

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



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

**TRATTA A.V. /A.C. TERZO VALICO DEI GIOVI
PROGETTO ESECUTIVO**

**NUOVA VIABILITÀ TRATTA VIA ERZELLI - VIA BORZOLI
Galleria naturale Lato Erzelli
Interferenza Autostrada A10
Nota tecnica e di calcolo**

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE DEI LAVORI
Consorzio Cociv Ing. G. Guagnozzi	

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I G 5 1	0 1	E	C V	N T	G N S B 0 0	0 0 1	A

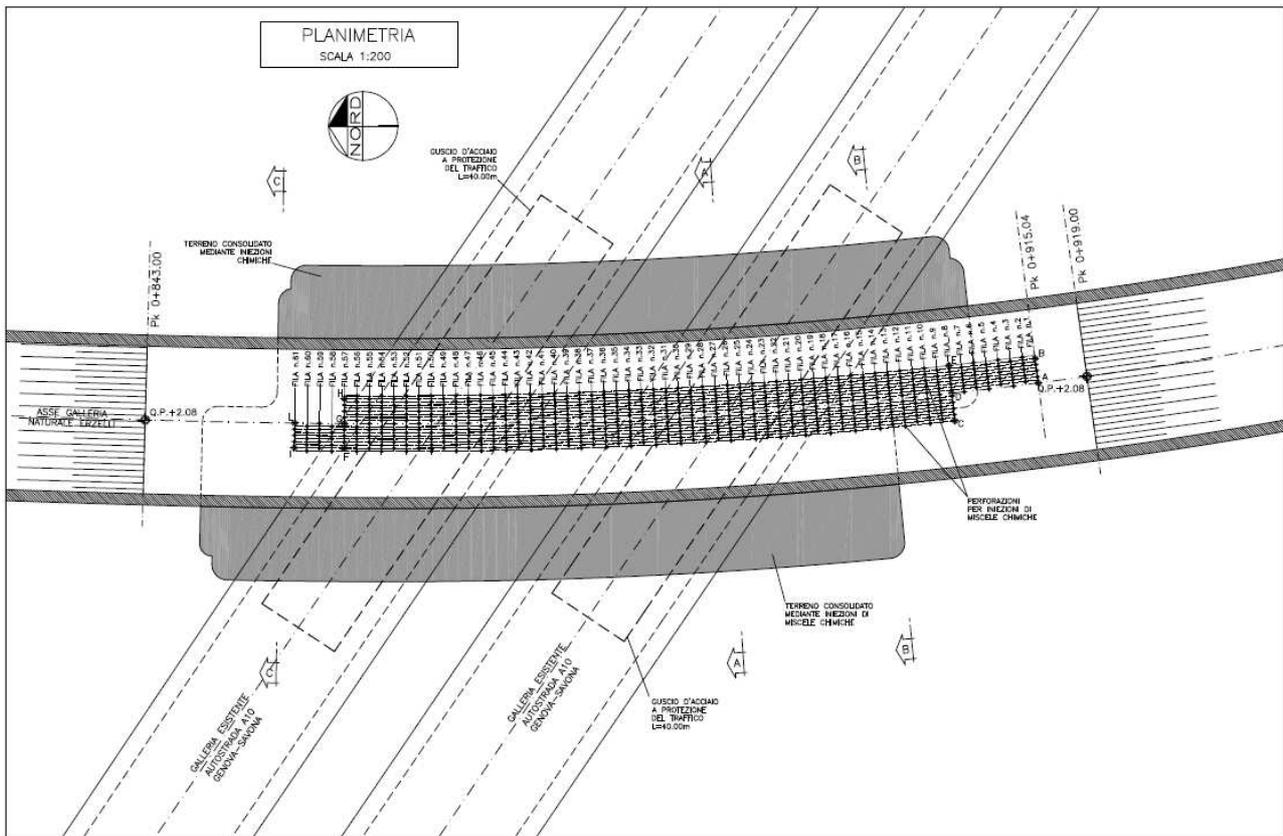
Progettazione :								
Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
A00	Emissione	Rocksoil <i>Gomani</i>	06/08/12	Ing.F. Colla <i>[Signature]</i>	08/08/12	E. Pagani <i>[Signature]</i>	10/08/12	Ing. E. Ghislandi

n. Elab.:	File: IG5101ECVNTGNSB00001A00
-----------	-------------------------------

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG5101ECVNTGNSB00001A00</p>	<p>Foglio 3 di 55</p>

INDICE

INDICE.....		3
1. PREMESSA.....		4
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOTECNICO.....		6
2.1 Inquadramento Geologico - Geomorfologico.....		8
2.1.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE.....		8
2.1.2 TETTONICA		10
2.1.3 GEOMORFOLOGIA		10
2.2 Dettaglio geologico e geotecnico dell'area di interesse		11
3. DESCRIZIONE DELLA SOLUZIONE PREVISTA E FASI ESECUTIVE		13
4. INDICAZIONE SULLE METODOLOGIE DI SCAVO.....		18
5. ANALISI NUMERICHE		20
5.1 Modelli numerici di calcolo: Ipotesi di base.....		20
5.1.1 Modellazione degli elementi geotecnici e strutturali.....		20
5.1.2 Taratura modelli di calcolo.....		23
5.2 Modello 1		24
5.2.1 Fasi di calcolo		26
5.3 Modello 2		26
5.3.1 Fasi di calcolo		29
5.4 Modello 3		29
5.4.1 Fasi di calcolo		32
6. RISULTATI DELLE ANALISI		33
6.1 Disturbi indotti sulle gallerie pre-esistenti.....		33
6.1.1 Modello 1		33
6.1.2 Modello 2		36
6.1.3 Modello 3		39
6.1.4 Confronto dei risultati e considerazioni.....		42
6.2 Sollecitazioni su prerivestimenti e rivestimenti definitivi.....		45
6.2.1 Modello 1		45
6.2.2 Modello 2		49
6.2.3 Modello 3		52
7. CONCLUSIONI		55



Dopo un breve inquadramento dell'opera, il lavoro si articolerà nei seguenti principali punti:

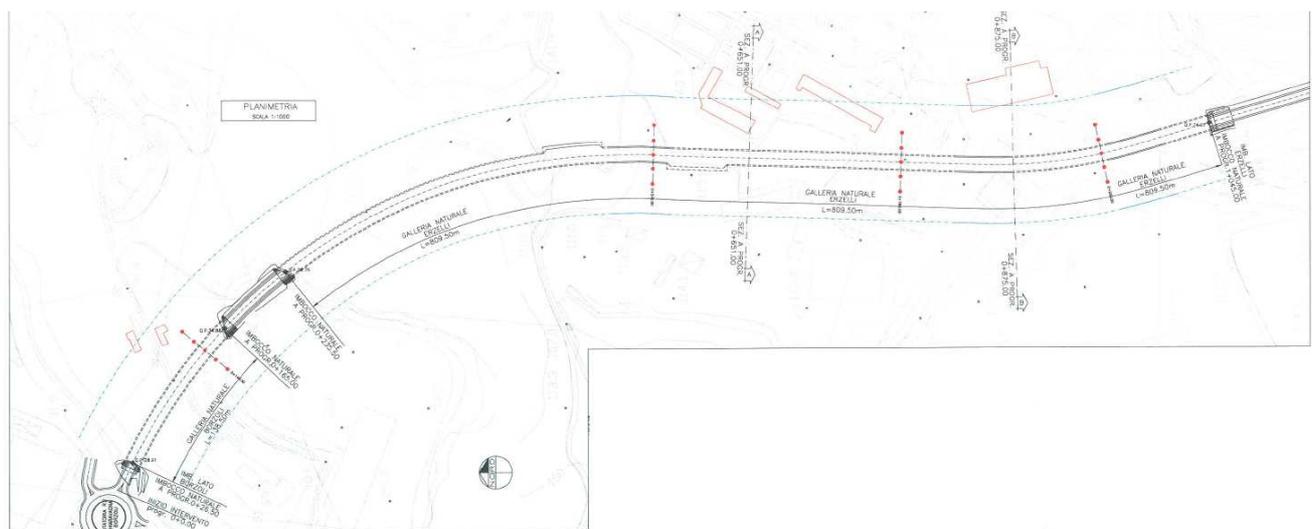
- Descrizione della soluzione proposta e relative fasi operative;
- Descrizione delle possibili modalità di scavo atte al contenimento delle vibrazioni;
- Sintesi delle analisi numeriche agli elementi finiti svolte al fine di verificare la soluzione proposta.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOTECNICO

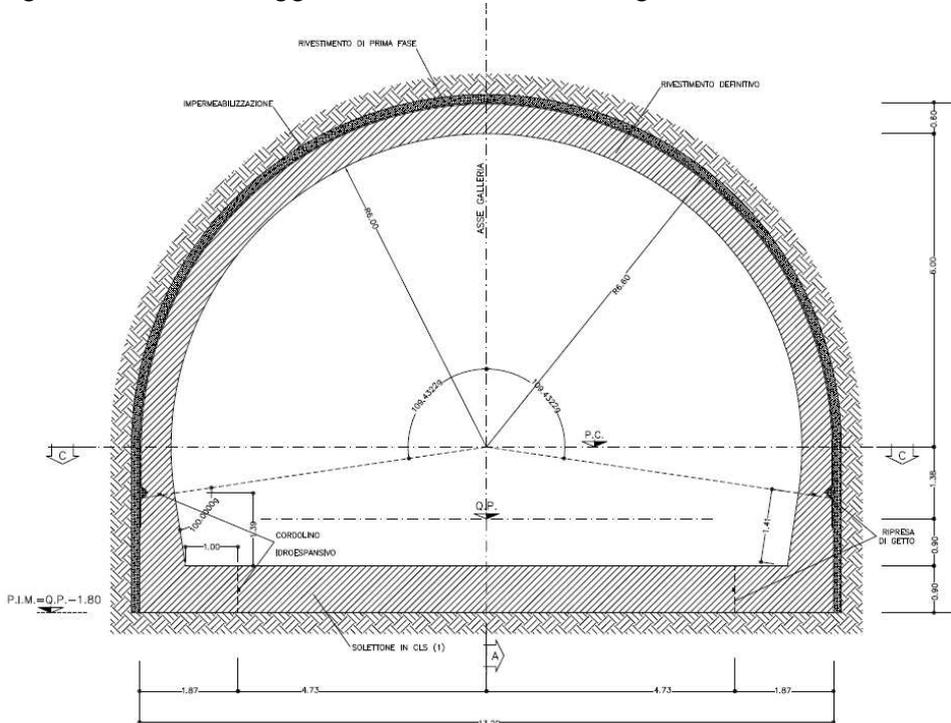
L'opera rientra nella realizzazione di un collegamento tra la viabilità presente in località Borzoli, nei pressi del campo sportivo comunale, con quella della località Erzelli, dopo aver attraversato la galleria presente dell'autostrada A10.



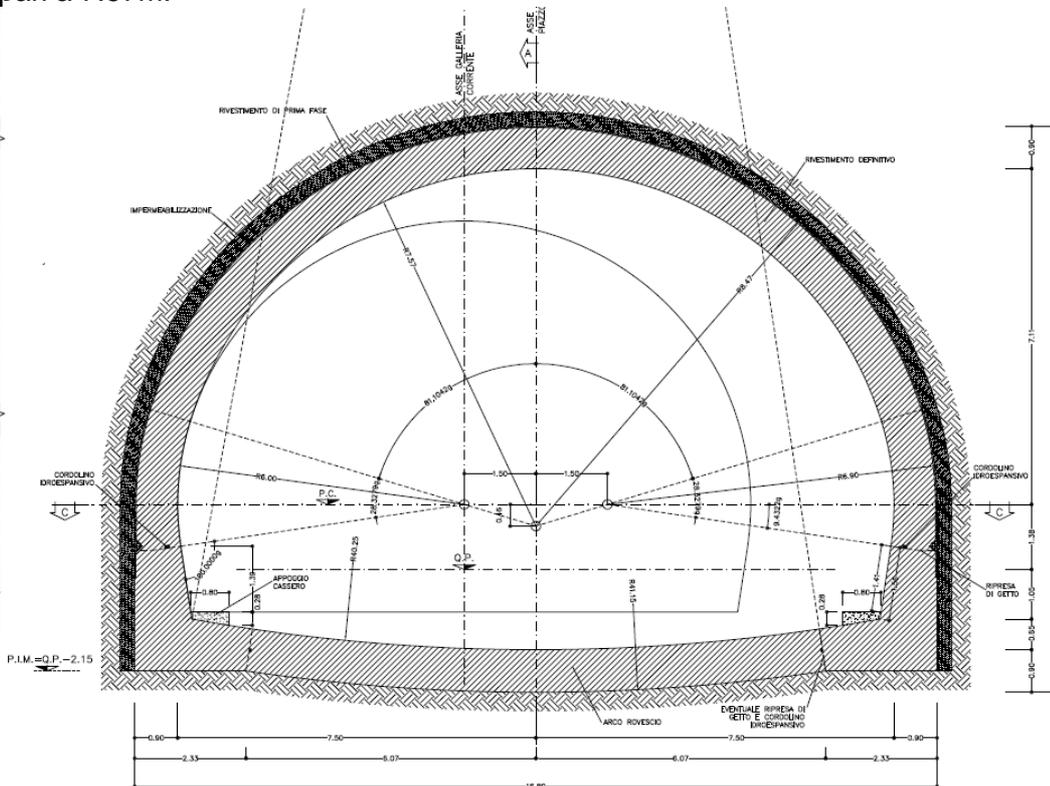
In particolare l'opera prevede la realizzazione di due gallerie naturali di lunghezza pari a 138.5 m e di 809.5m rispettivamente.



La sezione stradale tipo è costituita da 2 carreggiate di larghezza 3.50m e due banchine di larghezza 1.25m. Il raggio interno di calotta della galleria è di 6.0m.



Esistono poi due area di piazzola aventi la sezione sotto riportata con un raggio interno in calotta pari a 7.57m.



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5101ECVNTGNSB00001A00 Foglio 8 di 55

2.1 Inquadramento Geologico - Geomorfologico

2.1.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE

L'area in esame rientra dal punto di vista geologico nella cosiddetta "Zona Sestri-Voltaggio" che comprende alcune unità strutturali mostranti tra loro complessi rapporti tettonici, limitate ad ovest dalle unità di metaofioliti del "Gruppo di Voltri" e ad est dall'Unità dei Flysch ad Helmitoidi del M.Antola.

Dal punto di vista delle Unità costituenti l'area in esame sono state prese a riferimento quelle riportate nelle due carte geologiche che, dal punto di vista bibliografico, sono ritenute ad oggi quelle più rappresentative della Zona sopra citata:

- "Carta geologica della Val Polcevera" (M.Marini – 1987)
- "Carta geologica della zona Sestri-Voltaggio" (L.Cortesogno, D.Haccard – 1984).

Più in particolare, considerata la buona affidabilità riscontrata con il rilevamento di superficie della carta di Marini, sono state assunte le suddivisioni di unità e formazionali di questa carta riportando comunque, come riferimento bibliografico, anche i corrispondenti nomi delle unità tettoniche della carta di Cortesogno-Haccard.

Tale Zona è quindi costituita dalle tre seguenti unità tettoniche sovrapposte, distinguibili per pertinenza paleogeografica e caratteri metamorfici:

- **Unità Gazzo-Isoverde** di M.Marini 1987 (Unità Triassico-Liassica di L.Cortesogno-D.Haccard 1984), di età triassico superiore-liassica, tipica successione di margine continentale in annessamento prevalentemente carbonatica, ad affinità prepiemontese. Fanno parte di questa Unità le seguenti formazioni:

- **Dolomie del M.te Gazzo:** dolomie e calcari dolomitici grigi, da cristallini a saccaroidi, ben stratificati; orizzonti di brecce intraclastiche e rari strati marnosi verso l'alto (Norico-Carnico Sup.?)
- **Depositi gessosi, brecce evaporitiche, carnirole:** lenti di gesso compaiono associate alle dolomie triassiche sia in posizione molto incerta (Isoverde) sia al passaggio tra formazioni triassiche e quelle retico-liassiche (Retico-Norico Sup?)
- **Calcari di Gallaneto:** calcari bioclastici, calcari marnosi neri e marne scistose; calcari puri e dolomie verso l'alto (Hettangiano/Retico-Norico sup?)
- **Calcari di Lencisa:** calcari cristallini grigi con liste e noduli di selce (Sinemuriano)
- **Metargilliti nere** con intercalazioni di calcari cristallini straterellati (Giurassico medio-superiore)

- **Unità Cravasco-Voltaggio** di M.Marini 1987 e L.Cortesogno-D.Haccard 1984, di età giurassica superiore-cretacea inferiore, costituita da una successione ofiolitica e sopraofiolitica completa ad affinità liguride interna con metamorfismo in scisti blu. Fanno parte di questa Unità le seguenti formazioni:

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5101ECVNTGNSB00001A00	Foglio 9 di 55

- **Serpentiniti** per lo più cataclastiche (Giurassico sup.medio?)
- **Metagabbri** frequentemente laminati (Giurassico sup.-medio?)
- **Metabasalti a cuscini** spesso scistosi (Giurassico sup.medio?)
- **Diaspri**: scisti silicei e radiolariti scistose fortemente ricristallizzate (Giurassico sup.)
- **Calcari di Voltaggio**: calcari cristallini foliati spesso a grana grossa in strati decimetrici (Neocomiano-Titoniano sup?)
- **Metargilliti filladiche** nere con sporadiche intercalazioni di calcari cristallini

- **Unità Timone-Bric Teiolo** di M.Marini 1987 (Unità di Monte Figogna di L.Cortesogno-D.Haccard 1984), di età giurassica superiore-cretacea inferiore, ofiolitica ma priva di termini gabbri con metamorfismo in scisti blu. Fanno parte di questa Unità le seguenti formazioni:

- **Serpentiniti** per lo più cataclastiche (Giurassico sup.medio?)
- **Oficalciti**: brecce serpentinitiche di varia pezzatura con cemento calcitico, colorazione d'insieme verde (Giurassico medio-sup?)
- **Basalti a cuscini, basalti massicci e brecce basaltiche, metabasalti talora scistosi e dicchi basaltici e dioritici entro serpentiniti** (Giurassico sup.-medio?)
- **Diaspri**: scisti argillosi rossi e verdi (Giurassico sup.)
- **Calcari di Erselli**: calcari microcristallini, spesso budinati, talora foliati con giunti pelitici (Neocomiano-Titoniano?)
- **Argille a Palombini del Passo della Bocchetta**: metargilliti filladiche con intercalazioni di strati isolati di calcari microcristallini per lo più scistosi (Cretaceo inferiore)
- **Unità della Val Polcevera** di M.Marini 1987 (Flysch di Busalla di L.Cortesogno-D.Haccard 1984), di età cretacea superiore, costituita da due elementi strutturali addossati (*Elemento di Mignanego* e *Elemento di Ronco*), ciascuno composto da una porzione inferiore a dominante emipelagitica e da una porzione superiore a dominante torbiditica (marnoso-calcarenea l'uno e siltoso-arenacea l'altro).

Nell'area in esame a copertura delle formazioni di basamento prima elencate sono presenti i sedimenti recenti ricollegabili al Pliocene Ligure ed al Quaternario (Alluvioni del Torrente Ruscarolo, coperture di versante, riporti antropici).

Il **Pliocene Ligure** è rappresentato in zona dal *Lembo di Borzoli* (Pliocene medio?-inferiore) costituito da due facies tipiche:

- **Argille di Ortovero**: argille marnose e marne grigio azzurre più o meno siltose con stratificazione poco evidente
- **Conglomerati e brecce basali**: i conglomerati possono intercalarsi localmente alle argille ma in genere risultano basali con spessori da pochi decimetri a non più di 10-15 m; si associano spesso a depositi grossolani molto immaturi riferibili ad accumuli di frana.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">IG5101ECVNTGNSB00001A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 10 di 55</p>

2.1.2 TETTONICA

Le unità sopra elencate, costituenti la Zona Sestri-Voltaggio, mostrano tra loro complessi rapporti tettonici e risultano limitate ad ovest dalle unità metaofiolitiche del Gruppo di Voltri, su cui sono sovrascorse, e a est dall'Unità del Flysch dell'Antola, sotto cui immergono. Ne deriva quindi una struttura a falde sovrapposte la cui evoluzione tettonogenetica è stata riscontrata polifasica e sincrona.

Più in particolare la complessa strutturazione tettonica della Zona Sestri-Voltaggio è dovuta alla sovrapposizione di tre fasi plicative sviluppate, sia pur a diverse condizioni metamorfiche, in tutte le unità.

Alle fasi di corrugamento alpino è seguito, nel Pliocene-Quaternario, un'attività neotettonica di natura fragile in ambiente distensivo, correlata alla formazione e sviluppo di sistemi di faglie probabilmente già impostati con le fasi di piegamento alpino-appenninico.

Tali sistemi di faglie hanno smembrato l'edificio alpino secondo blocchi in movimento relativo tra loro con fenomeni importanti di basculamento; questi eventi hanno condizionato e guidato i fenomeni geologici del ponente ligure, dalla trasgressione e sedimentazioni plioceniche fino al raggiungimento dell'assetto strutturale odierno dal quale è derivato la posizione della costa e del reticolo idrografico più recente.

Per la zona in esame, caratterizzata dalla presenza del Lembo pliocenico di Borzoli, sono stati riconosciuti sistemi di faglie in direzione circa E-W che hanno generato le depressioni di origine tettonica (graben) entro le quali si sono sedimentati i terreni pliocenici stessi.

2.1.3 GEOMORFOLOGIA

Dal punto di vista geomorfologico il tratto di strada da realizzare attraversa un contesto collinare sostanzialmente modificato dall'intervento dell'uomo.

Infatti, a seguito della coltivazione di alcune cave in basalti, la parte alta del rilievo è stata rimodellata con formazione di estesi piazzali sub-pianeggianti ad oggi adibiti a deposito containers o occupati da insediamenti di baracche e/o strutture più o meno fatiscenti.

Sempre probabilmente nell'ambito della coltivazione, è stato accumulato e spianato su questi piazzali il materiale di risulta dell'attività di cava che ad oggi forma potenti riporti sia nelle aree soprastanti le gallerie in progetto sia nelle aree a monte e all'interno del nuovo raccordo studiato.

Come aspetti geomorfologici caratteristici della zona rilevata, si evidenzia quanto segue (vedi "Carta geologica-geomorfologica"):

- i versanti in basalto sono in generale da acclivi a molto acclivi e risultano caratterizzati da roccia affiorante o sub-affiorante in uno stato di conservazione
- medio-buono con situazioni locali più scadenti a causa della elevata fratturazione; nei settori di faglia riconosciuti si presentano con aspetto brecciato

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">IG5101ECVNTGNSB00001A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 11 di 55</p>

- il versante in Calcari di Erzelli sul lato svincolo è invece caratterizzato da acclività media e dalla presenza di coperture detritiche eluvio-colluviali, la natura di tale copertura è sostanzialmente limoso-argillosa con scaglie calcaree e marnose
- infine, si segnala che, nella situazione descritta di materiali tettonizzati ed in presenza di circolazioni d'acqua importanti, i Calcari di Erzelli nella facies più laminata e gli scisti diasprigni hanno subito, nel tempo geologico, processi di alterazione spinta sino in profondità.

2.2 Dettaglio geologico e geotecnico dell'area di interesse

Data la complessità e la delicatezza della situazione da analizzare, si è ritenuto opportuno effettuare un dettaglio geologico e geotecnico relativo all'area di interesse, ovvero quella in prossimità del passaggio della galleria in progetto poco sopra alle due canne dell'autostrada A10.

Questo tratto è stato indagato con la linea geofisica 3 e con il sondaggio SB. Il sondaggio ha evidenziato, sulla verticale, diversi passaggi tettonizzati anche alle profondità dell'interferenza della galleria in progetto con l'A10. La geofisica nello stesso tratto ha evidenziato un'anomalia nel profilo del rifrattore 4400 m/s, condizione che potrebbe indicare un peggioramento delle caratteristiche dell'ammasso rispetto al tratto limitrofo indagato con il sondaggio SL34 che non evidenzia invece particolari fasce di tettonizzazione.

Si evidenzia inoltre che tale tratto è limitrofo alla faglia ipotizzata circa alla progr. 815. Le fasce di tettonizzazione rilevate dal sondaggio SB nell'intorno della canna sud dell'A10 non possono quindi essere escluse anche nell'intorno della canna autostradale nord. L'insieme dei dati permette quindi di inquadrare qualitativamente l'ammasso di questo tratto come da mediamente a molto fratturato con locali settori tettonizzati.

La distribuzione precisa di tali aree tettonizzate aventi spessori generalmente inferiori al metro, che, per quanto riguarda lo scavo della galleria non risulta particolarmente significativa, risulta invece determinante per valutare correttamente gli effetti indotti dallo scavo stesso sulle gallerie autostradali preesistenti, dato la ridotta distanza tra le due strutture.

Non potendo quindi determinare con sicurezza dalle analisi effettuate l'andamento locale di tali strati, si è ritenuto opportuno ricreare tre differenti stratigrafie aventi diverse estensioni delle zone fratturate e tettonizzate in modo da simulare i possibili scenari che si potranno incontrare durante l'attraversamento delle due canne. In particolare si sono utilizzati tre differenti gruppi geomeccanici per quanto riguarda i basalti, le cui caratteristiche geomeccaniche sono in seguito riportate.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5101ECVNTGNSB00001A00 Foglio 12 di 55

Terreno	Peso di volume γ (kN/m ³)	Coesione c' (kPa)	Angolo di attrito φ (°)	Modulo def. E (MPa)	Coeff. Poisson v (-)
Basalti RMR 55-70 (GR1)	27-28	800-2000	34-40	7000-20000	0.25
Basalti Fratturati RMR 40-45 (GR2)	24-26	400-600	30-35	2000-5000	0.3
Basalti Tettonizzati (GR3)	23	50	28	400	0.3

Nei calcoli si sono assunti i parametri minimi del range di variabilità sopra indicati, con l'eccezione del peso proprio che in maniera cautelativa è stato assunto pari al valore massimo.

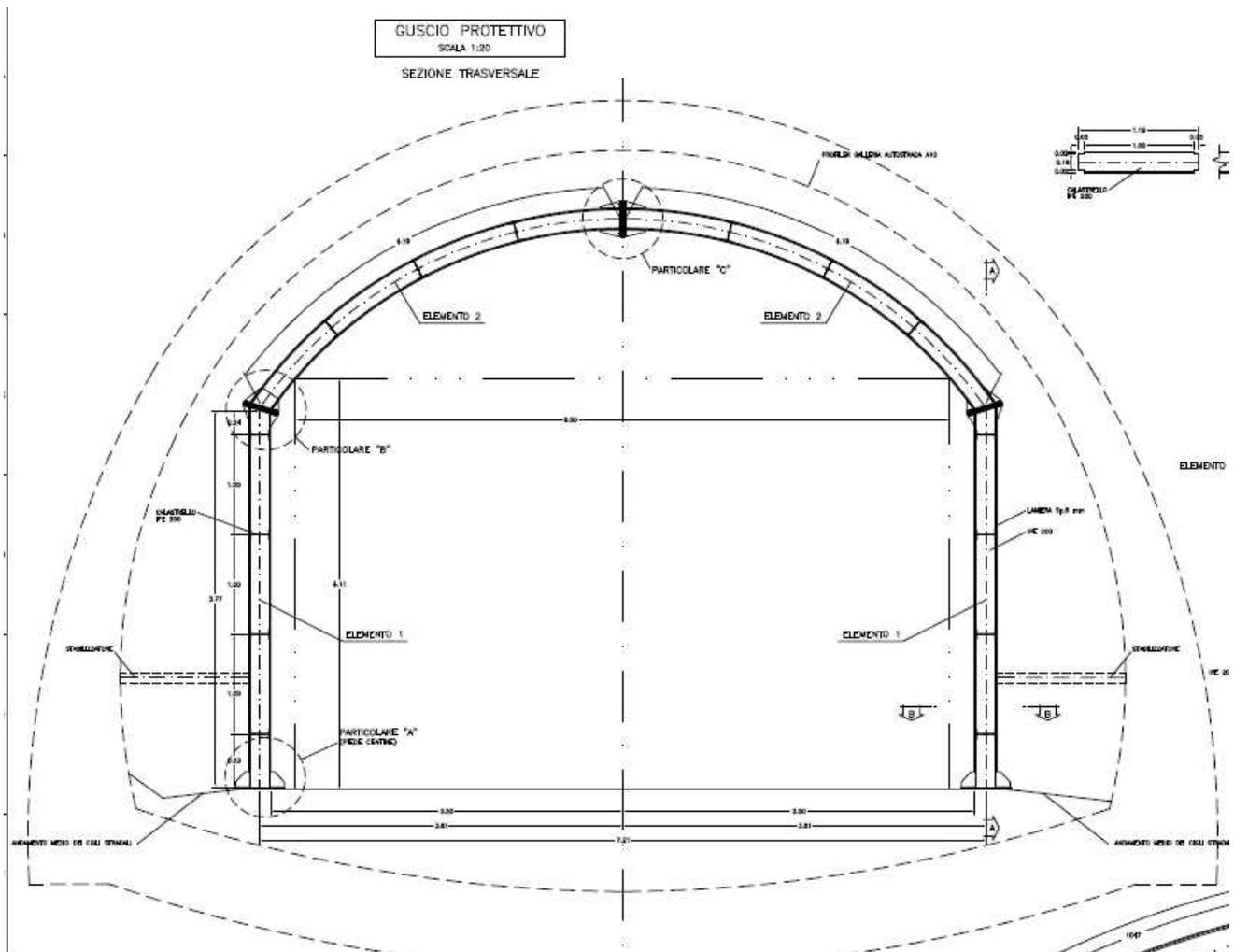


Figura 3-2 – Schema Guscio Metallico di protezione

Nel dettaglio le fasi di realizzazione dell'opera dovranno seguire le seguenti macro attività. Le fasi elencate considerano che lo scavo della galleria NV01 proceda da Erzelli a Borzoli. Altre soluzioni possono essere adattate mantenendo validi i principi di base di tali fasi.

FASE 0 – INDAGINI PRELIMINARI E MONITORAGGIO

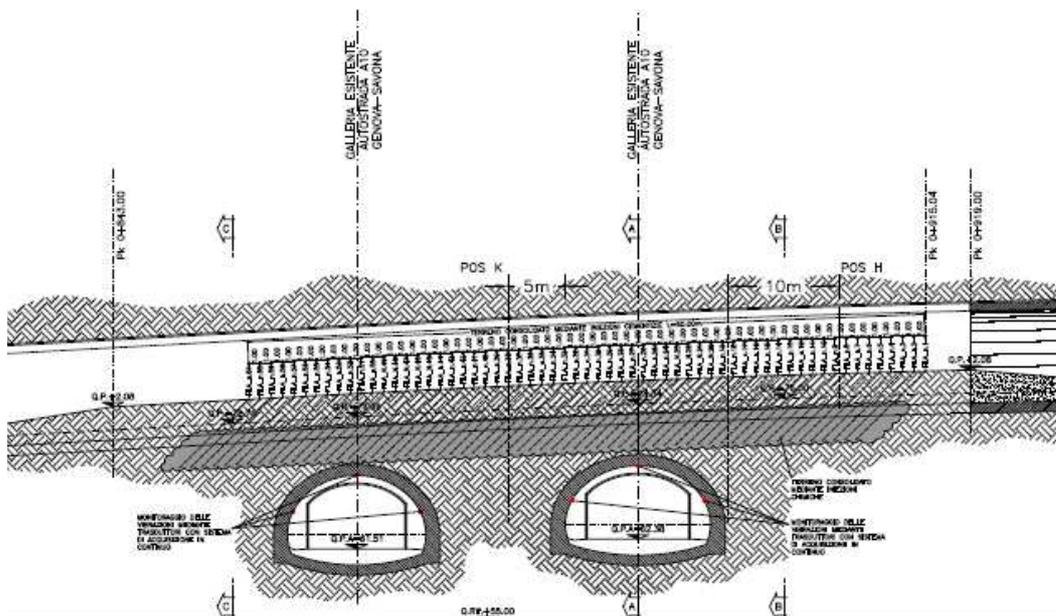
- a) Preliminarmente all'inizio della attività di scavo, ai fini della definizione della tipologia e degli spessori di rivestimento definitivo di calotta delle gallerie dell'autostrada A10, nel tratto interferente con le future opere della nuova Viabilità compresa tra via Borzoli e via Erzelli, si prescrive l'esecuzione di indagini Georadar.

La prospezione georadar (GPR Ground Penetrating Radar) è una metodologia di indagine geofisica che si basa sulla propagazione di onde elettromagnetiche ad elevata frequenza. L'indagine prevede l'immissione di un breve impulso elettromagnetico in un materiale per mezzo di un'antenna la cui frequenza può variare da 10 a 2.600 MHz. L'impulso si propaga nel materiale con una velocità che dipende principalmente dalla costante dielettrica del

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5101ECVNTGNSB00001A00	Foglio 15 di 55

materiale stesso. Quando l'impulso incontra un'interfaccia con proprietà dielettriche differenti dal mezzo che la circonda viene parzialmente riflesso in superficie. Si richiede l'esecuzione di n°3 allineamenti longitudinali (calotta, paramento destro e paramento sinistro) su entrambe le carreggiate, per uno sviluppo planimetrico di 90m minimo ad allineamento, opportunamente tarati mediante sezioni trasversali di controllo. Le sezioni di controllo devono garantire la taratura del sistema, su entrambe le gallerie indagate, mediante l'utilizzo di fioretture; il dato stratigrafico diretto deve essere utilizzato per riprocessare il dato georadar acquisito. Il sistema GPR adottato deve garantire una profondità di indagine adeguata.

- b) Si prevedono indagini geofisiche in avanzamento eseguite con determinazione di V_p e V_s , come indicato nello schema di seguito. Le indagini andranno eseguite in corrispondenza del fronte di scavo alle Pk individuate dai punti H e K, preliminarmente all'esecuzione degli avanzamenti. In funzione dei risultati di tali indagini sarà possibile richiedere eventuali carotaggi in avanzamento con lunghezza pari a 20m.



- c) Installazione del sistema di monitoraggio delle vibrazioni mediante trasduttori con acquisizione in continuo all'interno delle gallerie esistenti. Il sistema dovrà essere tarato con misure in campo libero precedentemente all'inizio delle attività di scavo del tratto interferente e dovrà essere attivo quando lo scavo della galleria NV01 sarà alla PK 0+980 m circa.

FASE 1 – INSTALLAZIONE CASSERO DI PROTEZIONE

Precedentemente alle operazioni di scavo della tratta interferente si prevede la messa in opera di un cassero di protezione in acciaio installato su entrambe le carreggiate per una lunghezza di 40m, costituito da profilati IPE 200 calastrellati e posti ad interasse 1.20m collegati esternamente da una lamiera di protezione dello spessore di 6mm.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5101ECVNTGNSB00001A00 Foglio 16 di 55

FASE 2 – CONSOLIDAMENTO INCLINATO IN AVANZAMENTO DA PK 0+915.04 (eventuale in relazione al contesto geomeccanico)

Tale intervento riguarda la zona al di sotto dell'arco rovescio ed è da eseguirsi unicamente nel caso in cui l'ammasso non risulti compatto.

- a) Perforazione secondo le geometrie di progetto con diametro 76mm.
- b) Cianfinatura a bocca foro
- c) Esecuzione di iniezioni chimiche da bocca foro a bassa pressione inclinate in arco rovescio con maglia a fondo foro pari a 1.00mx2.00m.

FASE 3 – SCAVO A SEZIONE PARZIALIZZATA DA PK 0+919.00 alla PK 0+843.00.

- a) Scavo di calotta con sfondi massimi pari a 2.40m compreso il disaggio. Lo scavo verrà eseguito adottando adeguati sistemi di controllo delle vibrazioni tarati in funzione delle condizioni di ammasso e dei risultati della campagna di monitoraggio prevista.
- b) Al termine dello sfondo e prima di porre in opera i rivestimenti di prima fase va eseguito un accurato disaggio di tutti i blocchi instabili.
- c) Al termine della tratta di interferenza con le gallerie della A10 lo scavo dovrà essere eseguito a piena sezione secondo le modalità previste nel progetto.

FASE 4 – POSA IN OPERA DEL RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE

- a) Installazione di centine accoppiate IPN 160 passo 1.20cm e spritz-beton 20cm. Appena posate le centine devono essere collegate alle altre attraverso le apposite catene. Lo spritz beton dovrà essere fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata.

FASE 5 – SCAVO DI RIBASSO E COMPLETAMENTO DEL PRERIVESTIMENTO

- a) Scavo di ribasso per campi di 1.20m a cavallo delle centine già installate.
- b) Immediata installazione della centina di piedritto costituita da 2 IPN 160 passo 1.2m accoppiate ed esecuzione di uno strato di spritz beton spessore 20cm.

FASE 6 – GETTO DI MURETTE E ARCO ROVESCIO

Il getto dell'arco rovescio e murette dovrà avvenire entro 2Φ dal fronte dello scavo di ribasso. Tali distanze potranno essere regolate in funzione del comportamento deformativo del cavo.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>IG5101ECVNTGNSB00001A00</p> <p>Foglio 17 di 55</p>

FASE 7 – IMPERMEABILIZZAZIONE E GETTO RIVESTIMENTO DEFINITIVO

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

Il getto del rivestimento definitivo sarà eseguito ad una distanza dal fronte massima pari a 9Φ . Tale distanza dovrà comunque essere tarata in funzione della risposta deformativa del cavo.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">IG5101ECVNTGNSB00001A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 18 di 55</p>

4. INDICAZIONE SULLE METODOLOGIE DI SCAVO

I processi di abbattimento, sia con esplosivo sia con mezzi meccanici, generano un fenomeno sismico dovuto all'emissione di energia nel mezzo che in parte si propaga come onda elastica; l'immissione e propagazione nel mezzo di tale onda influenzano e caratterizzano l'impatto ambientale indotto sul manufatto da salvaguardare.

A questo proposito, molti sperimentatori hanno condotte numerose campagne di misure allo scopo di stimare il fenomeno vibratorio per prevenire danni a persone e strutture limitrofe alla zona della sorgente sismica. I risultati hanno mostrato un'elevata dispersione dei dati attorno al valore medio, individuando, tuttavia, valori limite di soglia in termini di velocità e/o accelerazione di picco delle particelle o di pseudovettore di velocità. Tali limiti sono stati stabiliti in funzione

- del range di frequenza e ampiezza caratterizzante il fenomeno sismico;
- delle caratteristiche temporali (fenomeno continuo o transiente) e del numero di eventi transienti;
- del tempo di esposizione;
- del tipo, dello stato di conservazione e delle frequenze naturali delle strutture da salvaguardare.

È perciò evidente la necessità di ottenere risultati affidabili, attendibili e ripetibili utilizzando un'appropriata catena di misura per limitare la notevole dispersione, riconducibile, in particolare, all'accoppiamento tra mezzo di propagazione e trasduttori.

I risultati della campagna di monitoraggio potranno individuare la metodologia di scavo migliore al fine di limitare le interferenze di tipo dinamico tra lo scavo della galleria NV01 e le gallerie esistenti della A10.

A titolo indicat

Si ritiene che tali metodologie presumibilmente dovranno essere valutate tra:

- Microcariche opportunamente confinate con prefiori al contorno; l'esecuzione di un pre taglio al contorno diminuisce in modo efficace la propagazione delle azioni sismiche legate alle microcariche.
- Microcariche realizzate mediante l'utilizzo di agenti pirotecnici particolari, come ad esempio cartucce a bassa velocità di reazione (tipo "NONEX"). La velocità di reazione, relativamente bassa, diventa un valore aggiunto della tipologia di prodotto in quanto contenendo le energie alla sorgente vengono limitate le sollecitazioni e quindi i disturbi ambientali e le vibrazioni indotte. I distacchi di roccia possono essere gestiti con limitati interventi che possono liberare decine di metri cubi a volata. In questo modo si riduce l'azione dei demolitori idraulici che comunque intervengono in fase secondaria per la comminazione del materiale o il definitivo distacco di elementi già disgiunti dall'ammasso.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">IG5101ECVNTGNSB00001A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 19 di 55</p>

- Agenti espansivi demolitori non esplosivi ad alta fluidità, a base di miscela inorganica di specifici silicati, leganti idraulici assistiti da attuatori iper-espansivi, applicati a colatura all'interno di fori preventivamente eseguiti, così come descritto nelle direttive di posa in opera dei singoli prodotti.

5. ANALISI NUMERICHE

5.1 Modelli numerici di calcolo: Ipotesi di base

Nei seguenti paragrafi verranno descritti i modelli di calcolo impiegati per la valutazione del disturbo indotto sulle gallerie autostradali preesistenti dallo scavo della galleria Nuova Viabilità compresa tra via Borzoli e via Erzelli. Tali analisi riguarderanno unicamente gli effetti di tipo statico indotti dallo scavo, non potendo simulare gli effetti dinamici (vibrazioni, ecc) trattati nei precedenti capitoli. In particolare si svolgeranno tre differenti analisi numeriche volte a rappresentare i tre diversi possibili scenari che si potranno verificare nel realizzare l'attraversamento. Tutte le analisi sono condotte alla medesima copertura pari a circa 30m in chiave calotta nella condizione di minima distanza dalle canne preesistenti (pari a circa 2.60m dalla quota inferiore della galleria Borzoli- Erzelli. Per tali analisi si è fatto ricorso alla modellazione numerica bidimensionale, condotta impiegando il codice di calcolo Plaxis 2011 monitorando lo stato tensionale e deformativo indotto dallo scavo alla quota di calotta delle gallerie autostradali considerando una fascia larga 30m. In particolare, le modellazioni numeriche effettuate hanno permesso di simulare in maniera approfondita la complessità dell'interazione terreno-struttura simulando lo scavo nelle sue fasi, realizzando la galleria a mezza sezione ed installando i prerivestimenti alla distanza di progetto.

Il rivestimento definitivo viene infine posto in opera alla distanza di progetto, gravandosi del carico residuo di sua competenza.

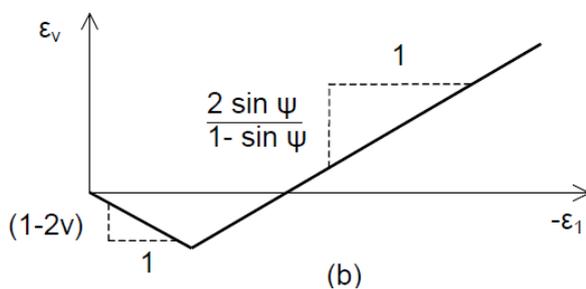
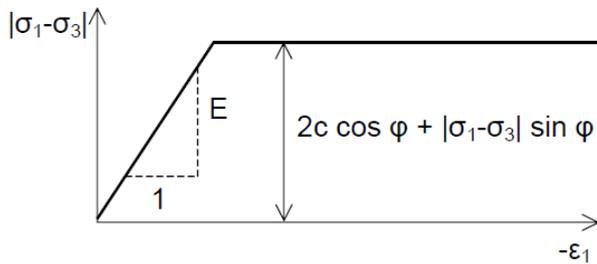
ANALISI	FORMAZIONE GEOLOGICA PREVALENTE	H [m]
1	GR1	30
2	GR2	30
3	GR2/GR3	30

Tabella 1 – Descrizioni dei modelli numerici impiegati

5.1.1 Modellazione degli elementi geotecnici e strutturali

Parametri Geotecnici

I vari strati di terreno sono stati modellati con un semplice modello costitutivo di tipo Mohr-Coulomb utilizzando cautelativamente, data la complessità e la delicatezza della situazione analizzata, i parametri minimi del range di variabilità indicati per i diversi gruppi geomeccanici dei metabasalti. Per quanto riguarda il peso specifico, si è invece assunto a favore di sicurezza il valore massimo.



I parametri necessari alla modellazione del terreno sono i seguenti:

- modulo di Young E
- coefficiente di Poisson ν
- coesione c'
- angolo di attrito φ'
- angolo di dilatanza ψ
- peso di volume del materiale saturo e parzialmente saturo $\gamma_r - \gamma$

In tabella sono utilizzati i valori impiegati nel calcolo.

Terreno	Peso di volume γ (kN/m ³)	Peso di volume γ_r (kN/m ³)	Coesione c' (kPa)	Angolo di attrito φ (°)	Modulo def. E (MPa)	Coeff. Poisson ν (-)
Basalti RMR 55-70 (MC_MB_GR1)	28	28	800	34	7000	0.25
Basalti Fratturati RMR 40-45 (MC_MB_GR2)	26	26	400	30	2000	0.3
Basalti Tettonizzati (MC_MB_GR3)	23	23	50	28	400	0.3
Detriti superficiali	21	21	5	33	30	0.3
Basalto alterato (MC_MB_alt)	23	23	50	28	200	0.3

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG5101ECVNTGNSB00001A00	Foglio 22 di 55

Consolidamento al contorno

Gli interventi di consolidamento al contorno del cavo sono simulati nelle elaborazioni numeriche in termini di incremento delle caratteristiche di resistenza e di deformabilità nella fascia di terreno trattato. In particolare si è aumentato il modulo di deformabilità di 1.5 volte rispetto al valore massimo del range relativo allo stesso terreno non trattato per effetto della ricomprensione generata dalle iniezioni, mentre si è utilizzato un criterio alla Tresca per stabilire il valore di coesione assunto pari a $\sigma_c/2$ assumendo una resistenza pari a 1 MPa (parametro minimo richiesto a 48h per il terreno trattato).

Condizioni idrogeologiche

Il carico idrostatico si considera non agente sulle opere in esame.

Modellazione degli elementi strutturali

Il calcestruzzo utilizzato per i rivestimenti definitivi della galleria naturale è stato modellato come un materiale elastico lineare. Questo modello rappresenta la legge di Hooke dell'elasticità isotropa lineare e richiede due parametri di rigidità elastici, che sono il modulo di Young E, ed il coefficiente di Poisson ν , pari a $E=31220$ MPa e $\nu=0.2$.

Per quanto riguarda i rivestimenti di prima fase si è provveduto ad omogenizzare le centine e lo spritz – beton ottenendo un modulo elastico ed uno spessore equivalente tramite la seguente formulazione:

$$E_{om} = \frac{\left[E_{sb} \cdot s + \left(\frac{E_{cen}}{E_{sb}} - 1 \right) \cdot E_{sb} \cdot \frac{A_{cen}}{d} \right]^{3/2}}{\sqrt{E_{sb} \cdot s^3 + 12 \cdot \left(\frac{E_{cen}}{E_{sb}} - 1 \right) \cdot E_{sb} \cdot \frac{I_{cen}}{d}}}$$

$$s_{om} = \sqrt{\frac{E_{sb} \cdot s^3 + 12 \cdot \left(\frac{E_{cen}}{E_{sb}} - 1 \right) \cdot E_{sb} \cdot \frac{I_{cen}}{d}}{E_{sb} \cdot s + \left(\frac{E_{cen}}{E_{sb}} - 1 \right) \cdot E_{sb} \cdot \frac{A_{cen}}{d}}}$$

Dove:

- E_{sb} Modulo elastico dello spritz beton impiegato
- E_{cen} Modulo elastico delle centine metalliche
- I_{cen} Modulo di inerzia delle centine metalliche
- A_{cen} Area delle centine metalliche
- s Spessore di spritz beton impiegato
- d Passo delle centine metalliche

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5101ECVNTGNSB00001A00 Foglio 23 di 55

Centina	IPN 160
n°	2.0
Passo [m]	1.2
E [Gpa]	210.0

Spritz - Beton	
E _{28gg} [Gpa]	20
Spessore [m]	0.2

Rivestimento Omogenizzato	E _{om}	S _{om}	EA	EI
	[Gpa]	[m]	[KN]	[KN*m ²]
	23.205	0.2035	4721969	16294

Nelle analisi numeriche i priverestimenti sono stati messi in opera ad una distanza pari alla metà dello sfondo massimo.

5.1.2 Taratura modelli di calcolo

Per simulare il progressivo allontanamento del fronte di scavo dalla sezione di verifica e la contemporanea posa in opera dei sostegni con un'analisi bidimensionale, è necessario introdurre numericamente l'"effetto fronte", rilassando progressivamente le forze di scavo.

L'introduzione del concetto di "effetto fronte" nel calcolo richiede la definizione di una legge di rilassamento del nucleo in grado di simulare il progressivo incremento della deformazione della cavità, con conseguente diminuzione della pressione esercitata sui rivestimenti. Tale concetto risulta adeguatamente espresso in termini analitici dalla curva $1-\lambda = \sigma_r/\sigma_0$ di Panet, che rappresenta in termini di sforzi radiali il passaggio dal comportamento tridimensionale a quello piano. L'adozione della sola curva λ , così come comunemente espressa quale criterio di riduzione delle caratteristiche elastiche e di resistenza del nucleo nel corso dell'analisi, non sempre produce i dovuti risultati tenso-deformativi, né per confronto con quanto ottenuto in base alla teoria delle Curve Caratteristiche o a simulazioni con modelli assialsimmetrici, né per confronto con quanto effettivamente rilevato in corso d'opera. Tale curva deve essere quindi tarata in funzione delle caratteristiche geomeccaniche del materiale, dello stato tensionale in sito e del criterio di rottura del materiale.

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

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

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

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

Si ha pertanto:

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5101ECVNTGNSB00001A00 Foglio 24 di 55

in cui il termine $\beta = (100\% - \text{Rid. } \%) / (100\% - R_{\text{PANET, fronte}}\%)$ tiene conto delle percentuali di riduzione residue, dopo il rilassamento del fronte.

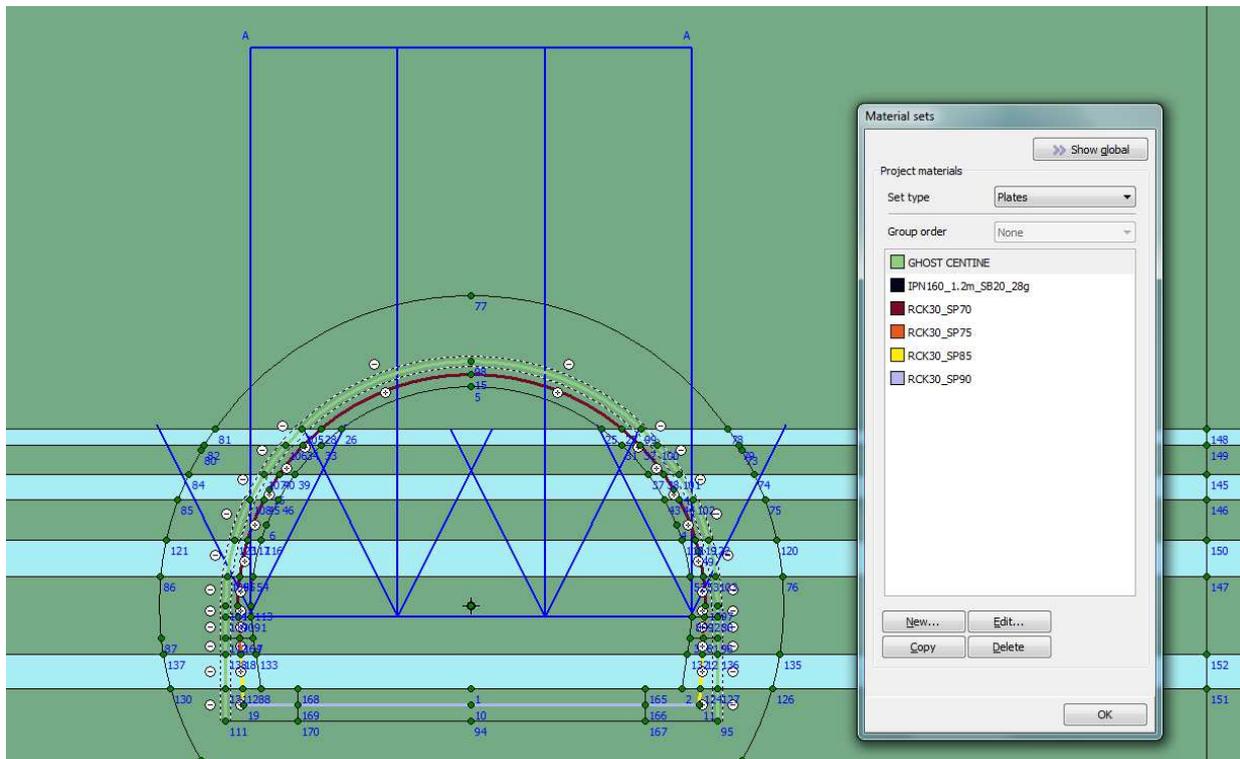
Tuttavia, date le basse coperture al limite di validità per quanto riguarda analisi mediante linee caratteristiche, non potendo effettuare una taratura precisa del modello, si è ritenuto cautelativamente opportuno effettuare la taratura dei modelli a partire dalla curva elastica di Panet $n_s=1$. I valori adottati nelle varie time per ogni sezione tipo sono riportati nella descrizione dei singoli modelli a cui si rimanda. Per rendere più comprensibile il confronto tra i tre modelli di calcolo si sono utilizzati gli stessi valori di M-Stage anche nella seconda fase di scavo, sebbene sia possibile in particolari contesti anticipare il getto di arco rovescio e murette per limitare i fenomeni deformativi.

5.2 Modello 1

Il terreno è stato modellato attraverso strati di terreno paralleli con una copertura in chiave calotta di circa 30m; in particolare si sono creati due strati superficiali per simulare la coltre superficiale e le alterazioni dei basalti di spessore rispettivamente pari a 2.5 e 7m, seguiti da uno strato di metabasalti caratterizzato dai parametri geomeccanici del Gruppo 1. All'interno di tale strato, come mostrato dalle indagini effettuate nell'area in esame, sono presenti all'altezza dello scavo della galleria dei livelli di materiale molto fratturato con spessori generalmente inferiori al metro. In questa prima analisi si è supposto che l'ammaloramento dell'ammasso interessasse unicamente tali livelli, ai quali vengono assegnati i parametri relativi al Gruppo Geomeccanico 3. Si sono inoltre inserite delle linee orizzontali, di lunghezza totale pari a 60m, alla quota di estradosso della calotta delle preesistenti gallerie autostradali e alla quota del piano dei centri, all'altezza delle quali saranno valutati i disturbi tensionali e deformativi indotti dallo scavo.

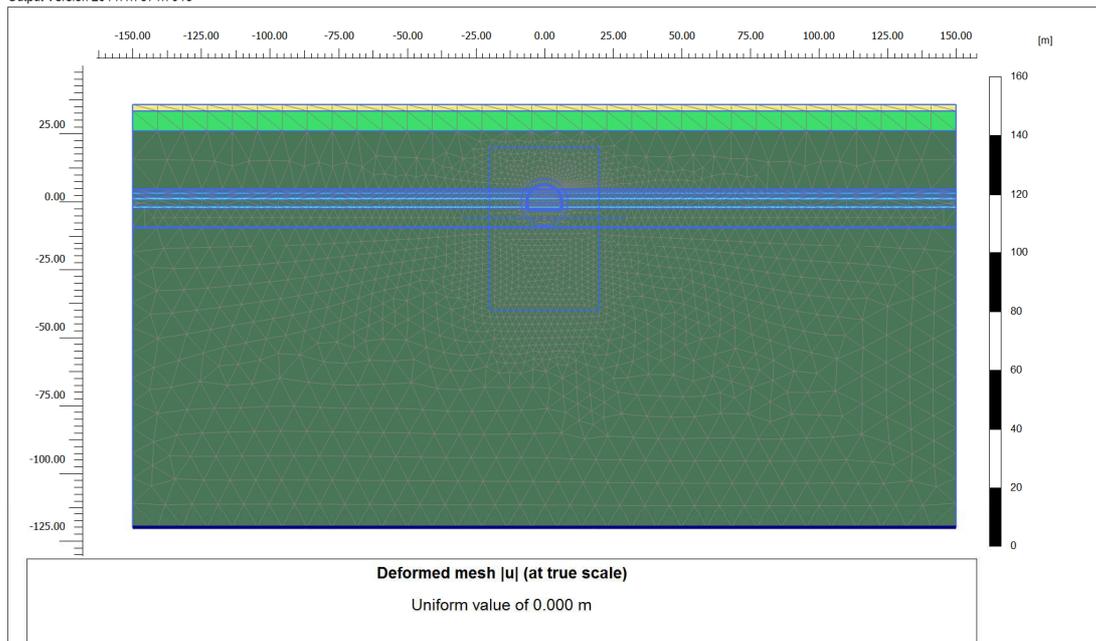
I rivestimenti di prima fase sono stati modellati tramite elementi beam disposti lungo l'estradosso della galleria, in modo da simulare l'omogenizzazione delle centine e del calcestruzzo proiettato variando la rigidità dell'elemento in funzione della maturazione dello spritz beton. Al contrario i rivestimenti definitivi sono stati modellati in base alla loro reale geometria; col fine di poter valutare le azioni interne, sono stati inseriti nella mezzera della sezione in calcestruzzo degli elementi beam di spessore variabile ed aventi una rigidità ridotta per un fattore pari a 10^{10} , in modo da non influenzare il calcolo numerico: i valori ottenuti sono quindi stati moltiplicati per tale coefficienti in modo da giungere alle azioni sollecitanti per il dimensionamento strutturale. Nella seguente tabella e nella successiva immagine sono mostrati gli spessori impiegati nel modello di calcolo.

Sezione	Spessori impiegati (cm)
Calotta	70
Murette e piedritti	75-85
Arco rovescio	90



E' stato inoltre inserito un carico distribuito in modo da simulare il metro di terreno presente nella prima fase di scavo rispetto alla quota alla quale verrà realizzata la giunzione delle centine. Si è utilizzato un modello di tipo *Plane strain* costituita da elementi a 15 nodi. Nel seguito si riporta quindi la mesh di calcolo utilizzata per la galleria naturale, costituita da n° 45843 nodi.

Output Version 2011.1.7671.7015



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5101ECVNTGNSB00001A00 Foglio 26 di 55

Le dimensioni della mesh di elementi finiti sono fissate in maniera tale da evitare che il problema in esame risulti influenzato dalle condizioni di vincolo al contorno. Per quanto concerne le condizioni di vincolo applicate, esse sono definite come “Standard fixities” all’interno del programma PLAXIS e constano essenzialmente in un doppio vincolo allo spostamento al contorno inferiore e spostamento orizzontale impedito alle posizioni laterali. La formulazione del vincolo laterale permette dunque lo sviluppo di tensioni normali di compressione ma non di tensioni di taglio agenti in direzione verticale. Tali tensioni sono invece generate al contorno inferiore.

Nel corso della prima fase dell’analisi numerica si è provveduto ad imporre al modello lo stato di sforzo esistente in sito prima dell’inizio dello scavo delle gallerie. Per quanto riguarda le condizioni iniziali denominate “Initial Phase” si fa riferimento alla “Procedura-K₀” implementata dal codice di calcolo PLAXIS. Il carico applicato in direzione verticale corrisponde al carico geostatico alle varie quote del modello. Il carico applicato in direzione orizzontale viene determinato in funzione del carico verticale, attraverso il coefficiente di spinta a riposo (K₀). Dato che tale procedura è utilizzata unicamente con lo scopo di creare le condizioni iniziali per l’analisi in corso, non si tratta di una reale fase di calcolo; al termine di tale procedura non è infatti generato alcun quadro deformativo.

L’analisi si basa su una successione di fasi di calcolo (PHASE), che permettono di descrivere i differenti interventi costruttivi e di schematizzare le differenti condizioni di carico.

5.2.1 Fasi di calcolo

LAVORO COGIV - TRATTA AV/AC TERZO VALICO DEI GIOVI		Copertura 30			
Modello INTERFERENZA CON A10 - MOD.1		Litotipo Metabasalti, GR1/GR3			
		INIZIO STAGE		FINE STAGE	
TIME	DESCRIZIONE	Xfronte [m]	R(FEM)	Xfronte [m]	R(FEM)
Phase 1	Geostatico	-∞	0%	-∞	0%
Phase 2	Avanzamento mezzo sfondo a mezza sezione	0	0%	1.2	68%
Phase 3	Installazione prriverstimento e avanzamento	1.2	68%	+∞	100%
Phase 4	Completamento scavo galleria	0	0%	0.5	42%
Phase 5	Completamento prriverstimento e avanzamento	0.5	42%	≈ 2 diametri	96%
Phase 6	Getto arco rovescio e murette e avanzamento	≈ 2 diametri	96%	≈ 4 diametri	99.0%
Phase 7	Getto calotte	≈ 4 diametri	99%	+∞	100.0%

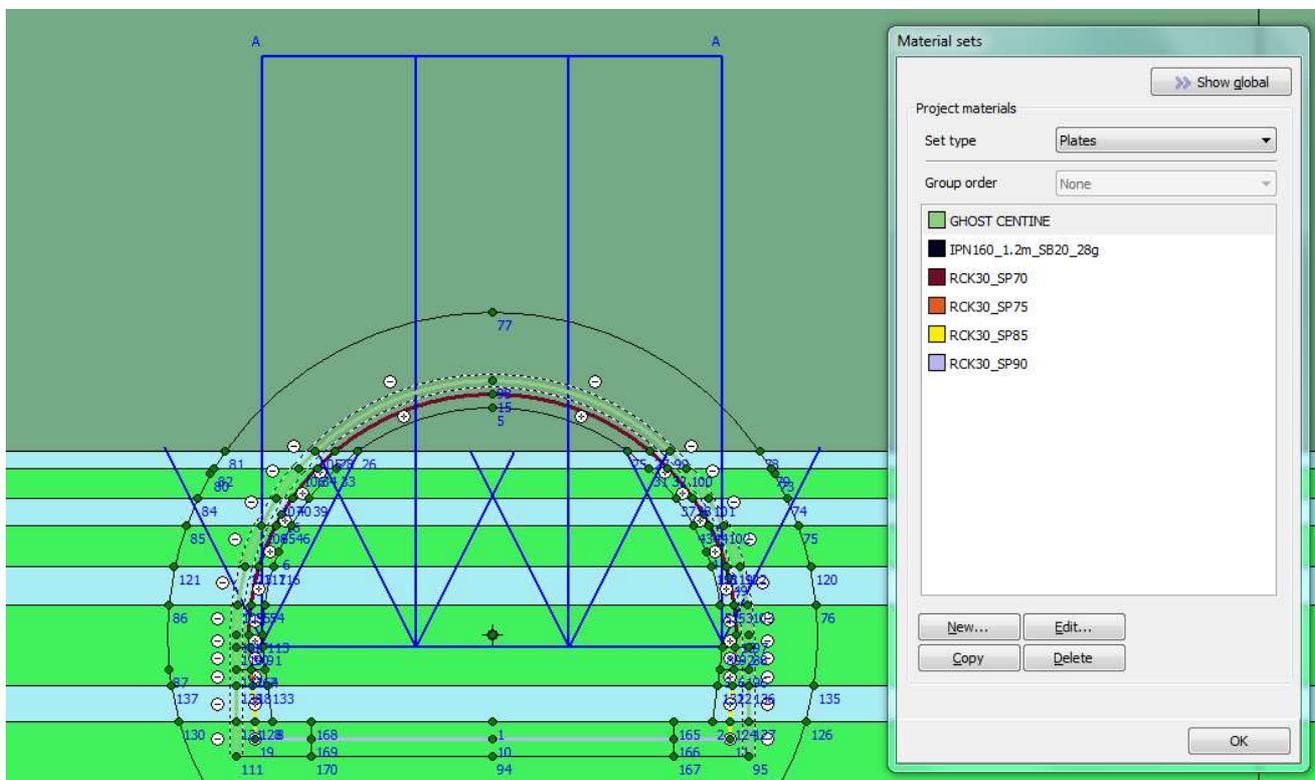
5.3 Modello 2

Il terreno è stato modellato attraverso strati di terreno paralleli con una copertura in chiave calotta di circa 30m; in particolare si sono creati due strati superficiali per simulare la coltre superficiale e le alterazioni dei basalti di spessore rispettivamente pari a 2.5 e 7m, seguiti da uno strato di metabasalti caratterizzato dai parametri geomeccanici del Gruppo 1. All’interno di tale strato, come mostrato dalle indagini effettuate nell’area in esame, sono presenti all’altezza dello scavo della galleria dei livelli di materiale molto fratturato con spessori generalmente inferiori al metro ai quali sono stati assegnati i parametri del Gruppo Geomeccanico 3. Si è quindi effettuata l’ipotesi per la quale interposto tra i livelli molto fratturati non vi sia un materiale perfettamente integro e si sono di

conseguenza assegnati a tali strati i valori geomeccanici caratterizzanti il Gruppo 2. Si sono inoltre inserite delle linee orizzontale, di lunghezza totale pari a 60m, alla quota di estradosso della calotta delle preesistenti gallerie autostradali e alla quota del piano dei centri, all'altezza delle quali saranno valutati i disturbi tensionali e deformativi indotti dallo scavo.

I rivestimenti di prima fase sono stati modellati tramite elementi beam disposti lungo l'estradosso della galleria, in modo da simulare l'omogenizzazione delle centine e del calcestruzzo proiettato variando la rigidità dell'elemento in funzione della maturazione dello spritz beton. Al contrario i rivestimenti definitivi sono stati modellati in base alla loro reale geometria; col fine di poter valutare le azioni interne, sono stati inseriti nella mezzeria della sezione in calcestruzzo degli elementi beam di spessore variabile ed aventi una rigidità ridotta per un fattore pari a 10^{10} , in modo da non influenzare il calcolo numerico: i valori ottenuti sono quindi stati moltiplicati per tale coefficienti in modo da giungere alle azioni sollecitanti per il dimensionamento strutturale. Nella seguente tabella e nella successiva immagine sono mostrati gli spessori impiegati nel modello di calcolo.

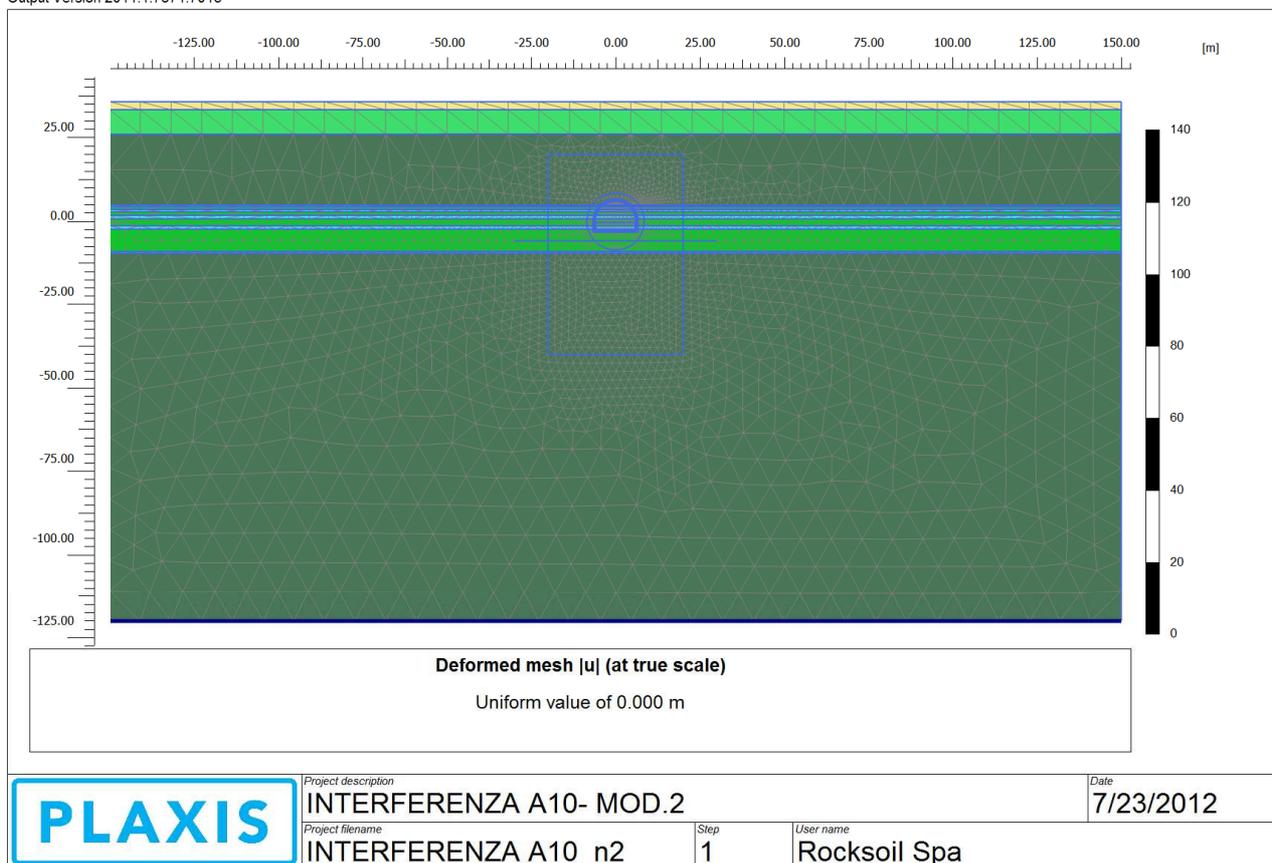
Sezione	Spessori impiegati (cm)
Calotta	70
Murette e piedritti	75-85
Arco rovescio	90



E' stato inoltre inserito un carico distribuito in modo da simulare il metro di terreno presente nella prima fase di scavo rispetto alla quota alla quale verrà realizzata la giunzione delle centine. Si è

utilizzato un modello di tipo *Plane strain* costituita da elementi a 15 nodi. Nel seguito si riporta quindi la mesh di calcolo utilizzata per la galleria naturale, costituita da n° 45843 nodi.

Output Version 2011.1.7671.7015



Le dimensioni della mesh di elementi finiti sono fissate in maniera tale da evitare che il problema in esame risulti influenzato dalle condizioni di vincolo al contorno. Per quanto concerne le condizioni di vincolo applicate, esse sono definite come “Standard fixities” all’interno del programma PLAXIS e constano essenzialmente in un doppio vincolo allo spostamento al contorno inferiore e spostamento orizzontale impedito alle posizioni laterali. La formulazione del vincolo laterale permette dunque lo sviluppo di tensioni normali di compressione ma non di tensioni di taglio agenti in direzione verticale. Tali tensioni sono invece generate al contorno inferiore.

Nel corso della prima fase dell’analisi numerica si è provveduto ad imporre al modello lo stato di sforzo esistente in sito prima dell’inizio dello scavo delle gallerie. Per quanto riguarda le condizioni iniziali denominate “Initial Phase” si fa riferimento alla “Procedura-K₀” implementata dal codice di calcolo PLAXIS. Il carico applicato in direzione verticale corrisponde al carico geostatico alle varie quote del modello. Il carico applicato in direzione orizzontale viene determinato in funzione del carico verticale, attraverso il coefficiente di spinta a riposo (K₀). Dato che tale procedura è utilizzata unicamente con lo scopo di creare le condizioni iniziali per l’analisi in corso, non si tratta di una reale fase di calcolo; al termine di tale procedura non è infatti generato alcun quadro deformativo.

L’analisi si basa su una successione di fasi di calcolo (PHASE), che permettono di descrivere i differenti interventi costruttivi e di schematizzare le differenti condizioni di carico.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
IG5101ECVNTGNSB00001A00		Foglio 29 di 55

5.3.1 Fasi di calcolo

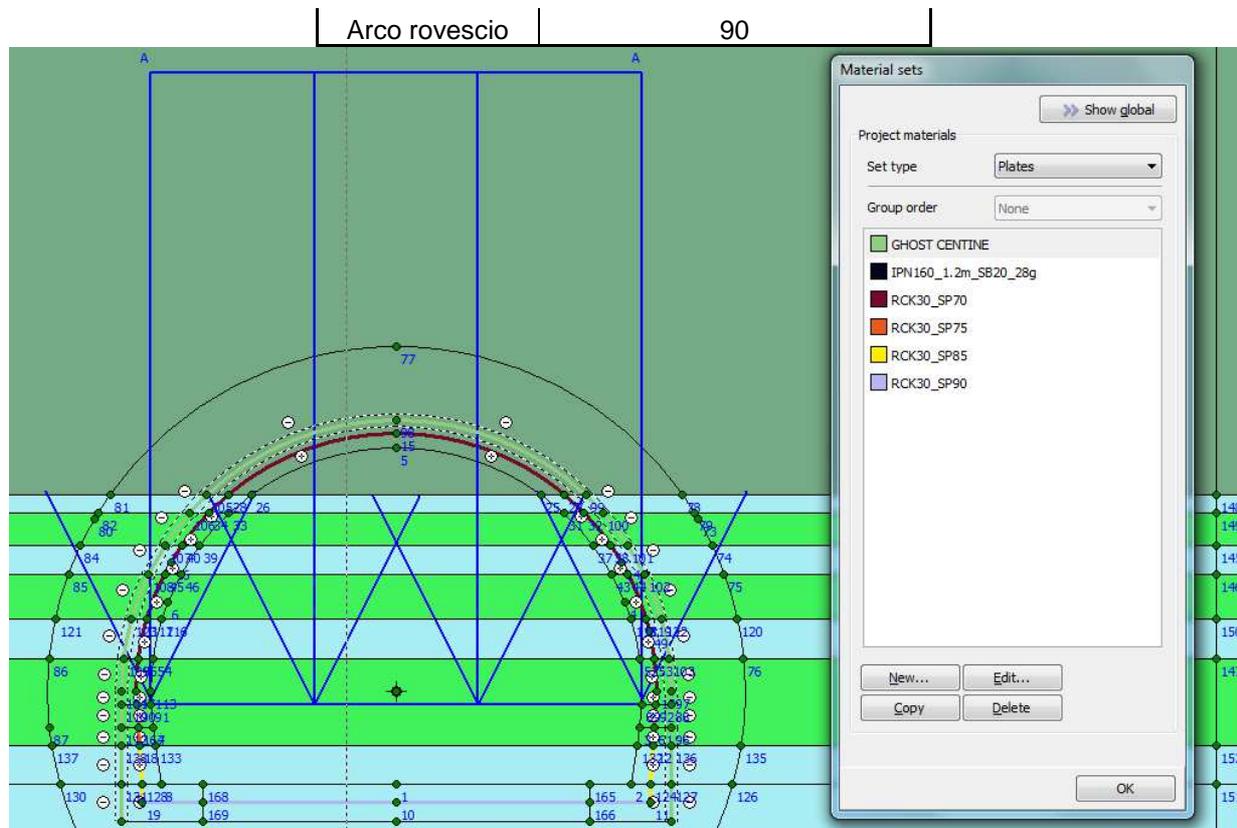
LAVORO	COGIV - TRATTA AV/AC TERZO VALICO DEI GIOVI	Copertura	30		
Modello	INTERFERENZA CON A10 - MOD.2	Litotipo	Metabasalti, GR2/GR3		
		INIZIO STAGE		FINE STAGE	
TIME	DESCRIZIONE	Xfronte [m]	R(FEM)	Xfronte [m]	R(FEM)
Phase 1	Geostatico	-∞	0%	-∞	0%
Phase 2	Avanzamento mezzo sfondo a mezza sezione	0	0%	1.2	68%
Phase 3	Installazione prerivestimento e avanzamento	1.2	68%	+∞	100%
Phase 4	Completamento scavo galleria	0	0%	0.5	42%
Phase 5	Completamento prerivestimento e avanzamento	0.5	42%	≈ 2 diametri	96%
Phase 6	Getto arco rovescio e murette e avanzamento	≈ 2 diametri	96%	≈ 4 diametri	99.0%
Phase 7	Getto calotte	≈ 4 diametri	99%	+∞	100.0%

5.4 Modello 3

Il terreno è stato modellato attraverso strati di terreno paralleli con una copertura in chiave calotta di circa 30m; in particolare si sono creati due strati superficiali per simulare la coltre superficiale e le alterazioni dei basalti di spessore rispettivamente pari a 2.5 e 7m, seguiti da uno strato di metabasalti caratterizzato dai parametri geomeccanici del Gruppo 1. All'interno di tale strato, come mostrato dalle indagini effettuate nell'area in esame, sono presenti all'altezza dello scavo della galleria dei livelli di materiale molto fratturato con spessori generalmente inferiori al metro. Si è quindi effettuata l'ipotesi più cautelativa, ovvero che nella zona inferiore dello scavo sia presente un unico strato di materiale molto fratturato che si estende in tutta la zona interposta tra la galleria in costruzione e quelle autostradali preesistenti, al quale si assegnano i valori geomeccanici relativi al Gruppo Geomeccanico 2. Tale area, una volta effettuato lo scavo a mezza sezione, verrà consolidato col fine di limitare i disturbi sulle gallerie autostradali nelle successive fasi di completamento della struttura. Si sono inoltre inserite delle linee orizzontali, di lunghezza totale pari a 60m, alla quota di estradosso della calotta delle preesistenti gallerie autostradali e alla quota del piano dei centri, all'altezza delle quali saranno valutati i disturbi tensionali e deformativi indotti dallo scavo.

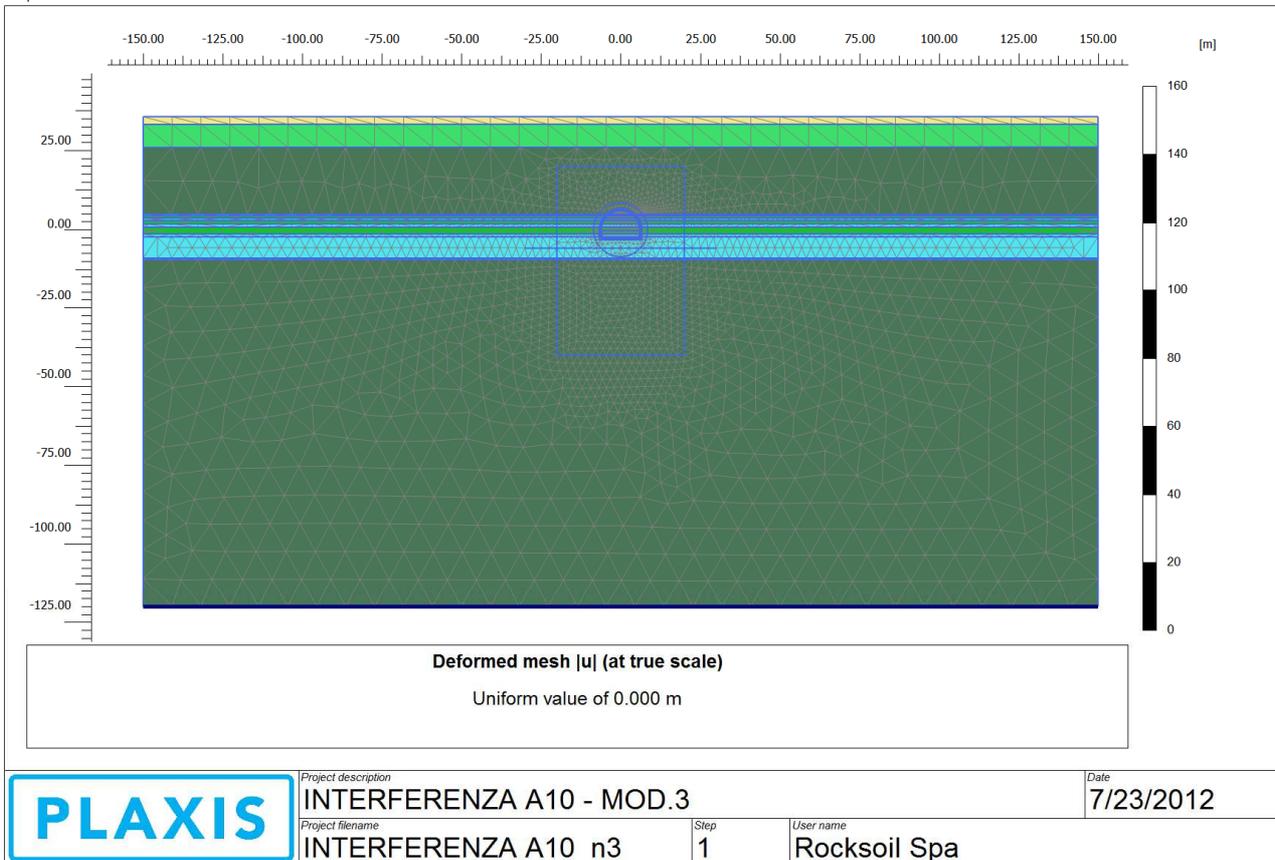
I rivestimenti di prima fase sono stati modellati tramite elementi beam disposti lungo l'estradosso della galleria, in modo da simulare l'omogenizzazione delle centine e del calcestruzzo proiettato variando la rigidità dell'elemento in funzione della maturazione dello spritz beton. Al contrario i rivestimenti definitivi sono stati modellati in base alla loro reale geometria; col fine di poter valutare le azioni interne, sono stati inseriti nella mezzera della sezione in calcestruzzo degli elementi beam di spessore variabile ed aventi una rigidità ridotta per un fattore pari a 10^{10} , in modo da non influenzare il calcolo numerico: i valori ottenuti sono quindi stati moltiplicati per tale coefficienti in modo da giungere alle azioni sollecitanti per il dimensionamento strutturale. Nella seguente tabella e nella successiva immagine sono mostrati gli spessori impiegati nel modello di calcolo.

Sezione	Spessori impiegati (cm)
Calotta	70
Murette e piedritti	75-85



E' stato inoltre inserito un carico distribuito in modo da simulare il metro di terreno presente nella prima fase di scavo rispetto alla quota alla quale verrà realizzata la giunzione delle centine. Si è utilizzato un modello di tipo *Plane strain* costituita da elementi a 15 nodi. Nel seguito si riporta quindi la mesh di calcolo utilizzata per la galleria naturale, costituita da n° 50039 nodi.

Output Version 2011.1.7671.7015



Le dimensioni della mesh di elementi finiti sono fissate in maniera tale da evitare che il problema in esame risulti influenzato dalle condizioni di vincolo al contorno. Per quanto concerne le condizioni di vincolo applicate, esse sono definite come “Standard fixities” all’interno del programma PLAXIS e constano essenzialmente in un doppio vincolo allo spostamento al contorno inferiore e spostamento orizzontale impedito alle posizioni laterali. La formulazione del vincolo laterale permette dunque lo sviluppo di tensioni normali di compressione ma non di tensioni di taglio agenti in direzione verticale. Tali tensioni sono invece generate al contorno inferiore.

Nel corso della prima fase dell’analisi numerica si è provveduto ad imporre al modello lo stato di sforzo esistente in sito prima dell’inizio dello scavo delle gallerie. Per quanto riguarda le condizioni iniziali denominate “Initial Phase” si fa riferimento alla “Procedura-K₀” implementata dal codice di calcolo PLAXIS. Il carico applicato in direzione verticale corrisponde al carico geostatico alle varie quote del modello. Il carico applicato in direzione orizzontale viene determinato in funzione del carico verticale, attraverso il coefficiente di spinta a riposo (K₀). Dato che tale procedura è utilizzata unicamente con lo scopo di creare le condizioni iniziali per l’analisi in corso, non si tratta di una reale fase di calcolo; al termine di tale procedura non è infatti generato alcun quadro deformativo.

L’analisi si basa su una successione di fasi di calcolo (PHASE), che permettono di descrivere i differenti interventi costruttivi e di schematizzare le differenti condizioni di carico.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG5101ECVNTGNSB00001A00 Foglio 32 di 55

5.4.1 Fasi di calcolo

COGIV - TRATTA AV/AC TERZO VALICO DEI GIOVI		Copertura		30	
Modello INTERFERENZA CON A10 - MOD.3		Litotipo		Metabasalti, GR3	
		INIZIO STAGE		FINE STAGE	
TIME	DESCRIZIONE	Xfronte [m]	R(FEM)	Xfronte [m]	R(FEM)
Phase 0	Initial phase	-∞	0%	-∞	0%
Phase 1	Esecuzione consolidamento inclinato	-∞	0%	0	0%
Phase 2	Avanzamento mezzo sfondo a mezza sezione	0	0%	1.2	68%
Phase 3	Installazione prriverstimento e avanzamento	1.2	68%	9	90%
Phase 4	Esecuzione consolidamento inclinato	9	0.9	+∞	100%
Phase 5	Completamento scavo galleria	0	0%	0.5	42%
Phase 6	Completamento prriverstimento e avanzamento	0.5	42%	≈ 2 diametri	96%
Phase 7	Getto arco rovescio e murette e avanzamento	≈ 2 diametri	96%	≈ 4 diametri	99.0%
Phase 8	Getto calotte	≈ 4 diametri	99%	+∞	100.0%

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG5101ECVNTGNSB00001A00 Foglio 33 di 55

6. RISULTATI DELLE ANALISI

6.1 Disturbi indotti sulle gallerie pre-esistenti

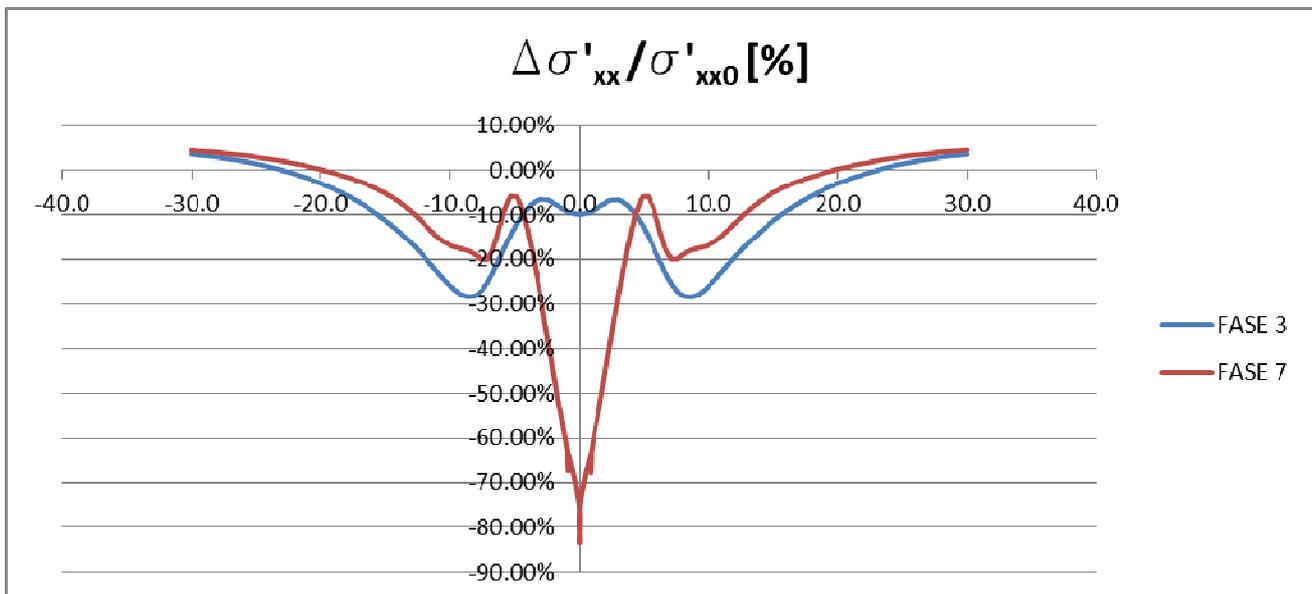
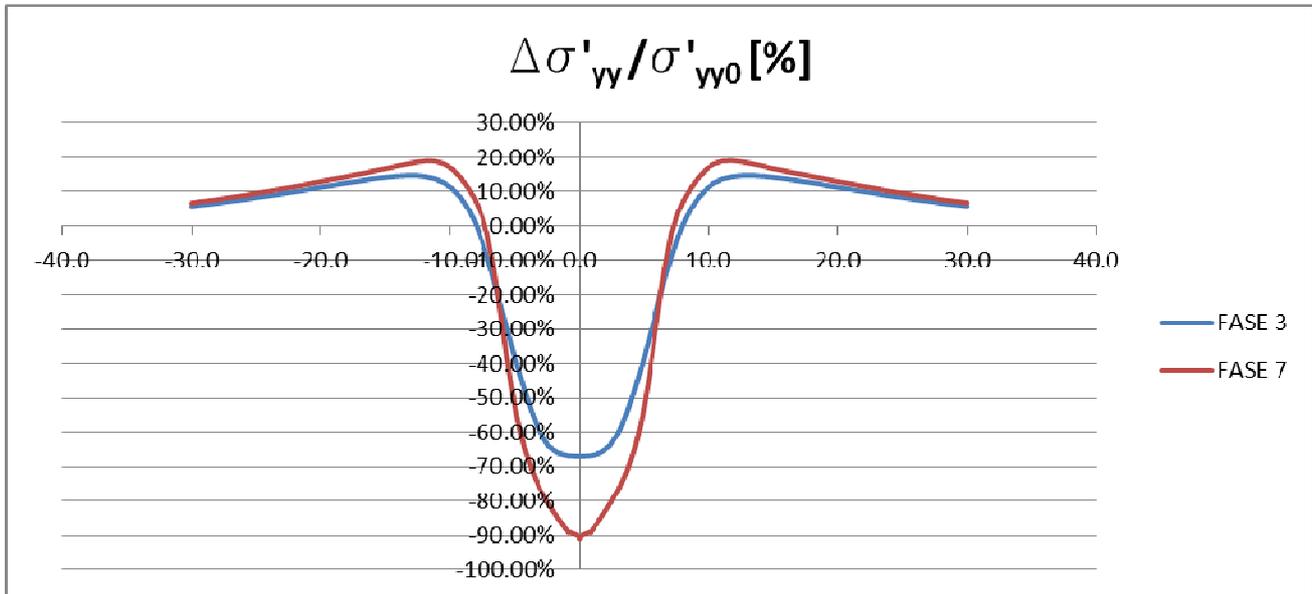
Le analisi numeriche sono state condotte con l'obiettivo di definire il quadro deformativo e tensionale indotto dallo scavo della galleria riguardante la Nuova viabilità nella tratta Borzoli-Erzelli sulle preesistenti gallerie autostradali. I risultati riportati nel seguito sono stati valutati effettuando delle cross-section all'altezza della linea orizzontale inserita nei modelli di calcolo alla quota di estradosso di calotta e del piano dei centri delle gallerie preesistenti e sono riferiti alla fase 3 (completamento dello scavo a mezza sezione) e all'ultima fase di calcolo. I risultati tensionali saranno mostrati in termini di variazioni percentuali rispetto allo stato sollecitativo iniziale, avendo indicato con il segno negativo i detensionamenti indotti, mentre con segno positivo verranno indicati gli incrementi dello stato sollecitativo.

6.1.1 Modello 1

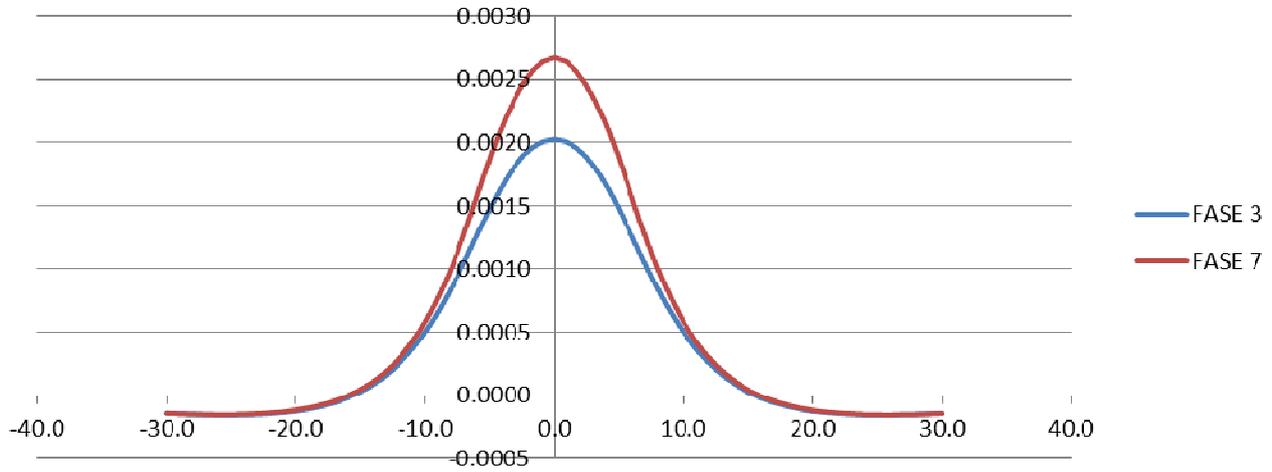
Il modello 1, per il quale è stata effettuata l'ipotesi migliore che si potrà verificare (ovvero che il materiale interposto ai livelli fratturati fosse assimilabile al Gruppo geomeccanico 1) ha mostrato alla quota della calotta uno scarico tensionale pari a circa 1MPa in direzione verticale in corrispondenza dell'asse, mentre attorno ai dieci metri di distanza dall'asse si ottiene il massimo dell'incremento tensionale, pari a circa il 20% della sollecitazione iniziale, fenomeno che tende poi a diminuire per distanze superiori. Per quanto riguarda le sollecitazioni orizzontali l'incremento tensionale massimo rispetto alla configurazione iniziale è assai limitato (<5%) ed avviene ad una distanza di circa 30m dall'asse. Considerando gli spostamenti in direzione verticale, questi risultano molto limitati (dell'ordine di 2mm) a seguito dello scavo, e tale fenomeno si esaurisce a partire da una distanza di circa 10m dall'asse galleria. Gli spostamenti orizzontali risultano di entità tale da essere considerati ininfluenti.

Per quanto riguarda i punti posti alla quota del piano dei centri della galleria autostradale, l'andamento tensionale riscontrato è il medesimo ma gli effetti risultano di valore circa pari alla metà di quelli valutati in calotta.

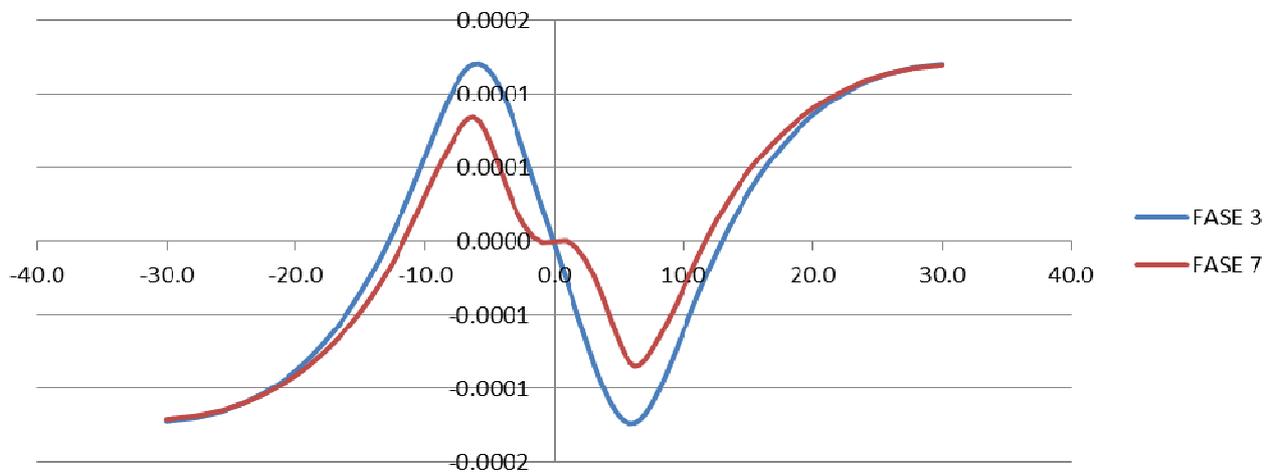
QUOTA DI CALOTTA DELLA GALLERIA AUTOSTRADALE



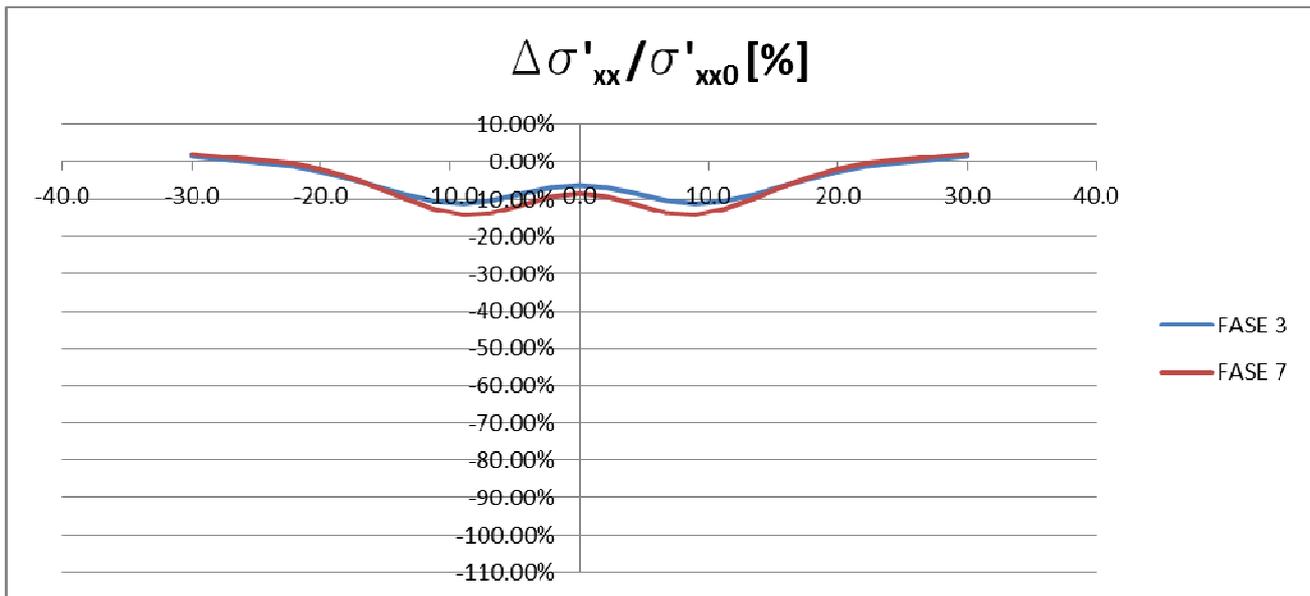
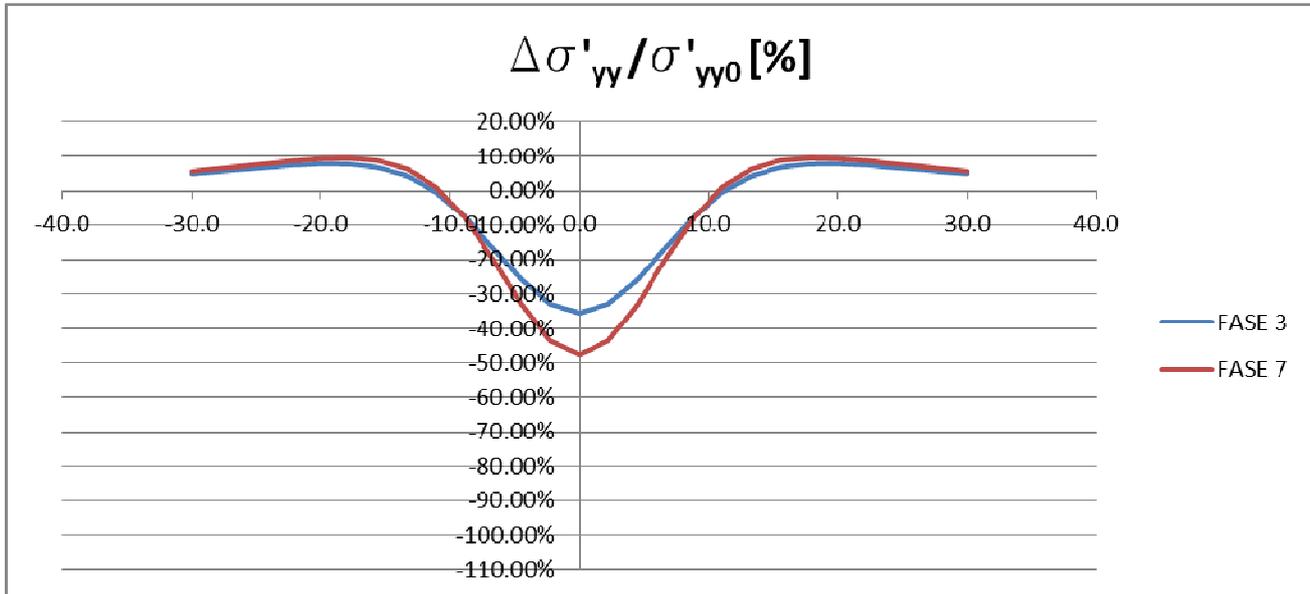
Spostamento verticale [m]



Spstamento orizzontale [m]



QUOTA DEL PIANO DEI CENTRI DELLA GALLERIA AUTOSTRADALE



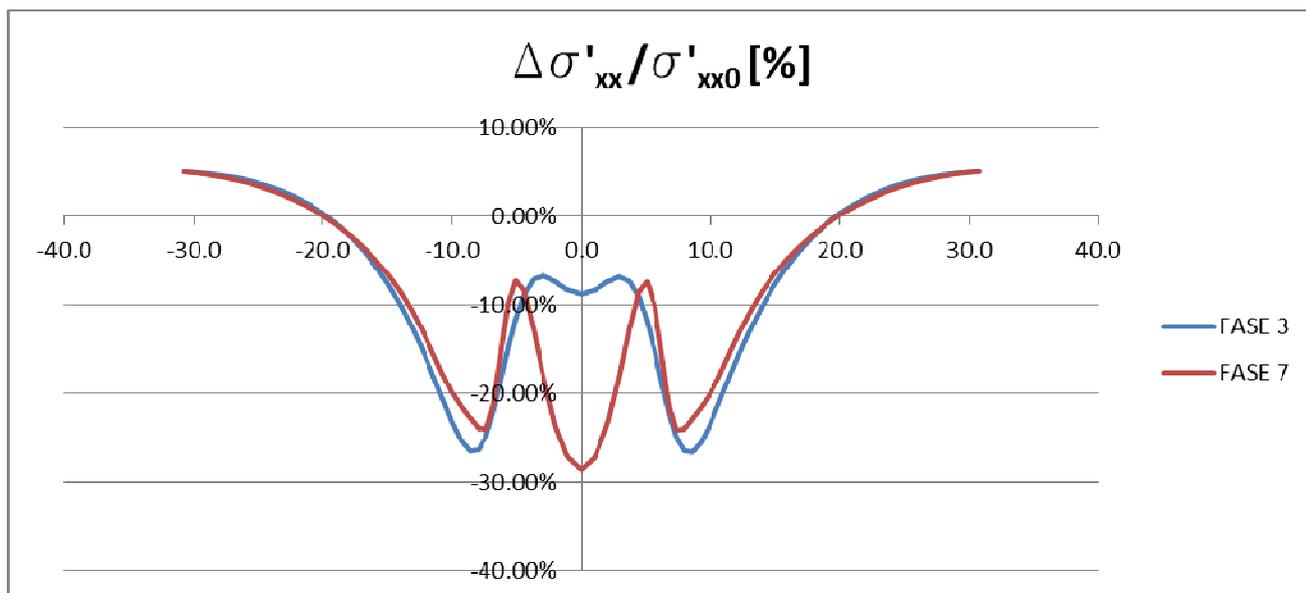
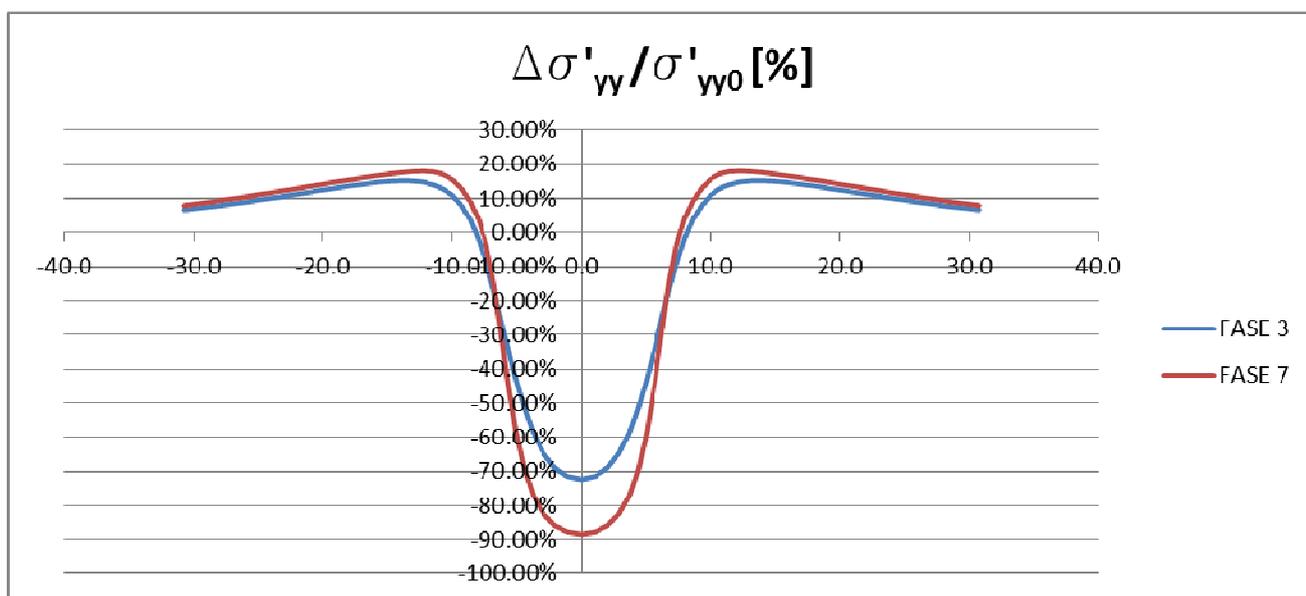
6.1.2 Modello 2

Il modello 2 ha mostrato uno scarico tensionale anch'esso pari a circa 1MPa in direzione verticale in corrispondenza dell'asse, mentre attorno ai dodici metri di distanza dall'asse si ottiene il massimo dell'incremento tensionale, pari a circa il 20% della sollecitazione iniziale, fenomeno che tende poi a diminuire per distanze superiori. Per quanto riguarda le sollecitazioni orizzontali l'incremento tensionale massimo rispetto alla configurazione iniziale è assai limitato (<5%) ed avviene ad una distanza di circa 30m dall'asse. considerando gli spostamenti in direzione verticale, questi risultano limitati a circa 3-4mm a seguito dello scavo, e tale fenomeno si esaurisce a partire da una distanza

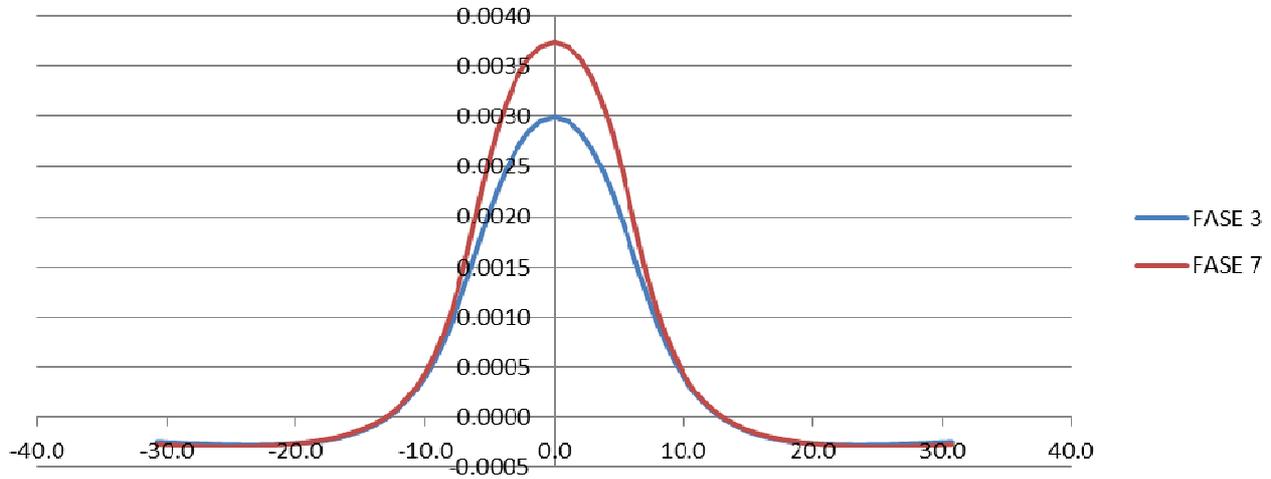
di circa 10m dall'asse galleria. Gli spostamenti orizzontali, inferiori al millimetro, sono considerati ininfluenti.

Per quanto riguarda i punti posti alla quota del piano dei centri della galleria autostradale, l'andamento tensionale riscontrato è il medesimo ma gli effetti risultano di valore circa pari alla metà di quelli valutati in calotta.

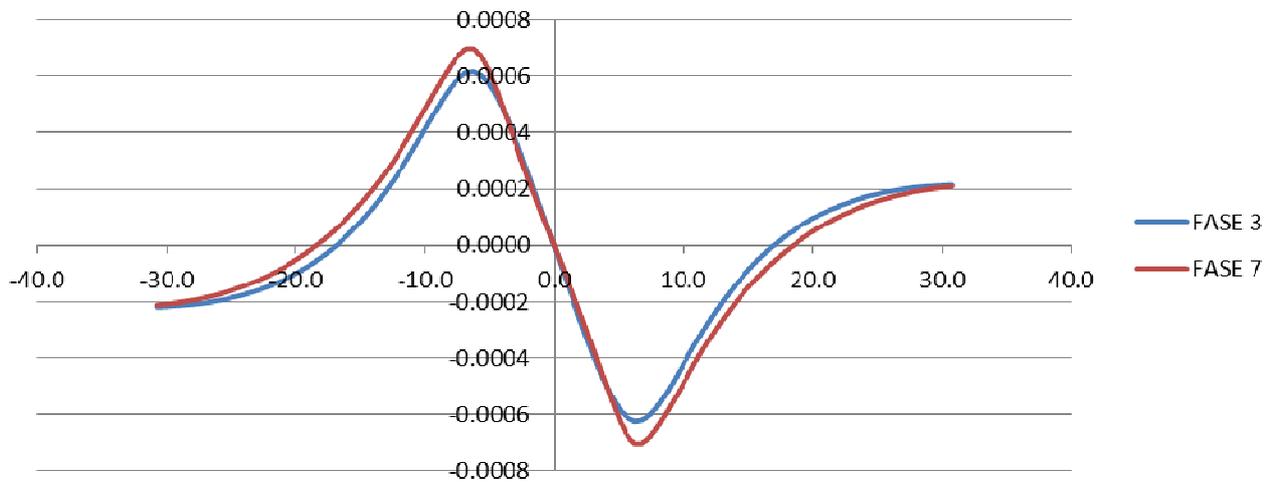
QUOTA DI CALOTTA DELLA GALLERIA AUTOSTRADALE



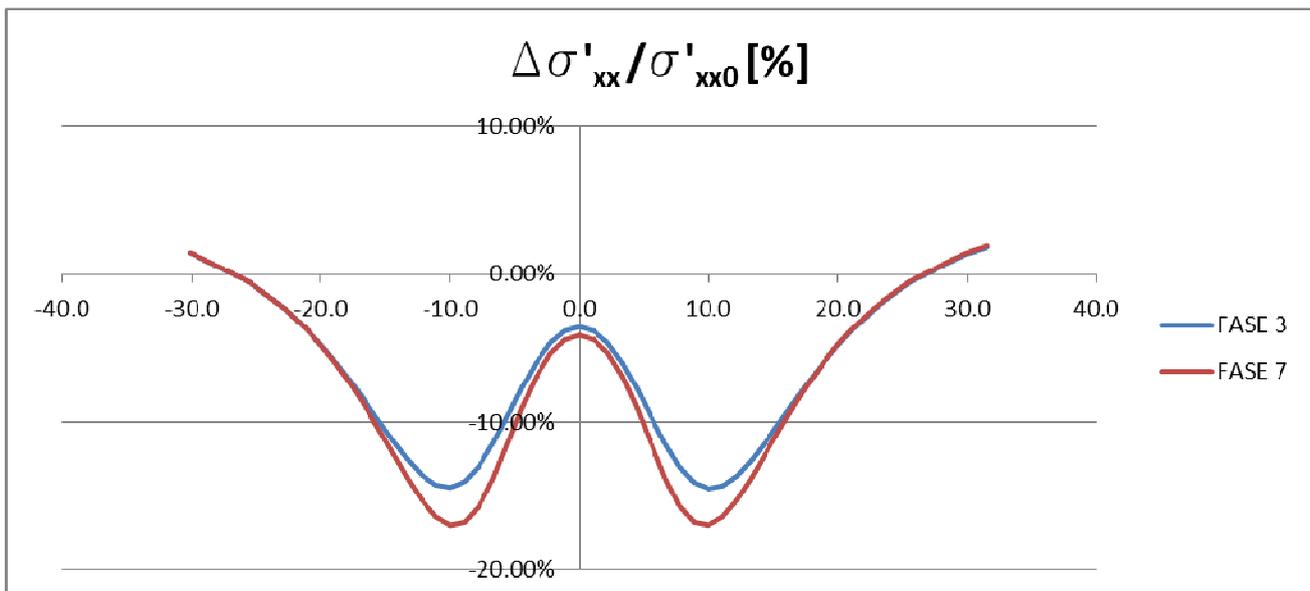
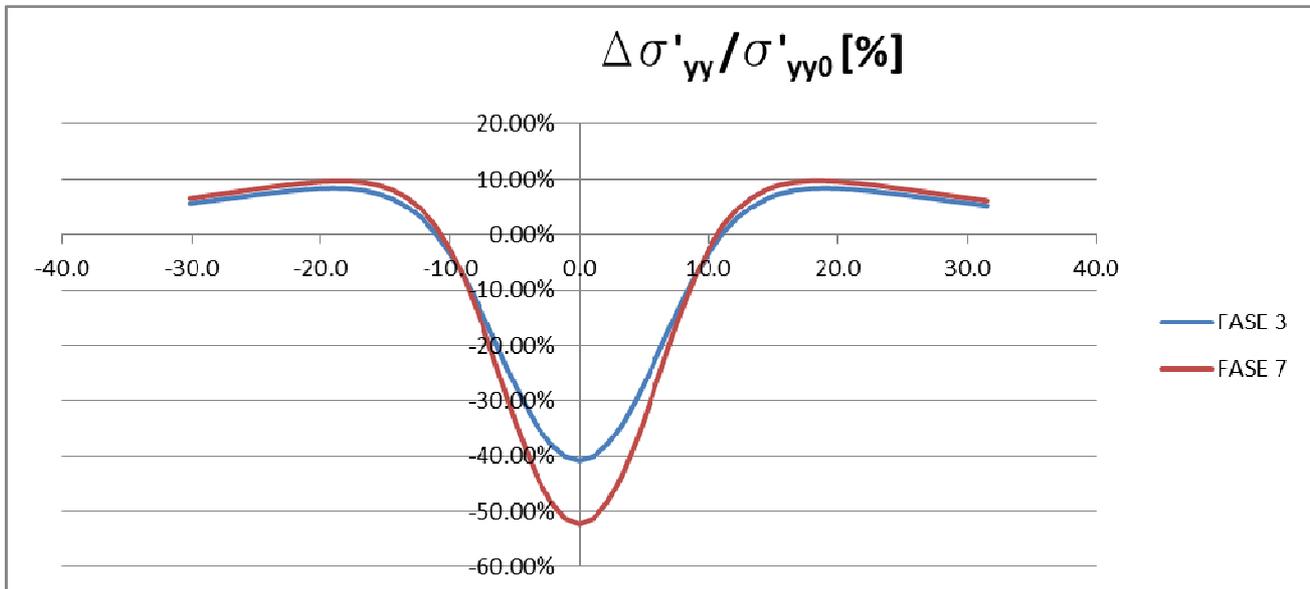
Spostamento verticale [m]



Spostamento orizzontale [m]



QUOTA DEL PIANO DEI CENTRI DELLA GALLERIA AUTOSTRADALE



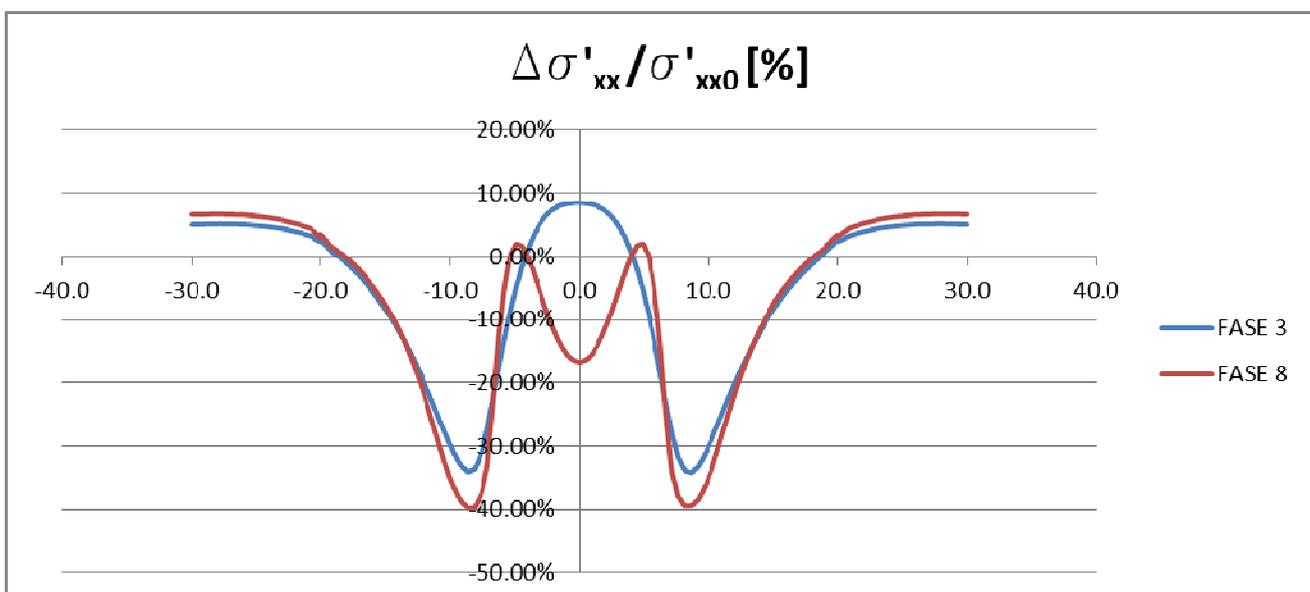
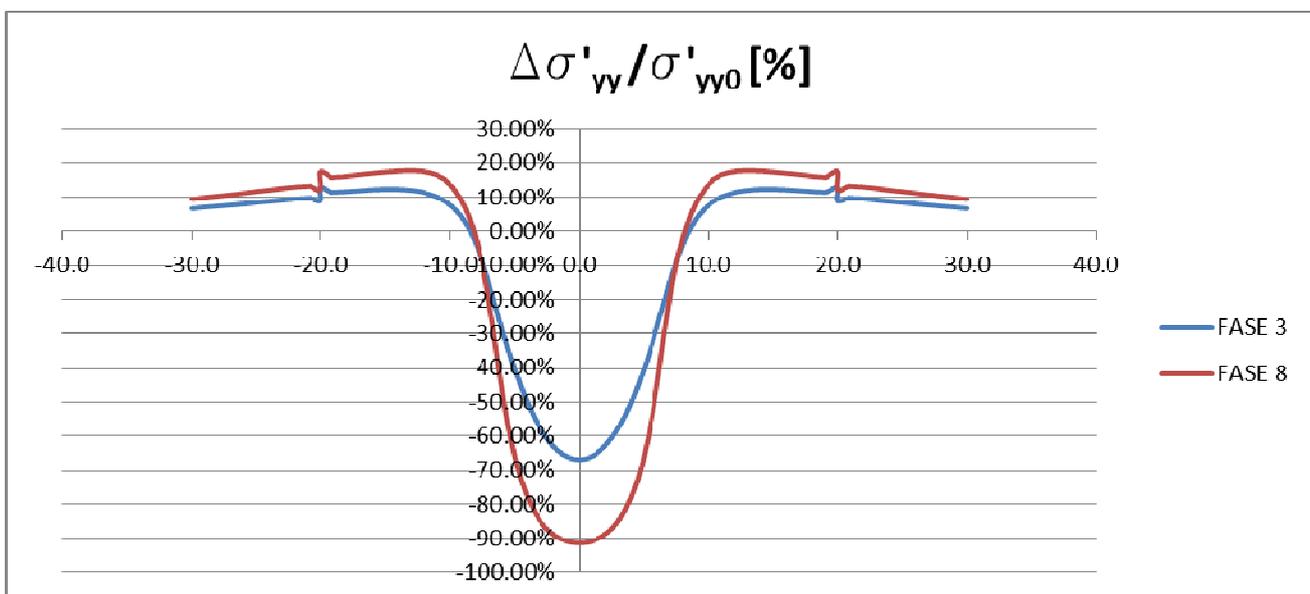
6.1.3 Modello 3

In virtù del consolidamento effettuato, pur considerando l'ipotesi stratigrafica più cautelativa, anche nel terzo modello di calcolo si registrano fenomeni deformativi inferiori al centimetro ed un incremento massimo del livello tensionale inferiore al 20%, valore comparabile a quanto registrato negli altri modelli. Il modello 3 ha infatti mostrato uno scarico tensionale pari a circa 1MPa in direzione verticale in corrispondenza dell'asse, mentre attorno ai dieci metri di distanza dall'asse si ottiene il massimo dell'incremento tensionale, pari a circa il 18% della sollecitazione iniziale, fenomeno che tende poi a diminuire per distanze superiori. Per quanto riguarda le sollecitazioni

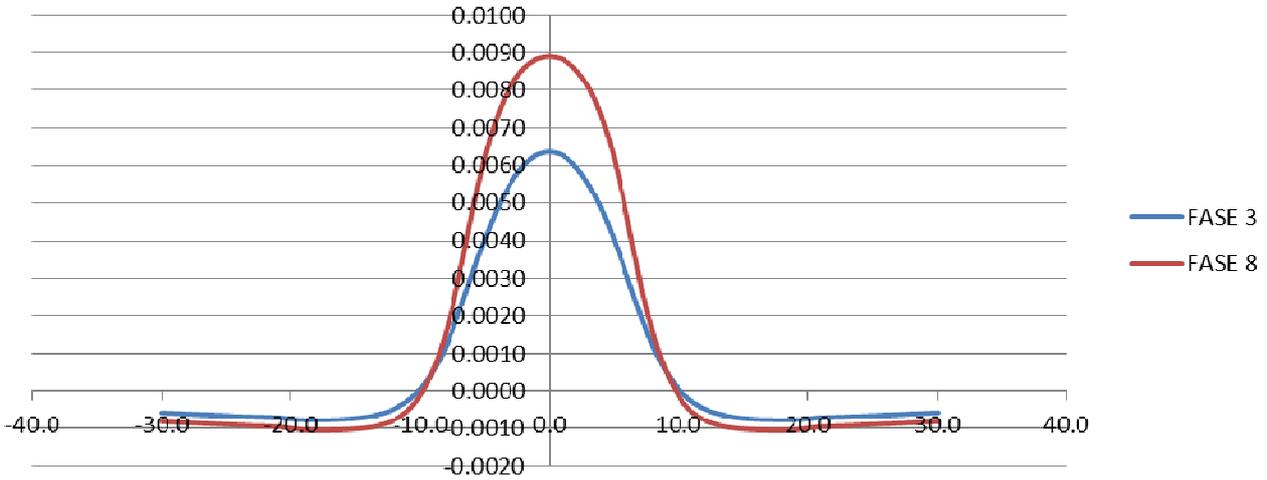
orizzontali l'incremento tensionale massimo rispetto alla configurazione iniziale è assai limitato (circa pari al 5%) ed avviene ad una distanza di circa 30m dall'asse. Per quanto riguarda gli spostamenti in direzione orizzontale, questi risultano prossimi ai circa 9 mm a seguito dello scavo, e tale fenomeno si esaurisce a partire da una distanza di circa 10m dall'asse galleria. Gli spostamenti orizzontali risultano di ordine millimetrico.

Per quanto riguarda i punti posti alla quota del piano dei centri della galleria autostradale, l'andamento tensionale riscontrato è il medesimo, ma gli effetti risultano di valore circa pari al 60% quelli valutati in calotta.

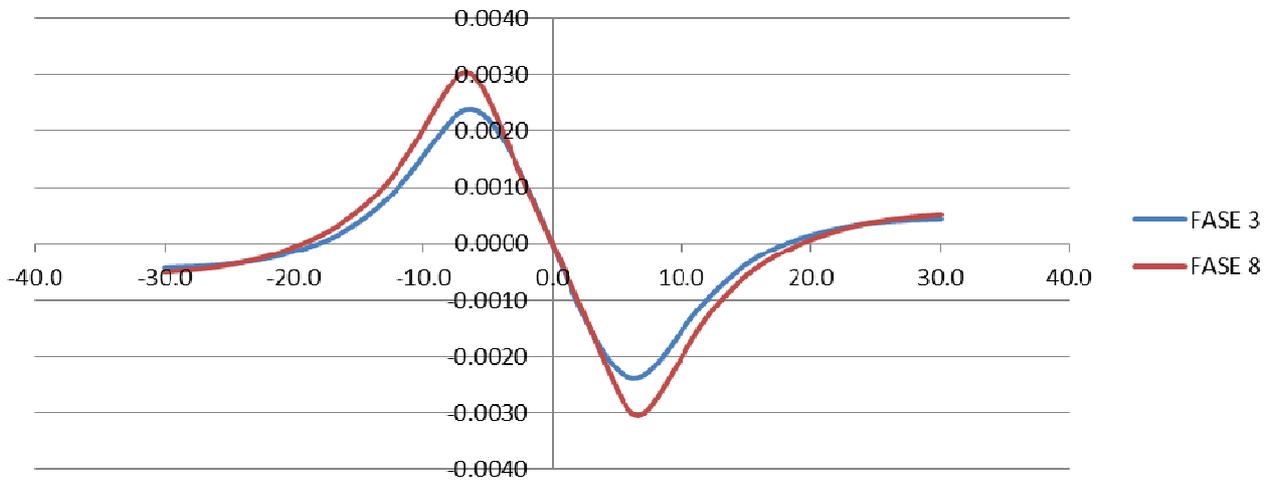
QUOTA DI CALOTTA DELLA GALLERIA AUTOSTRADALE



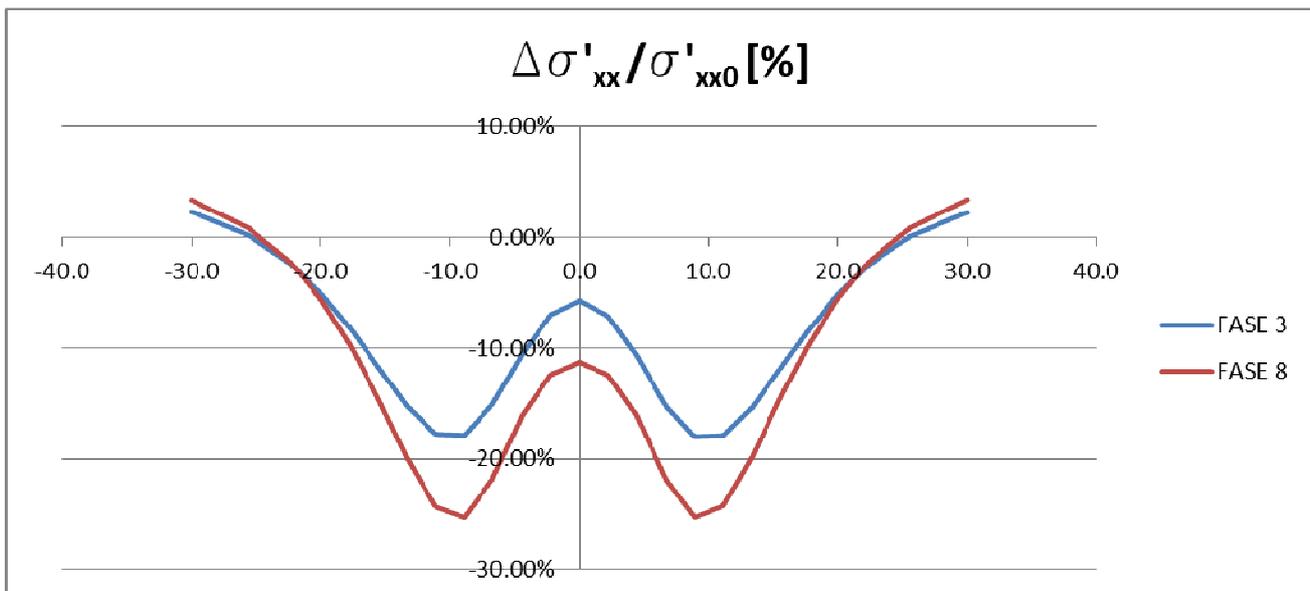
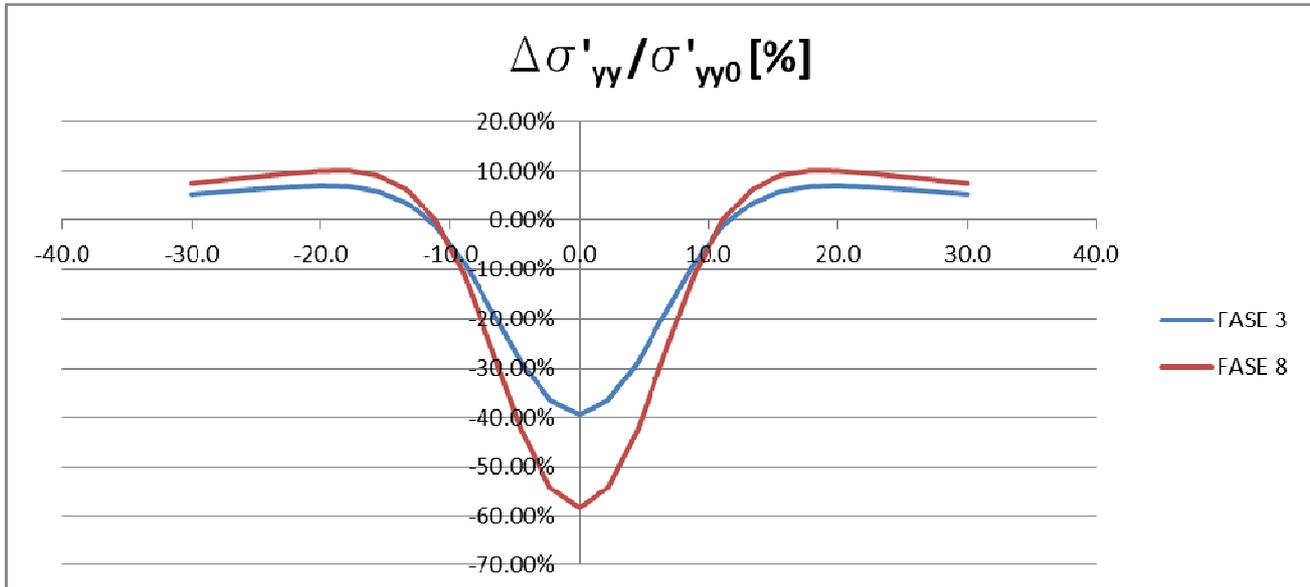
Spostamento verticale [m]



Spostamento orizzontale [m]

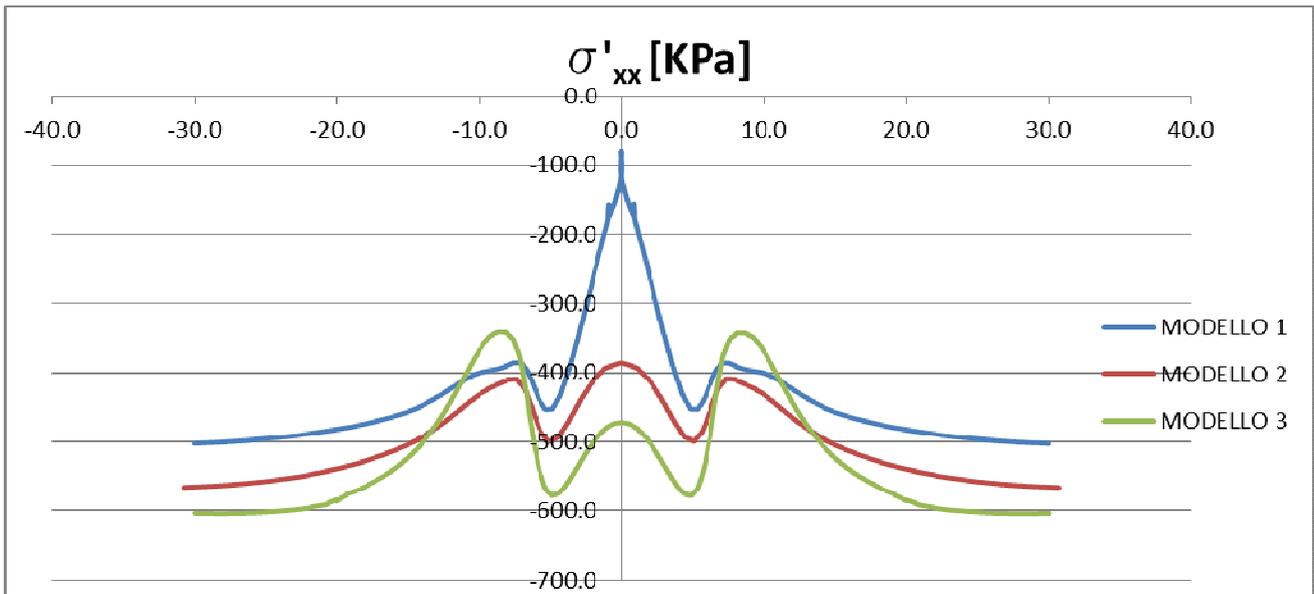
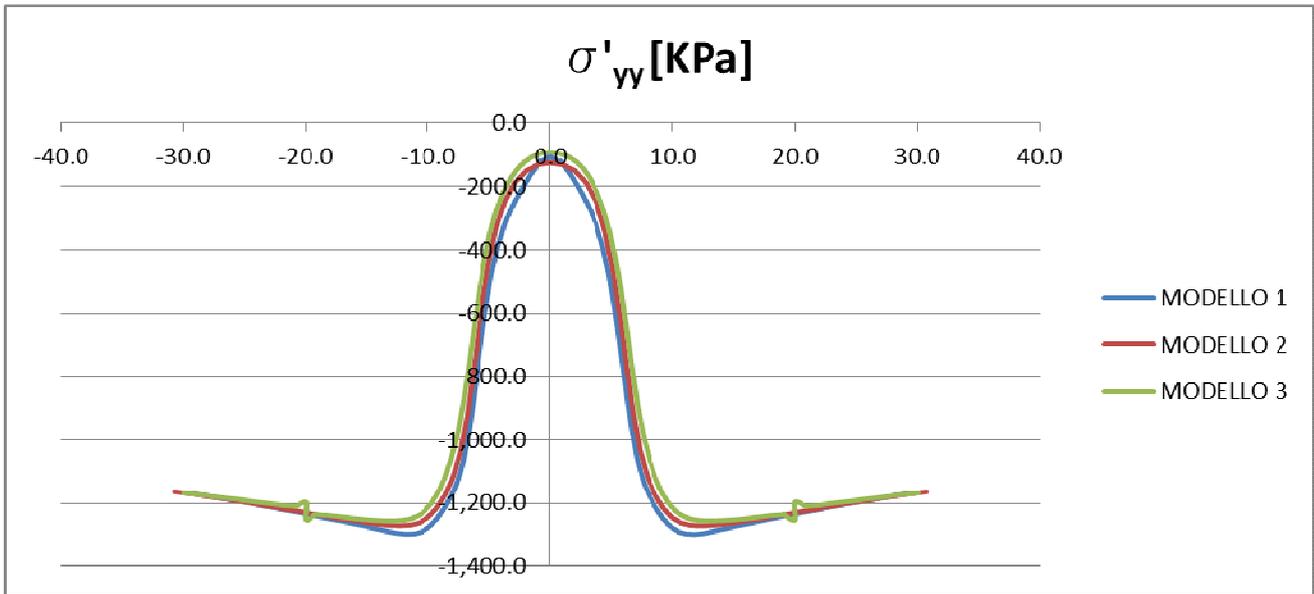


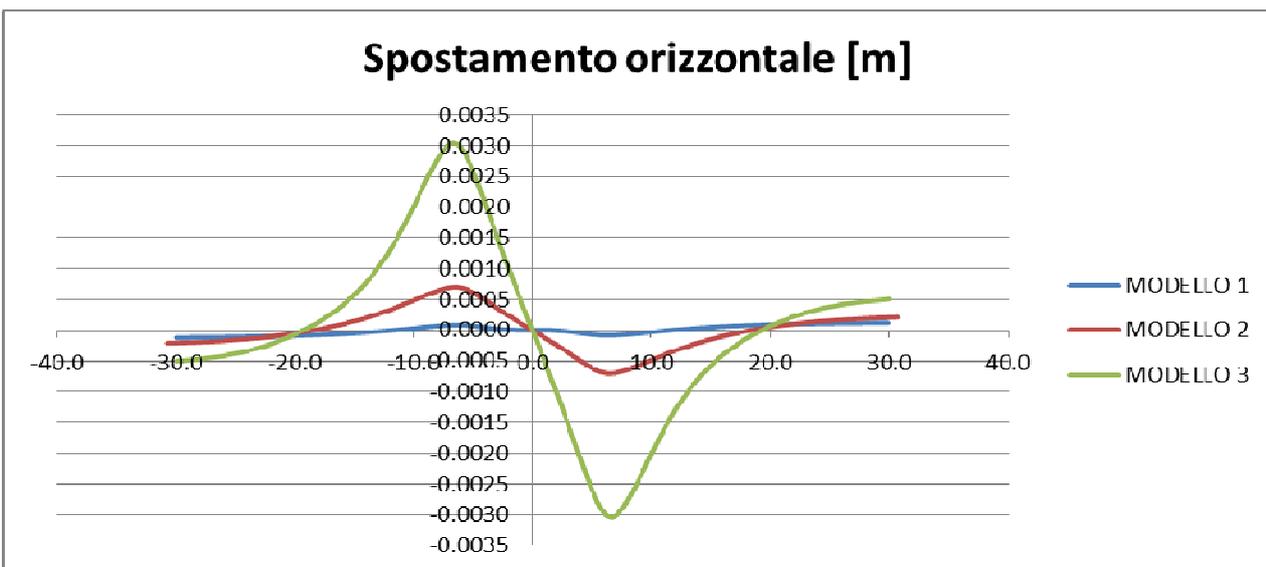
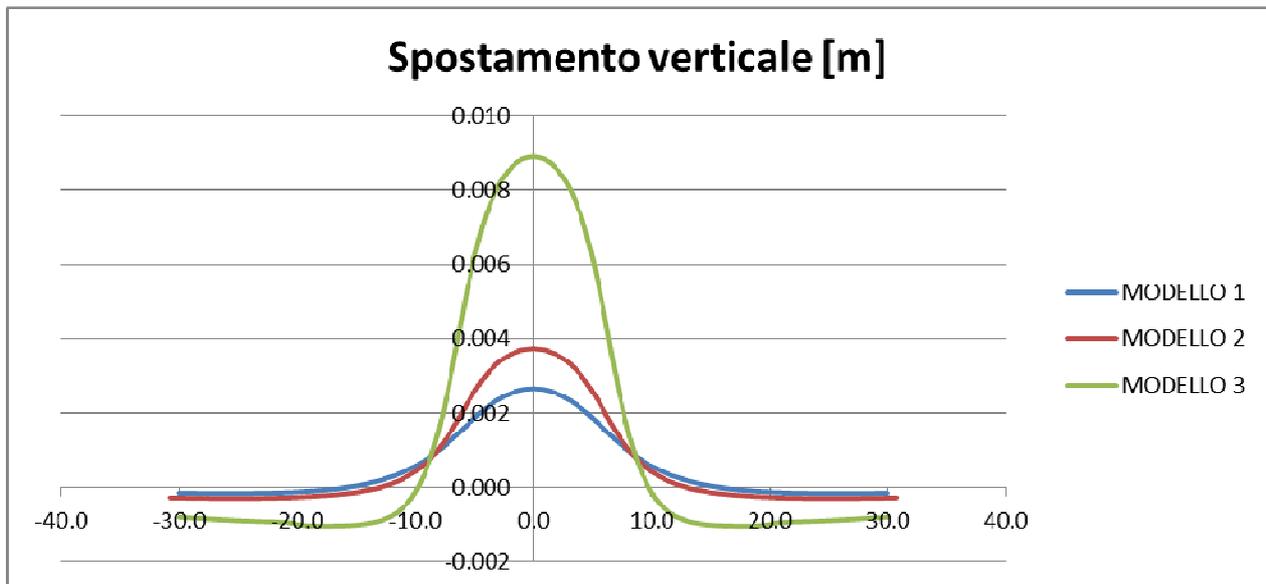
QUOTA DEL PIANO DEI CENTRI DELLA GALLERIA AUTOSTRADALE



6.1.4 Confronto dei risultati e considerazioni

Si mostra nel seguito la comparazione tra i livelli tensionali e deformativi valutati nelle tre condizioni analizzate alla quota di estradosso della calotta della galleria autostradale. Come si nota le sollecitazioni indotte in direzione verticale dovute allo scarico tensionale risultano pressochè analoghe nei tre modelli, mentre in direzione orizzontale si registrano maggiori influenze della differente stratigrafia modellata. Al contrario si notano le differenze valutate in termini di spostamento indotto al variare del materiale di scavo, con disturbi che risultano comunque sempre contenuti (inferiori al centimetro in direzione verticale e dell'ordine dei 3mm in direzione orizzontale).





Come già precedentemente indicato, le analisi sono state effettuate considerando nei tre modelli le medesime modalità di calcolo per poter effettuare un confronto dei risultati, ma in virtù del regime deformativo misurato in corso d'opera sarà possibile anticipare in taluni contesti il getto di murette e arco rovescio e/o della calotta in modo da limitare gli effetti indotti dallo scavo.

I disturbi tensionali indotti, che nella condizione più critica (ovvero alla quota di calotta della galleria autostradale e circa a 10-15 m dall'asse della galleria Borzoli Erzelli) sono risultati circa pari al 20% del valore presente in fase geostatica: una volta eseguite le analisi preliminari sulla galleria esistente in modo da conoscerne l'effettivo spessore del rivestimento e l'eventuale presenza di armatura, nonché l'effettivo stato di consistenza, si potrà stimare l'effetto che tali disturbi causeranno sulla preesistente galleria.

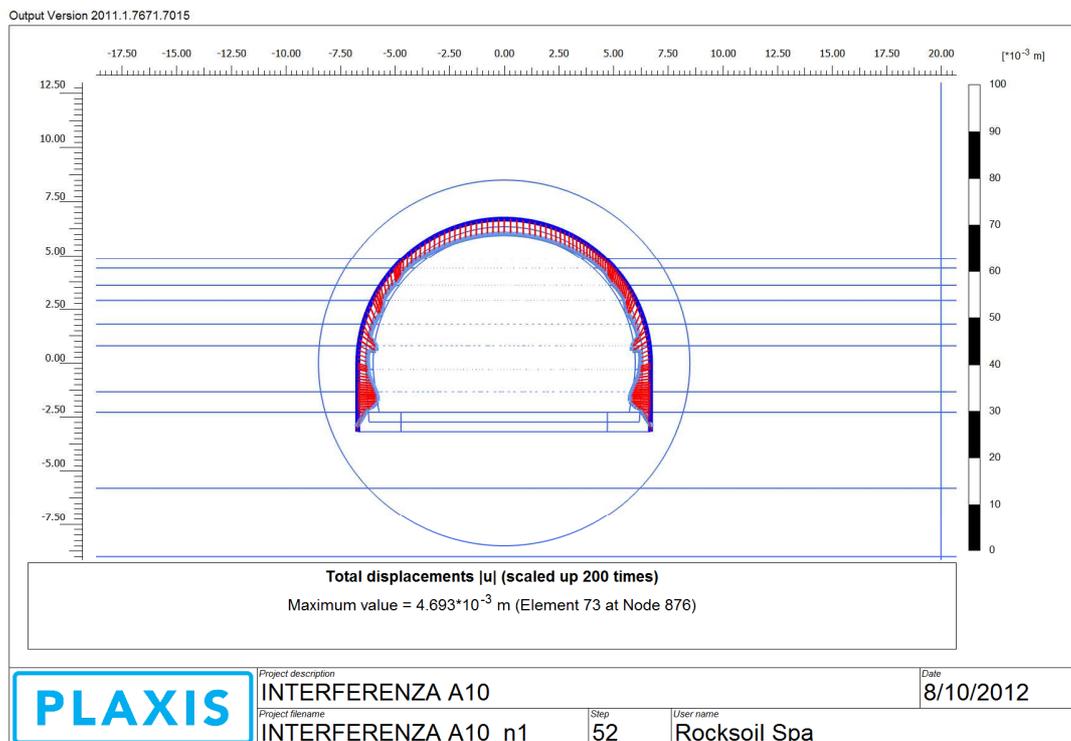
In merito alle analisi effettuate si è infine inserita una percentuale di realizzazione dei consolidamenti da effettuare al termine dello scavo a mezza sezione al variare della formazione prevalente incontrata durante la realizzazione dell'attraversamento.

Formazione prevalente	Modello numerico di riferimento	Percentuale di tratte consolidate
Basalti GR1	n.1	<25%
Basalti GR2	n.2	<50%
Basalti GR3	n.3	>80%

6.2 Sollecitazioni su prerivestimenti e rivestimenti definitivi

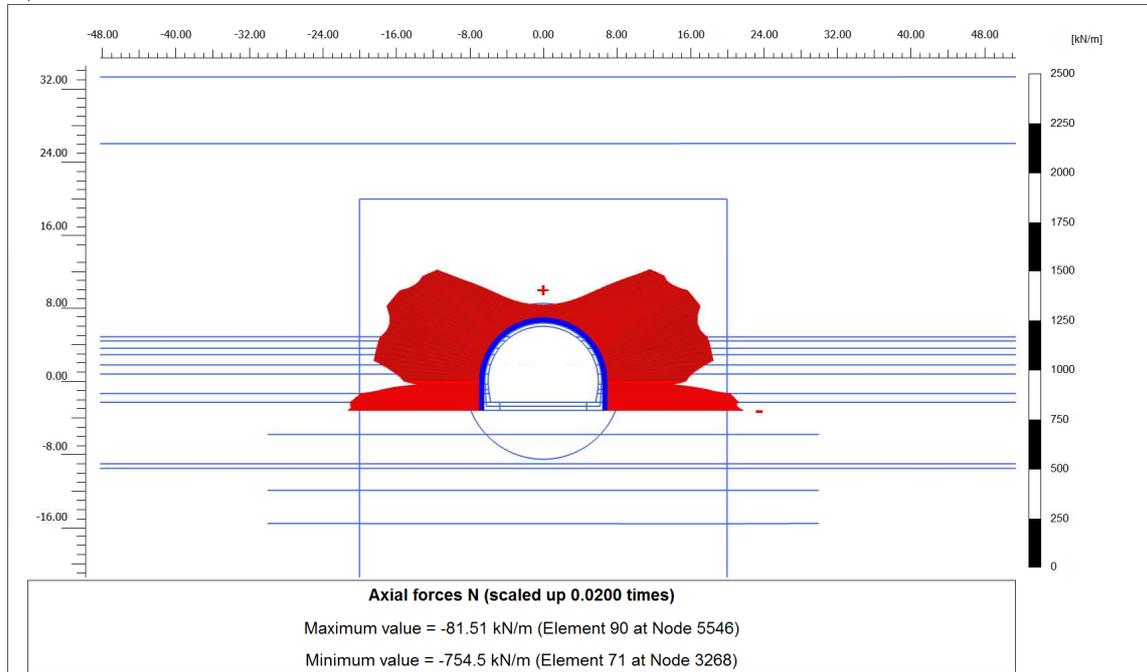
Sebbene le analisi numeriche in oggetto siano orientate al definire il disturbo indotto dallo scavo alle gallerie preesistenti, risulta opportuno verificare in via preliminare l'adeguatezza delle scelte progettuali adottate in merito alla tipologia dei prerivestimenti impiegati e alle sezioni adottate per il rivestimento definitivo in calcestruzzo. Nel seguito vengono riportati gli andamenti delle sollecitazioni flettenti e assiali sui rivestimenti di prima fase e definitivi nell'ultima fase di calcolo per tutti i modelli di calcolo impiegati. Si noti come le sollecitazioni in tutte le situazione analizzate siano di entità piuttosto lieve, in particolare sui rivestimenti definitivi, per cui i tassi di lavoro dei materiali impiegati risultano sempre compatibili con i valori imposti da normativa. Si ricorda che i valori indicati nelle immagini seguenti nel caso dei rivestimenti definitivi risultano scalati di un fattore 10^{10} .

6.2.1 Modello 1



Deformazione dei prerivestimenti

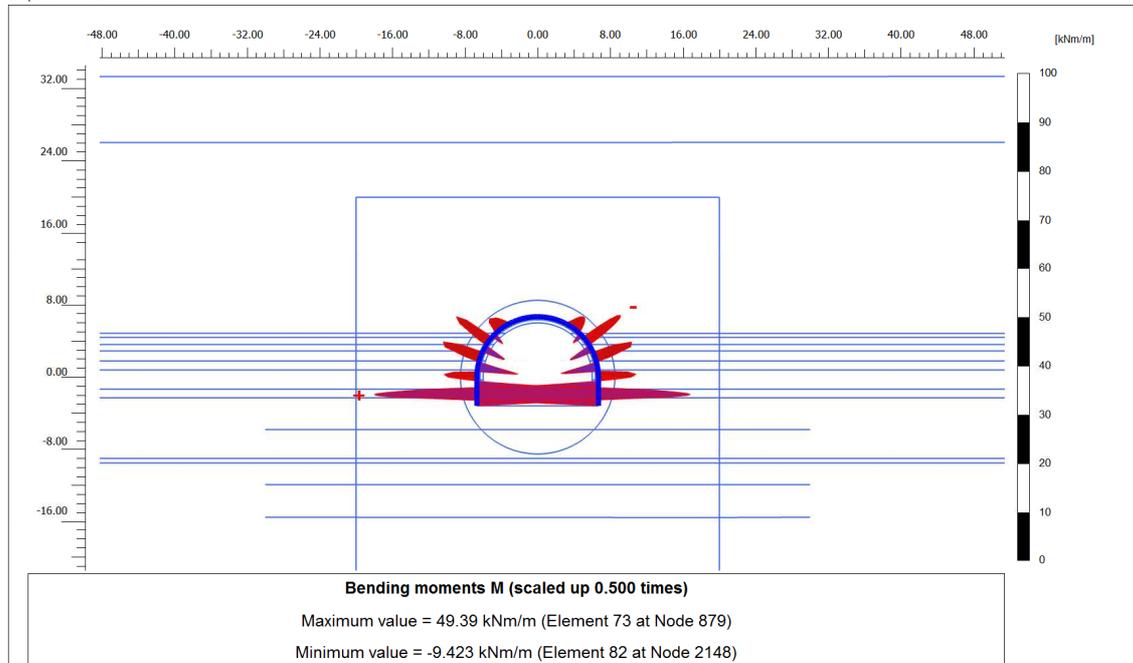
Output Version 2011.1.7671.7015



PLAXIS	Project description	INTERFERENZA A10		Date	8/10/2012
	Project filename	INTERFERENZA A10_n1	Step	52	User name

Azione assiale (Prerivestimenti)

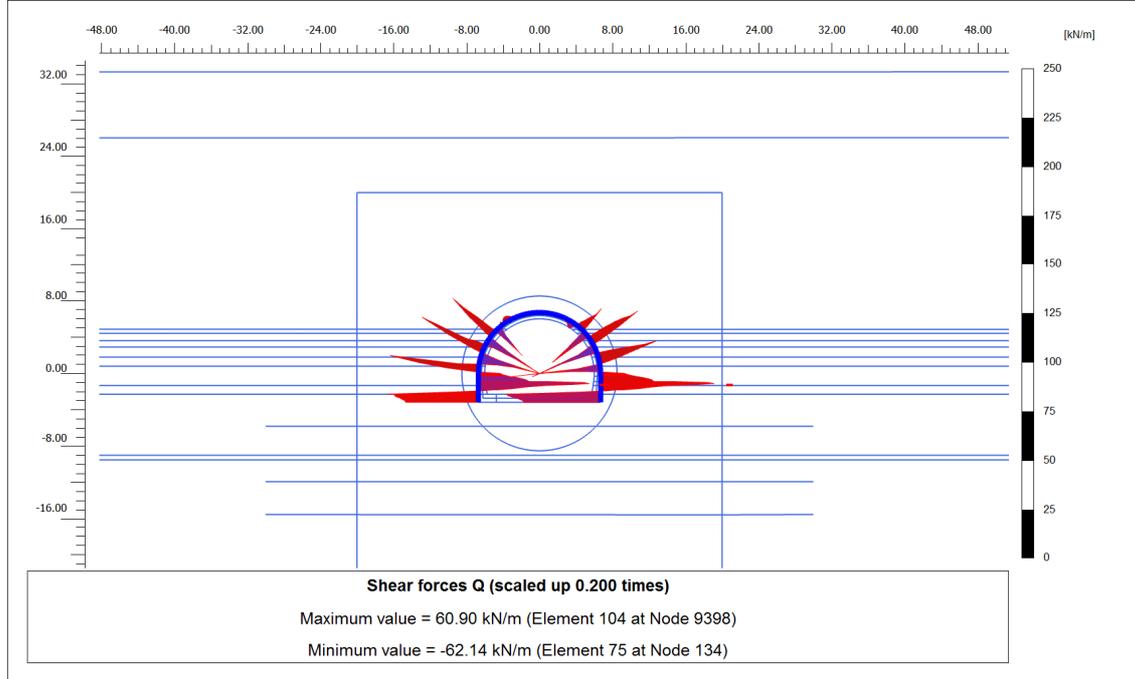
Output Version 2011.1.7671.7015



PLAXIS	Project description	INTERFERENZA A10		Date	8/10/2012
	Project filename	INTERFERENZA A10_n1	Step	52	User name

Momento flettente (Prerivestimenti)

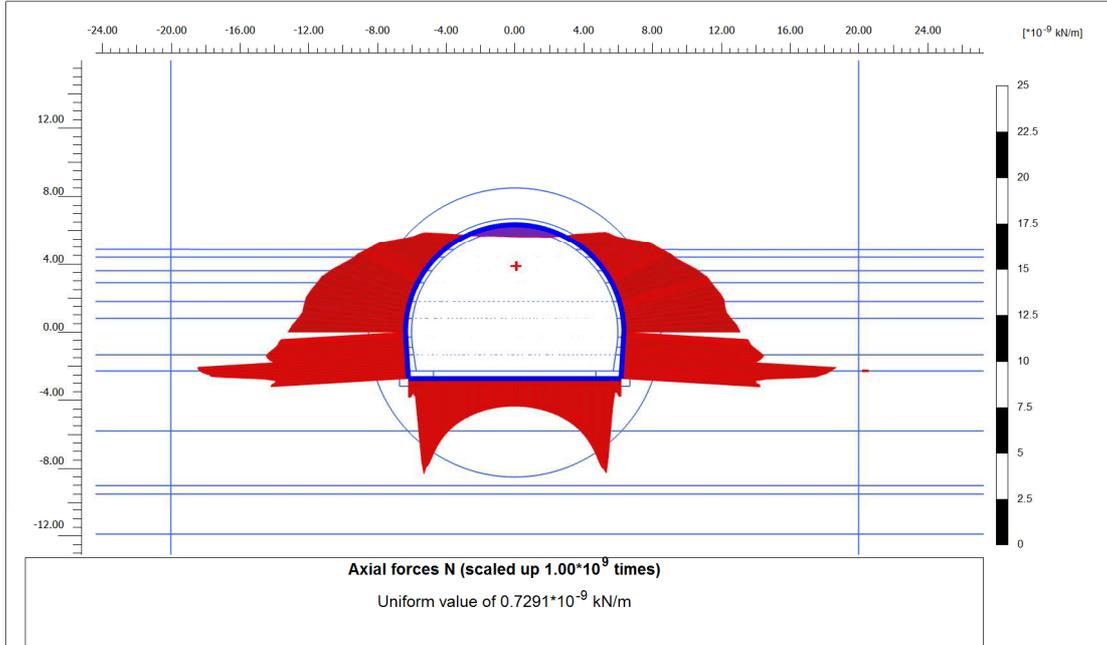
Output Version 2011.1.7671.7015



PLAXIS	Project description	INTERFERENZA A10		Date	8/10/2012
	Project filename	INTERFERENZA A10_n1	Step	52	User name

Azione di taglio (Prerivestimenti)

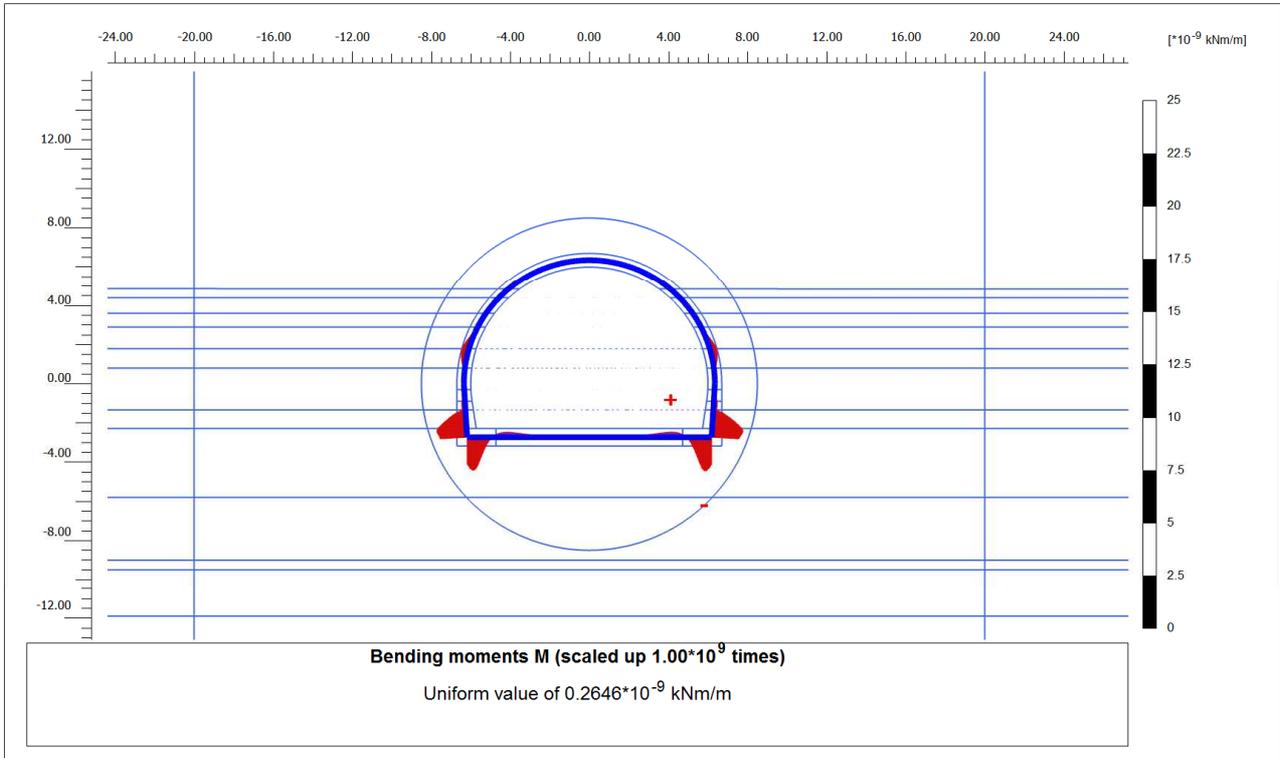
Output Version 2011.1.7671.7015



PLAXIS	Project description	INTERFERENZA A10		Date	8/10/2012
	Project filename	INTERFERENZA A10_n1	Step	52	User name

Azione assiale* (Rivestimento definitivo)

Output Version 2011.1.7671.7015

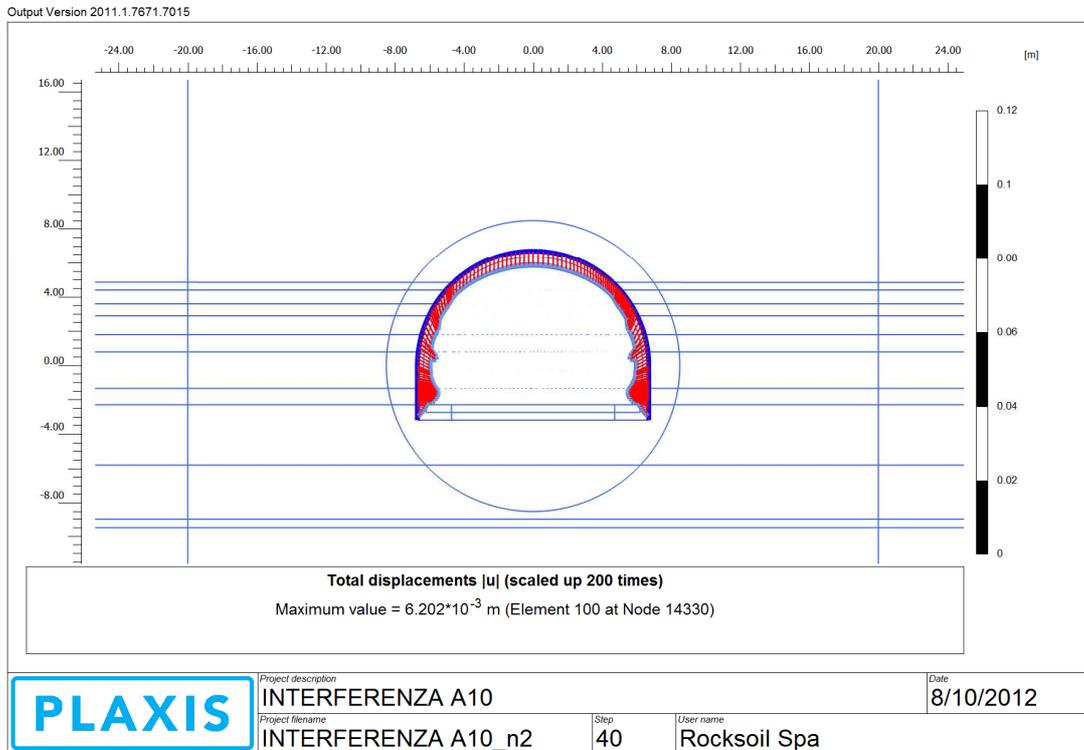


<i>Project description</i>		INTERFERENZA A10		<i>Date</i>	
<i>Project filename</i>		<i>Step</i>	<i>User name</i>		
INTERFERENZA A10_n1		52	Rocksoil Spa		

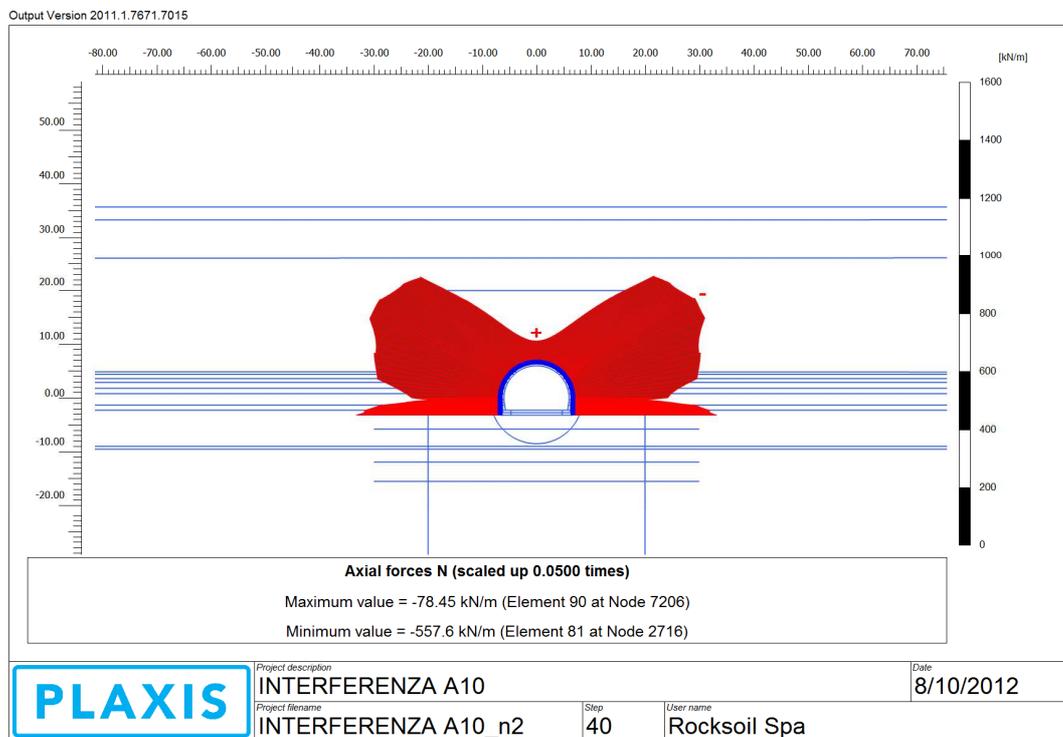
8/10/2012

Momento flettente* (Rivestimento definitivo)

6.2.2 Modello 2

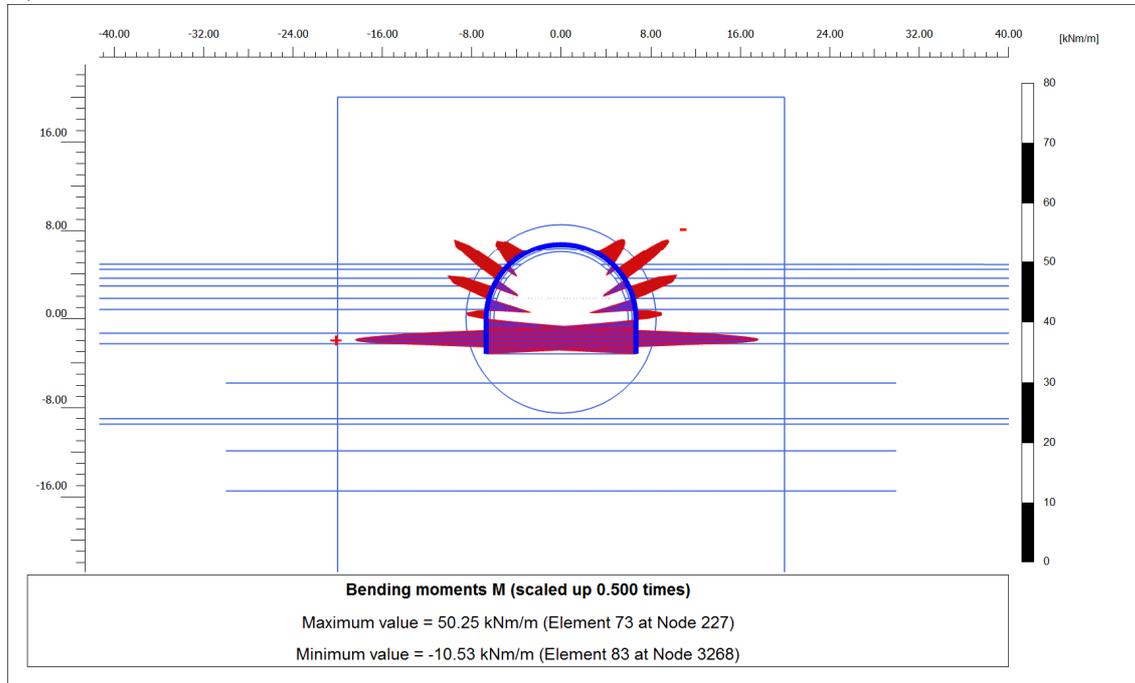


Deformazione dei pririvestimenti



Azione assiale (Pririvestimenti)

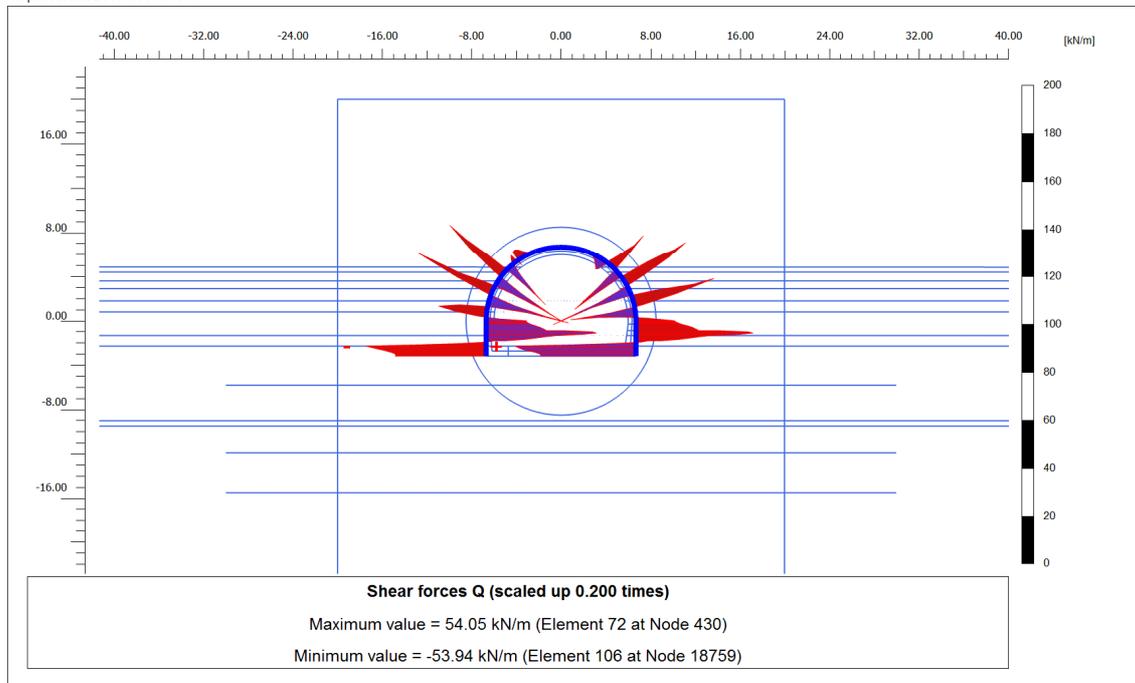
Output Version 2011.1.7671.7015



	Project description	INTERFERENZA A10		Date	8/10/2012
	Project filename	INTERFERENZA A10_n2	Step	40	User name

Momento flettente (Prerivestimenti)

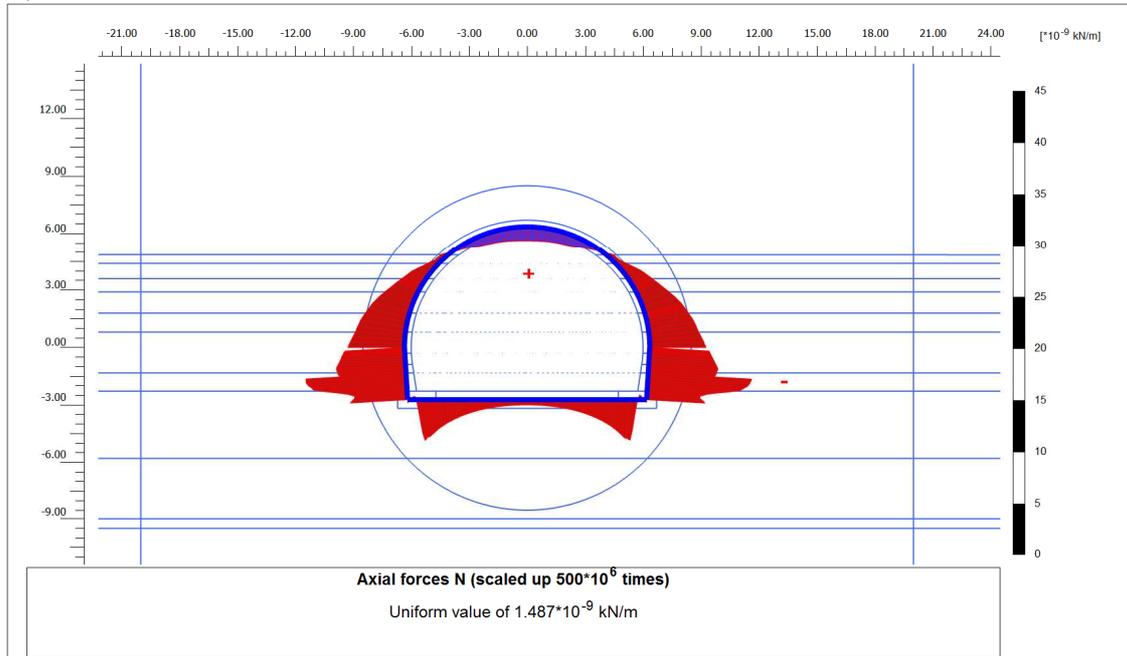
Output Version 2011.1.7671.7015



	Project description	INTERFERENZA A10		Date	8/10/2012
	Project filename	INTERFERENZA A10_n2	Step	40	User name

Azione di taglio (Prerivestimenti)

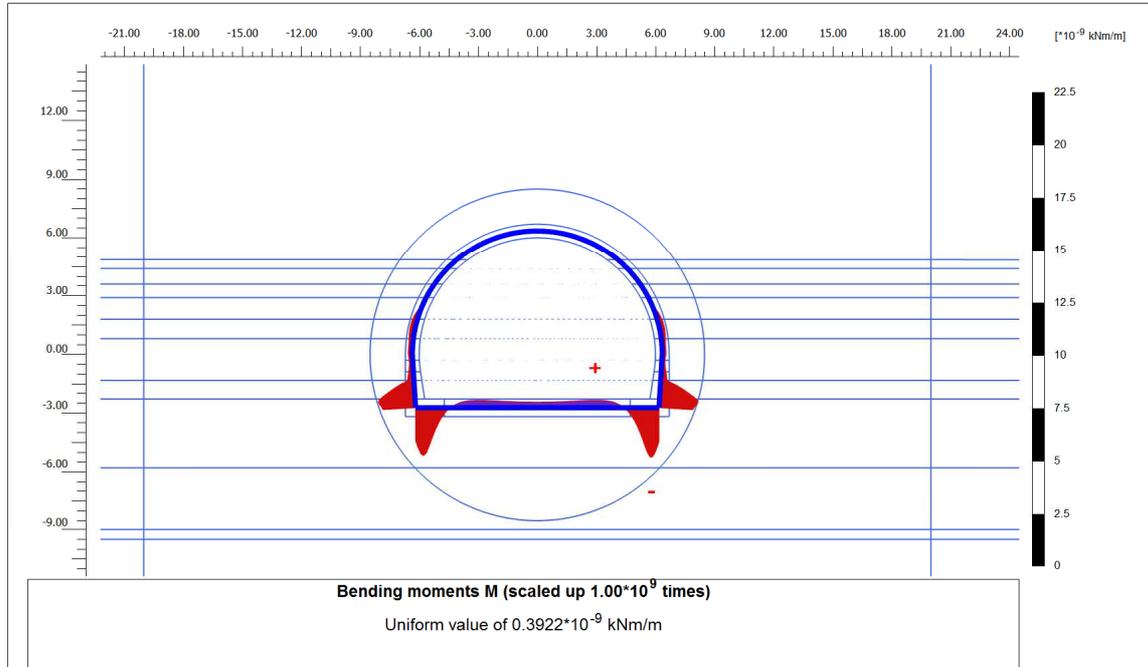
Output Version 2011.1.7671.7015



PLAXIS	<small>Project description</small> INTERFERENZA A10	<small>Date</small> 8/10/2012	
	<small>Project filename</small> INTERFERENZA A10_n2	<small>Step</small> 40	<small>User name</small> Rocksoil Spa

Azione assiale* (Rivestimento definitivo)

Output Version 2011.1.7671.7015

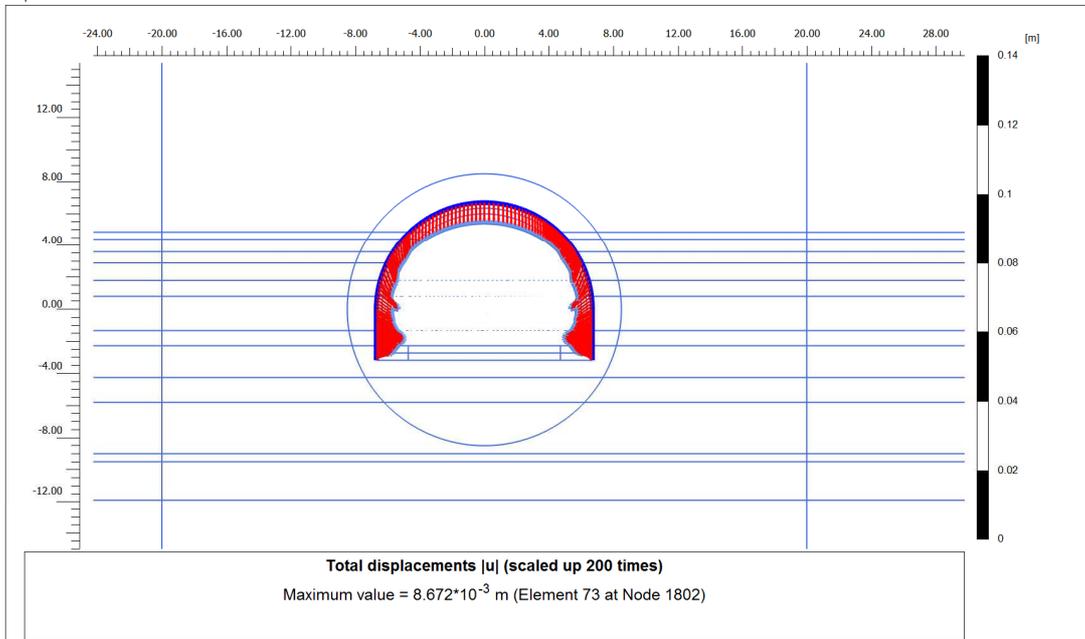


PLAXIS	<small>Project description</small> INTERFERENZA A10	<small>Date</small> 8/10/2012	
	<small>Project filename</small> INTERFERENZA A10_n2	<small>Step</small> 40	<small>User name</small> Rocksoil Spa

Momento flettente* (Rivestimento definitivo)

6.2.3 Modello 3

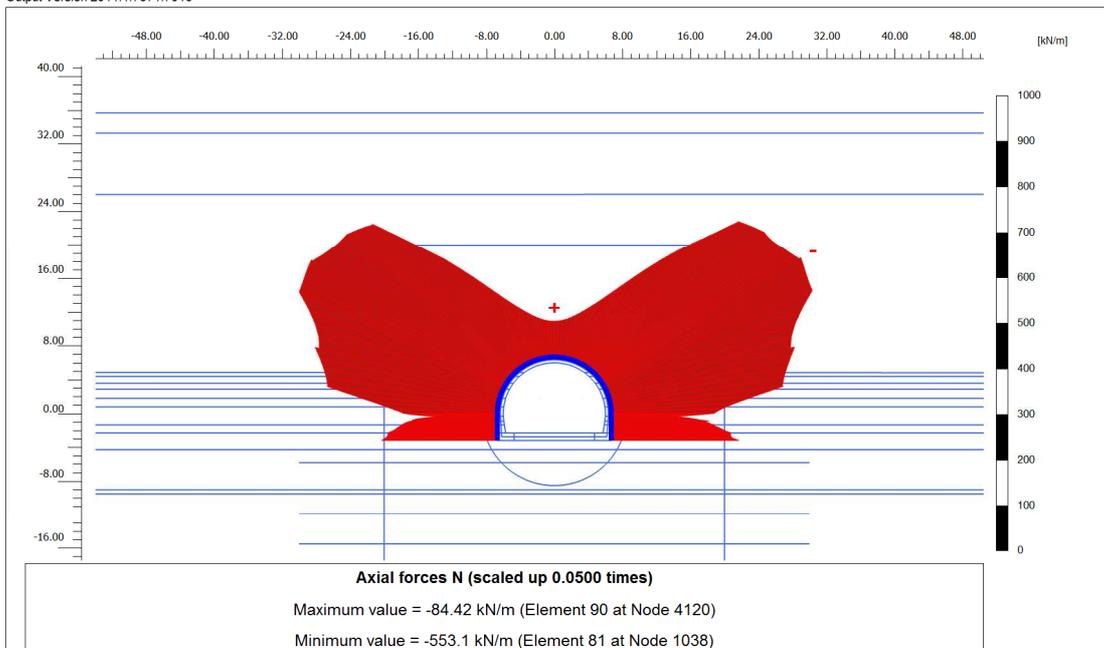
Output Version 2011.1.7671.7015



PLAXIS	Project description	INTERFERENZA A10		Date	8/10/2012
	Project filename	INTERFERENZA A10_n3_K0	Step	41	User name

Deformazione dei prerivestimenti

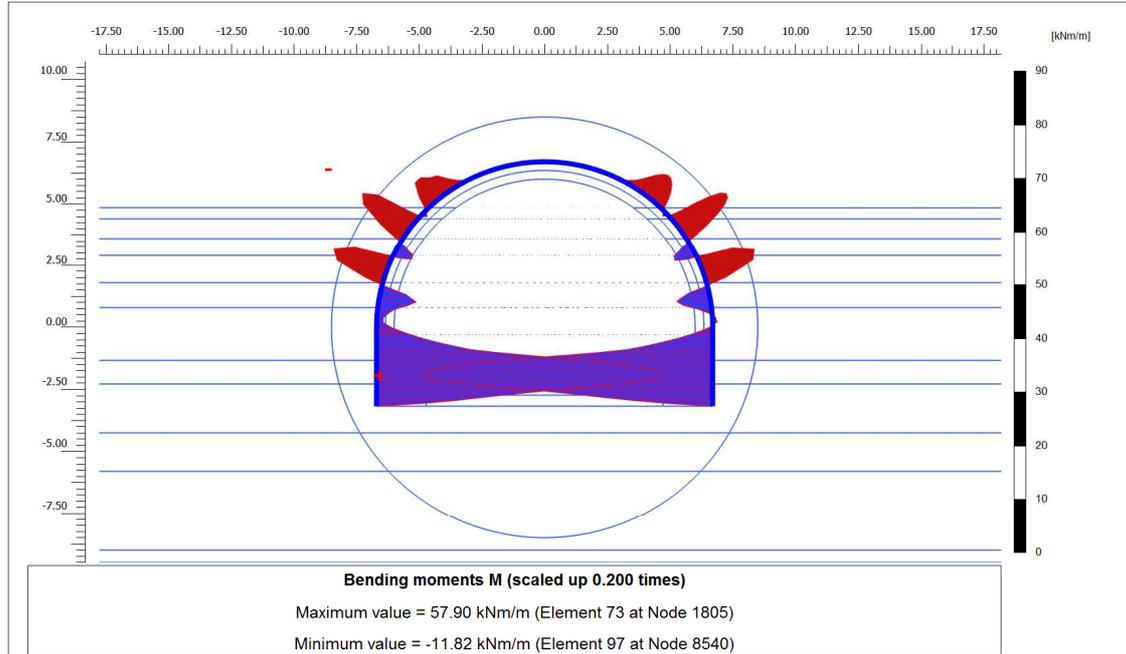
Output Version 2011.1.7671.7015



PLAXIS	Project description	INTERFERENZA A10		Date	8/10/2012
	Project filename	INTERFERENZA A10_n3_K0	Step	41	User name

Azione assiale (Prerivestimenti)

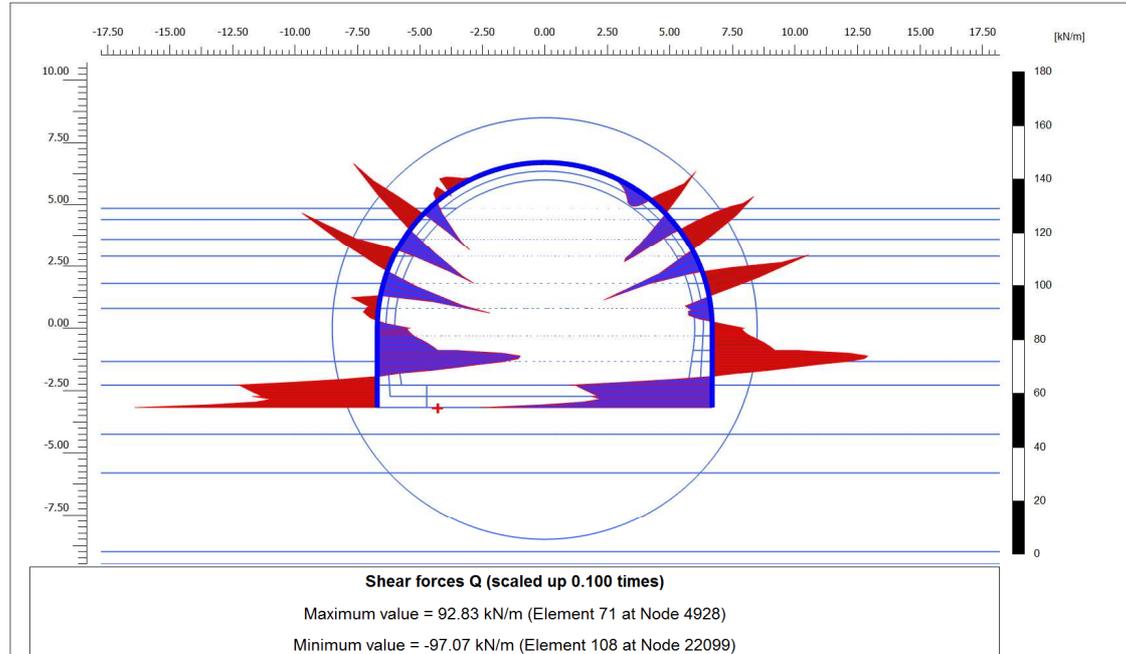
Output Version 2011.1.7671.7015



PLAXIS	Project description	INTERFERENZA A10		Date	8/10/2012
	Project filename	INTERFERENZA A10_n3_K0	Step	41	User name

Momento flettente (Prerivestimenti)

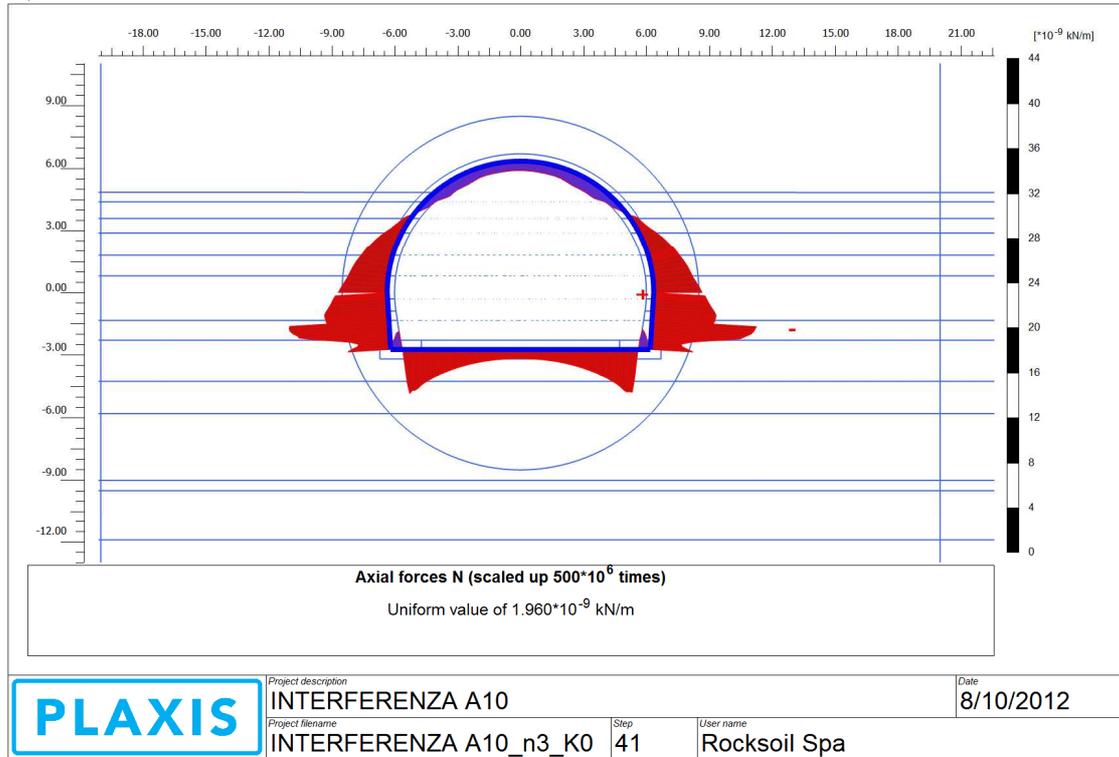
Output Version 2011.1.7671.7015



PLAXIS	Project description	INTERFERENZA A10		Date	8/10/2012
	Project filename	INTERFERENZA A10_n3_K0	Step	41	User name

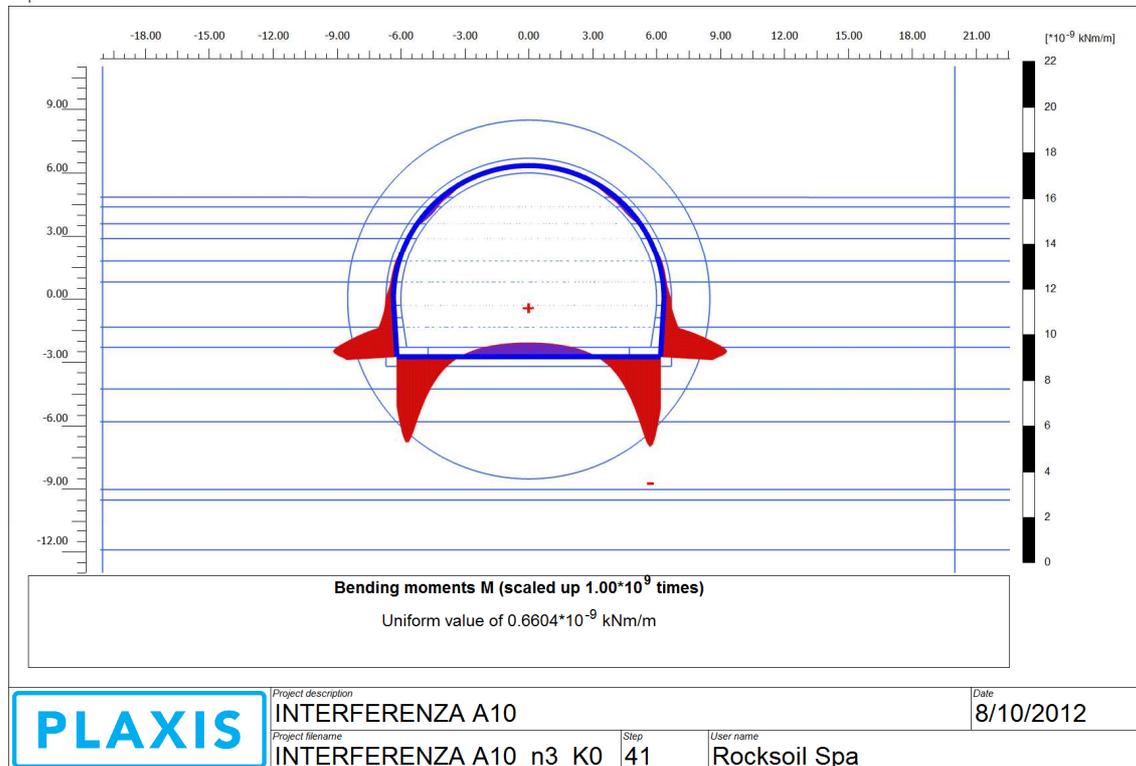
Azione di taglio (Prerivestimenti)

Output Version 2011.1.7671.7015



Azione assiale (Rivestimento definitivo)

Output Version 2011.1.7671.7015



Momento flettente (Rivestimento definitivo)

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>IG5101ECVNTGNSB00001A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 55 di 55</p>

7. CONCLUSIONI

Oggetto del presente elaborato è la descrizione delle principali problematiche legate allo scavo della galleria della Nuova Viabilità compresa tra via Borzoli e via Erzelli, nella tratta relativa al sovra-atteveramento delle gallerie autostradali della A10. La zona di interesse si estende per circa 96m lungo l'asse della galleria NV01 con un franco medio tra estradosso arco rovescio NV01 e estradosso delle gallerie autostradali inferiore ai 3m, considerando la configurazione finale.

In particolare vengono in una prima parte descritte le soluzioni proposte e le relative fasi operative, oltre ai possibili accorgimenti volti a limitare gli effetti delle vibrazioni sulle gallerie autostradali preesistenti. Nella seconda parte sono invece descritte le analisi numeriche volte a valutare le variazioni dei regimi tensionali e deformativi indotti dallo scavo sulle gallerie autostradali attraversate ed infine sono presentati i risultati ottenuti.

Con il supporto delle analisi effettuate si ritiene che le soluzioni progettuali adottate, in base ai dati geologici ad oggi disponibili, consentano di mantenere i disturbi indotti sulle gallerie preesistenti su livelli accettabili in fase statica. Tale considerazione non potrà però che essere valutata in funzione dei risultati delle analisi sulla galleria preesistente, volte a conoscerne gli spessori del rivestimento definitivo e l'eventuale presenza di armatura, nonché lo stato di consistenza.

Inoltre il monitoraggio delle vibrazioni previsto consentirà di valutare le modalità operative di scavo più adatte alla limitazioni delle vibrazioni indotte nelle gallerie della A10.