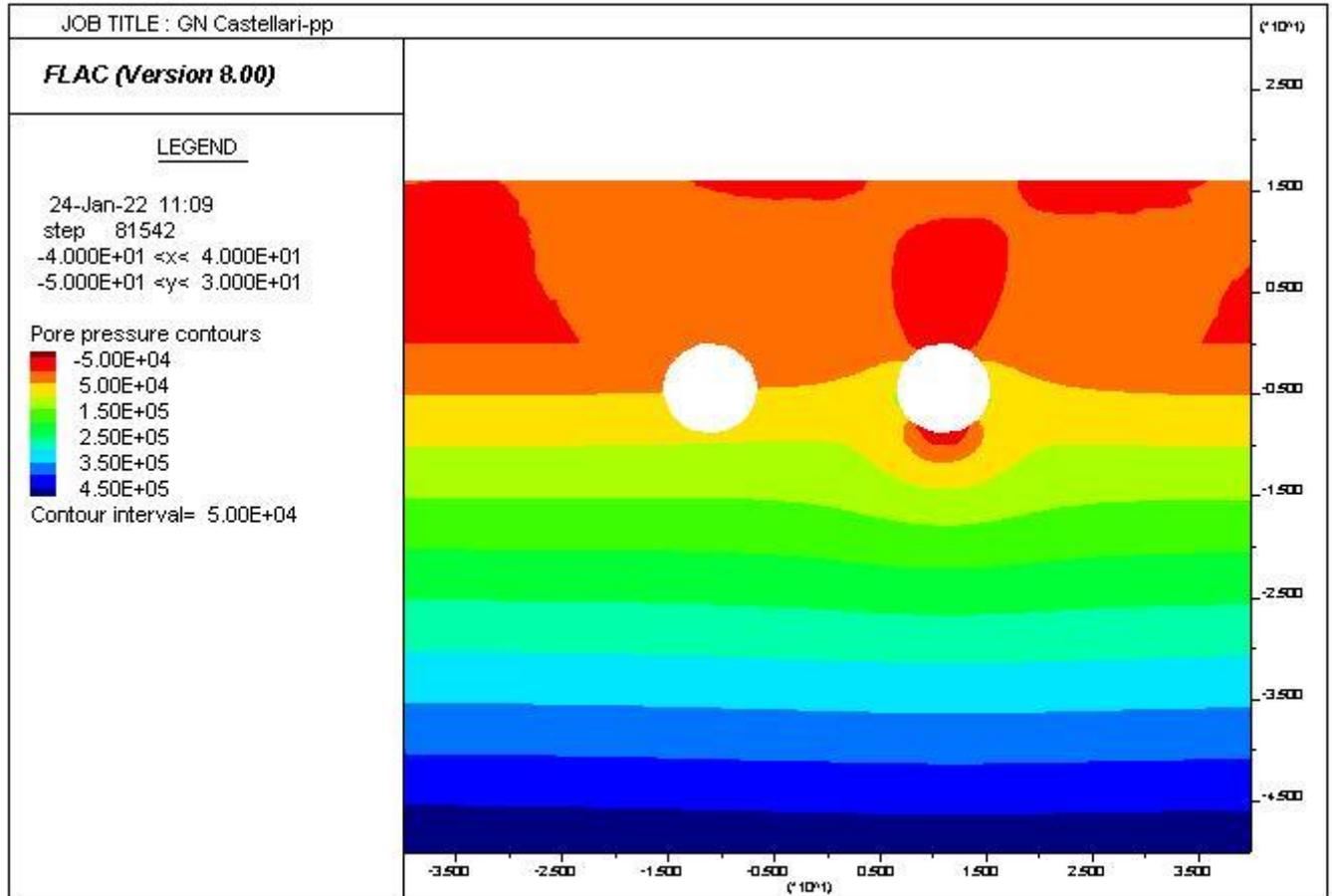


RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

FASE 7

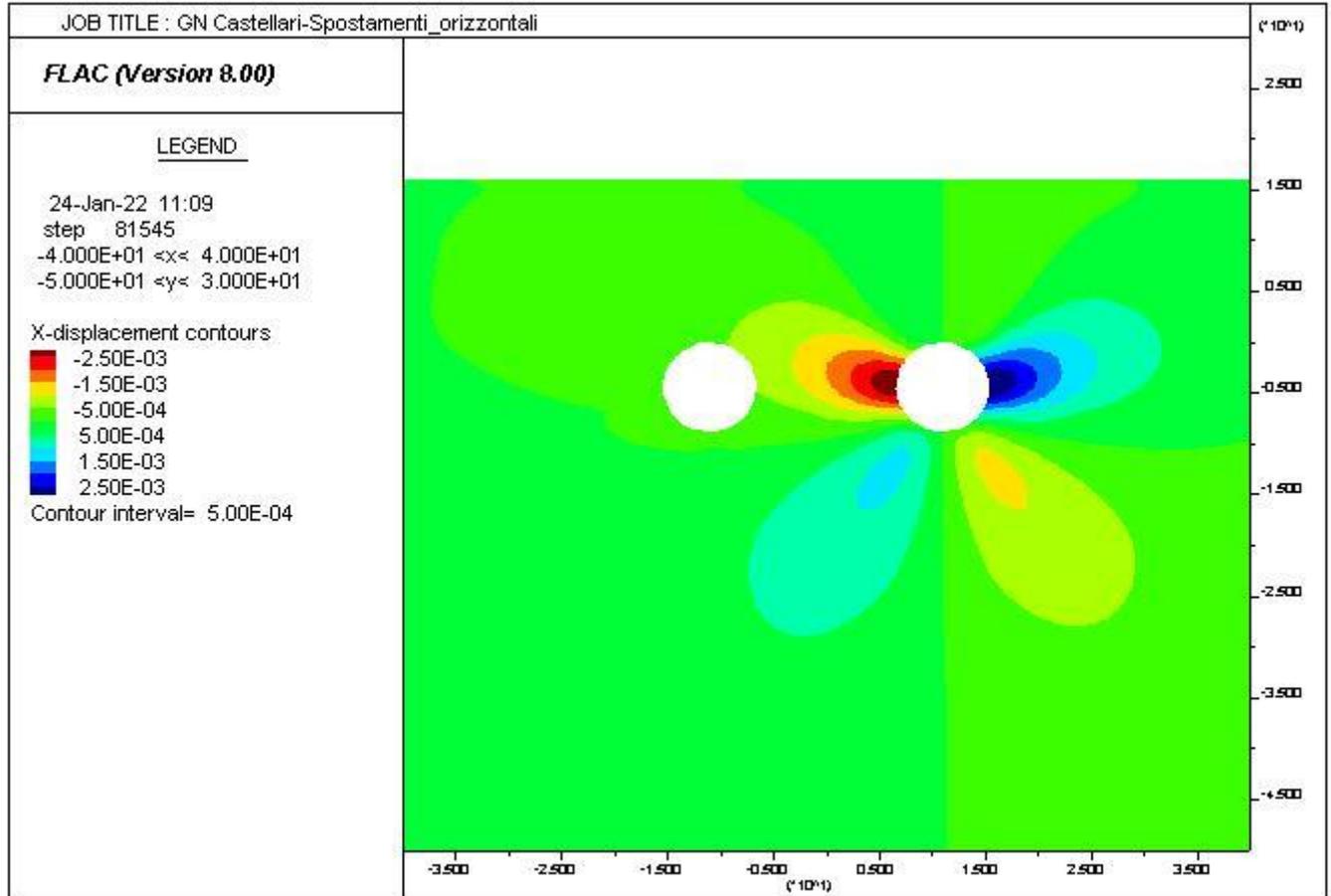




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

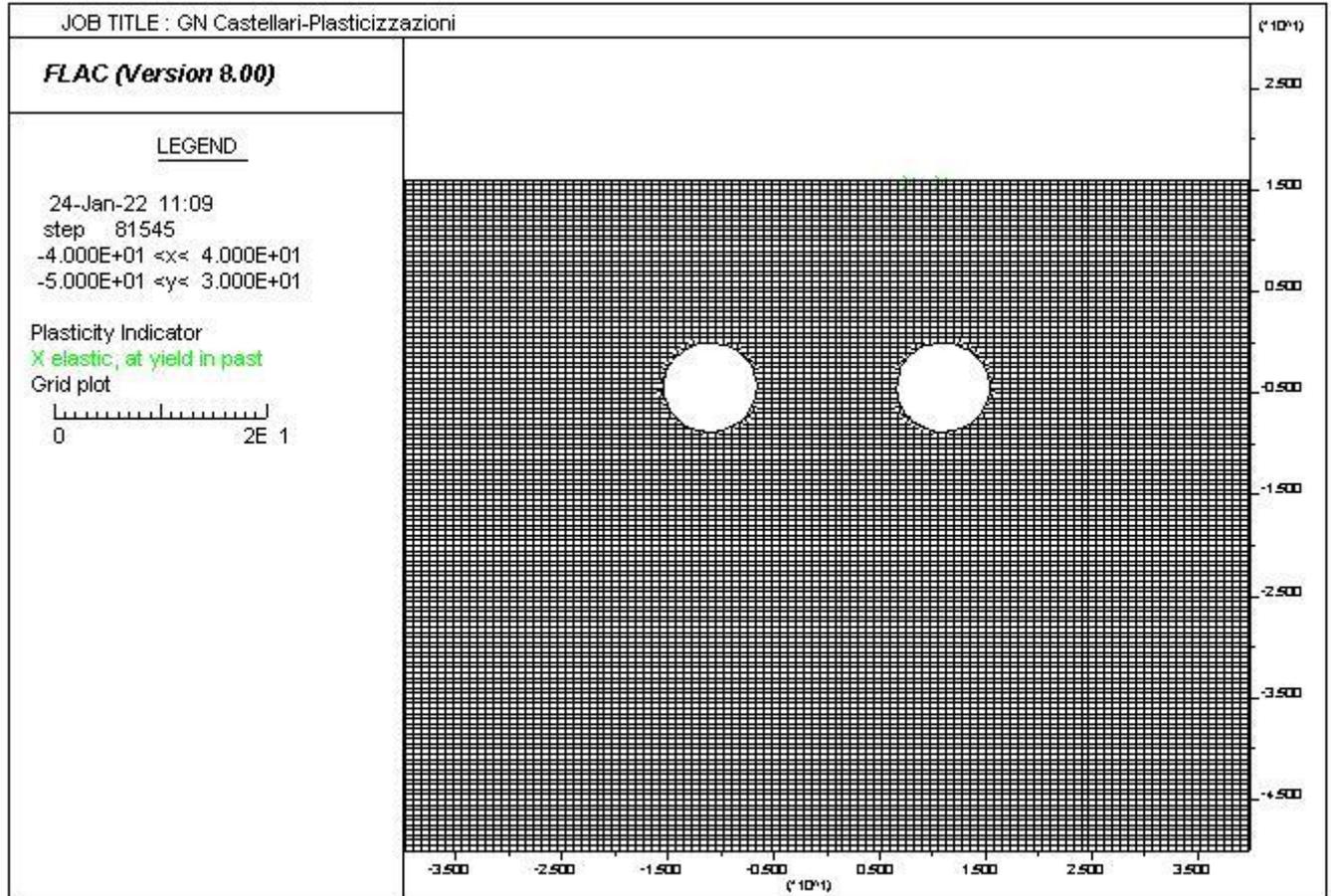




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

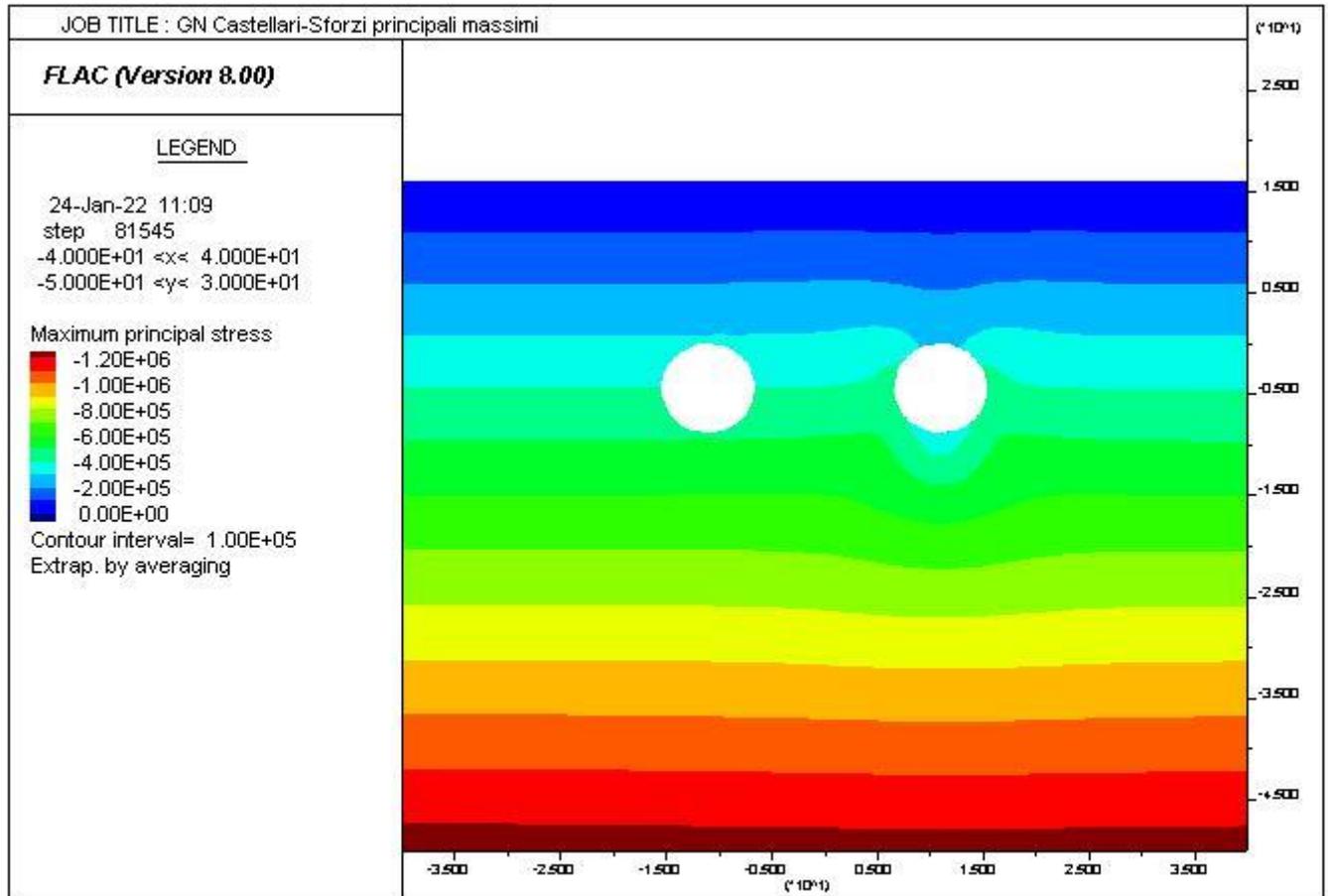




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

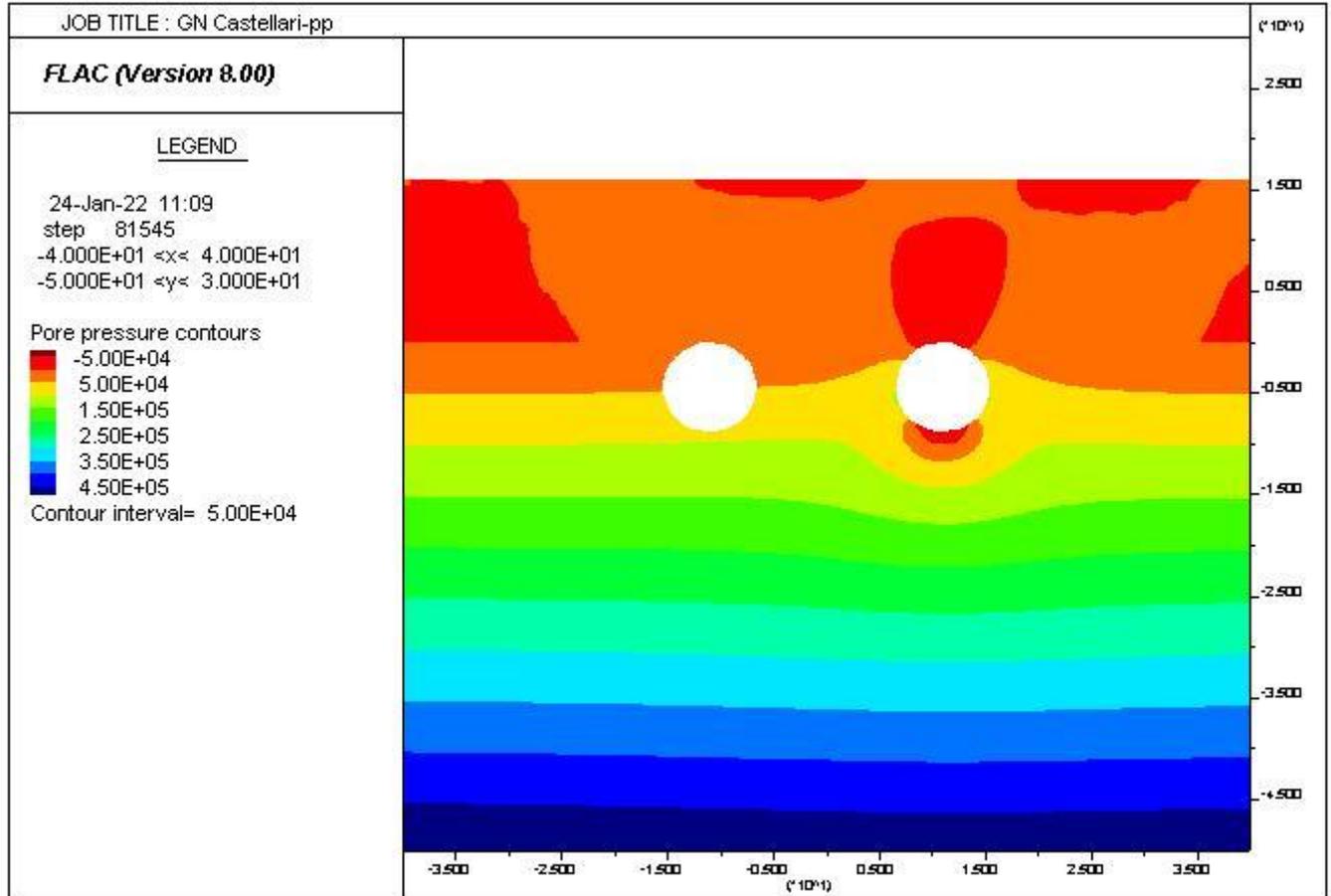




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1



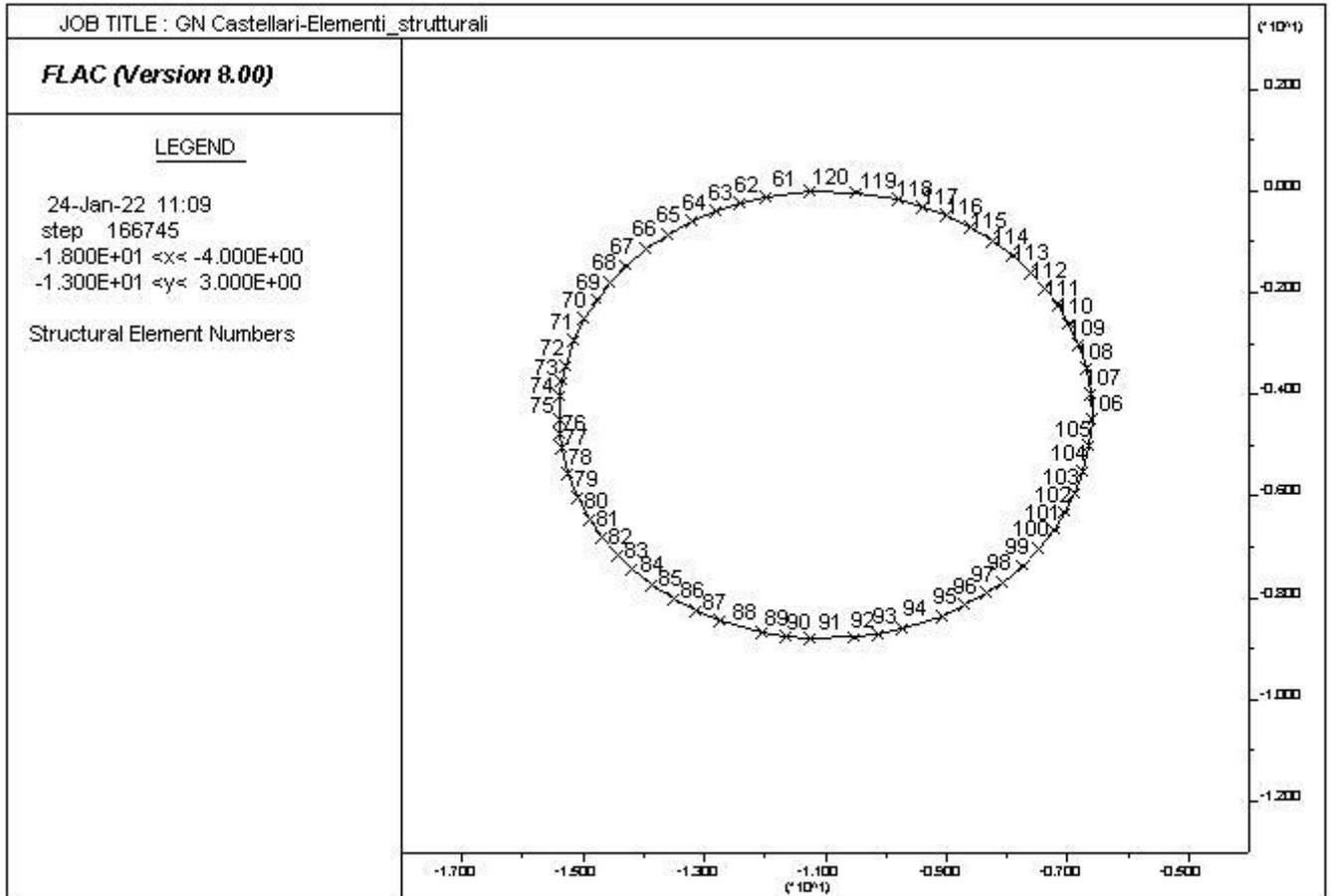


RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
 GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

FASE 8

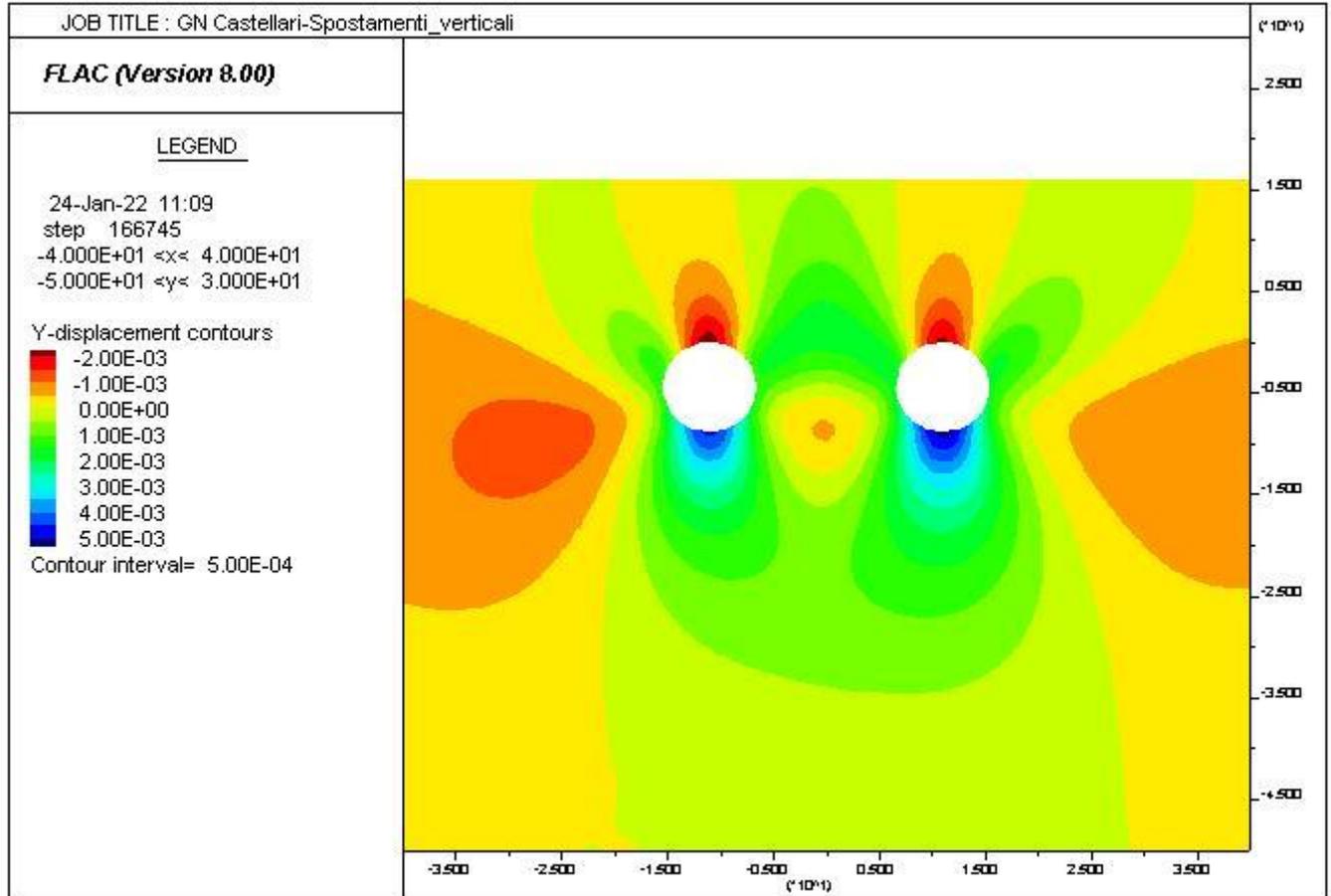




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

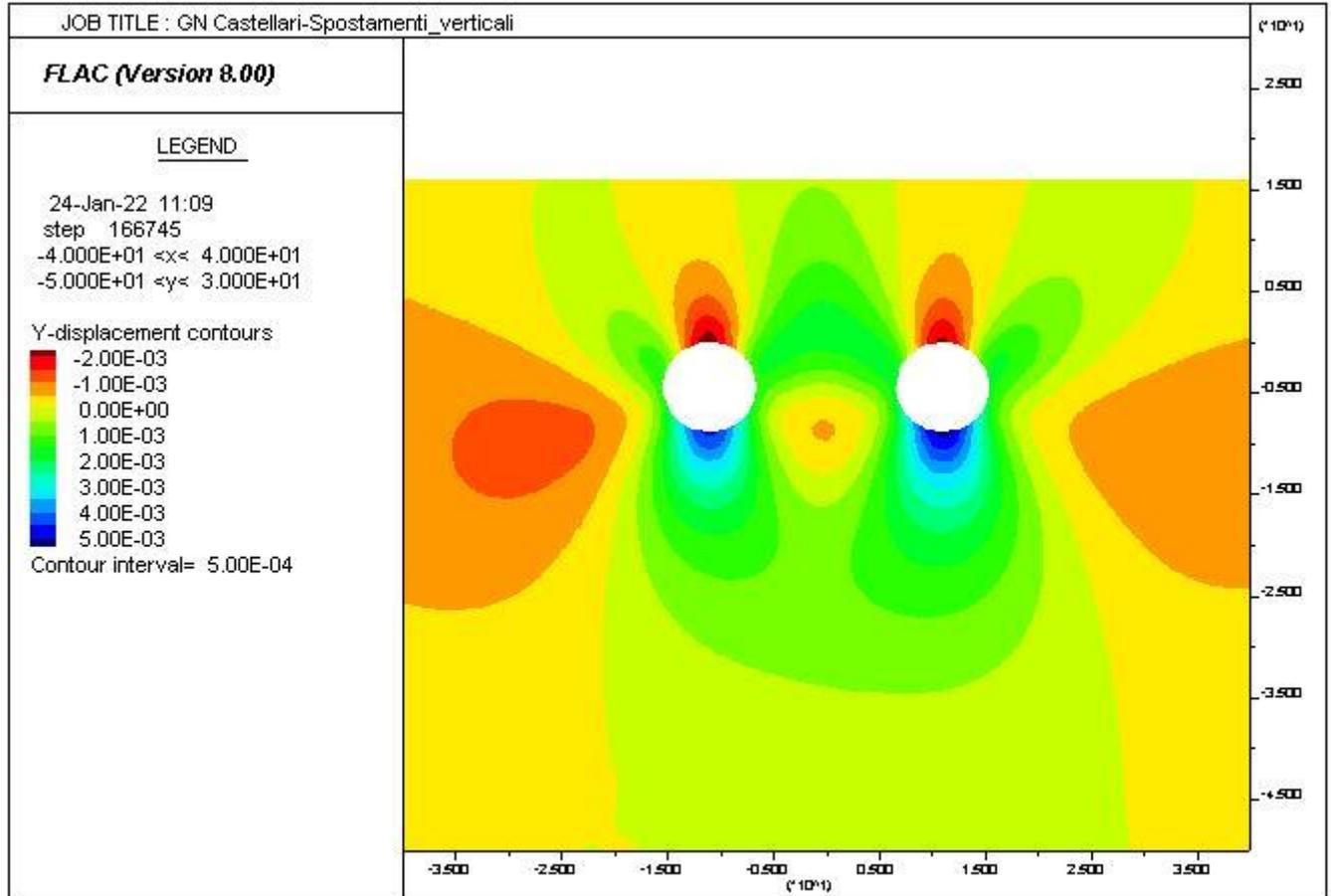




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

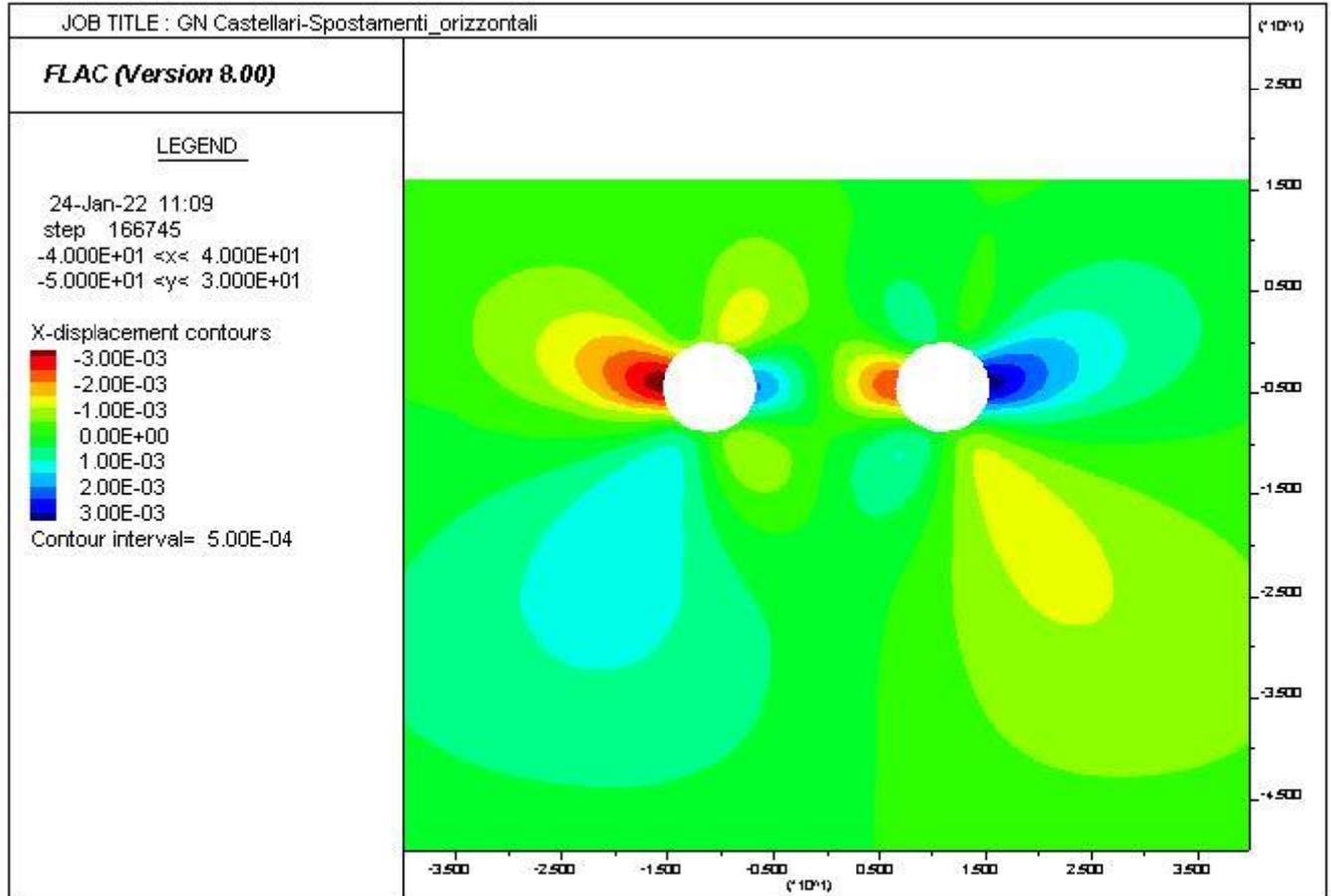
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1



RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
 GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

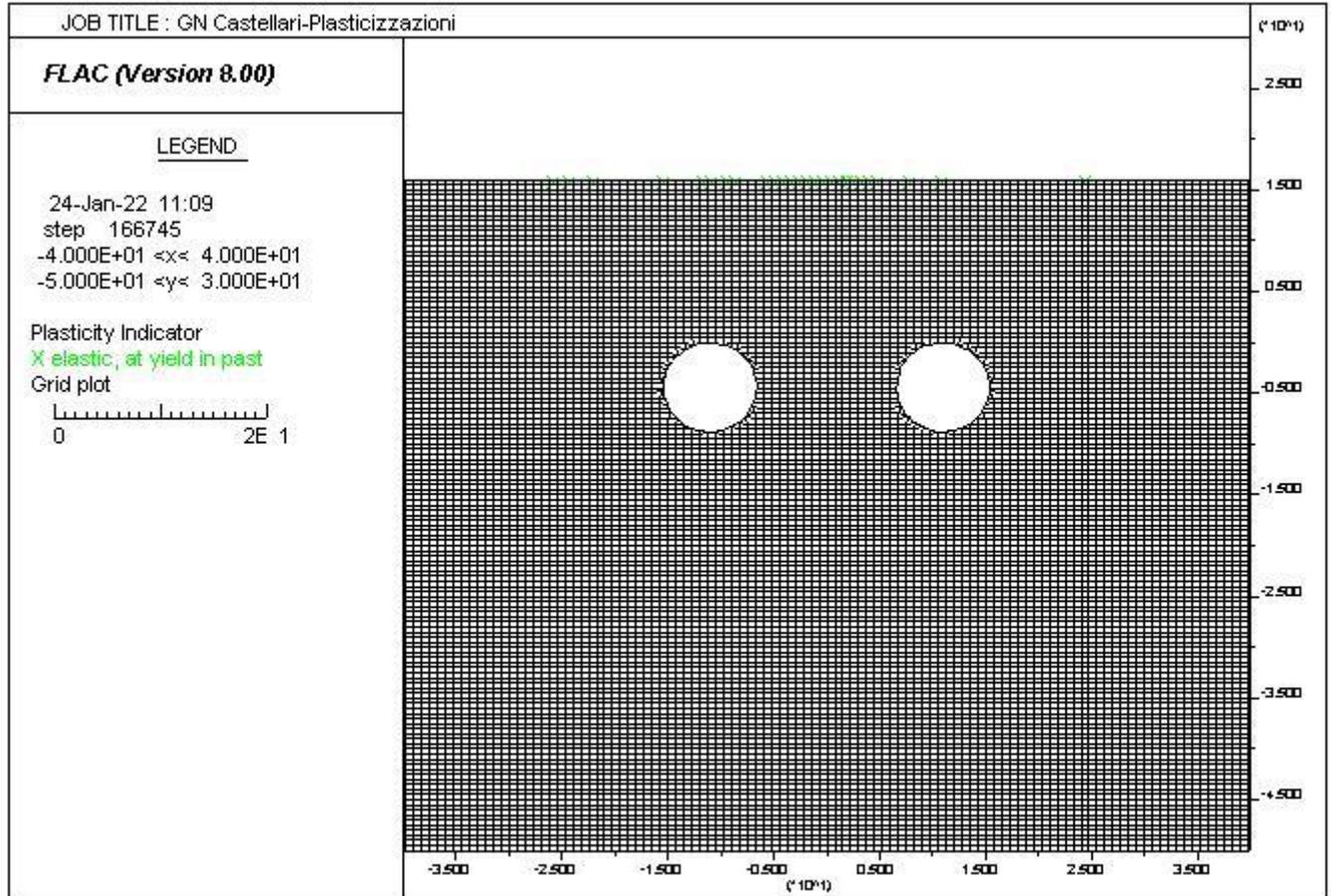




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

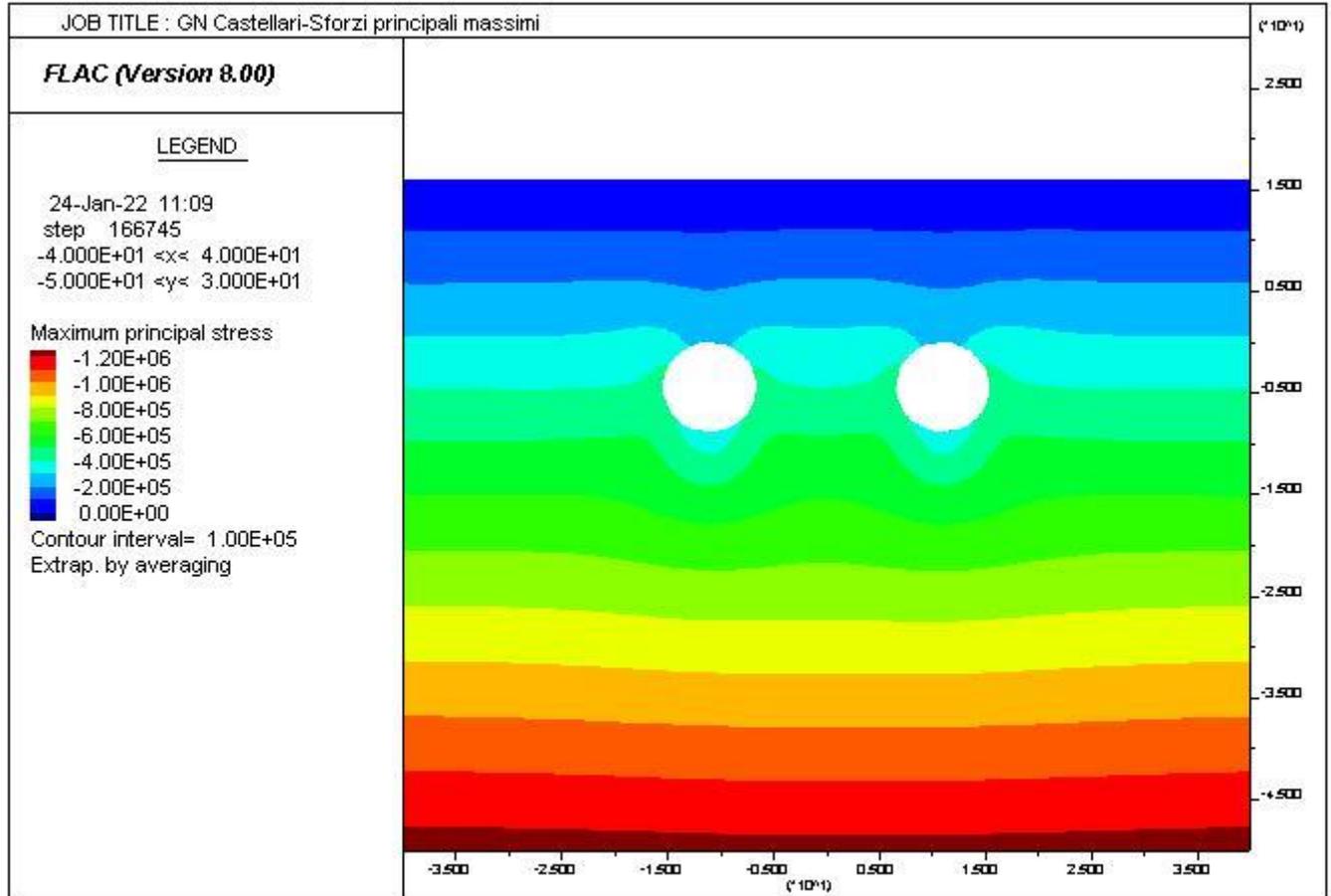




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

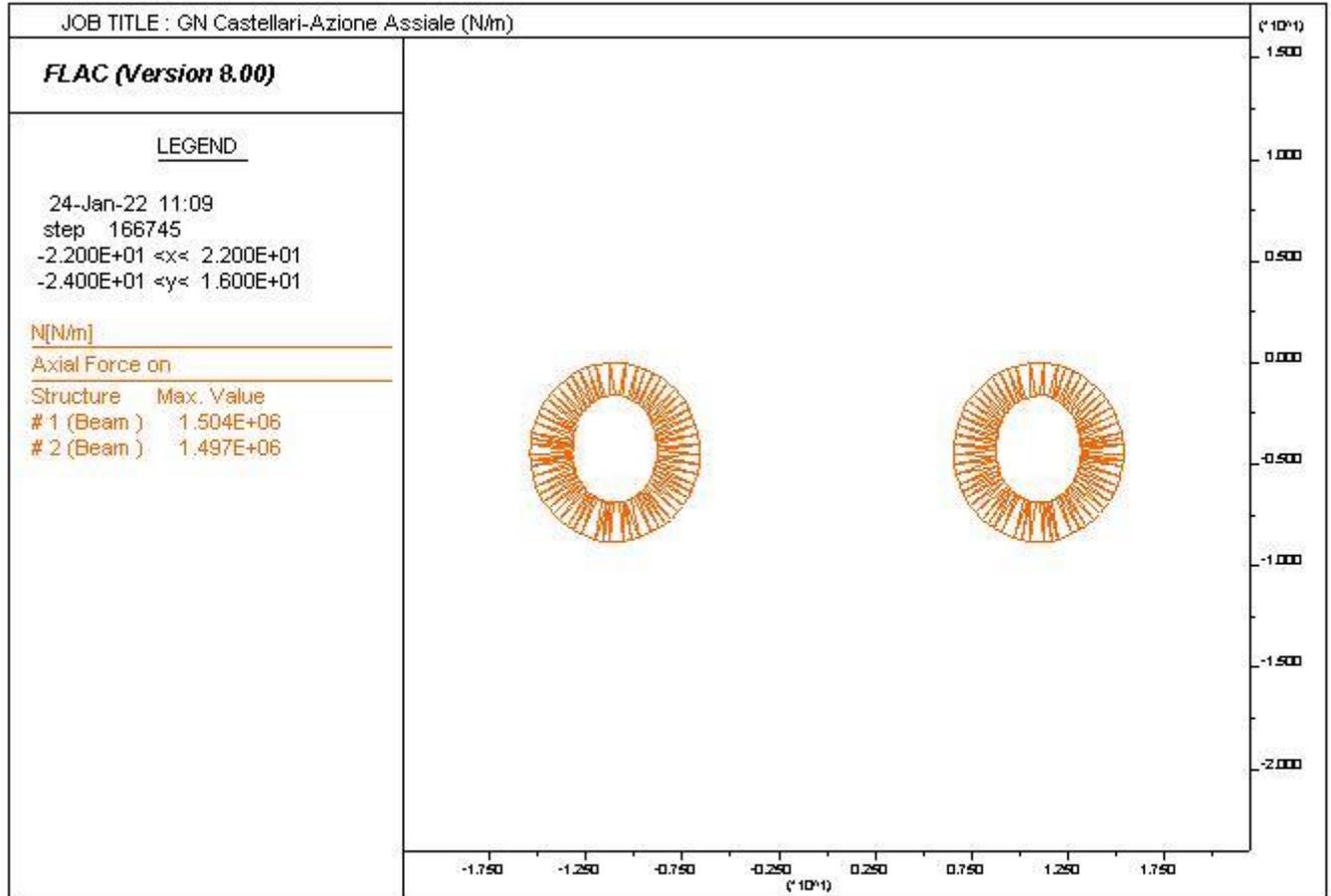




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

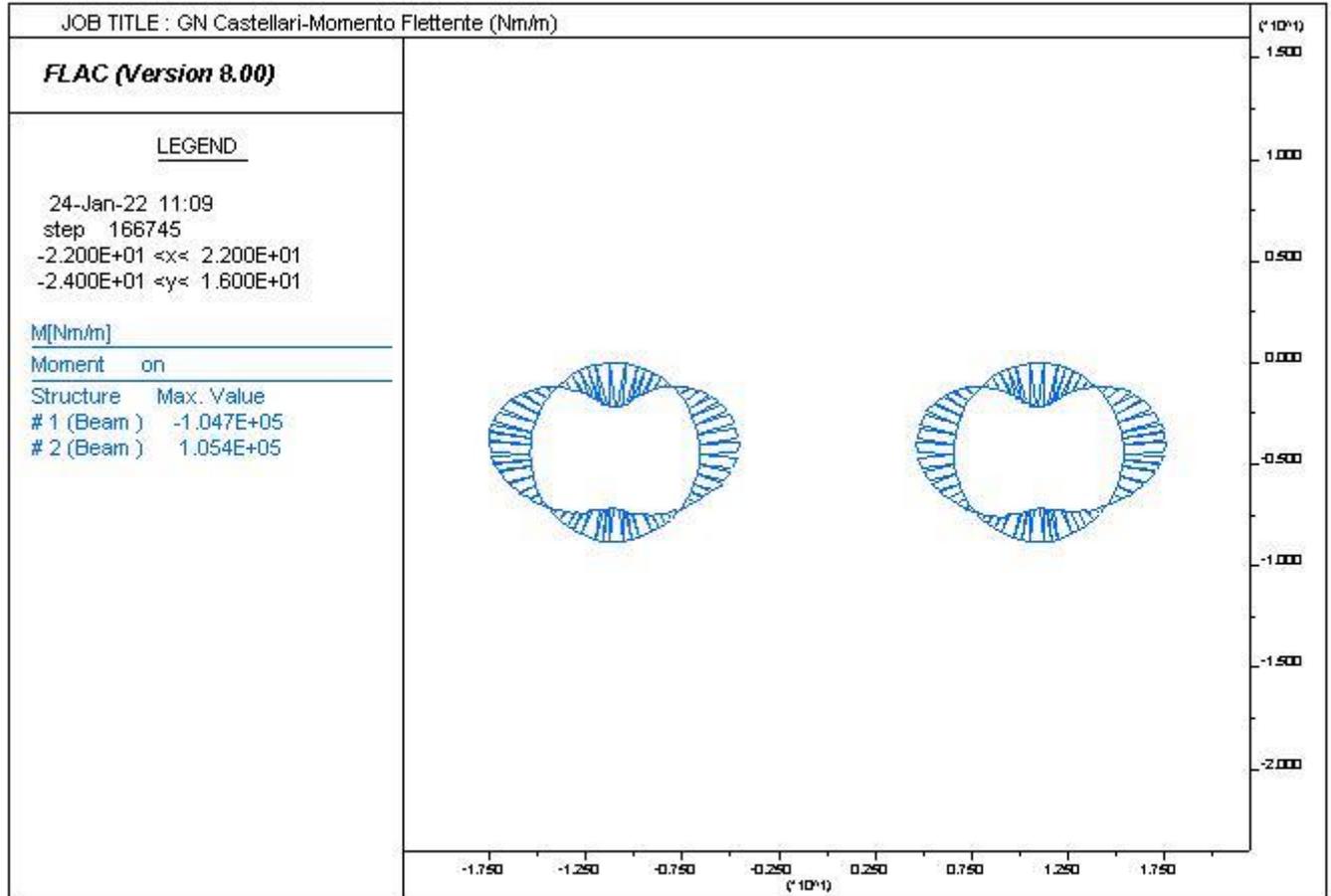




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
 GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

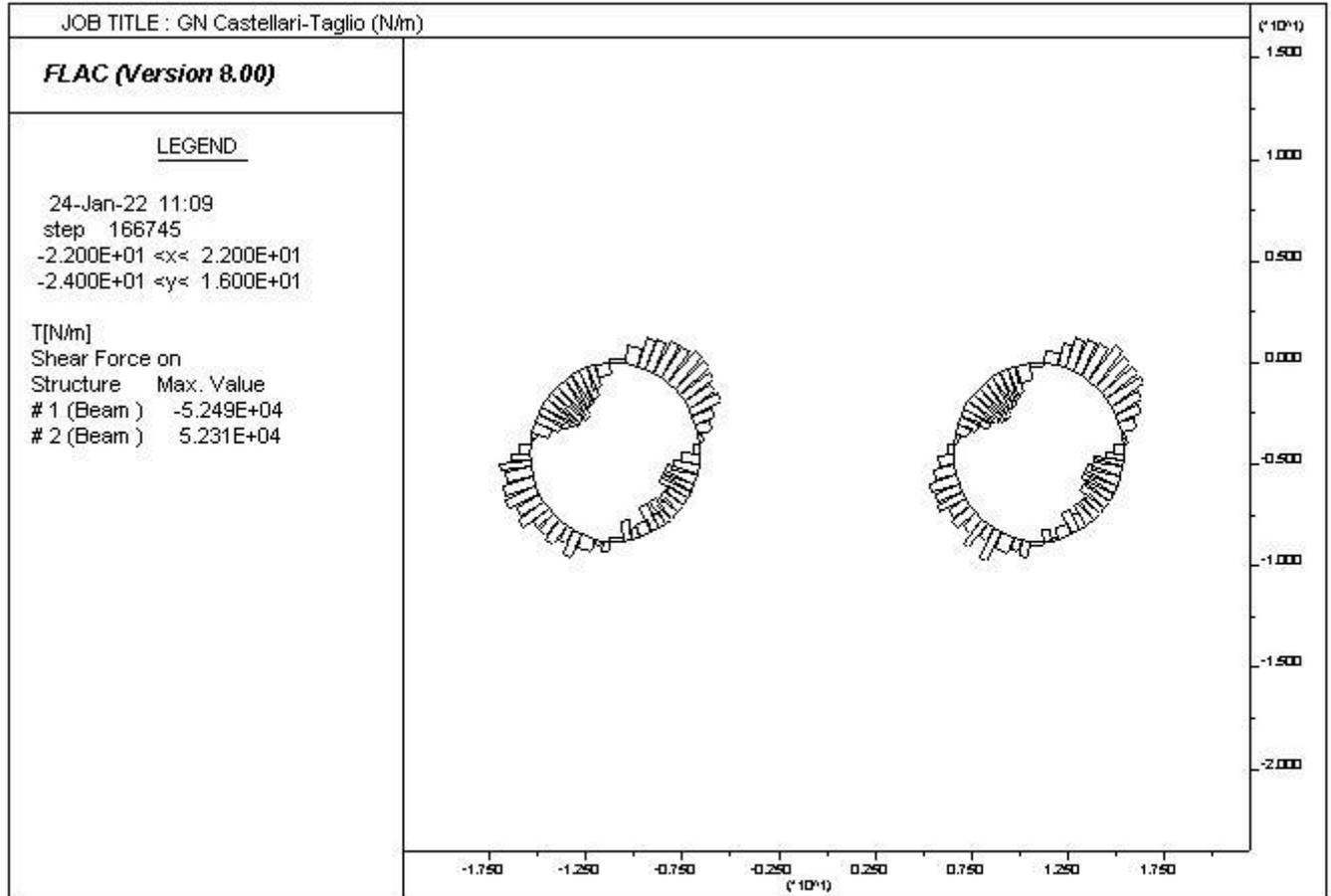




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

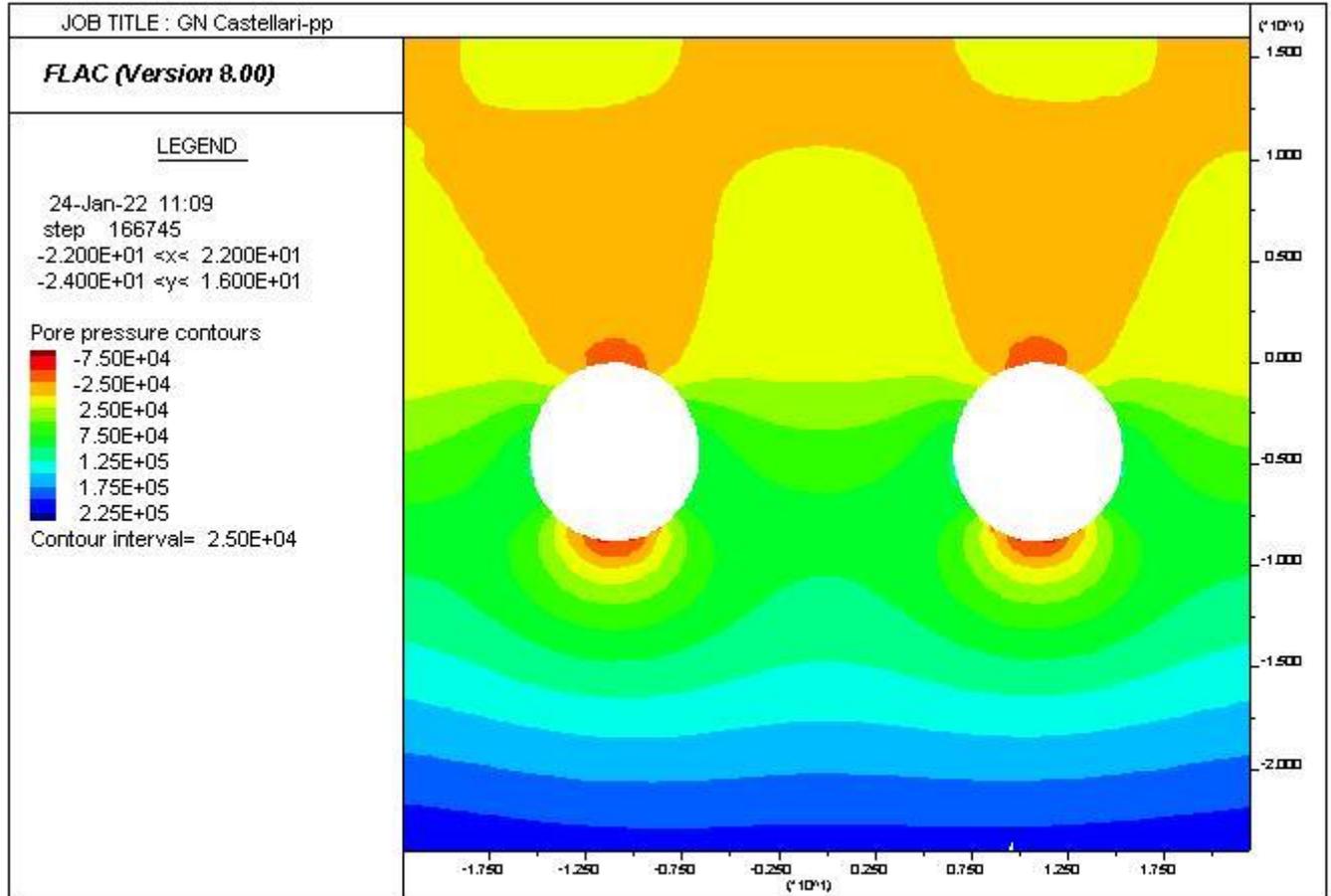




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1



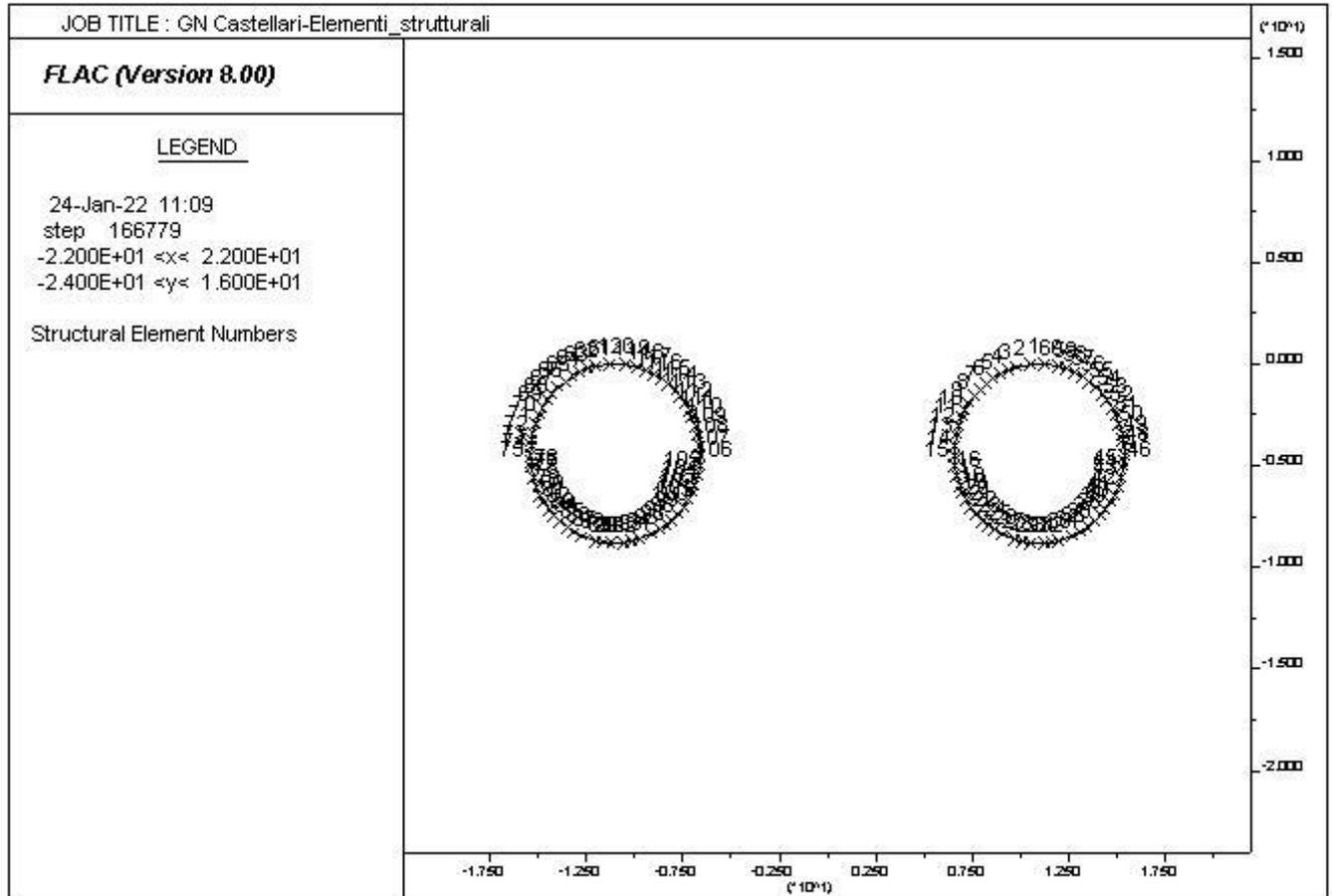


RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

FASE 9

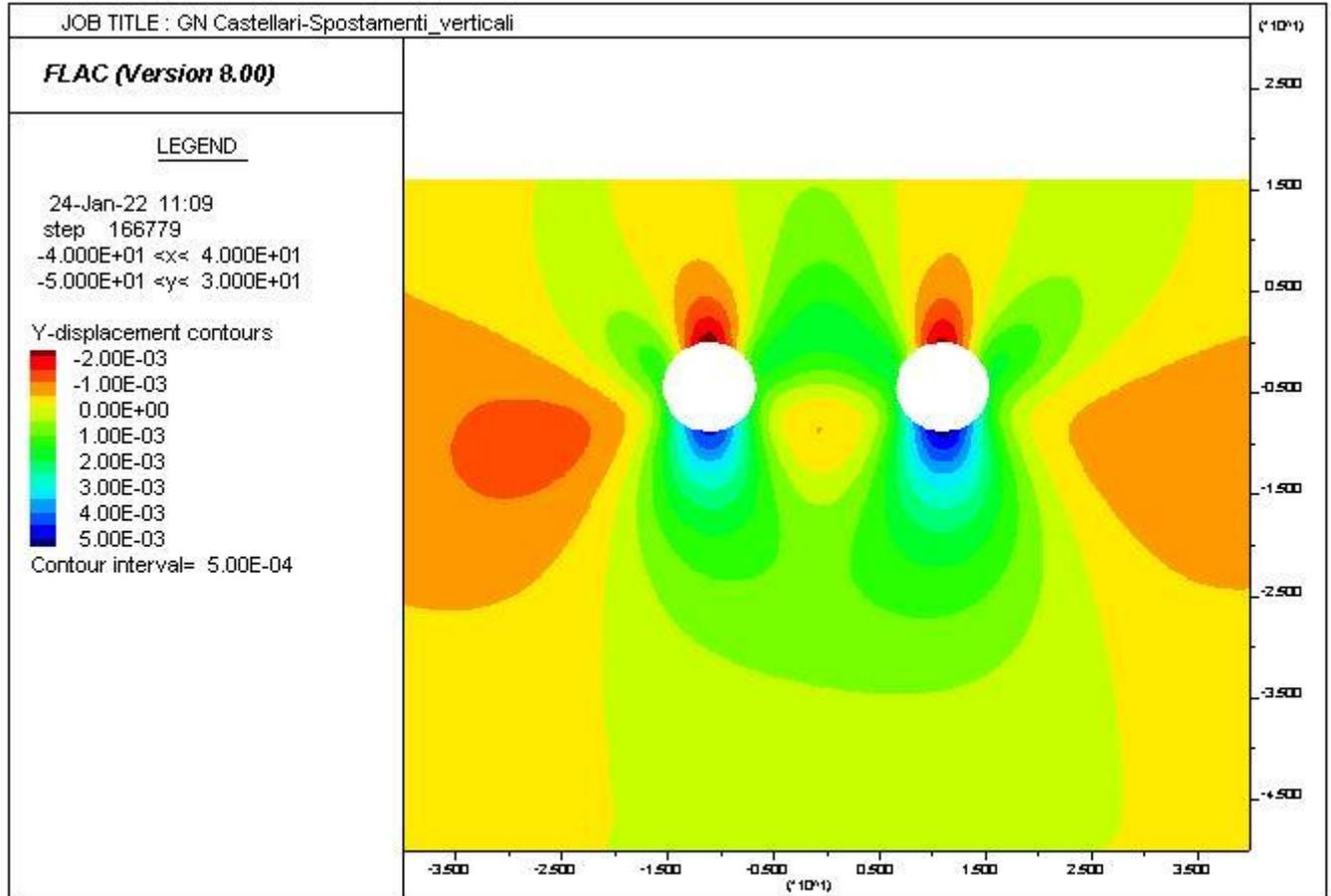




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

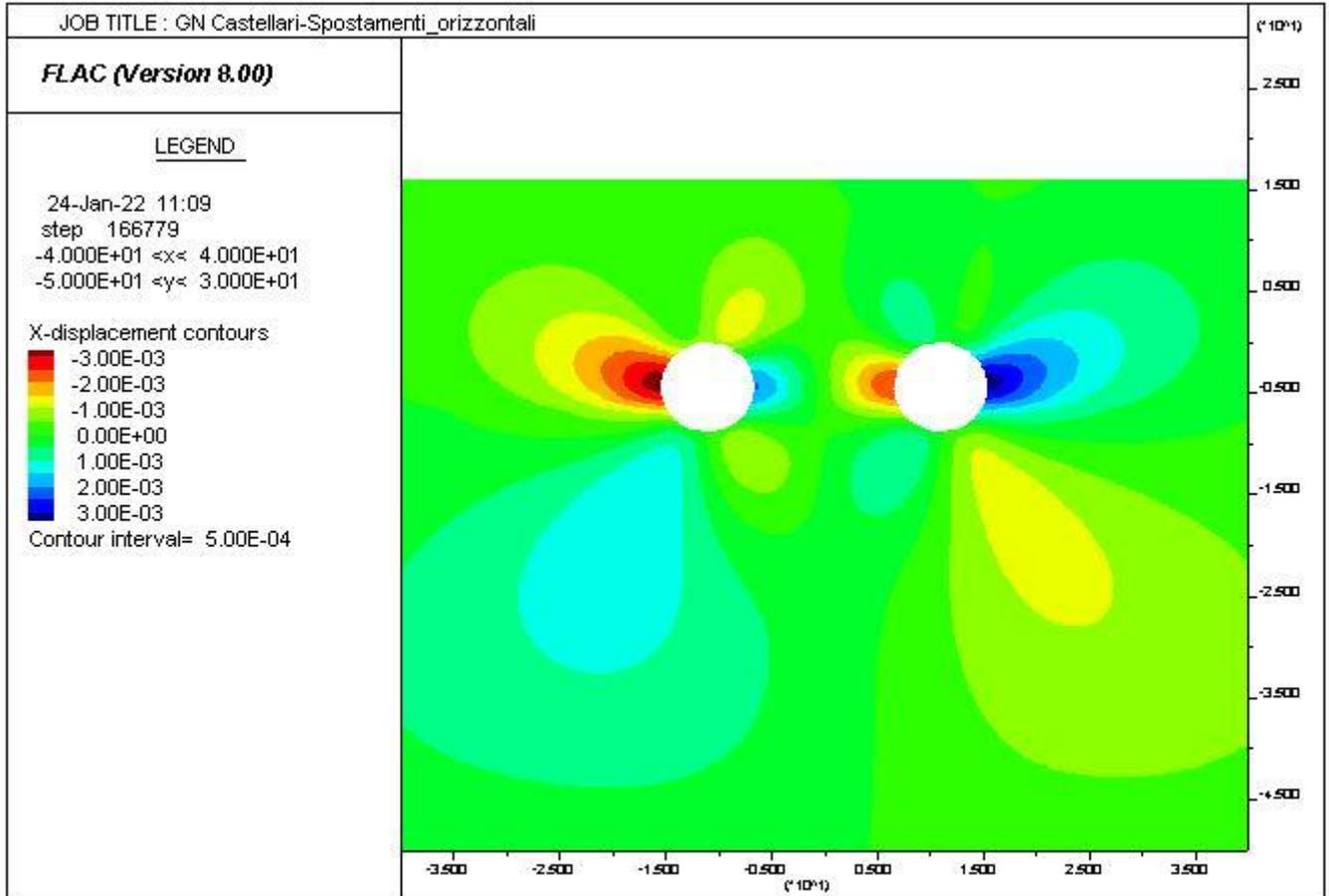




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

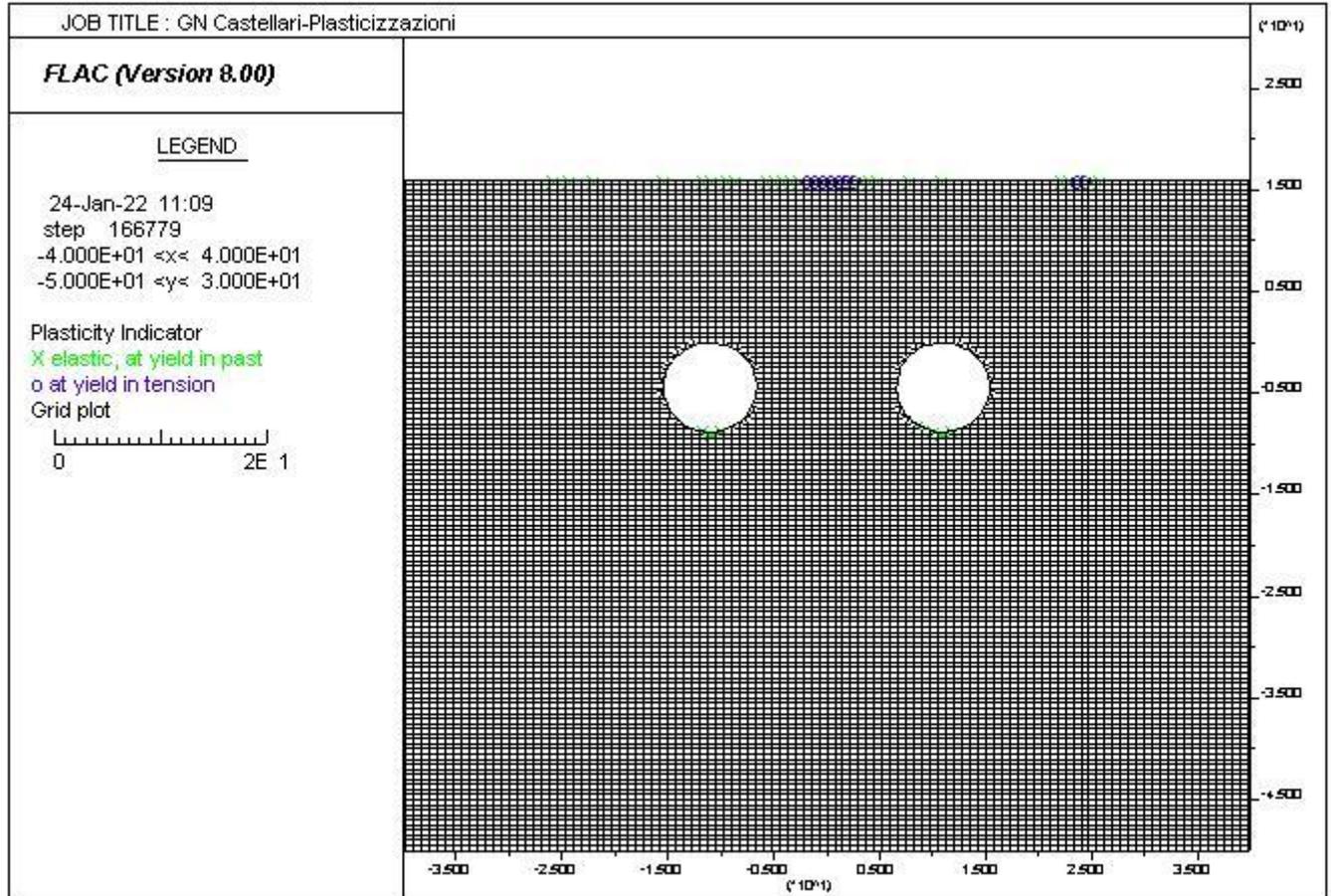




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

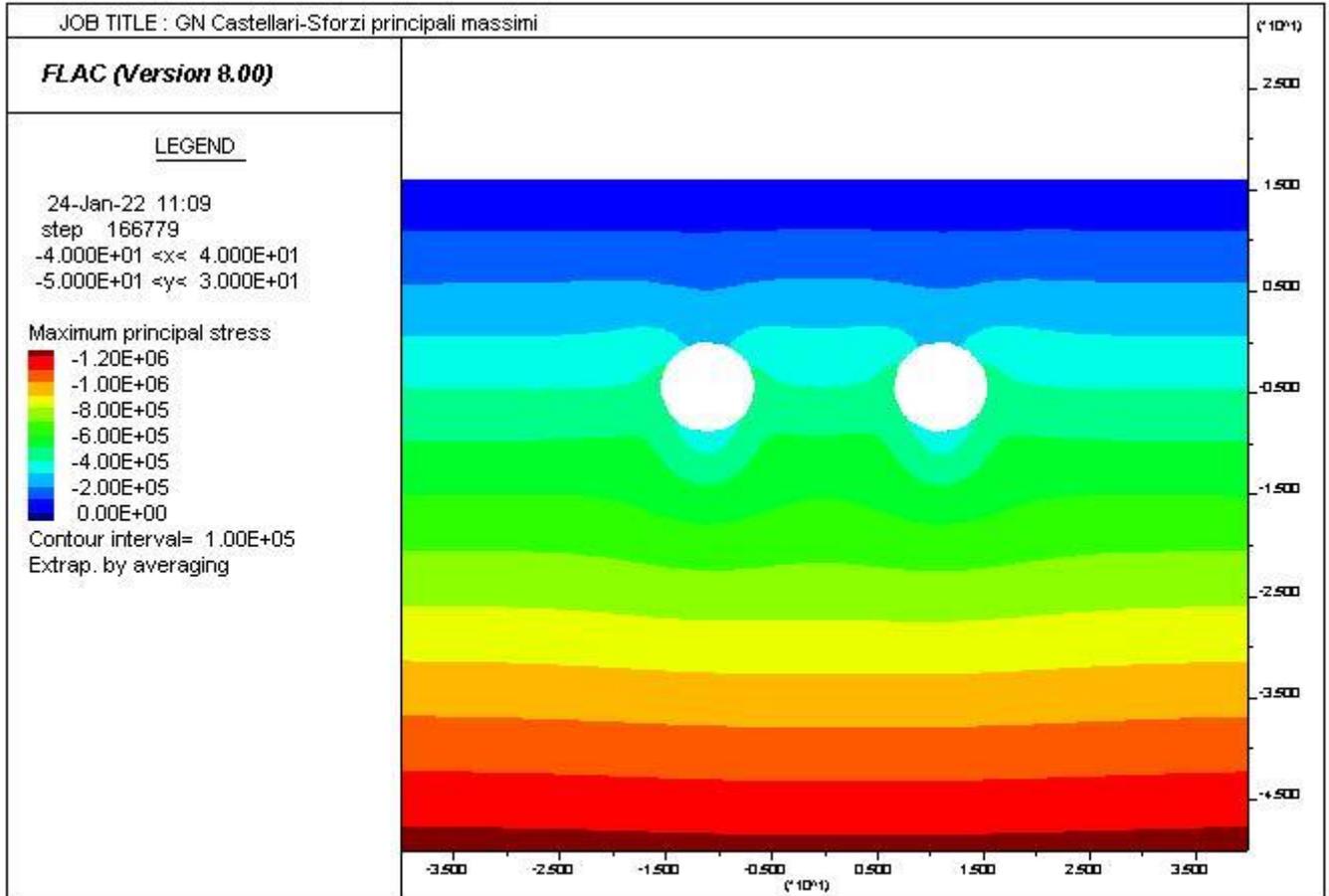




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

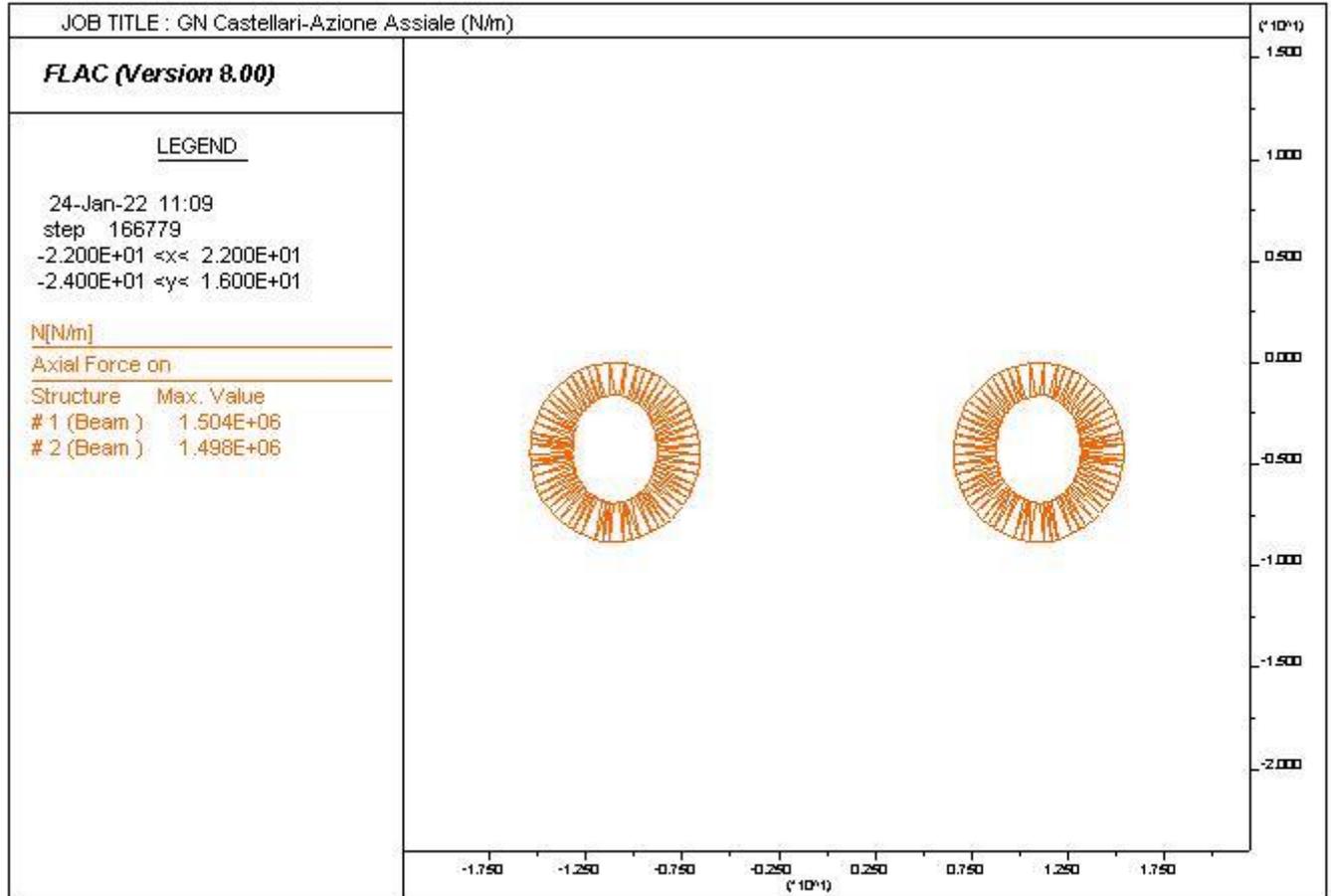




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

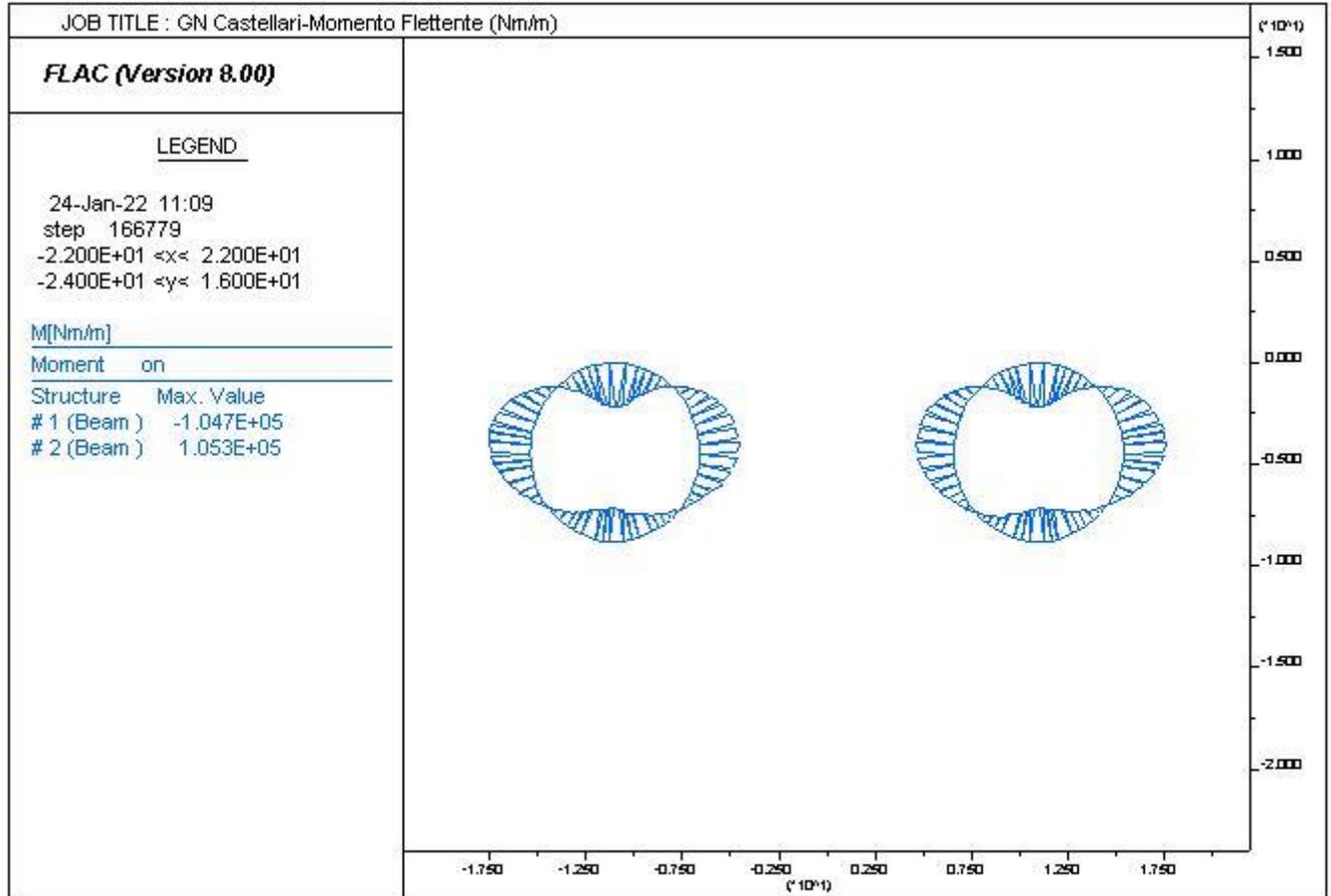




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

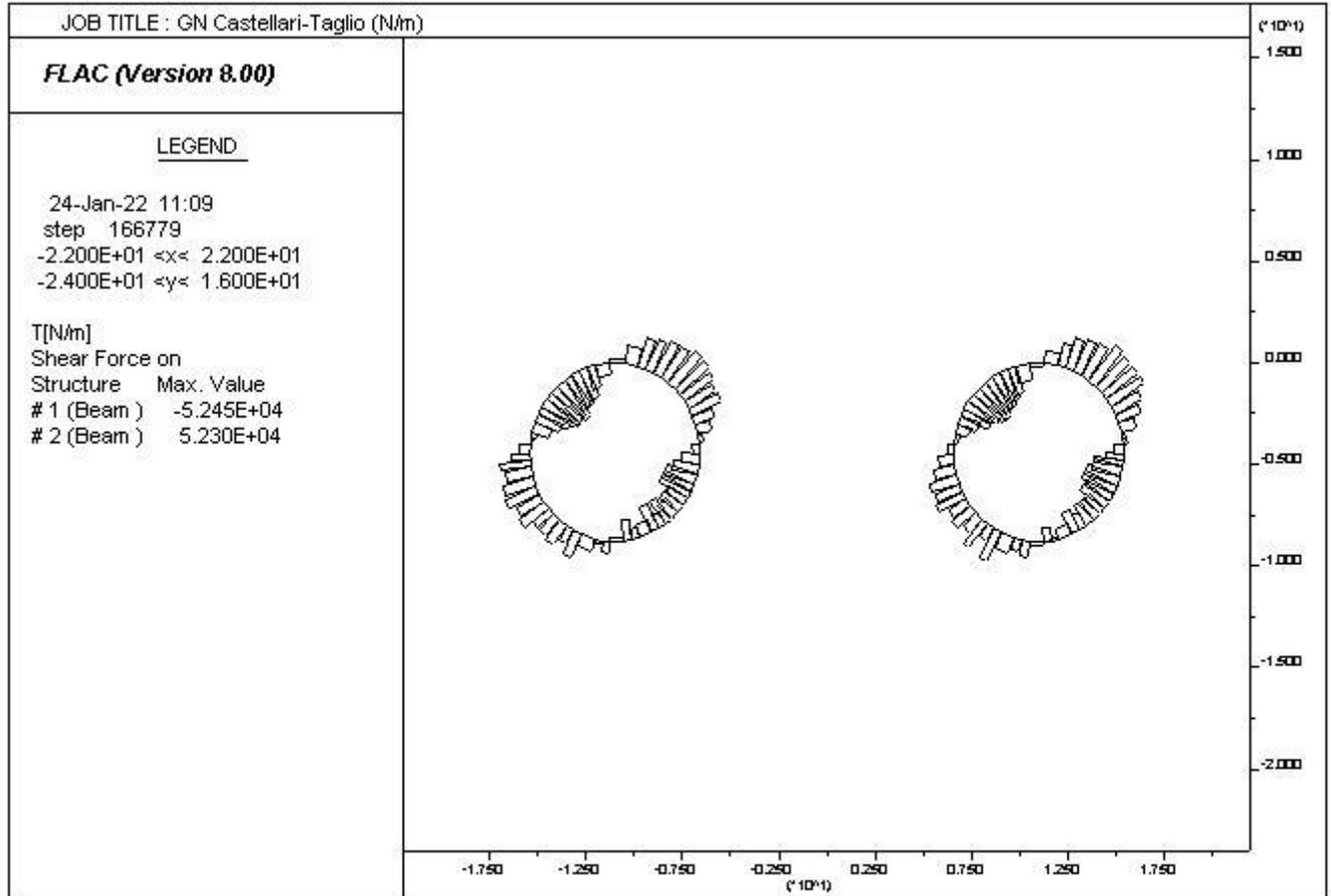




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

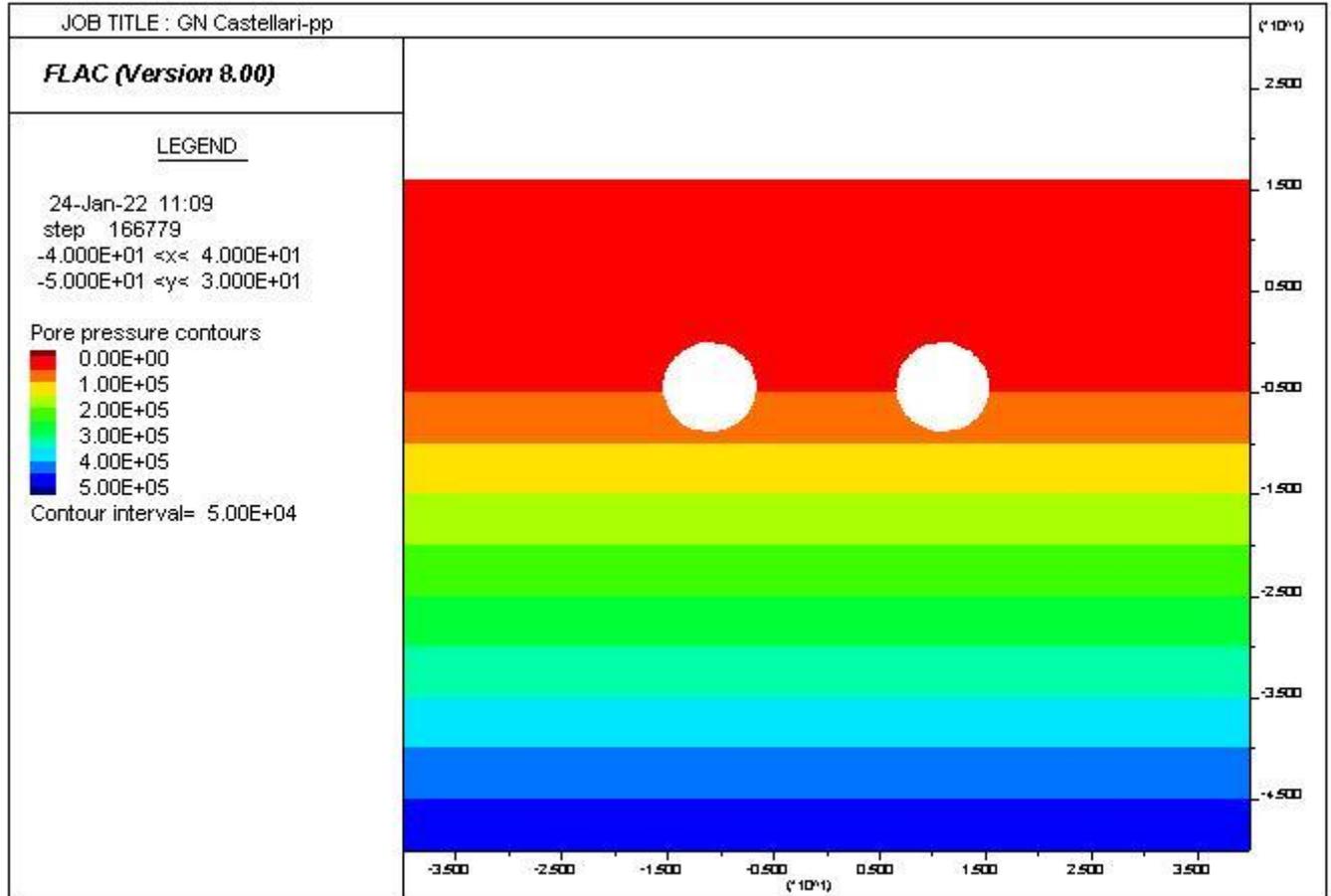




RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA
PROGETTO DEFINITIVO – TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1





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

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
 GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

Si riportano di seguito le sollecitazioni in termini di sforzo normale e momento flettente derivanti dai modelli.

	Nk	Mk	Tk
Elem	kN/m	kN m/m	kN/m
136.0	3001.2	-20.5	16.1
135.0	3018.0	-3.2	31.1
134.0	2936.4	9.1	23.6
133.0	2958.0	4.1	-14.2
132.0	2986.8	3.5	-1.1
131.0	2977.2	6.0	6.7
130.0	2965.2	3.5	-6.9
129.0	2991.6	4.3	1.7
128.0	3063.6	2.8	-3.4
127.0	3110.4	2.9	-0.3
126.0	3140.4	4.2	3.6
125.0	3205.2	1.4	-6.5
124.0	3250.8	-0.1	-3.0
123.0	3280.8	0.5	2.1
122.0	3289.2	3.5	9.4
121.0	3331.2	9.4	12.5
120.0	3363.6	12.1	5.8
119.0	3372.0	10.4	-3.6
118.0	3368.4	8.4	-6.9
117.0	3376.8	7.2	-3.6
116.0	3378.0	5.0	-4.5
115.0	3387.6	0.7	-9.9
114.0	3351.6	-4.5	-14.4
113.0	3342.0	-9.0	-12.9
112.0	3324.0	-11.3	-6.3
111.0	3316.8	-9.8	4.0
110.0	3283.2	-6.3	9.7
109.0	3220.8	-7.7	-3.9
108.0	3201.6	-3.7	10.3
107.0	3128.4	-9.8	-16.8
106.0	3140.4	-7.1	4.7
105.0	3128.4	0.9	24.8
104.0	3093.6	14.2	41.0
103.0	2972.4	11.3	-5.5
102.0	2976.0	14.0	5.0



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

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
 GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

101.0	3106.8	1.2	-39.3
100.0	3147.6	-7.2	-26.1
99.0	3168.0	-12.8	-9.9
98.0	3159.6	-9.2	9.9
97.0	3255.6	-15.0	-15.0
96.0	3294.0	-14.3	1.6
95.0	3296.4	-8.6	16.1
94.0	3314.4	-1.7	19.4
93.0	3237.6	3.0	12.8
92.0	3248.4	8.4	15.5
91.0	3315.6	12.0	10.2
90.0	3364.8	11.5	0.1
89.0	3355.2	8.6	-7.9
88.0	3354.0	6.5	-7.1
87.0	3370.8	0.4	-12.9
86.0	3388.8	-5.6	-12.6
85.0	3384.0	-7.0	-3.0
84.0	3354.0	-4.0	6.3
83.0	3301.2	-2.1	3.9
82.0	3242.4	1.1	10.1
81.0	3212.4	7.0	18.6
80.0	3183.6	15.1	18.4
79.0	3123.6	12.7	-7.2
78.0	3096.0	9.1	-10.3
77.0	3046.8	7.0	-5.9
76.0	3010.8	6.6	-1.6
75.0	2971.2	10.0	8.1
74.0	2986.8	5.7	-11.3
73.0	3012.0	4.8	-3.0
72.0	2980.8	6.6	6.2
71.0	2966.4	-5.4	-22.8
70.0	3045.6	-21.9	-29.6
69.0	3004.8	-29.8	-13.5
68.0	2972.4	-47.4	20.1
67.0	3008.4	-24.9	39.9
66.0	2988.0	-6.1	35.6
65.0	3048.0	-2.8	7.9
64.0	3121.2	5.2	22.4



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

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
 GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

63.0	3139.2	16.6	30.3
62.0	3142.8	17.9	3.6
61.0	3229.2	22.9	12.8
60.0	3284.4	27.8	12.3
59.0	3356.4	33.0	15.7
58.0	3409.2	37.7	12.9
57.0	3480.0	34.4	-8.0
56.0	3534.0	31.9	-7.6
55.0	3566.4	30.5	-4.3
54.0	3609.6	27.8	-5.9
53.0	3652.8	23.1	-9.7
52.0	3673.2	21.4	-3.5
51.0	3654.0	23.4	4.0
50.0	3607.2	25.6	4.5
49.0	3578.4	25.6	-0.7
48.0	3549.6	25.2	-0.5
47.0	3508.8	21.5	-7.4
46.0	3429.6	15.0	-18.2
45.0	3379.2	5.5	-26.9
44.0	3324.0	-3.8	-25.0
43.0	3373.2	-16.2	-34.6
42.0	3319.2	-27.1	-30.3
41.0	3295.2	-32.9	-12.5
40.0	3225.6	-30.6	6.4
39.0	3117.6	-37.1	-17.6
38.0	3108.0	-35.3	3.0
37.0	3084.0	-28.5	21.3
36.0	3033.6	-17.0	35.7
35.0	2894.4	-21.4	-9.0
34.0	2904.0	-20.2	1.6
33.0	3038.4	-33.9	-43.2
32.0	3094.8	-40.7	-20.9
31.0	3133.2	-36.4	8.2
30.0	3166.8	-26.1	29.3
29.0	3249.6	-26.1	0.9
28.0	3336.0	-17.8	22.8
27.0	3439.2	-13.5	11.2
26.0	3543.6	-4.1	24.3



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

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

25.0	3583.2	8.1	31.5
24.0	3673.2	20.8	35.2
23.0	3744.0	33.2	35.4
22.0	3790.8	42.0	19.8
21.0	3862.8	47.3	10.9
20.0	3909.6	48.8	5.3
19.0	3913.2	52.8	12.9
18.0	3921.6	57.1	9.2
17.0	3913.2	54.1	-5.9
16.0	3867.6	43.8	-22.0
15.0	3808.8	36.0	-24.6
14.0	3770.4	30.3	-18.5
13.0	3666.0	20.7	-20.6
12.0	3530.4	12.7	-18.4
11.0	3440.4	2.0	-31.1
10.0	3327.6	-6.4	-23.9
9.0	3196.8	-12.6	-18.2
8.0	3096.0	-20.9	-22.5
7.0	2986.8	-24.0	-8.6
6.0	2976.0	-33.9	-26.5
5.0	2938.8	-38.0	-12.9
4.0	2870.4	-34.6	8.9
3.0	2839.2	-46.8	-23.4
2.0	2902.8	-58.9	-21.5
1.0	2942.4	-59.1	-0.2

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
 GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

Si riportano di seguito le sollecitazioni in termini di sforzo normale e momento flettente per le quattro combinazioni sismiche:

Elem	Nd+ΔN kN	Md+ΔM kN m	Nd-ΔN kN	Md-ΔM kN m	Nd-ΔN kN	Md+ΔM kN m	Nd-ΔN kN	Md-ΔM kN m
120	4141.344	-286.68	4141.344	-446.28	3692.256	-286.68	3692.256	-446.28
119	4202.544	-231.204	4202.544	-390.804	3753.456	-231.204	3753.456	-390.804
118	4292.544	-176.052	4292.544	-335.652	3843.456	-176.052	3843.456	-335.652
117	4393.344	-117.48	4393.344	-277.08	3944.256	-117.48	3944.256	-277.08
116	4490.544	-45.912	4490.544	-205.512	4041.456	-45.912	4041.456	-205.512
115	4594.944	26.736	4594.944	-132.864	4145.856	26.736	4145.856	-132.864
114	4742.544	104.904	4742.544	-54.708	4293.456	104.904	4293.456	-54.708
113	4890.144	180.6	4890.144	21	4441.056	180.6	4441.056	21
112	5012.544	244.032	5012.544	84.432	4563.456	244.032	4563.456	84.432
111	5113.344	297.528	5113.344	137.928	4664.256	297.528	4664.256	137.928
110	5239.344	353.508	5239.344	193.908	4790.256	353.508	4790.256	193.908
109	5336.544	395.628	5336.544	236.028	4887.456	395.628	4887.456	236.028
108	5448.144	425.652	5448.144	266.052	4999.056	425.652	4999.056	266.052
107	5527.344	433.32	5527.344	273.72	5078.256	433.32	5078.256	273.72
106	5584.944	417.624	5584.944	258.024	5135.856	417.624	5135.856	258.024
105	5617.344	377.304	5617.344	217.704	5168.256	377.304	5168.256	217.704
104	5599.344	320.928	5599.344	161.328	5150.256	320.928	5150.256	161.328
103	5577.744	255.012	5577.744	95.412	5128.656	255.012	5128.656	95.412
102	5498.544	202.272	5498.544	42.672	5049.456	202.272	5049.456	42.672
101	5466.144	145.32	5466.144	-14.28	5017.056	145.32	5017.056	-14.28
100	5386.944	103.668	5386.944	-55.932	4937.856	103.668	4937.856	-55.932
99	5332.944	58.572	5332.944	-101.028	4883.856	58.572	4883.856	-101.028
98	5311.344	21.336	5311.344	-138.264	4862.256	21.336	4862.256	-138.264
97	5232.144	-15.924	5232.144	-175.524	4783.056	-15.924	4783.056	-175.524
96	5192.544	-43.356	5192.544	-202.956	4743.456	-43.356	4743.456	-202.956
95	5113.344	-94.836	5113.344	-254.436	4664.256	-94.836	4664.256	-254.436
94	5001.744	-134.076	5001.744	-293.676	4552.656	-134.076	4552.656	-293.676
93	4958.544	-150.744	4958.544	-310.344	4509.456	-150.744	4509.456	-310.344
92	4933.344	-187.284	4933.344	-346.884	4484.256	-187.284	4484.256	-346.884
91	4897.344	-199.488	4897.344	-359.088	4448.256	-199.488	4448.256	-359.088
90	4900.944	-179.076	4900.944	-338.676	4451.856	-179.076	4451.856	-338.676
89	4904.544	-172.524	4904.544	-332.124	4455.456	-172.524	4455.456	-332.124
88	4936.944	-133.968	4936.944	-293.568	4487.856	-133.968	4487.856	-293.568
87	5034.144	-86.376	5034.144	-245.976	4585.056	-86.376	4585.056	-245.976

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
 GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

86	5106.144	-55.236	5106.144	-214.836	4657.056	-55.236	4657.056	-214.836
85	5149.344	-10.884	5149.344	-170.484	4700.256	-10.884	4700.256	-170.484
84	5239.344	31.812	5239.344	-127.788	4790.256	31.812	4790.256	-127.788
83	5250.144	66.852	5250.144	-92.748	4801.056	66.852	4801.056	-92.748
82	5332.944	123.504	5332.944	-36.096	4883.856	123.504	4883.856	-36.096
81	5372.544	174.696	5372.544	15.096	4923.456	174.696	4923.456	15.096
80	5462.544	241.98	5462.544	82.38	5013.456	241.98	5013.456	82.38
79	5545.344	311.748	5545.344	152.148	5096.256	311.748	5096.256	152.148
78	5556.144	373.884	5556.144	214.284	5107.056	373.884	5107.056	214.284
77	5581.344	412.8	5581.344	253.2	5132.256	412.8	5132.256	253.2
76	5610.144	435.984	5610.144	276.384	5161.056	435.984	5161.056	276.384
75	5574.144	457.44	5574.144	297.84	5125.056	457.44	5125.056	297.84
74	5545.344	455.28	5545.344	295.68	5096.256	455.28	5096.256	295.68
73	5498.544	448.44	5498.544	288.84	5049.456	448.44	5049.456	288.84
72	5437.344	409.452	5437.344	249.852	4988.256	409.452	4988.256	249.852
71	5307.744	354.912	5307.744	195.312	4858.656	354.912	4858.656	195.312
70	5188.944	294.396	5188.944	134.796	4739.856	294.396	4739.856	134.796
69	5073.744	221.208	5073.744	61.608	4624.656	221.208	4624.656	61.608
68	4929.744	147.372	4929.744	-12.228	4480.656	147.372	4480.656	-12.228
67	4785.744	66.612	4785.744	-93	4336.656	66.612	4336.656	-93
66	4656.144	-19.524	4656.144	-179.124	4207.056	-19.524	4207.056	-179.124
65	4501.344	-90.336	4501.344	-249.936	4052.256	-90.336	4052.256	-249.936
64	4418.544	-159.528	4418.544	-319.128	3969.456	-159.528	3969.456	-319.128
63	4306.944	-218.424	4306.944	-378.024	3857.856	-218.424	3857.856	-378.024
62	4238.544	-261.444	4238.544	-421.044	3789.456	-261.444	3789.456	-421.044
61	4162.944	-298.92	4162.944	-458.52	3713.856	-298.92	3713.856	-458.52
60	4191.744	-257.556	4191.744	-417.156	3742.656	-257.556	3742.656	-417.156
59	4270.944	-215.364	4270.944	-374.964	3821.856	-215.364	3821.856	-374.964
58	4339.344	-155.1	4339.344	-314.7	3890.256	-155.1	3890.256	-314.7
57	4450.944	-85.656	4450.944	-245.256	4001.856	-85.656	4001.856	-245.256
56	4537.344	-12.828	4537.344	-172.428	4088.256	-12.828	4088.256	-172.428
55	4688.544	73.608	4688.544	-85.992	4239.456	73.608	4239.456	-85.992
54	4821.744	155.22	4821.744	-4.38	4372.656	155.22	4372.656	-4.38
53	4962.144	228.876	4962.144	69.276	4513.056	228.876	4513.056	69.276
52	5106.144	301.38	5106.144	141.78	4657.056	301.38	4657.056	141.78
51	5221.344	360.276	5221.344	200.676	4772.256	360.276	4772.256	200.676
50	5336.544	412.152	5336.544	252.552	4887.456	412.152	4887.456	252.552
49	5469.744	446.64	5469.744	287.04	5020.656	446.64	5020.656	287.04



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

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
 GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. ALLEGATI
 IV01 00 D 07 CL GN 03 00 001 B 1

48	5516.544	451.32	5516.544	291.72	5067.456	451.32	5067.456	291.72
47	5559.744	456.72	5559.744	297.12	5110.656	456.72	5110.656	297.12
46	5602.944	437.856	5602.944	278.256	5153.856	437.856	5153.856	278.256
45	5638.944	416.04	5638.944	256.44	5189.856	416.04	5189.856	256.44
44	5617.344	378.996	5617.344	219.396	5168.256	378.996	5168.256	219.396
43	5588.544	312.072	5588.544	152.472	5139.456	312.072	5139.456	152.472
42	5563.344	235.968	5563.344	76.368	5114.256	235.968	5114.256	76.368
41	5476.944	165.588	5476.944	5.988	5027.856	165.588	5027.856	5.988
40	5386.944	114	5386.944	-45.6	4937.856	114	4937.856	-45.6
39	5347.344	58.224	5347.344	-101.376	4898.256	58.224	4898.256	-101.376
38	5260.944	23.46	5260.944	-136.14	4811.856	23.46	4811.856	-136.14
37	5242.944	-20.064	5242.944	-179.664	4793.856	-20.064	4793.856	-179.664
36	5149.344	-65.172	5149.344	-224.772	4700.256	-65.172	4700.256	-224.772
35	5098.944	-97.788	5098.944	-257.388	4649.856	-97.788	4649.856	-257.388
34	5026.944	-142.464	5026.944	-302.064	4577.856	-142.464	4577.856	-302.064
33	4929.744	-175.512	4929.744	-335.112	4480.656	-175.512	4480.656	-335.112
32	4904.544	-178.104	4904.544	-337.704	4455.456	-178.104	4455.456	-337.704
31	4900.944	-199.92	4900.944	-359.52	4451.856	-199.92	4451.856	-359.52
30	4893.744	-187.248	4893.744	-346.848	4444.656	-187.248	4444.656	-346.848
29	4933.344	-158.016	4933.344	-317.616	4484.256	-158.016	4484.256	-317.616
28	4965.744	-136.488	4965.744	-296.088	4516.656	-136.488	4516.656	-296.088
27	5030.544	-89.148	5030.544	-248.748	4581.456	-89.148	4581.456	-248.748
26	5149.344	-29.028	5149.344	-188.628	4700.256	-29.028	4700.256	-188.628
25	5232.144	-0.48	5232.144	-160.08	4783.056	-0.48	4783.056	-160.08
24	5275.344	42.756	5275.344	-116.844	4826.256	42.756	4826.256	-116.844
23	5354.544	79.5	5354.544	-80.1	4905.456	79.5	4905.456	-80.1
22	5365.344	126.24	5365.344	-33.36	4916.256	126.24	4916.256	-33.36
21	5415.744	165.012	5415.744	5.412	4966.656	165.012	4966.656	5.412
20	5494.944	216.384	5494.944	56.784	5045.856	216.384	5045.856	56.784
19	5516.544	262.5	5516.544	102.9	5067.456	262.5	5067.456	102.9
18	5592.144	320.784	5592.144	161.184	5143.056	320.784	5143.056	161.184
17	5602.944	369.924	5602.944	210.324	5153.856	369.924	5153.856	210.324
16	5620.944	405.168	5620.944	245.568	5171.856	405.168	5171.856	245.568
15	5584.944	418.092	5584.944	258.492	5135.856	418.092	5135.856	258.492
14	5527.344	409.416	5527.344	249.816	5078.256	409.416	5078.256	249.816
13	5448.144	380.868	5448.144	221.268	4999.056	380.868	4999.056	221.268
12	5336.544	341.628	5336.544	182.028	4887.456	341.628	4887.456	182.028
11	5246.544	289.212	5246.544	129.612	4797.456	289.212	4797.456	129.612



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

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
 GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. ALLEGATI
 IV01 00 D 07 CL GN 03 00 001 B 1

10	5124.144	236.436	5124.144	76.836	4675.056	236.436	4675.056	76.836
9	5016.144	174.732	5016.144	15.132	4567.056	174.732	4567.056	15.132
8	4900.944	99.876	4900.944	-59.724	4451.856	99.876	4451.856	-59.724
7	4753.344	22.74	4753.344	-136.86	4304.256	22.74	4304.256	-136.86
6	4609.344	-49.296	4609.344	-208.896	4160.256	-49.296	4160.256	-208.896
5	4512.144	-119.316	4512.144	-278.916	4063.056	-119.316	4063.056	-278.916
4	4407.744	-177.924	4407.744	-337.524	3958.656	-177.924	3958.656	-337.524
3	4310.544	-230.628	4310.544	-390.228	3861.456	-230.628	3861.456	-390.228
2	4224.144	-283.08	4224.144	-442.68	3775.056	-283.08	3775.056	-442.68
1	4170.144	-294.24	4170.144	-453.84	3721.056	-294.24	3721.056	-453.84

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	$\sigma_{c,min}$	$\sigma_{c,max}$	$\sigma_{s,min}$	$\sigma_{s,max}$	0.45fck	0.8fyk	wk [mm]	wk lim [mm]	wk lim > wk
	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa			
120	-6.376406	0	75.67919	1.839331	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
119	-5.701745	0	69.77265	-8.61192	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
118	-5.190622	0.188969	65.10512	15.58875	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
117	-4.684781	-0.82811	-60.4372	22.25617	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
116	-4.049519	1.591911	54.47588	30.14557	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
115	-3.408461	2.371029	48.48147	38.21089	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
114	-3.232667	2.742012	47.23884	42.38135	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
113	-4.070215	2.099653	56.02829	36.51973	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
112	-4.771188	1.560544	63.38067	-31.5953	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
111	-5.360704	1.104327	-69.5568	27.41867	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
110	-5.991244	0.640412	76.22404	-23.2508	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
109	-6.46722	0.292975	81.26398	20.13894	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
108	-6.83443	0.073347	85.27569	18.34096	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
107	-6.961776	0.050736	86.80349	18.38419	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.



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

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
 GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. ALLEGATI
 IV01 00 D 07 CL GN 03 00 001 B 1

106	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	6.846476	0.242207	85.85625	20.47399					
105	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	6.473787	0.657743	82.27589	24.69705					
104	-	-	-76.6414	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	5.910777	1.196949		29.97449					
103	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	5.252183	1.826979	70.04847	36.13895					
102	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	4.684347	2.290079	64.15983	40.45657					
101	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	4.106222	2.825357	58.32713	45.64657					
100	-3.64675	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
		3.180095	53.51128	48.89139					
99	-3.58524	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
		3.170195	52.72023	48.61128					
98	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	3.934934	2.791936	56.10936	44.79368					
97	-	-	-58.929	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	4.246723	2.375411		40.40302					
96	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	4.488694	2.081072	61.19098	37.35552					
95	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	4.939524	1.525508	65.38711	31.58836					
94	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	5.249288	1.068161	68.07745	26.68429					
93	-	-	-69.2622	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	5.383675	0.876647		24.64262					
92	-	-	-	-20.8572	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	5.724131	0.502865	72.54774						
91	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	5.819608	0.359781	73.37156	19.31928					
90	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	5.622496	0.561654	71.43229	21.32996					
89	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	5.560815	0.628095	70.83379	21.99987					
88	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	5.205359	1.026398	67.42404	26.05232					
87	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	4.804418	1.555878	63.78249	31.62195					
86	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	4.547688	1.907822	61.48366	35.34898					
85	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	4.142711	2.369927	57.62007	40.06951					
84	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	3.784919	2.846737	54.38142	45.09342					
83	-	-3.19638	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	3.449558		51.09776	48.59131					
82	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	3.804943	2.950491	54.89529	46.43622					



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

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
 GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. ALLEGATI
 IV01 00 D 07 CL GN 03 00 001 B 1

81	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
80	4.331436	2.476366	60.24111	41.87591	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
79	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
78	5.048701	1.878118	67.64553	36.25676	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
77	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
76	5.785386	1.250929	75.21793	-30.3268	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
75	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
74	6.399846	0.650751	-81.3375	24.42146	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
73	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
72	6.796907	0.287016	85.35338	20.90546	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
71	-7.0426	0.079408	87.88286	18.94726	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
70	-	0	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
69	7.231662	0	89.62471	16.44149	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
68	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
67	7.191437	0	89.12955	16.36647	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
66	-	0	-87.9942	16.59378	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
65	7.092348	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
64	-6.66894	0.224554	83.60092	-19.8015	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
63	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
62	6.050185	0.671924	77.03821	23.79342	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
61	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
60	5.380104	1.184902	-70.0038	28.47129	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
59	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
58	4.588522	1.824142	61.77866	-34.4113	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
57	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
56	3.771581	2.450655	53.20535	40.12818	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
55	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
54	3.144838	2.886969	46.51501	-43.9621	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
53	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
52	3.901056	1.959367	53.56453	34.34181	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
51	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
50	4.490833	1.164879	58.88131	25.95437	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
49	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
48	5.112428	0.433788	64.75589	18.43735	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
47	-	0	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
46	5.622655	0	69.40832	11.43897	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
45	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
44	6.079399	0	73.45384	4.592006	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
43	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
42	6.558058	0	77.37925	4.117661	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
41	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
40	6.009671	0	72.60805	4.523164	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
39	-	0	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
38	5.568496	0	68.75185	11.38783	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
37	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
36	5.016842	0.424639	63.54251	-18.0797	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
35	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
34	4.411763	1.177299	57.92856	25.90737	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.



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

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
 GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. ALLEGATI
 IV01 00 D 07 CL GN 03 00 001 B 1

56	-	-1.94623	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	3.757089		51.73865	33.81114					
55	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	3.012177	2.891092	44.87389	43.67514					
54	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	3.776954	2.302461	52.89435	38.29687					
53	-4.58971	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
		1.675372	61.41409	32.56214					
52	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	5.393658	1.061852	69.85877	26.97388					
51	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	6.045479	0.562373	76.70026	22.41752					
50	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	6.628727	0.131468	82.86289	18.54003					
49	-	0	-	-16.481	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	7.055768		87.53479						
48	-	0	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	7.132943		88.45534	16.48114					
47	-	0	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	7.215217		89.41303	16.36572					
46	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	7.056065	0.056421	87.99189	18.69541					
45	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	6.866662	0.293432	86.23819	21.16321					
44	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	6.490298	0.641231	82.43935	24.53359					
43	-	-	-	-30.724	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	5.817108	1.276335	75.67765						
42	-	-	-	-37.8389	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	5.056523	2.003596	68.06288						
41	-	-2.63436	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	4.311502		60.39582	43.79211					
40	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	3.747714	3.079131	54.51082	47.89185					
39	-3.59819	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
		3.176287	52.89699	48.72016					
38	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	3.880857	2.779363	55.40404	44.49926					
37	-	-2.34204	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	4.294376		59.43719	40.10906					
36	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	4.673337	1.839301	62.87326	34.81631					
35	-	-	-	-31.1597	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	4.958875	1.487114	65.53013						
34	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	5.347967	1.002807	69.13935	26.12227					
33	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	5.697586	0.477042	72.15141	20.46802					
32	-	-	-	-23.6897	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	5.438021	0.788975	69.71525						



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

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
 GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. ALLEGATI
 IV01 00 D 07 CL GN 03 00 001 B 1

31	-	-	-	-26.0941	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	5.249034	1.020808	67.95354						
30	-	-1.52634	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	4.829196		64.01565	31.31738					
29	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	4.320098	2.192541	59.37619	38.31338					
28	-	-	-57.4346	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	4.095773	2.526361		41.89742					
27	-	-2.97755	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	3.701713		53.67908	46.50986					
26	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	3.394977	3.389022	50.90946	50.85051					
25	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	3.853073	2.945207	55.48104	46.49317					
24	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	4.265352	2.599578	59.73256	43.24139					
23	-	-	-65.4899	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	4.819924	2.149741		39.05509					
22	-	-	-70.1668	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	5.284981	1.713248		34.80665					
21	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	5.904663	1.193541	76.55659	29.91648					
20	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	6.392083	0.720403	81.41847	25.26883					
19	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	6.748473	0.387818	85.00742	22.03693					
18	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	6.850987	0.237696	85.90091	20.42933					
17	-	-	-	-20.6977	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	6.728088	0.284424	84.48998						
16	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	6.396738	0.511039	80.94253	22.67411					
15	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	5.939391	0.820804	76.03847	25.36445					
14	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	5.367482	1.273695	70.07308	29.54458					
13	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	4.770722	1.708592	63.75239	33.43731					
12	-	-2.24035	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	4.096142		56.70987	38.33752					
11	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	3.288319	2.895831	48.32394	44.43831					
10	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	3.552265	2.436696	50.43928	39.39514					
9	-	-1.63744	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	4.161094		55.98109	30.99691					
8	-	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
	4.781288	0.888707	61.79323	23.25668					
7	-5.28511	-	-	-	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
		0.246824	66.42902	16.54999					



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

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO
 GALLERIA CASTELLARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	ALLEGATI
IV01	00	D 07 CL	GN 03 00 001	B	1

6	- 5.756026	0	-70.7078	- 10.01656	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
5	- 5.756026	0	-70.7078	- 10.01656	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
4	- 5.756026	0	-70.7078	- 10.01656	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
3	- 5.756026	0	-70.7078	- 10.01656	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
2	- 5.756026	0	-70.7078	- 10.01656	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.
1	- 5.756026	0	-70.7078	- 10.01656	-16.8075	360	0	0.2	VERIF.