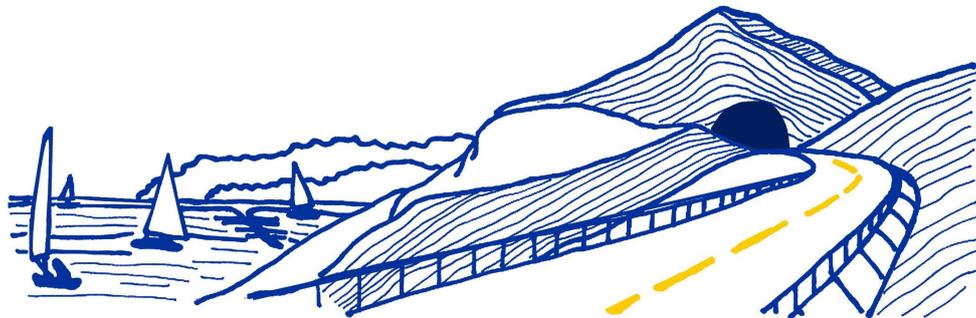


**VARIANTE ALLA S.S.1 AURELIA (AURELIA BIS)
VIABILITA' DI ACCESSO ALL' HUB PORTUALE DI LA SPEZIA
INTERCONNESSIONE TRA I CASELLI DELLA A-12 E IL PORTO DI LA SPEZIA
3° LOTTO TRA FELETTINO E IL RACCORDO AUTOSTRADALE**

PROGETTO ESECUTIVO DI STRALCIO E COMPLETAMENTO C - 3° TRATTO

PROGETTO ESECUTIVO

GE265



VISTO: IL RESPONSABILE
DEL PROCEDIMENTO

RESPONSABILE
DELL'INTEGRAZIONE DELLE
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

PROGETTISTA SPECIALISTA

IL COORDINATORE DELLA
SICUREZZA IN FASE DI
PROGETTAZIONE

Ing. Fabrizio CARDONE

Ing. Alessandro RODINO

Ing. Alessandro RODINO

Dott. Domenico TRIMBOLI

**OPERE MAGGIORI
GALLERIE NATURALI
GALLERIA NATURALE FELETTINO III
GALLERIA NATURALE
RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO**

CODICE PROGETTO

NOME FILE

REVISIONE

SCALA:

PROGETTO LIV. PROG. N. PROG.

0000_P00GN03STRRE03_A

DPGE0265 E 20

CODICE ELAB. P00GN03STRRE03

A

-

C					
B					
A	EMISSIONE	Marzo 2021	M. Barale	E. Giraudò	A. Rodino
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

INDICE	pag.
1. INTRODUZIONE	1
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
3. PROFILO GEOMECCANICO	5
4. MODALITÀ REALIZZATIVE PER IL COMPLETAMENTO	7
4.1 Sezioni tipo di avanzamento	8
4.1.1 Modalità esecutive delle iniezioni	13
4.2 Interventi propedeutici alla ripartenza da sud	17
4.3 Interventi di ripristino sagoma del tratto realizzato	21
4.3.1 Misure di convergenza	27
5. BACK ANALYSIS	30
5.1 Analisi numeriche	32
5.1.1 Codice di calcolo utilizzato	32
5.1.2 Geometrie dei modelli	33
5.1.3 Leggi di comportamento del materiale	34
5.1.4 Stato di sforzo iniziale	36
5.1.5 Scavo delle gallerie	37
5.1.6 Prerivestimento	38
5.1.7 Fasi di calcolo	39
5.2 Sintesi dei risultati	40
6. VERIFICHE STATICHE	44
6.1 Premessa	44
6.2 Verifica di stabilità del fronte – Metodo di Tamez	44
6.3 Analisi alle differenze finite - Verifiche statiche	48
6.3.1 Analisi numeriche	48
6.3.2 Geometrie dei modelli	49
6.3.3 Leggi di comportamento del materiale	49
6.3.4 Stato di sforzo iniziale	50
6.3.5 Carichi idraulici	50
6.3.6 Scavo delle gallerie	50

6.3.7	Prerivestimento e rivestimento definitivo	52
6.3.8	Criteri di verifica delle sezioni di scavo	53
6.3.9	Fasi di calcolo	56
6.3.10	Verifiche statiche	58
7.	ANALISI DI INTERFERENZA SCAVO-EDIFICIO N°8.....	65
7.1	Categorie di danno	68
7.1.1	Spostamenti e distorsioni limite	68
7.1.2	Stima delle deformazioni e definizione delle categorie di danno.....	69
7.1.3	Fasi di calcolo	73
7.1.4	Sintesi dei risultati	74
7.2	Interventi di stabilizzazione del versante	78
8.	MONITORAGGIO IN CORSO D'OPERA.....	82

Allegati:

1 | OUTPUT ANALISI FLAC

1. Introduzione

La presente Relazione viene redatta nell'ambito della redazione del Progetto Esecutivo di Completamento dello "Stralcio C" dei "Lavori di costruzione della variante alla S.S. 1 Aurelia (Aurelia bis), viabilità di accesso all'HUB portuale di La Spezia, interconnessione tra i caselli della A 12 e il porto di La Spezia – 3° Lotto tra Felettino ed il raccordo autostradale".

In particolare, vengono analizzate le problematiche relative ai lavori di completamento della galleria naturale Felettino III della lunghezza complessiva di 198.00 m.

Come risulta dagli elaborati di As-Built il fronte di scavo si trova alla pk. 3+312,07 e pertanto il tratto realizzato presenta una lunghezza di circa 105.21 m a partire dall'imbocco Sud posto alla pk. 3+417,28.

Negli atti amministrativi e progettuali disponibili viene evidenziato come la realizzazione della galleria abbia avuto notevoli difficoltà a causa della presenza di un ammasso di scadenti caratteristiche geomeccaniche. Si è altresì generata un'estesa situazione di dissesto caratterizzata da movimenti di versante profondi, che hanno coinvolto un edificio (indicato negli atti progettuali come Edificio n° 8) ubicato nel tratto centrale della galleria a breve distanza dal tracciato.

In sede realizzativa sono stati pertanto effettuati monitoraggi, indagini geognostiche integrative e studi mirati alla comprensione del fenomeno di dissesto.

A seguito delle indagini e degli studi effettuati era stata rianalizzata la condizione statica del versante e definite le modalità di intervento che vengono sostanzialmente condivise.

I risultati dell'analisi del dissesto sono riportati nella Relazione redatta dalla società Geoequipe St. Ass., è riportato nella Relazione illustrativa (P01GN03GENRE01_A). Vengono riportate nel Capitolo 7 "Analisi di interferenza scavo-edificio n°8" le conseguenti analisi effettuate in sede della Progettazione Costruttiva (Infra engineering e Rocksoil S.p.A., 2017) riportate.

Nel seguito vengono descritte le modalità realizzative da adottarsi per il completamento della Galleria previste nella presente sede progettuale e presentate le verifiche strutturali.

Come già evidenziato nella Relazione Tecnico Illustrativa (P00GN03GENRE01_A) è da sottolineare che vista la delicatezza della situazione di dissesto quiescente, essendo i risultati dei monitoraggi aggiornati a ottobre 2016 e non conoscendo pertanto l'evoluzione del dissesto nei circa cinque anni trascorsi, vista altresì la complessità della situazione geomeccanica dell'ammasso roccioso e di quella idrogeologica geotecnica dei terreni di copertura e della parte più tettonizzata del basamento, si ritiene che sia oggettivamente non possibile una previsione certa del grado di ulteriore aggravamento del quadro fessurativo e più in generale della condizione statica dell'edificio n° 8, che

possa verificarsi nel corso dei lavori di costruzione della galleria.

Ne consegue che sussiste la possibilità che a fine lavori possa essere non economicamente sostenibile il recupero funzionale dell'edificio.

Per quanto sopra parrebbe consigliabile l'espropriazione dell'edificio e delle relative pertinenze.

2. Normativa di riferimento

Con riferimento al quadro normativo di riferimento progettuale per le strutture, si evidenzia che, il D.M. 17/01/2018 “Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»”, prevede, all’Art. 2 “Ambito di applicazione e disposizioni transitorie”, che *“per le opere pubbliche o di pubblica utilità in corso di esecuzione, per i contratti pubblici di lavori già affidati, nonché per i progetti definitivi o esecutivi già affidati prima della data di entrata in vigore delle norme tecniche per le costruzioni, si possono continuare ad applicare le previgenti norme tecniche per le costruzioni fino all’ultimazione dei lavori ed al collaudo statico degli stessi”*.

Pertanto, essendo l’attività da svolgere il progetto di completamento di opere già parzialmente realizzate il riferimento normativo di riferimento restano le Norme tecniche per le costruzioni» di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008.

Per quanto sopra la normativa di riferimento per il calcolo e la verifica delle strutture risulta essere la seguente:

- Decreto 14 gennaio 2008 "Norme tecniche per le costruzioni".
- Circolare Ministero Infrastrutture e Trasporti n. 617 del 2 Febbraio 2009 - “Istruzioni per l’applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14 Gennaio 2008”.
- Legge 5 novembre 1971, n. 1086 - Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato normale e precompresso ed a struttura metallica.
- Circolare Ministero dei Lavori pubblici 14 febbraio 1974, n.11951 – Applicazione delle norme sul cemento armato.
- Eurocodici UNI EN 1990:2006; UNI EN 1991; UNI EN 1992; UNI EN 1993; UNI EN 1994; UNI EN 1997; UNI EN 1998
- Calcestruzzo - specificazione, prestazione, produzione e conformità (UNI EN 206-1:2006);
- UNI EN 1992-1-1:2005 - EC 2: PROGETTAZIONE DELLE STRUTTURE DI CALCESTRUZZO;
- D.M. LL. PP. 11 marzo 1988 “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione” e le relative istruzioni (Circolare Ministero Lavori Pubblici 24 settembre 1988, N. 30483 - Circolare Ministero Lavori Pubblici 9 gennaio 1996, N. 218/24/3).
- D.M. LL. PP. 14 febbraio 1992 “Norme tecniche per l’esecuzione delle opere in

cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche” e le relative istruzioni (Circolare Ministero Lavori Pubblici 24 giugno 1993, N. 37406/STC).

- D.M. LL. PP. 9 gennaio 1996 “Norme tecniche per il calcolo, l’ecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche” e le relative istruzioni (Circolare Ministero Lavori Pubblici 15 ottobre 1996, N. 252).
- D.M. LL. PP. 16 gennaio 1996 “Norme tecniche relative ai «Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e dei sovraccarichi»” e le relative istruzioni (Circolare Ministero Lavori Pubblici 4 luglio 1996, N. 156AA.GG./STC).
- Legge 2 Febbraio 1974 n° 64 - “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”.
- D.M. LL. PP. 16 gennaio 1996 “Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche” e le relative istruzioni (Circolare Ministero Lavori Pubblici 10 aprile 1997, N. 65/AA.GG.).
- Ordinanza n. 3274 20 marzo 2003 della Presidenza del Consiglio dei Ministri “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica” e s.m.i.
- Presidenza del Consiglio dei Ministri – Ordinanza n. 3519 del 28 Aprile 2006 - “Criteri generali per l’individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l’aggiornamento degli elenchi delle medesime zone”.

3. Profilo geomeccanico

Alla luce delle indagini, dei rilievi geologico-geomeccanici effettuati al fronte di avanzamento dello scavo e del complesso di studi svolti, era stato elaborato un profilo geomeccanico che viene riportato nell'immagine seguente. Per approfondimenti si rimanda agli specifici elaborati.

Nel seguito viene riportato con l'indicazione delle sezioni tipo di intervento che verranno successivamente descritte.

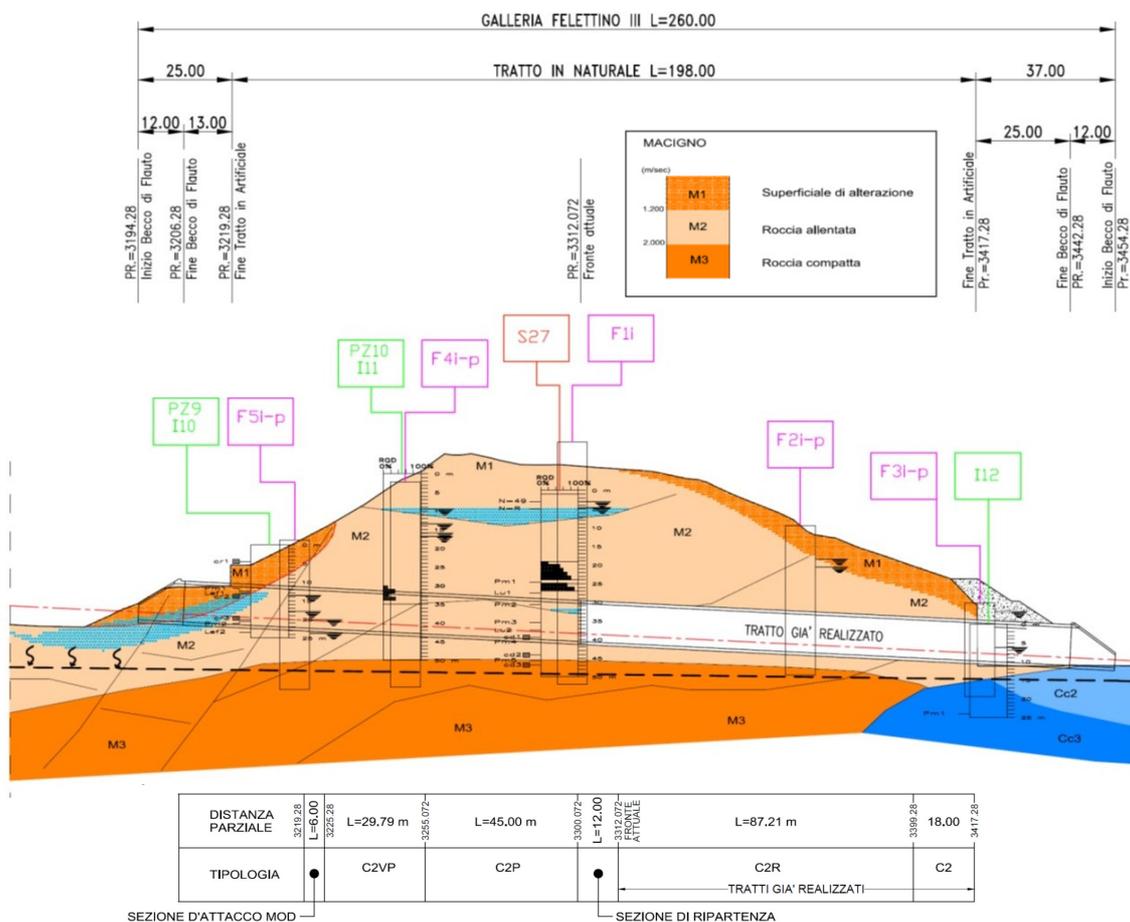


Figura 1 – Profilo geomeccanico

In particolare, nel tratto in oggetto l'ammasso roccioso risulta costituito alternanze decimetriche arenacee e pelitiche con prevalenza di quest'ultima litologia.

La successione ricostruita dalle indagini effettuate, ed in particolare dalle risultanze delle analisi sismiche, si suddivide in tre facies:

- M1 – Superficiale di alterazione;
- M2 – Roccia allentata;
- M3 – Roccia compatta.

4. Modalità realizzative per il completamento

Sulla base dei risultati della back-analysis e della generale compressione del fenomeno di dissesto, in sede della Progettazione Costruttiva erano state definite nuove sezione tipo di intervento per il completamento della galleria.

Nel caso in esame il fronte è certamente classificabile come instabile nel breve termine e ricade quindi nella categoria C, e richiede specifici interventi per assicurarne la stabilità.

Tale obiettivo è ottenuto mediante il contenimento del nucleo-fronte, mediante l'incremento del numero dei consolidamenti VTR.

Inoltre è indispensabile l'utilizzo di una centina chiusa in arco rovescio con puntone metallico, che, oltre a contrastare le convergenze, permetterà di ripartire i carichi gravitativi su una maggiore superficie d'appoggio, contenendo i fenomeni di cedimento per punzonamento al piede centina.

Per prevenire da un lato fenomeni di instabilità al contorno del cavo dettati dall'intensa tettonizzazione dei materiali presenti e, dall'altro, per consentire l'artificiale creazione di un effetto arco e ridistribuire così i sovraccarichi tensionali, è necessario realizzare efficace coronella di materiale consolidato al contorno (Sezione tipo C2P).

Per raggiungere l'effetto richiesto tramite iniezioni selettive in pressione con VTR valvolati, sono introdotte modifiche operative mediante una specifica procedura per ottenere adeguati assorbimenti nell'ammasso (riduzione della portata d'iniezione fino a 5 l/min, pressioni d'iniezione non superiori a 10-15 bar, incremento rapporto a/c fino a 1).

Cionondimeno, nelle zone a più ridotta copertura a partire dall'imbocco Nord alla coronella consolidata al contorno verrà integrato un intervento di presostegno metallico (Sezione tipo C2VP).

4.1 Sezioni tipo di avanzamento

Nel seguito vengono descritti gli interventi per le due sezioni tipo previste, la sezione C2P e la sezione C2VP.

Caratteristiche della Sezione tipo C2P

La sezione tipo in fase costruttiva è costituita da:

- spritz-beton fibrorinforzato al contorno ed in arco rovescio $sp = 25$ cm;
- centine 2IPE200/1.00 m;
- n° 81 elementi strutturali in VTR cementati al fronte, $L=18$ m, sovr.= 9m;
- n° 57 elementi strutturali in VTR valvolati (2vlv/m) iniettati al contorno, $L=18$ m, sovr.=9m;
- n° 4 drenaggi eventuali, di lunghezza $L = 27.00$ m e sovr.=18.00m.
- murette e A.R. in C.A. di spessore minimo 0.80 m, gettato ad una distanza $< 0.5-1 \phi$ dal fronte;
- impermeabilizzazione full-round;
- calotta in C.A. di spessore in chiave di 0.60 m, gettata ad una distanza $\leq 2 \phi$ dal fronte.

Caratteristiche della Sezione tipo C2VP

La sezione tipo in fase costruttiva è costituita da:

- spritz-beton fibrorinforzato al contorno ed in arco rovescio $sp = 25$ cm;
- centine 2IPE200/1.00 m + puntone in arco rovescio;
- n° 81 elementi strutturali in VTR cementati al fronte, $L=18$ m, sovr.= 9m;
- n° 61 elementi strutturali in VTR valvolati (2vlv/m) iniettati al contorno, $L=18$ m, sovr.=9m;
- n° 36 tubi in metallici $\phi 114.3$ sp 8 mm in calotta, $L=15$ m, sovr.= 6 m;
- n° 4 drenaggi eventuali, di lunghezza $L = 27.00$ m e sovr.=18.00m.
- murette e A.R. in C.A. di spessore minimo 0.80 m, gettato ad una distanza $< 0.5-1 \phi$ dal fronte;
- impermeabilizzazione full-round;
- calotta in C.A. di spessore variabile in chiave, da un minimo di 0.60 m ad un massimo di 1.25 m, gettata ad una distanza $\leq 2 \phi$ dal fronte.

Nelle immagini seguenti si riportano i dettagli delle sezioni tipo.

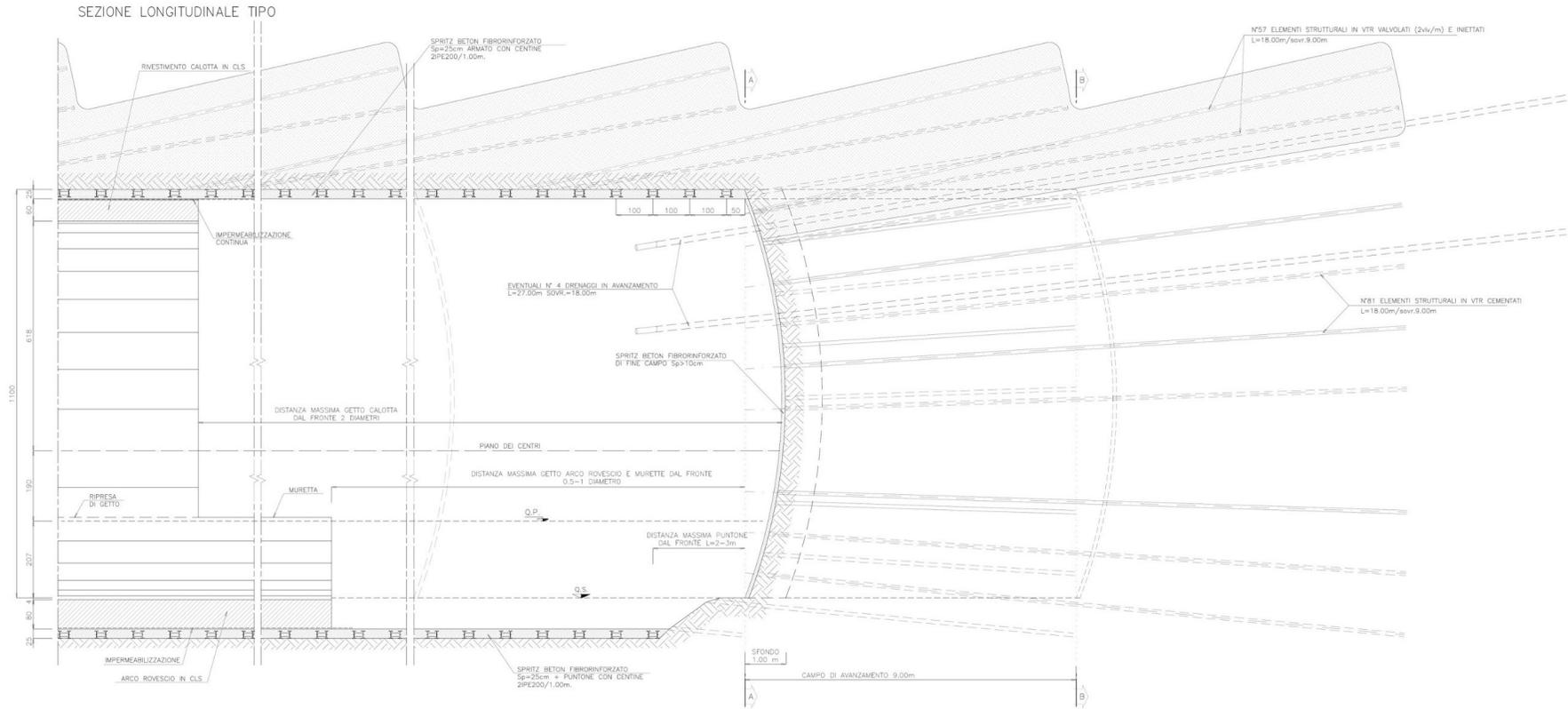


Figura 2 – Sezione C2P – Sezione longitudinale

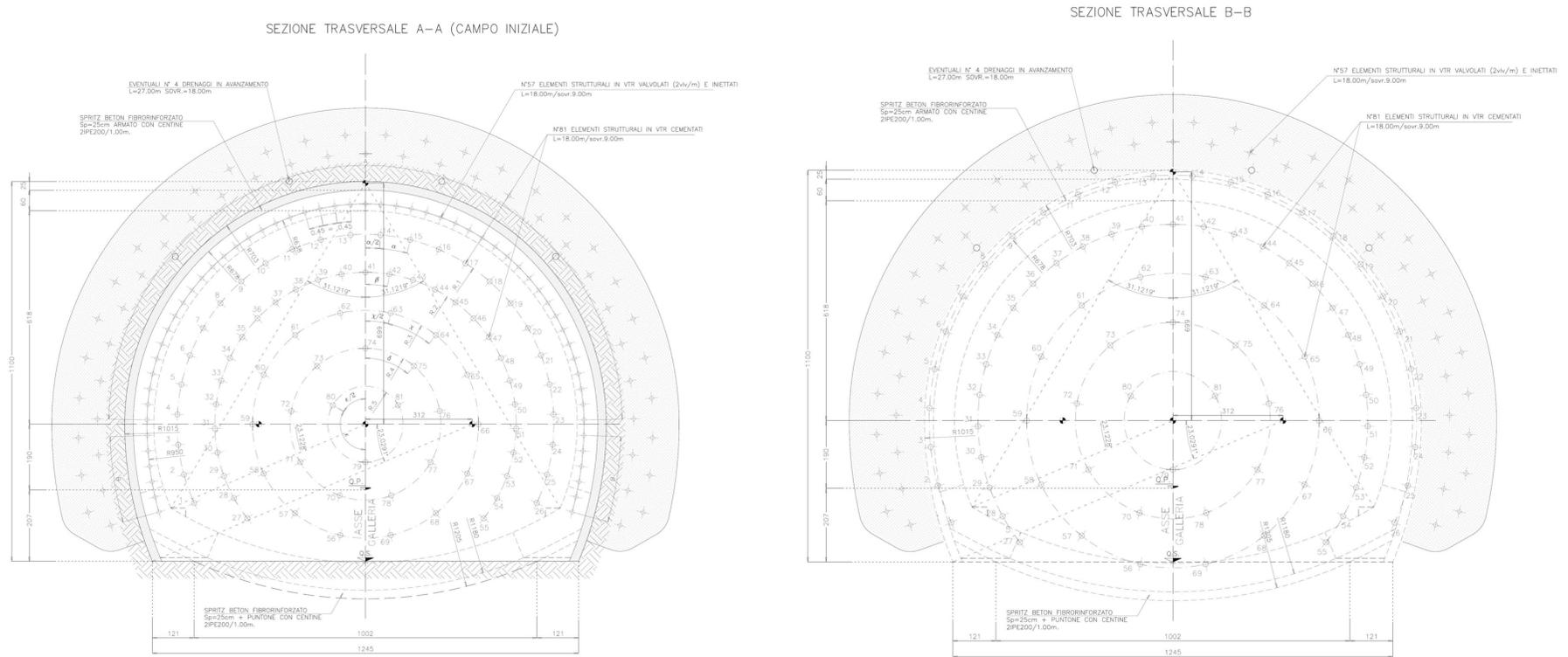


Figura 3 – Sezione C2P – Sezioni trasversali

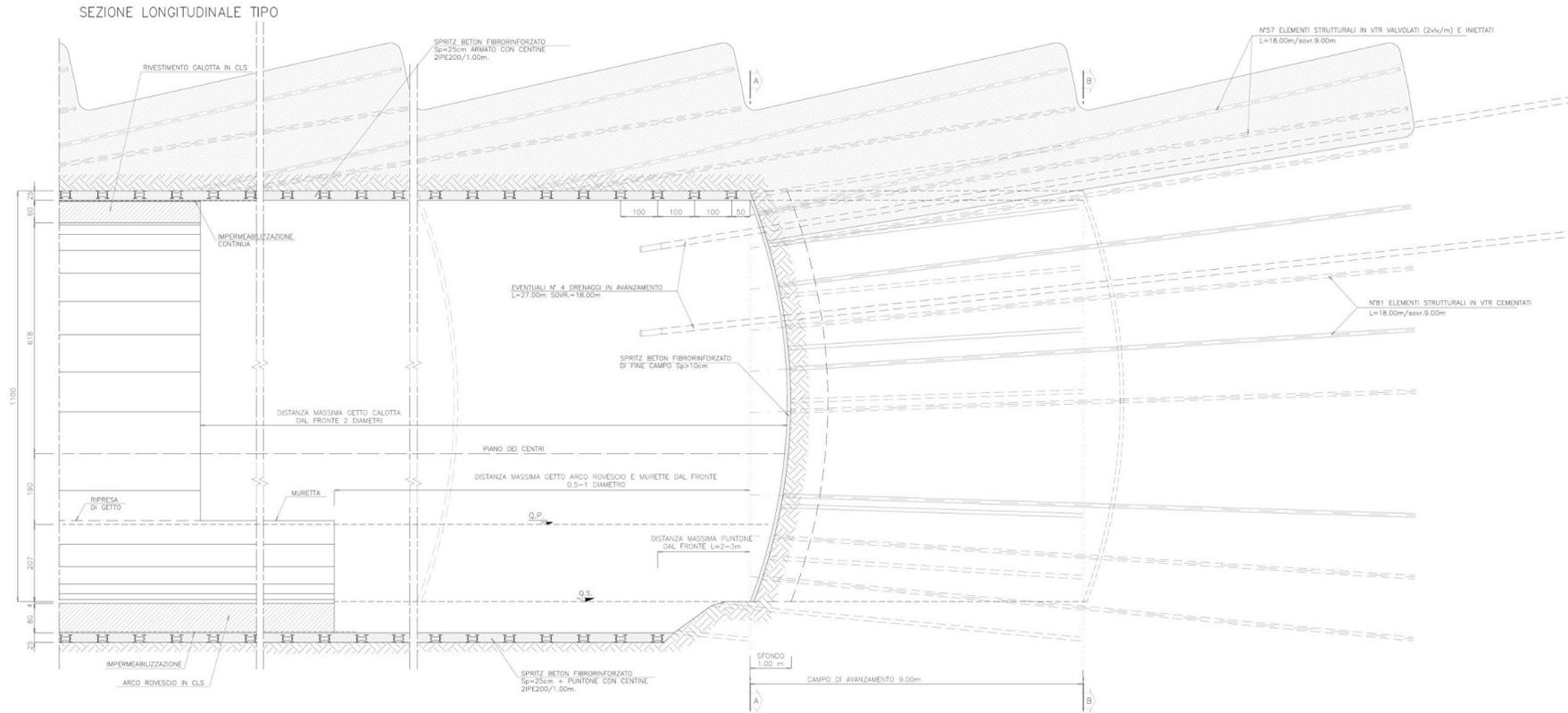


Figura 4 – Sezione C2VP – Sezione longitudinale

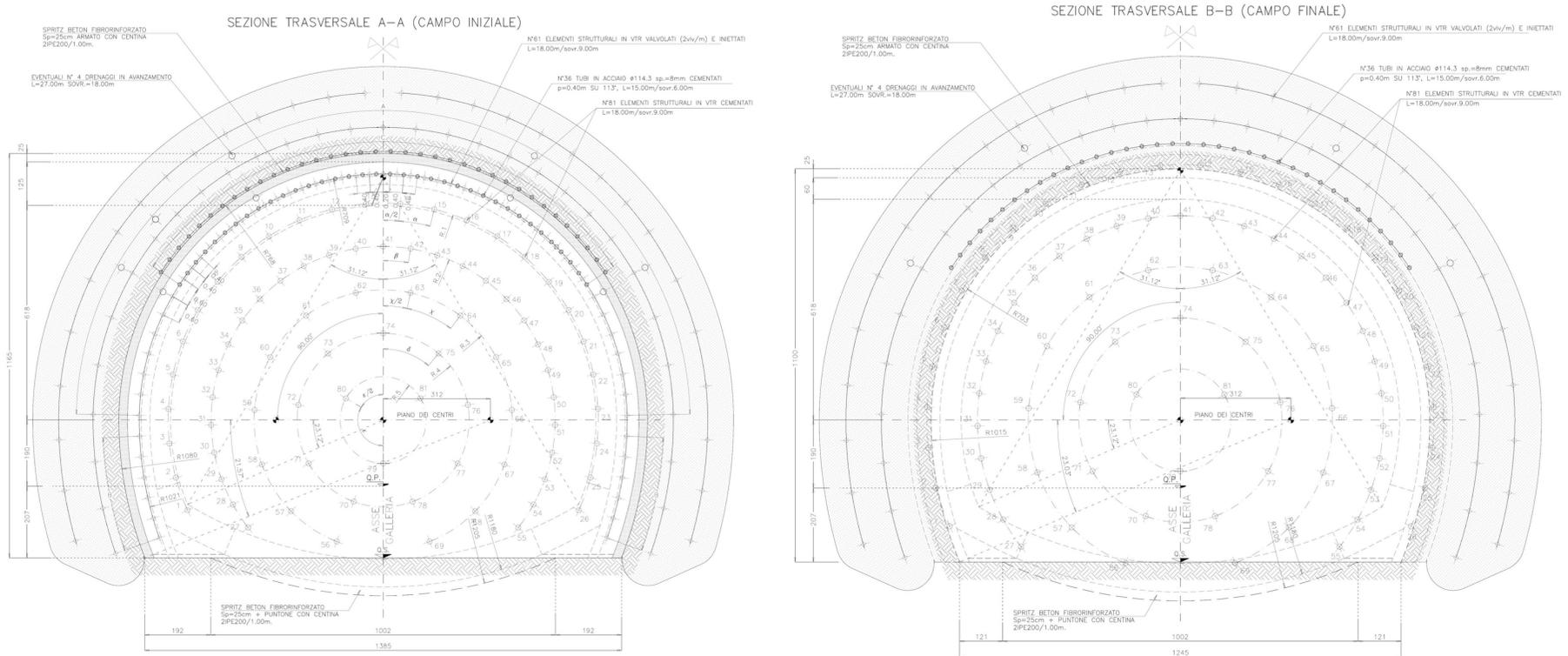


Figura 5 – Sezione C2VP – Sezioni trasversali

4.1.1 Modalità esecutive delle iniezioni

Come per il tratto già realizzato e come era previsto nel Progetto costruttivo, le sezioni tipo C2P e C2VP, tra le altre cose, la realizzazione di un intervento di consolidamento al contorno mediante iniezioni cementizie selettive in pressione attraverso VTR valvolati (2valv./m).

La presenza di un ammasso fortemente tettonizzato motiva, infatti, il requisito progettuale imprescindibile di ottenere un'adeguata coronella di materiale consolidato al contorno, per garantire le condizioni di stabilità in fase di scavo.

Nonostante il grado di fratturazione dell'ammasso risulti essere elevato, le prove di permeabilità eseguite hanno indicato per la formazione del Macigno valori di permeabilità MEDI ($K = 10^{-5} - 10^{-6}$ m/sec), come indicato nel profilo geomeccanico della galleria in oggetto. Trattasi prevalentemente di permeabilità secondaria "per fratturazione", che risulta essere ridotta a causa, con ogni probabilità, del riempimento pelitico di parte delle fratture presenti. I valori di permeabilità potrebbero essere anche inferiori di quelli previsti in sede di PE, come si evince dall'analisi dei rilievi geologici dell'ammasso fino ad ora interessato dagli scavi.

Così come per la sezione tipo C2 di PE, anche le sezioni tipo C2P e C2VP prevedono che venga realizzata una fascia di materiale consolidato su tutto lo sviluppo del cavo di spessore minimo pari a 2 m ca (Fig. 1).

Considerata la maglia di VTR (2 valv./m) prevista ed associando ai valori di permeabilità previsti e prevedibili i valori corrispondenti di porosità efficace stimata, è possibile stimare i volumi controllati da iniettare per ogni singola valvola (vedi tabella 3).

Volume d'iniezione V (l/valv.)	Pressione d'iniezione P (bar)	Portata d'iniezione Q (l/min.)	Pressione residua Pr (bar)
60-80	≤10-15	10 l/min	≥3÷5 (per 1 min. ca.)

Tab. 3: parametri d'iniezione al contorno in funzione della permeabilità d'ammasso

La pressione d'iniezione dovrà mantenersi preferibilmente entro i 10-15 bar allo scopo di evitare significativi fenomeni di idrofratturazione del materiale. A tale scopo la portata d'iniezione dovrà essere adeguatamente ridotta al ridursi della permeabilità, al fine di consentire il raggiungimento dei volumi d'iniezione richiesti senza portare anticipatamente "a rifiuto" il materiale. Al raggiungimento del volume controllato, a verifica della avvenuta saturazione del materiale, si dovrà registrare su ogni valvola il mantenimento per almeno un minuto di una pressione residua pari a 3-5 bar. Diversamente, attesa opportuna maturazione, si dovrà procedere ad una seconda passata d'iniezione.

Sequenza di perforazione ed iniezione

Si procederà a eseguire le perforazioni a secco su fori non adiacenti, inserendo i tubi in VTR dotati di 2 vlv/m dopo ogni singolo foro ed effettuando l'iniezione di guaina dopo 10/15 fori, al fine di evitare fenomeni di franamento dei fori stessi.

La fase di iniezione avverrà a partire da fondo foro di ogni singolo VTR e completando prima la corona più esterna in modo da cercare di confinare l'intervento e limitare eventuali fuoriuscite di boiaccia dalla zona voluta dal progetto.

Iniezione di guaina

La miscela da adottare per la cementazione di guaina avrà le seguenti caratteristiche:

- rapporto acqua/cemento ≈ 1.5
- bentonite $\approx 4 \%$

In alternativa, in luogo dell'utilizzo della bentonite, potrà essere incrementato il rapporto acqua cemento, avendo cura comunque di completare la fase di iniezione selettiva nelle valvole del singolo tubo entro le 12 ore circa dalla realizzazione della guaina del tubo stesso, al fine di evitare un eccessivo indurimento della guaina tale da non consentire l'apertura delle valvole per rottura della stessa mediante le usuali massime pressioni utilizzate (30-40 bar).

Diversamente dai VTR normalmente cementati, per quelli valvolati occorre un tappo di fondo opportunamente bloccato, al fine di evitare il riempimento del tubo in fase di creazione della guaina.

Essendo le perforazioni inclinate verso l'alto, l'iniezione di guaina verrà eseguita da bocca foro attraverso un'apposita cannetta "corta", mentre l'avvenuto riempimento del foro verrà verificato attraverso la fuoriuscita della boiaccia da una cannetta spia posizionata fino a fondo foro.

Prima della messa in opera dei VTR sarà opportuno nastrare le valvole per isolarle, minimizzando così il pericolo di dannose infiltrazioni di miscela cementizia all'interno del tubolare in fase di creazione della guaina. Terminata la realizzazione delle guaine con modalità identiche a quelle sopra riportate è opportuno procedere al ripetuto lavaggio dell'interno del tubolare.

Iniezione valvole

Dopo un tempo, da tararsi in corso d'opera (generalmente pari a 12÷18 ore), necessario al raggiungimento di un adeguato indurimento della miscela di guaina, si procederà alla fase di iniezione attraverso le valvole.

La fase di iniezione dovrà essere eseguita valvola per valvola (iniezione selettiva) a partire da fondo foro. Il packer, spinto all'interno del tubolare fino alla prima valvola posta in prossimità del fondo dovrà essere provvisto di apposita strumentazione

necessaria per posizionarlo nella corretta posizione d'iniezione (ugello d'iniezione in corrispondenza della valvola); quindi andrà pompata una necessaria pressione (generalmente circa 10 bar) per isolare l'ugello dal resto della tubazione (operazione particolarmente importante).

La miscela da adottare per l'iniezione selettiva attraverso le valvole avrà le seguenti caratteristiche:

- cemento tipo 42,5R
- rapporto acqua/cemento $\approx 0.5-0.7$
- additivo fluidificante $\approx 4 \%$

La fase di iniezione dovrà avvenire in condizione di pressione e volumi controllati mediante l'utilizzo di adeguati manometri e contaltri.

In fase di iniezione si potranno evidenziare le seguenti condizioni:

- nel caso in cui, al raggiungimento del volume controllato nella singola valvola, si registri, dopo avere interrotto l'iniezione, a circuito chiuso, il mantenimento, per almeno un minuto circa, di una pressione residua pari o superiore ai valori richiesti, l'iniezione in quella valvola potrà considerarsi conclusa;
- nel caso in cui, al raggiungimento del volume controllato nella singola valvola, si registri, dopo avere interrotto l'iniezione, a circuito chiuso, una pressione residua nulla, inferiore ai valori richiesti o che si riduce rapidamente, sarà necessario eseguire una o ulteriori più passate in quella valvola, dopo aver atteso un adeguato tempo di maturazione (si consiglia nel frattempo di passare ad un'altra valvola dello stesso tubo od a tubi successivi), previo adeguato lavaggio;
- nel caso in cui, prima del raggiungimento del volume controllato nella singola valvola in fase di iniezione si noti, a parità di portata, una tendenza all'incremento delle pressioni di iniezione e, dopo avere interrotto l'iniezione si registri, a circuito chiuso, il mantenimento, per almeno un minuto circa, di una pressione residua pari o superiore ai valori indicati, l'iniezione in quella valvola potrà considerarsi conclusa;
- nel caso in cui, prima del raggiungimento del volume controllato nella singola valvola, si riscontri un incrementino delle pressioni di iniezione a parità di portata, ma a circuito chiuso le pressioni in foro tendano velocemente ad azzerarsi senza evidenziare una pressione residua, si dovrà provvedere a riprendere l'iniezione in quella valvola riducendo la portata di iniezione.

Per ogni singola valvola e per ogni passata dovranno essere annotati i seguenti parametri:

- Pressione rottura guaina
- Pressione e Portata di iniezione
- Volume iniettato
- Pressione residua

Qualora si verificano fenomeni di fuoriuscita di boiaccia, si dovranno prima ridurre le pressioni di iniezione, intervenendo sulle portate e poi, qualora il fenomeno continui a verificarsi, sospendere l'iniezione attraverso quella valvola per riprenderla successivamente, previo adeguato lavaggio.

Al fine di evitare la fuoriuscita di boiaccia da fori adiacenti, si consiglia di iniettare VTR sfalsati.

Al fine di evitare incrementi di pressione sul fronte l'ultimo metro di terreno a ridosso della stessa potrà non essere iniettato.

4.2 Interventi propedeutici alla ripartenza da sud

Come già previsto dalla fase progettuale costruttiva da che il fronte di scavo è fermo da molti anni, si sono certamente verificati fenomeni di detensionamento dell'ammasso roccioso.

Per riprendere gli scavi, ed in particolare per i primi 2 campi di 6 m ciascuno, si prevede un potenziamento degli interventi al fronte (n° 100 VTR cementati con malte espansive) e al contorno, come di seguito:

- per primo campo, consolidamento al contorno con n° 44 elementi strutturali in VTR valvolati (2vlv/m) iniettati con miscele cementizie L=4m + n° 43 VTR L=6m.
- per secondo campo, consolidamento al contorno con n° 83 elementi strutturali in VTR valvolati (2vlv/m) iniettati con miscele cementizie L=15m e sovr.=9m + n° 79 VTR L=15m e sovr.=6m.

Nelle immagini seguenti si riportano i dettagli delle sezioni tipo.

SEZIONE LONGITUDINALE

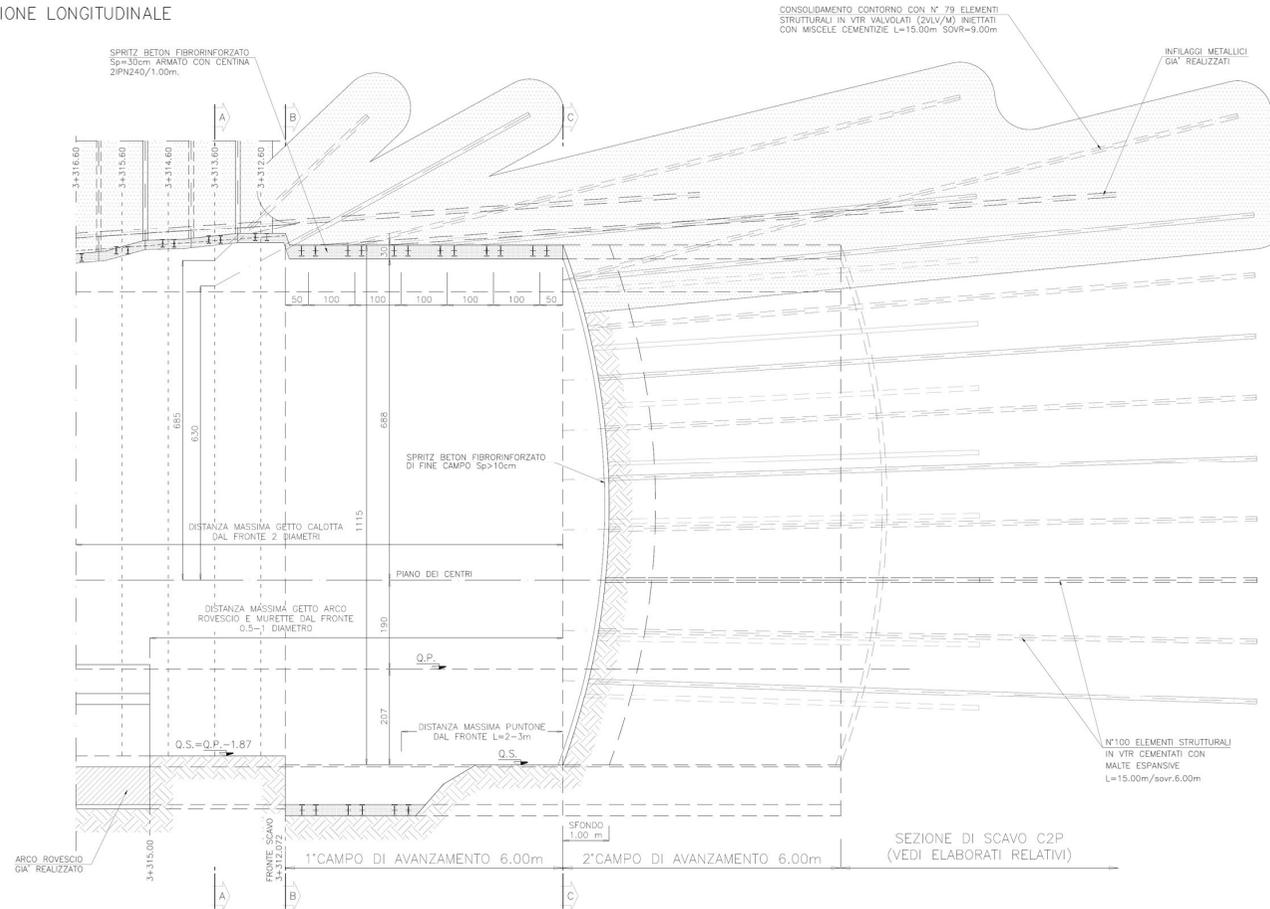


Figura 6 – Schema consolidamenti per la ripartenza – Sezione longitudinale

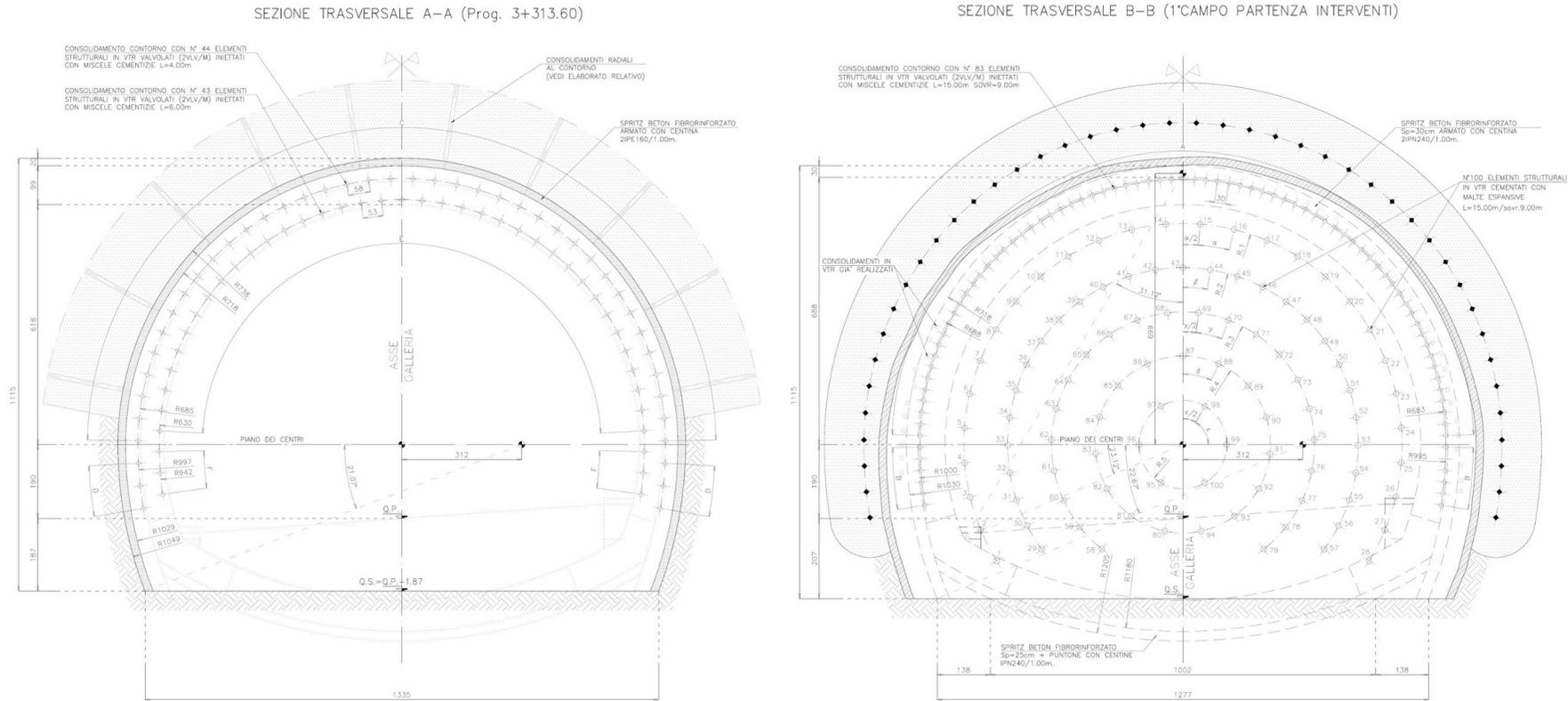


Figura 7 – Schema consolidamenti per la ripartenza – Sezione trasversale 1 di 2

SEZIONE TRASVERSALE C-C (2°CAMPO PARTENZA INTERVENTI)

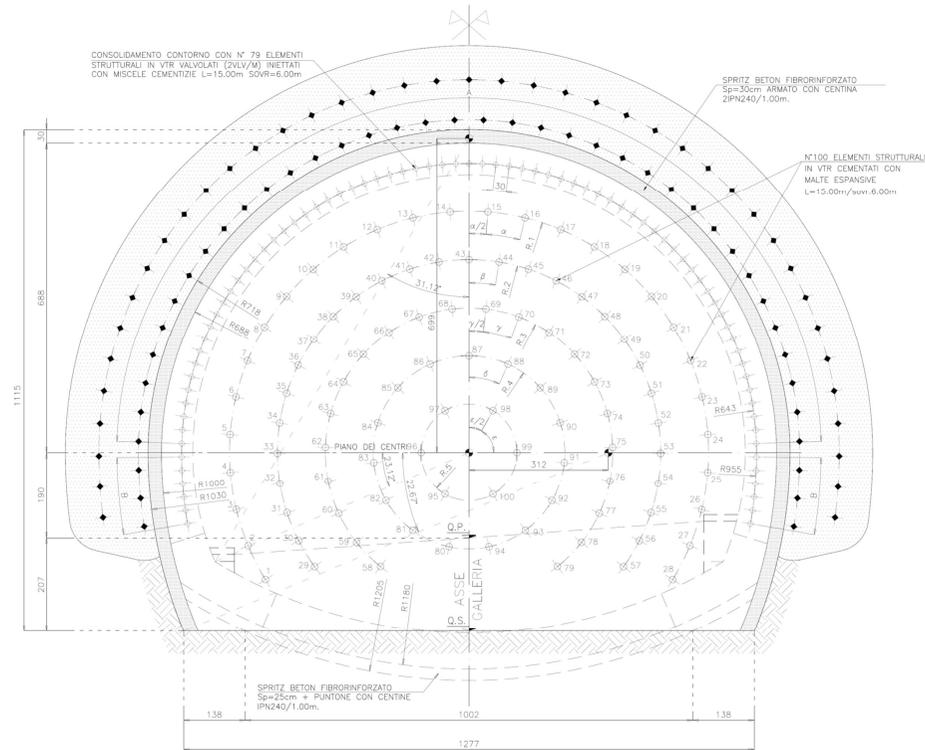


Figura 8 – Schema consolidamenti per la ripartenza – Sezione trasversale 2 di 2

4.3 Interventi di ripristino sagoma del tratto realizzato

Nel tratto realizzato sono presenti parti di rivestimento definitive realizzate e parti ove è presente il solo rivestimento di prima fase in calotte che si presenta diffusamente deformato generando l'impossibilità di realizzare il rivestimento definitivo dello spessore richiesto, di minimo 60 cm. L'arco rovescio invece è realizzato sull'intero tratto scavato.

Al fine di accertare l'esatta geometria del cavo laddove è presente il solo rivestimento di prima fase è stato eseguito un rilievo con Laser-Scanner.

In fase esecutiva, nei tratti ove non presente il rivestimento definitivo, dovrà essere preventivamente rimossa l'impermeabilizzazione ed effettuato un rilievo di dettaglio della superficie di intradosso del rivestimento di prima fase.

Dovrà pertanto verificarsi la posizione e l'estensione dei tratti ove è prevista la rimozione e la sostituzione delle centine deformate e la realizzazione del rivestimento di prima fase per il ripristino della corretta geometria del rivestimento definitivo (spessore minimo 60.0 cm).

È prevista una tipologia di intervento che prevede la rimozione dei rivestimenti di prima fase deformati che non garantiscono lo spessore richiesto per il rivestimento definitivo, previa la creazione al contorno di un arco di terreno consolidato e ricompreso.

Per quanto sopra si procederà ad un consolidamento radiale al contorno con n° 9-10 elementi strutturali in VTR L=6m, valvolati (2vlv/m) iniettati con miscele cementizie, passo longitudinale pari a 1m.

Prima di effettuare le perforazioni e i consolidamenti radiali dovrà essere effettuato un minuzioso disaggio dell'esistente rivestimento di prima fase in spritz-beton con eventuali locali ripristini ove è previsto che sia mantenuto in opera.

L'asportazione delle centine deformate, la posa delle nuove con realizzazione del relativo strato di spritz-beton, dovrà essere eseguito per campi pari all'interasse centine (1.0 m).

Essendo presenti a tergo delle centine gli infilaggi, questi dovranno essere sezionati e rimossi, sempre operando per campi di circa 1.0 m.

Terminate le operazioni di consolidamento e ripristino della corretta geometria dell'intradosso del rivestimento di prima fase, dovranno posarsi l'impermeabilizzazione, le armature ed effettuato il getto del rivestimento definitivo.

Nel seguito si presentano alcune immagini del rilievo eseguito e le sezioni tipo di intervento.

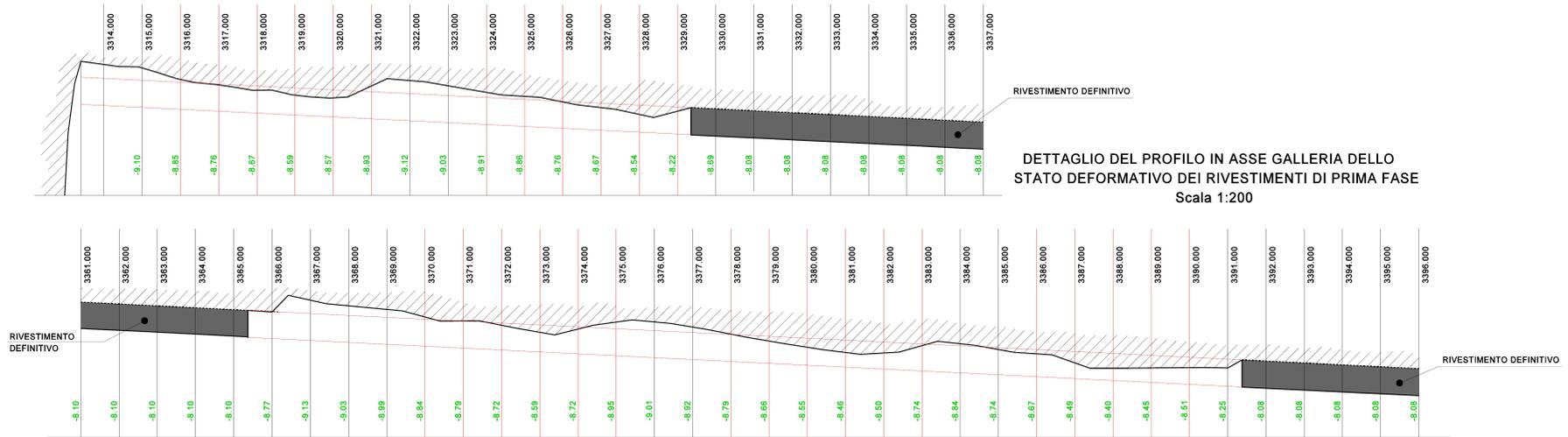


Figura 9 – Risultati del rilievo dello stato deformativo del rivestimento di prima fase

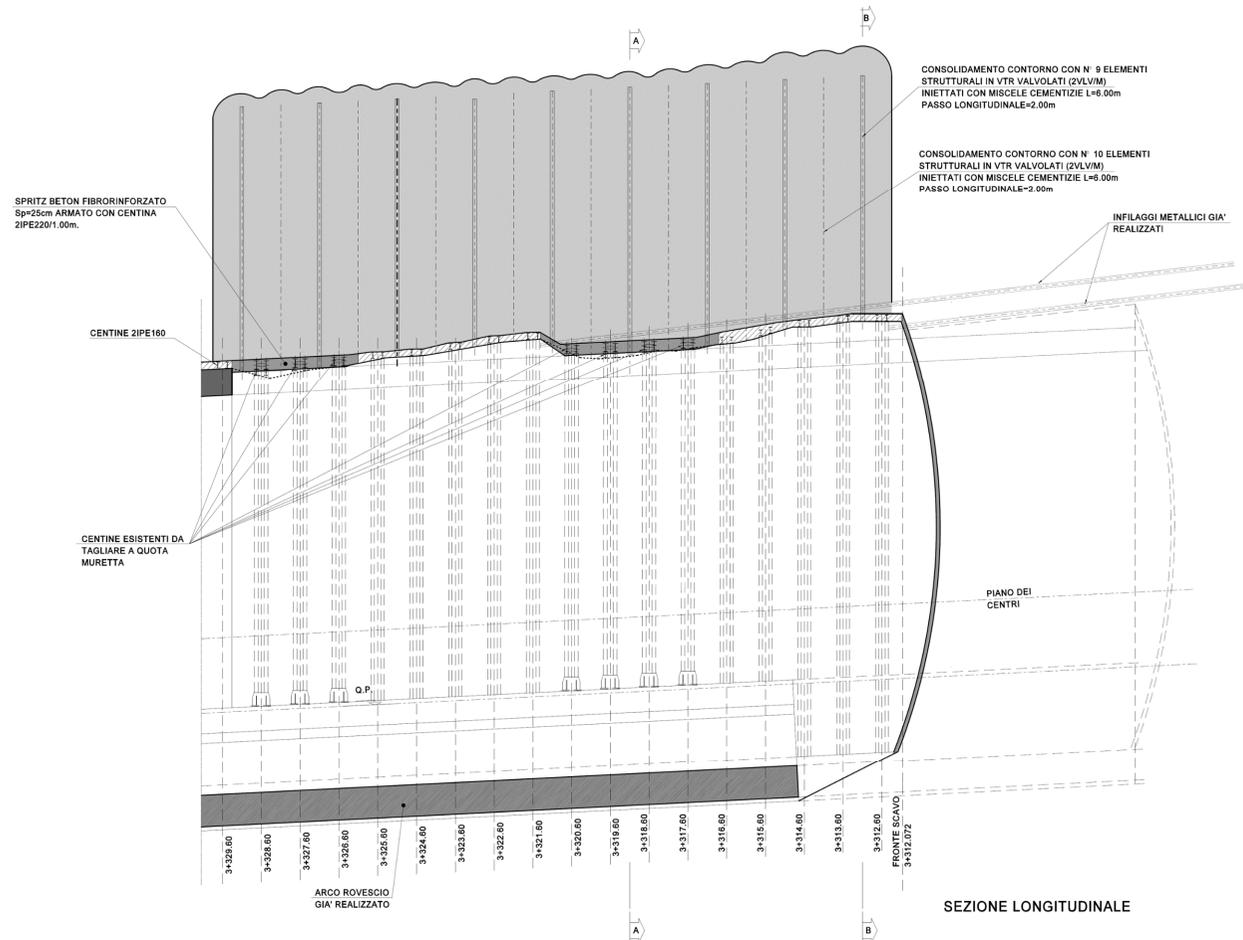


Figura 10 – Riprofilatura del rivestimento di prima fase 1 di 4

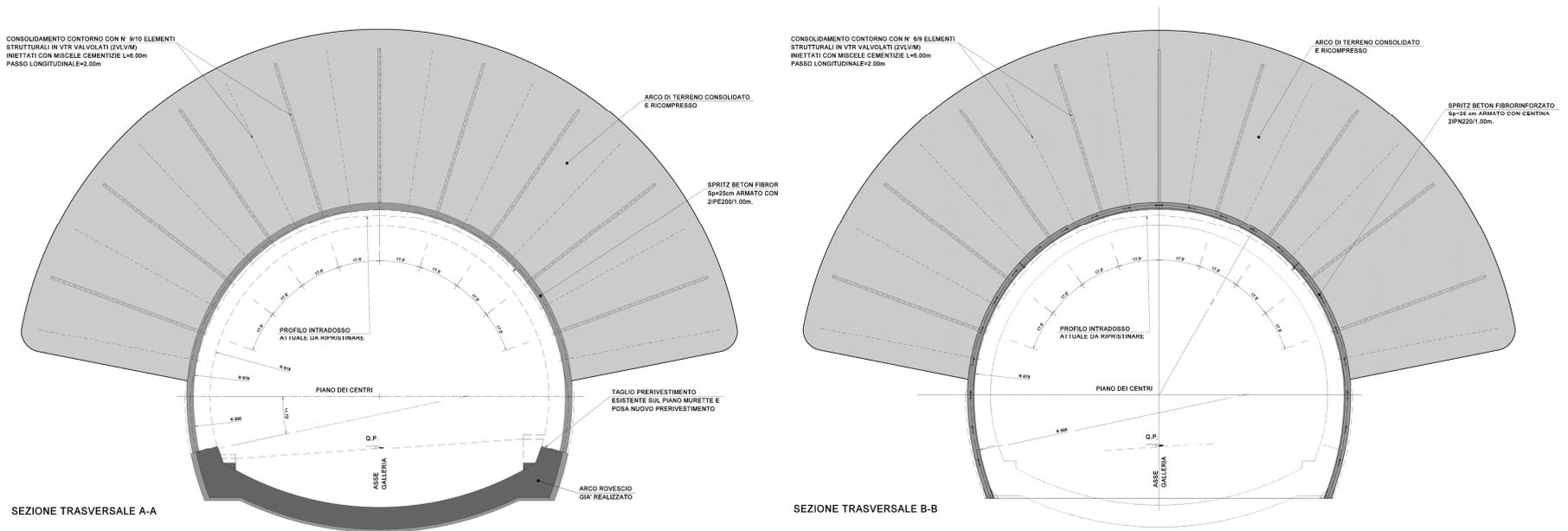


Figura 11 – Riprofilatura del rivestimento di prima fase 2 di 4

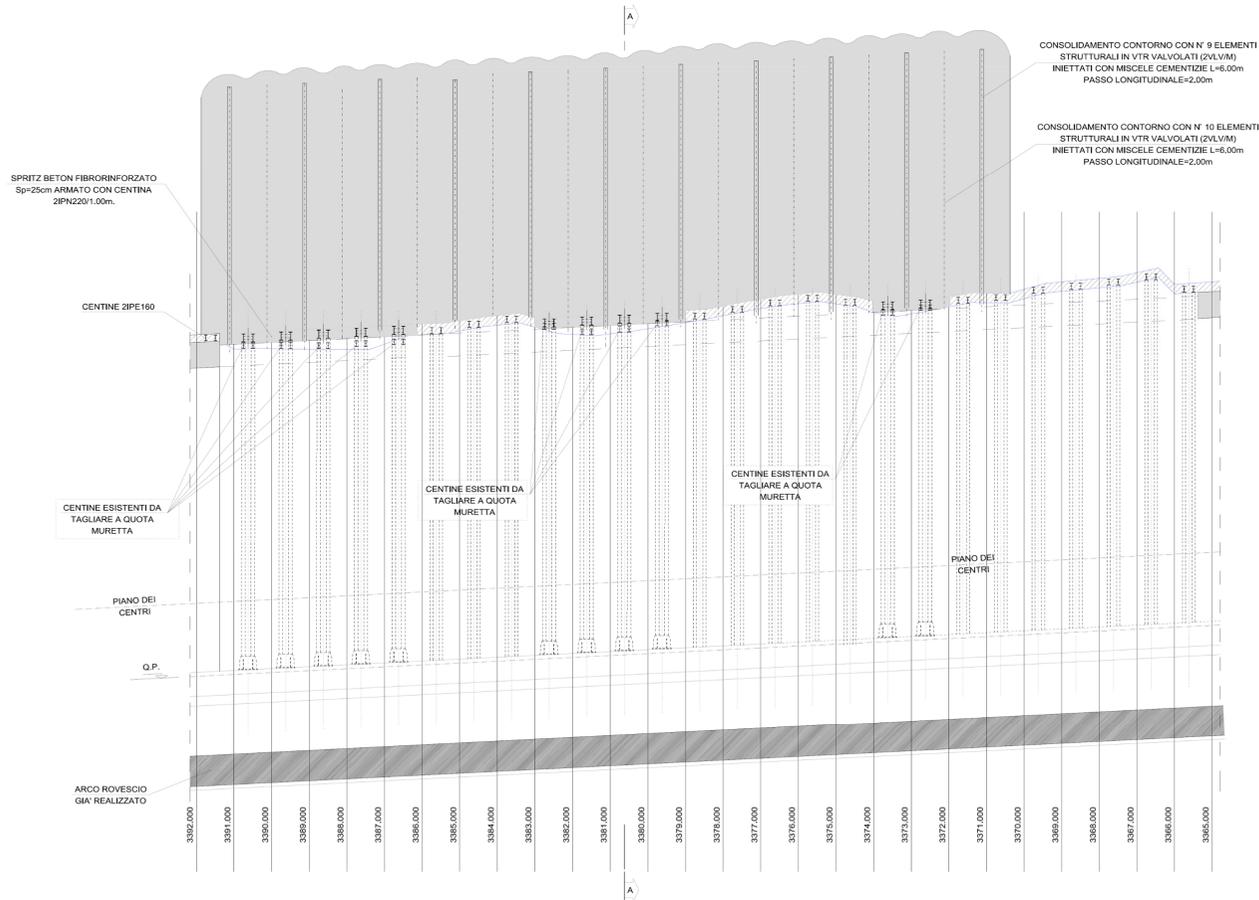


Figura 12 – Riprofilatura del rivestimento di prima fase 3 di 4

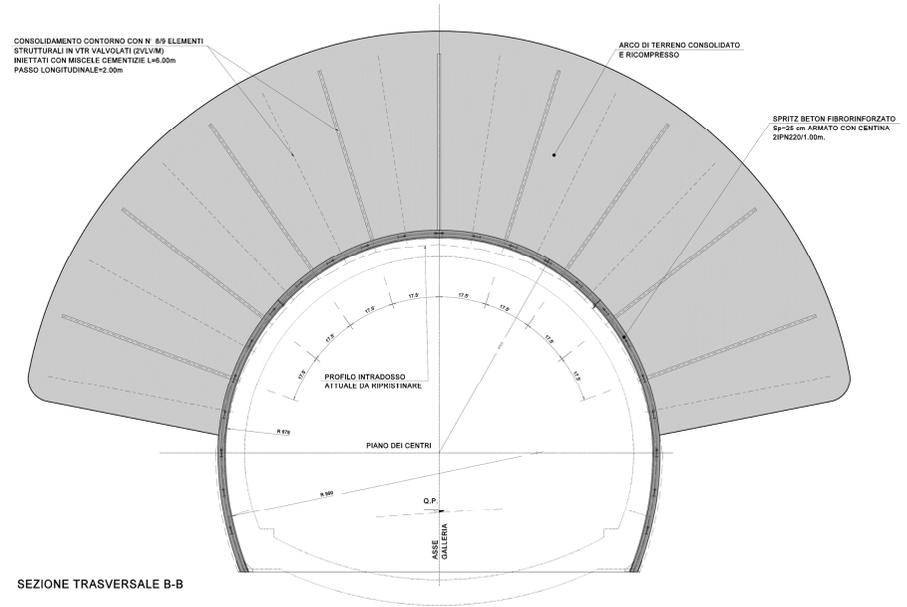
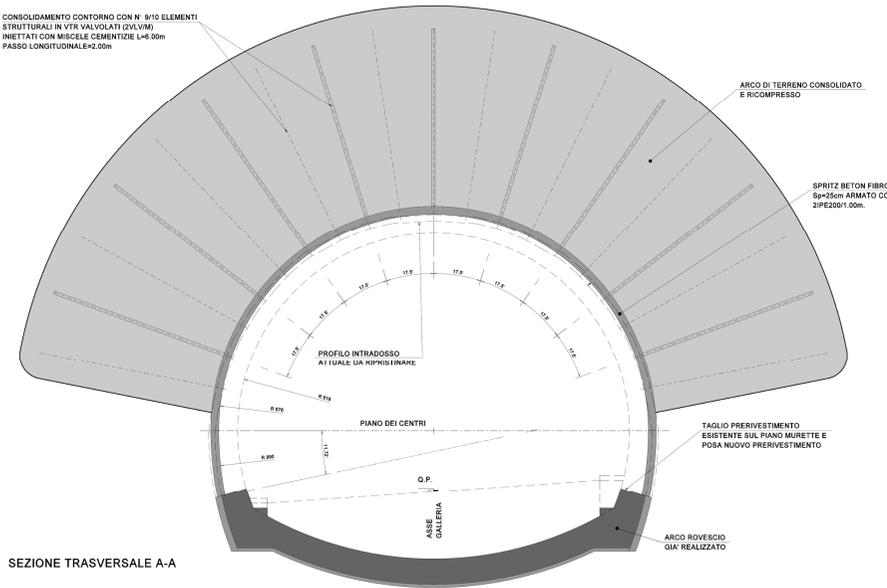


Figura 13 – Riprofilatura del rivestimento di prima fase 4 di 4

4.3.1 Misure di convergenza

In tale paragrafo, al fine di individuare i parametri di resistenza e deformabilità dell'ammasso tramite analisi a ritroso, si restituiscono, in relazione alle deformazioni del cavo riscontrate, i risultati delle misure di convergenza utili alla taratura del processo di back-analysis.

In particolare le misure di convergenza eseguite in galleria hanno permesso l'analisi della sezione di convergenza ritenuta più rappresentativa, in cui la posa dell'arco rovescio è avvenuta lontano dal fronte di scavo e per la quale si sono registrati i valori massimi di convergenza.

La sezione di monitoraggio rappresentativa di questa situazione è la sezione 9 (prog. 3+351). Per tale sezione le misure di convergenza eseguite in galleria durante le fasi di avanzamento dello scavo hanno restituito deformazioni dell'ammasso rilevanti, che si sono manifestate con una chiusura complessiva del cavo di poco inferiore a 300 mm sull'allineamento dei target 1-2.

Nelle seguenti figure sono riportate l'immagine rappresentativa del posizionamento dei target per le misure di convergenza ed il grafico riassuntivo di tali misure, con i dati operativi salienti.

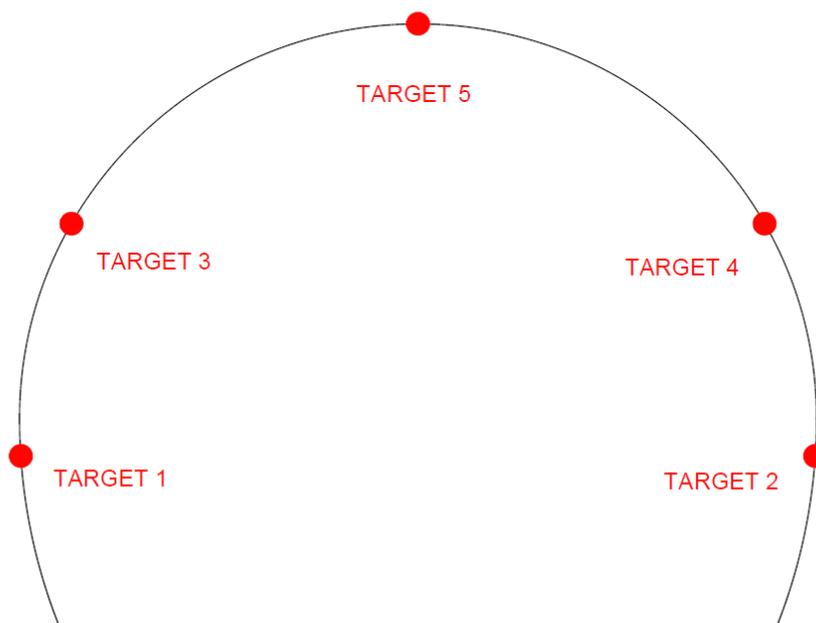


Figura 14 –Target misure di convergenza

GALLERIA NATURALE FELETTINO III (GN03)
Misure di convergenza - Sezione 9
Progressiva assoluta: km 3+351
Avanzamento in naturale da imbocco SUD: 70 m

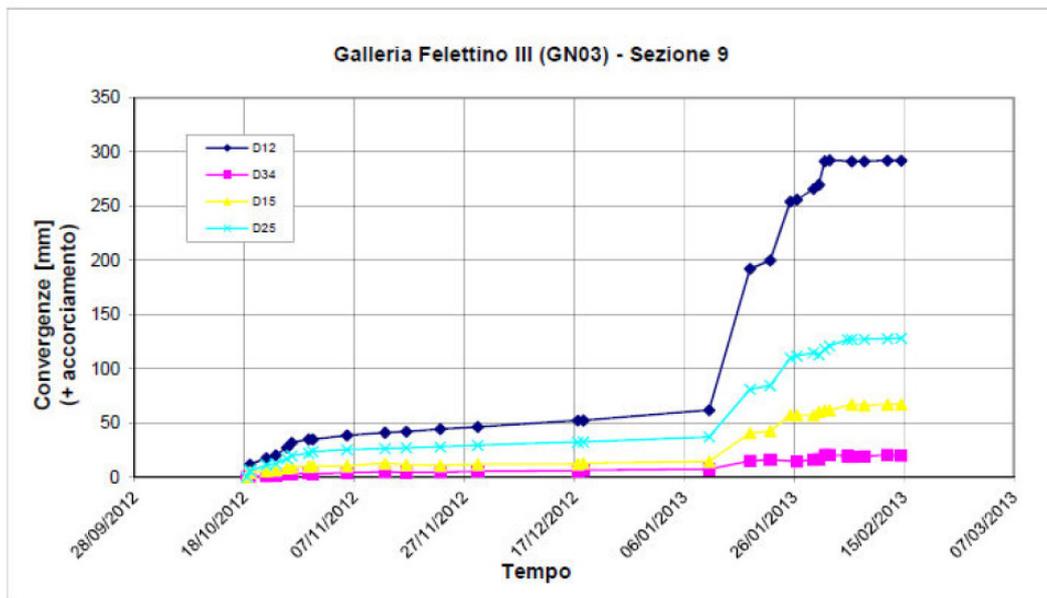
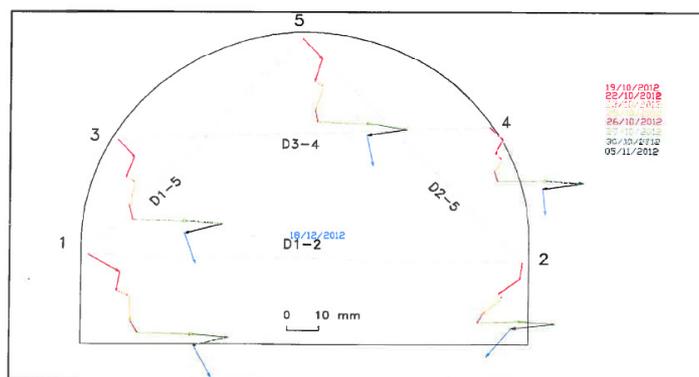


Figura 15 – Misure di convergenza – Sezione 9

Parallelamente alle convergenze del cavo, sono stati riscontrati abbassamenti massimi del piede delle centine stimabili in circa 14÷18 cm, maggiori per il piedritto sinistro (lato valle).

GALLERIA NATURALE FELETTINO III (GN03)
Misure di convergenza - Sezione 9
Progressiva assoluta: km 3+347.5
Avanzamento in naturale da imbocco SUD: 70 m

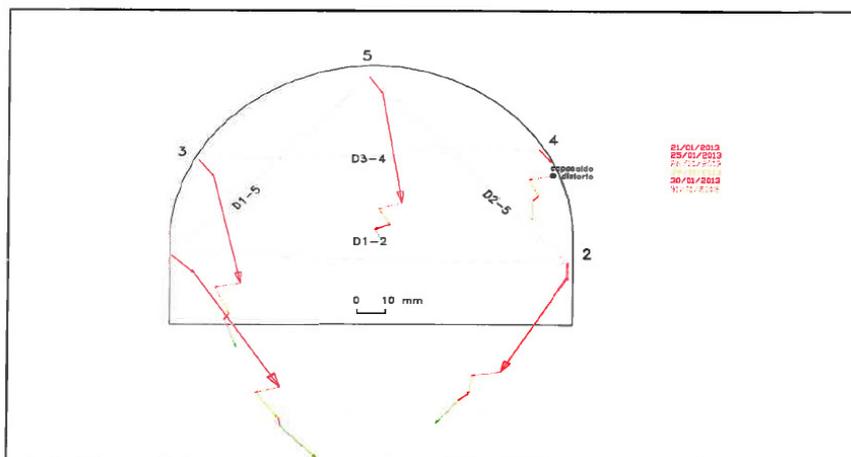


Note:
 • 18/10/2012 lettura di zero della sezione di convergenza 9
 • 25/10/2012 scavo arco rovescio da km 3+366 a km 3+357
 • 29 e 30/10/2012 La misura risulta affetta da un errore di orientamento connesso con il riposizionamento di una mira di riferimento.

Figura 16 – Misure di convergenza – Sezione 9

GALLERIA NATURALE FELETTINO III (GN03)
Misure di convergenza - Sezione 9
Progressiva assoluta: km 3+350.8
Avanzamento in naturale da imbocco SUD: 66.7 m

Incrementi di spostamento rispetto alle misure precedenti al 18/01/2013



Note:

- 18/10/2012 lettura di zero della sezione di convergenza 9
- 25/10/2012 scavo arco rovescio da km 3+366 a km 3+357
- 29 e 30/10/2012 La misura risulta affetta da un errore di orientamento connesso con il riposizionamento di una mira di riferimento.
- Nel periodo compreso tra il 10 ed il 18 gennaio 2013 a causa del riposizionamento del sistema di riferimento per le misure di convergenza non è stato possibile ricavare i vettori di spostamento. Il grafico soprariportato è riferito ad una misura di zero eseguita in data 18/01/2013 ed è da considerarsi come un incremento rispetto ai vettori di spostamento graficati nei precedenti report.
- I valori della convergenza complessiva riportati nel grafico seguente non risentono del riposizionamento del sistema di riferimento.
- 31/01/2013 scavo arco rovescio tra pk 3+350 a pk 3356.5. Fronte al km 3+329.

Figura 17 – Letture di convergenza – Sezione 9

5. Back analysis

Considerate le evidenze riscontrate durante gli scavi con spostamenti del cavo ed in superficie di entità non coerente con le deformazioni prevedibili in presenza di una qualità dell'ammasso ipotizzata in progetto esecutivo, si è resa necessaria la rideterminazione delle effettive caratteristiche di resistenza e deformabilità del terreno attraversato dallo scavo, tramite una modellazione numerica di back-analysis basata sulle misure di convergenza eseguite al fine di ottenere una simulazione quanto più possibile affidabile delle effettive condizioni riscontrate in sito.

Questo processo di back-analysis, sviluppato con riferimento alla sezione di monitoraggio 9 posta alla progressiva 3+351, ha permesso di verificare che con determinati valori del modulo di deformazione, della coesione e dell'angolo d'attrito, con la copertura presente in corrispondenza della sezione di studio e con gli interventi previsti in PE, che in corrispondenza della sezione 9 prevedevano la posa dell'arco rovescio lontano dal fronte di scavo, sono giustificate le deformazioni del cavo misurate. Per quanto riguarda i cedimenti indotti a piano campagna va tenuto conto del fatto che la sezione considerata, dista dall'edificio sito in via Gavatro 26-28 oltre 60 m; pertanto, se le convergenze riscontrate in corrispondenza di questa sezione hanno un significato preciso e sono state impiegate per la taratura del modello e la determinazione dei parametri geomeccanici, i relativi assestamenti in superficie non sono direttamente correlabili con quelli dell'edificio suddetto e pertanto non saranno tenuti in conto nella taratura.

Nella seguente figura si riportano nuovamente le misure di convergenza registrate per i target 1-2 che si attestano a circa 30 cm; si ricorda che il monitoraggio ha inoltre rilevato abbassamenti massimi del piede delle centine stimabili in circa 14÷18 cm.

GALLERIA NATURALE FELETTINO III (GN03)
Misure di convergenza - Sezione 9
Progressiva assoluta: km 3+351
Avanzamento in naturale da imbocco SUD: 70 m

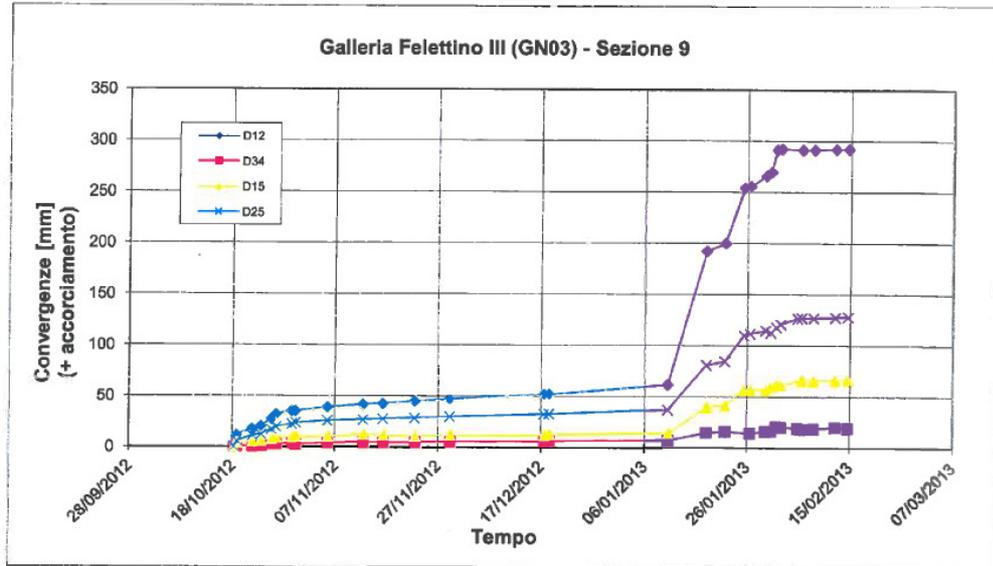


Figura 18 – Spostamenti massimi canna Nord

5.1 Analisi numeriche

Nel seguito si riportano gli esiti della back-analysis condotta con riferimento agli scenari descritti precedentemente.

Le analisi sono state condotte mediante il programma alle differenze finite FLAC 7.0, che ha permesso di considerare il regime deformativo, nelle principali fasi esecutive di realizzazione dell'opera.

5.1.1 Codice di calcolo utilizzato

I calcoli sono eseguiti mediante il seguente codice di calcolo:

Codice:	FLAC-2D
Versione	7.00
N. di Serie	213-039-0053-13918
Produttore	Itasca Consulting Group inc.
Distributore	HarpaCeas S.r.l. – Milano

Grado di affidabilità del codice

L'affidabilità del codice di calcolo é garantita dall'esistenza di un'ampia documentazione di supporto, comprendente una esaustiva casistica di esempi applicativi (verification problem) a documentazione e validazione della affidabilità dei risultati prodotti dal software.

Motivazione della scelta del codice

Il FLAC (Fast Lagrangian Analysis of Continua) è un software di calcolo alle differenze finite (FDM) specificatamente progettato per la modellazione di problemi di tipo geotecnico, con particolare riguardo alla simulazione delle fasi di scavo e messa in opera dei supporti di prima fase e definitivi nella costruzione delle gallerie.

Il FLAC è un codice di calcolo esplicito bidimensionale alle differenze finite che consente di simulare il comportamento di strutture costituite da materiali, quali le rocce, i terreni o altri, che possono diventare sede di un flusso plastico quando raggiungono il limite di snervamento. Il FLAC prevede la creazione di una griglia la cui forma coincide con quella dell'oggetto che deve essere modellato. La griglia viene suddivisa in elementi, o zone, ciascuna delle quali si comporta secondo una prescritta legge sforzi/deformazioni e secondo un determinato criterio di resistenza in risposta alle forze applicate o ai vincoli

imposti sul contorno del modello.

Le leggi costitutive ed i criteri di resistenza previsti dal FLAC sono particolarmente adatti a simulare il comportamento di materiali geologici o simili, che possono andare incontro a deformazioni di notevole entità e a fenomeni di plasticizzazione con decadimento dei parametri meccanici. Inoltre il FLAC è basato su una descrizione "Lagrangiana" delle deformazioni, che consente di modellare facilmente ampie distorsioni.

Esame dei risultati e controlli

Valutazione della correttezza dei modelli

I modelli di calcolo predisposti sono da ritenersi appropriati per le situazioni analizzate; non sono state riscontrate labilità né incongruenze nelle reazioni e nelle forze scambiate all'interfaccia tra le varie sottozone in cui sono stati suddivisi i modelli di calcolo.

Gli stati tensionali calcolati rispecchiano fedelmente quanto valutabile anche con calcoli di larga massima, nel rispetto delle configurazioni geometriche e dei vincoli assegnati.

Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

L'analisi critica dei risultati e dei parametri di controllo nonché il confronto con valutazioni di massima eseguite con metodi di calcolo semplificati portano a confermare la validità dei risultati ottenuti.

5.1.2 Geometrie dei modelli

La back-analysis è stata condotta considerando dei reticoli di forma rettangolare, aventi dimensioni e grado di infittimento al contorno del cavo tali da garantire una soluzione numerica accurata e rappresentativa della situazione in sito. Le dimensioni della griglia e le distanze dalla galleria ai limiti esterni della griglia stessa sono tali da evitare eventuali effetti di bordo sull'area di interesse del reticolo. Il contorno dei modelli è stato vincolato lateralmente ed inferiormente mediante opportuni vincoli.

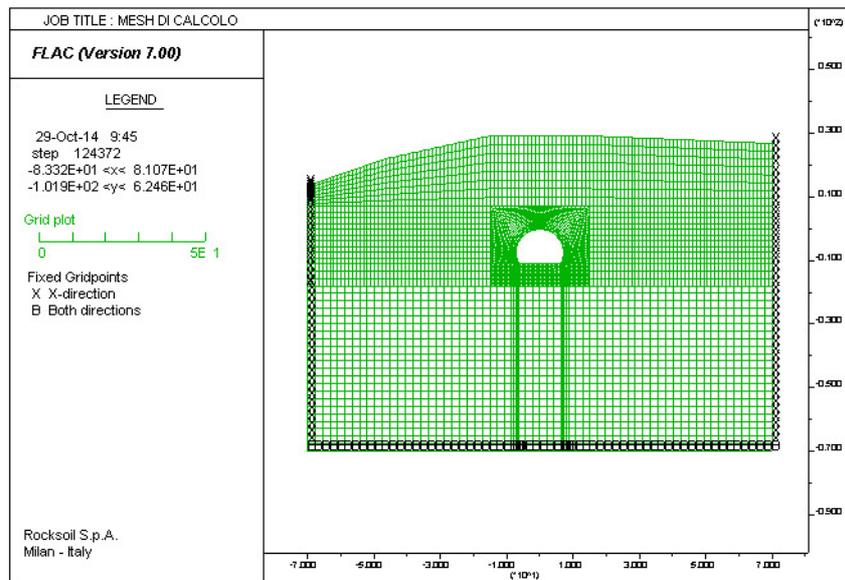


Figura 19 – Mesh di calcolo

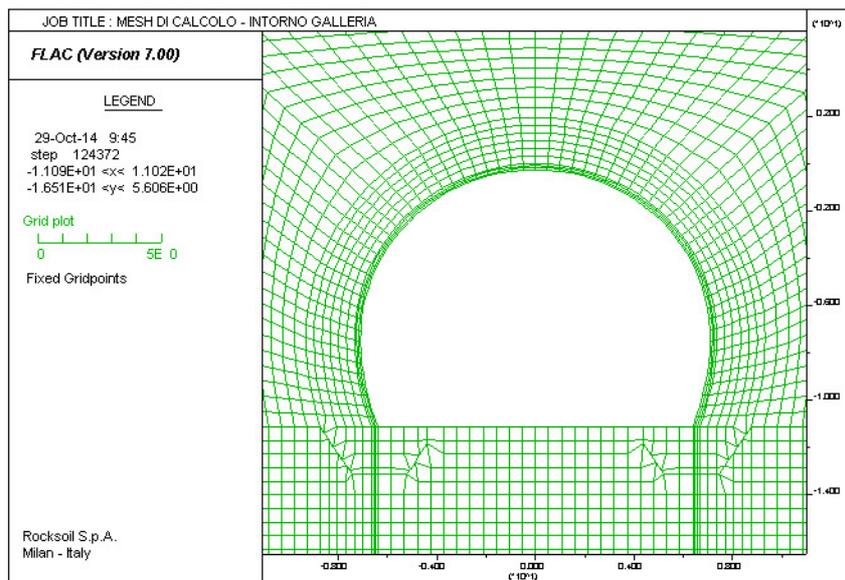


Figura 20 – Mesh di calcolo – Intorno galleria

5.1.3 Leggi di comportamento del materiale

Il codice di calcolo consente di adottare un modello di comportamento del terreno elastico-perfettamente plastico.

Il criterio di rottura adottato è quello di Mohr-Coulomb: in condizioni di strain-softening, i parametri di resistenza (coesione e angolo d'attrito interno) vengono gradualmente ridotti in funzione della deformazioni plastica sviluppata, secondo una legge di tipo lineare.

La funzione di plasticizzazione F definita dal criterio di rottura consente di individuare

quelle zone di terreno in cui lo stato tensionale ha superato il limite al di sotto del quale il materiale mantiene un comportamento elastico e che sono quindi soggette a sollecitazioni tali da comportare deformazioni irreversibili nell'ammasso.

Per un generico stato di sforzo, individuato dalle tensioni principali σ_1 , σ_2 , σ_3 , il criterio di rottura di Mohr-Coulomb, è rappresentato dalle seguenti equazioni lineari:

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \pm 2 \cdot \left(c' \cdot \cos(\phi') + \frac{(\sigma_1 + \sigma_2)}{2} \cdot \sin(\phi') \right)$$

$$\sigma_2 - \sigma_3 = \pm 2 \cdot \left(c' \cdot \cos(\phi') + \frac{(\sigma_2 + \sigma_3)}{2} \cdot \sin(\phi') \right)$$

$$\sigma_3 - \sigma_1 = \pm 2 \cdot \left(c' \cdot \cos(\phi') + \frac{(\sigma_3 + \sigma_1)}{2} \cdot \sin(\phi') \right)$$

Il criterio di Mohr-Coulomb è rappresentato, nello spazio delle tensioni principali, da una piramide a base esagonale non regolare con la trisettrice nel primo ottante:

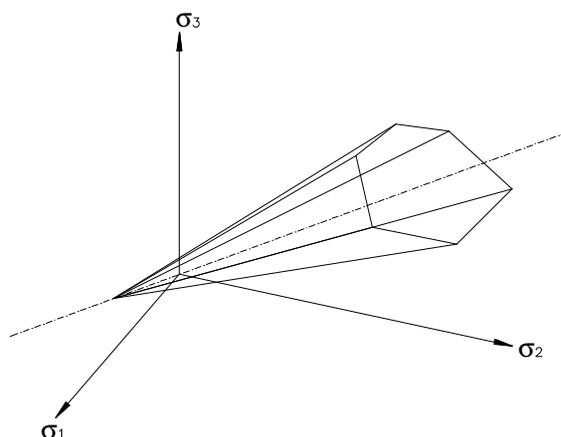


Figura 21 – Dominio di rottura di Mohr-Coulomb

Nel criterio di rottura di Mohr-Coulomb la resistenza al taglio non è influenzata dallo sforzo principale avente intensità intermedia; la resistenza del materiale è variabile in funzione dello stato di sforzo esistente.

Il decadimento dei parametri geomeccanici dell'ammasso è conseguenza diretta dello sviluppo di deformazioni plastiche e della progressiva evoluzione della zona plasticizzata al contorno dello scavo, a fronte del progredire delle deformazioni.

Le legge di decadimento dei parametri geotecnici può quindi essere rappresentata come in figura, in funzione della deformazione plastica sviluppata dall'ammasso.

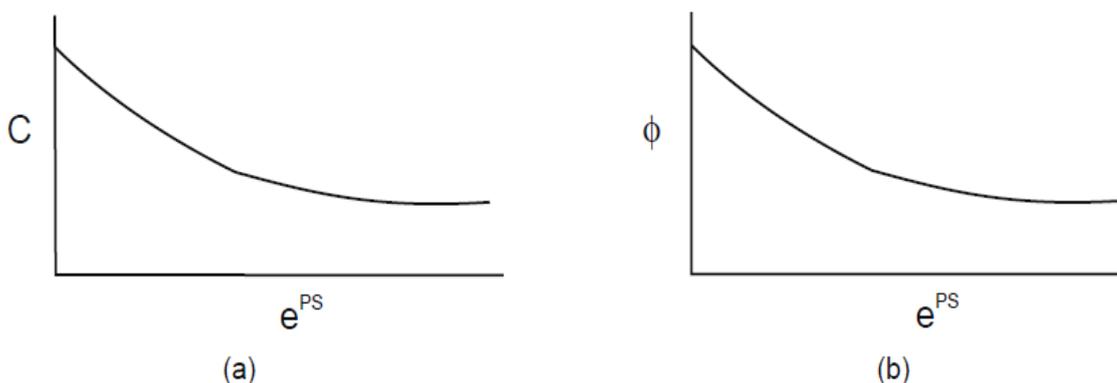


Figura 22 – Legge di decadimento dei parametri geotecnici

La procedura di back-analysis, finalizzata ad identificare attendibili valori di resistenza e deformabilità del materiale costituente l’ammasso, è stata condotta in modo tale da garantire la congruenza fra gli spostamenti misurati in galleria (chiusura ed abbassamento del cavo) e quelli derivanti dall’analisi numerica.

Sulla base delle precedenti assunzioni è stata condotta una back-analysis da cui sono stati desunti i valori dei sopracitati parametri ai quali corrispondono degli spostamenti del modello congruenti con quelli misurati in galleria.

Le caratteristiche fisiche, di deformabilità e di resistenza dei materiali adottati nel modello numerico vengono riportate di seguito mentre le fasi di avanzamento e le percentuali delle forze di scavo applicate all’ammasso saranno descritte nei paragrafi seguenti.

Unità	γ	$c'_p - c'_r$	$\phi_p - \phi_r$	E	ν
[-]	[kN/m ³]	[kPa]	[°]	[MPa]	[-]
Back-Analysis	23	65 - 52	30 - 24	250	0.3

Tabella 1 – Parametri geomeccanici

Si sottolinea che, in considerazione dell’inefficienza dei consolidamenti al contorno del cavo dettata dagli esigui assorbimenti, nelle analisi non è stata modellata la presenza della coronella mantenendo quindi il terreno non trattato.

5.1.4 Stato di sforzo iniziale

Nella prima fase dell’analisi numerica viene ricostruita in termini di sforzi e di deformazioni la situazione iniziale preesistente allo scavo della galleria.

Il carico applicato in direzione verticale corrisponde al carico geostatico alle varie quote del modello.

Il carico applicato in direzione orizzontale è stato determinato per back-analysis al fine di

ottenere spostamenti in linea con quanto rilevato dal sistema di monitoraggio e risulta pari a: $K_o = 0.7$.

5.1.5 Scavo delle gallerie

La simulazione dello scavo avviene mediante il progressivo annullamento delle forze interne al profilo di scavo, fino al loro completo rilassamento; gli step di rilassamento vengono operati in funzione della distanza dal fronte della sezione considerata nell'analisi, mediante l'impiego delle curve di Panet. La scelta della curva di Panet da utilizzare è stata condotta considerando il numero di stabilità $N_s=1$.

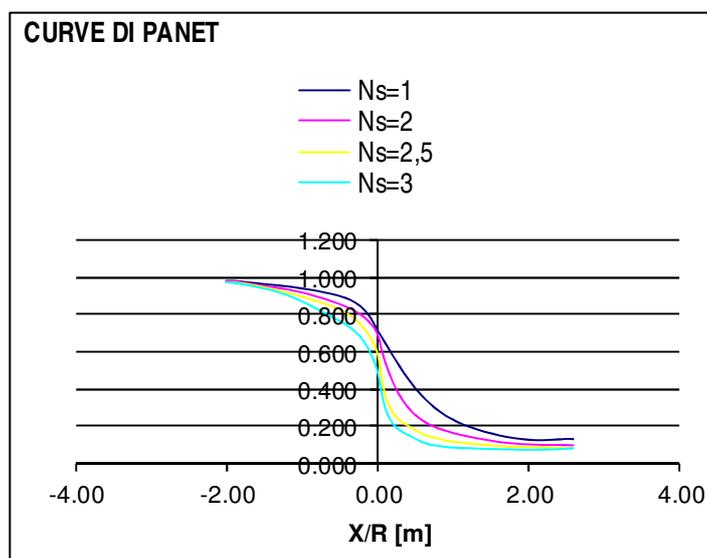


Figura 23 – Curve di Panet

L'adozione della sola curva di Panet non produce tuttavia i dovuti risultati tenso-deformativi, né per confronto con quanto ottenuto in base alla teoria delle Linee Caratteristiche, né per confronto con quanto effettivamente rilevato in analoghe gallerie in corso d'opera. Un ruolo fondamentale per una corretta definizione dei rilassamenti da adottare nelle analisi è il valore di rilassamento da impiegare in corrispondenza del fronte di scavo. Al fine di adattare il valore di rilassamento alle caratteristiche geomeccaniche del materiale, dello stato tensionale in sito e del criterio di rottura del materiale si è proceduto ad impiegare al fronte un valore di rilassamento tale da determinare una risposta deformativa, in termini di convergenza al fronte, paragonabile a quella ottenuta dalle analisi precedentemente condotte mediante il Metodo delle Linee Caratteristiche; è questo un procedimento di “taratura” della curva di Panet.

Una volta determinata la riduzione iniziale, in corrispondenza del fronte di scavo, le riduzioni alle fasi successive verranno determinate proporzionalmente all'andamento

della curva di Panet in funzione della distanza dal fronte, secondo la seguente formula:

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

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

Si riporta nella seguente tabella il rilassamento teorico prima della posa del prerivestimento utilizzato nell'analisi al fine di ottenere una convergenza dello stesso dell'ordine di quanto ottenuto tramite le linee caratteristiche.

Rilassamento	Convergenza [cm]
69%	3

Tabella 2 – Rilassamento prima della posa del prerivestimento

5.1.6 Prerivestimento

Nelle analisi la messa in opera del prerivestimento è stata simulata introducendo nel modello zone con caratteristiche strutturali assimilabili a quelle dello spritz-beton e centine, e legge costitutiva elastico lineare.

In tutte le sezioni tipo, il prerivestimento è costituito da spritz-beton $R_{ck} \geq 37$ MPa e da centine S275, aventi le seguenti caratteristiche meccaniche:

spritz-beton $R_{ck} \geq 37$ MPa:

$E = 32840$ MPa a 28gg;

centine S275:

$E = 210000$ MPa.

Nella modellazione numerica il prerivestimento è stato schematizzato come materiale a comportamento elastico-lineare e isotropo, il cui modulo di deformabilità è stato determinato attraverso l'omogeneizzazione delle centine al calcestruzzo.

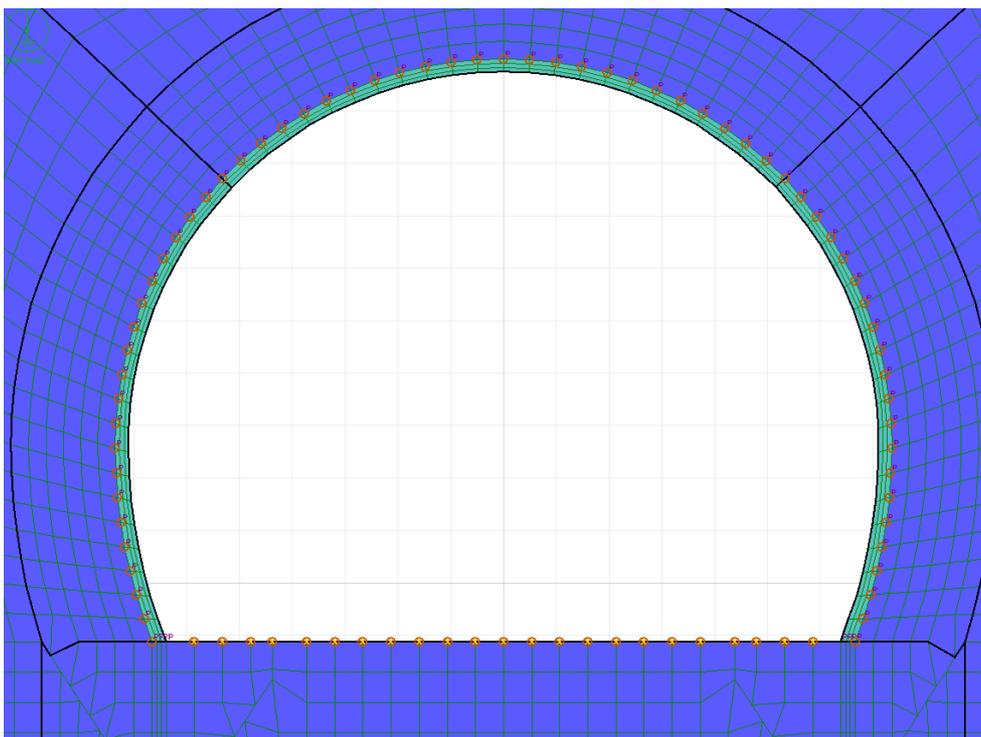


Figura 24 – Simulazione priverivestimento – Mesh di calcolo

5.1.7 Fasi di calcolo

Il calcolo è stato condotto per fasi successive, secondo lo schema di seguito descritto:

TIME 1 – Geostatico

In questa prima fase di calcolo vengono applicati il peso proprio del terreno e le caratteristiche di resistenza e deformabilità delle formazioni in sito, in modo tale da ricostruire la situazione tensionale preesistente alla costruzione della galleria.

TIME 2 – Taratura e scavo – Relax 69%

In questa time di calcolo viene simulata la situazione al fronte prima della posa del priverivestimento.

TIME 3 – Posa in opera del priverivestimento e avanzamento dello scavo – Relax 100%

Viene simulata la posa del priverivestimento e si procede con l'avanzamenti dello scavo fino ad un rilascio tensionale pari al 100% delle forze di scavo.

5.2 Sintesi dei risultati

L'analisi condotta ha evidenziato un valore di convergenza del cavo, prima della posa in opera del privervestimento pari a circa 3 cm.

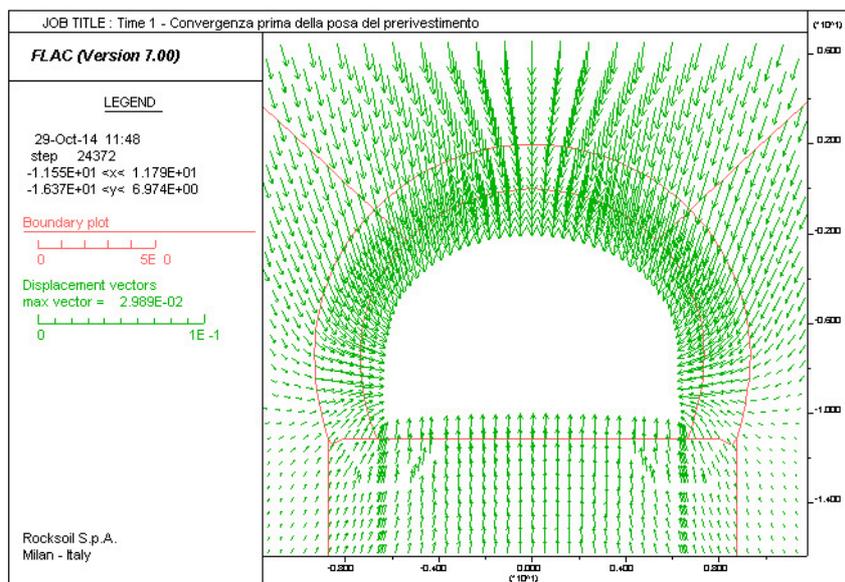


Figura 25 – Convergenza prima della posa del privervestimento

Prima della posa dei privervestimenti il materiale al contorno dello scavo non evidenzia fenomeni di plasticizzazione. E' possibile comunque osservare che vi sono stati punti che risultano essere plasticizzati durante la simulazione per poi rientrare in campo elastico sempre all'interno della stessa fase di calcolo.

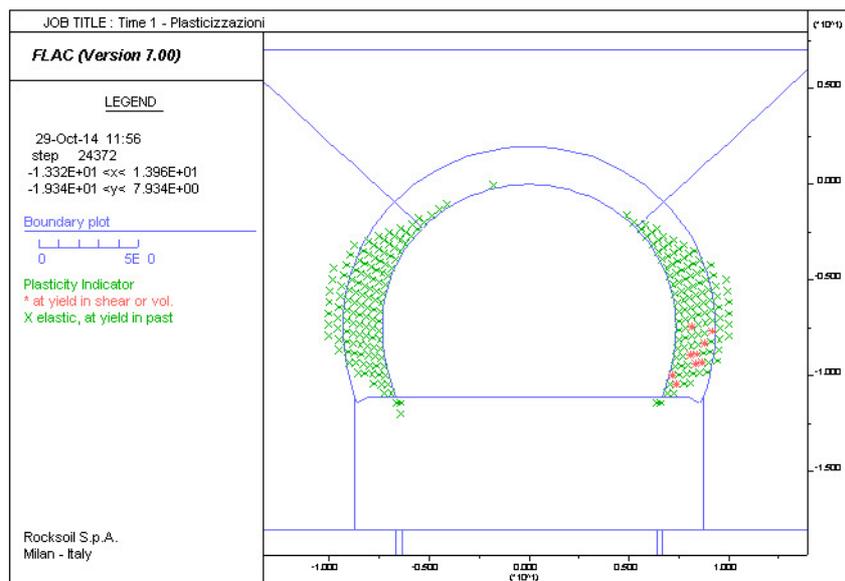


Figura 26 – Time 1 – Plasticizzazioni

A seguito della posa del priverivestimento, l'analisi viene condotta a termine tramite il rilascio completo delle forze di scavo al fine di simulare la posa dell'arco rovescio lontana dal fronte come avvenuto durante gli scavi.

I risultati ottenuti mostrano spostamenti rilevanti in corrispondenza del cavo con massimi sul piede centina.

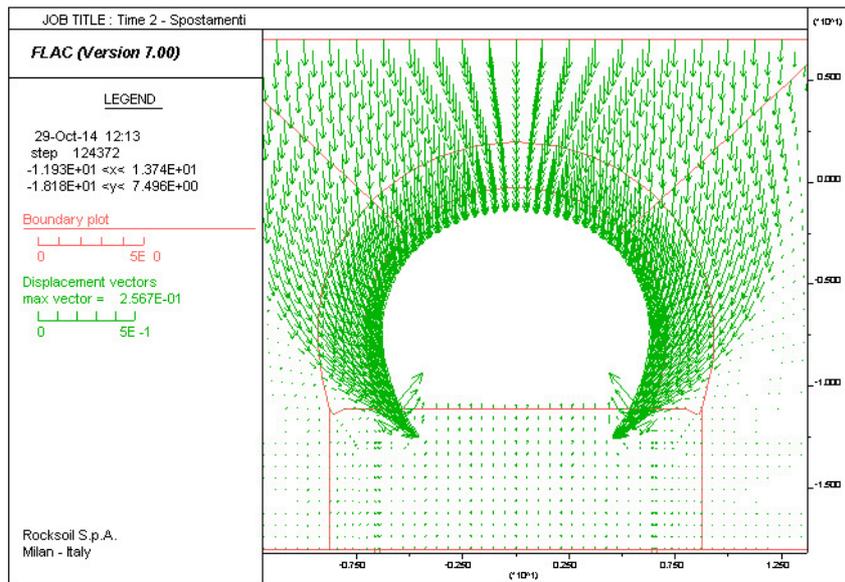


Figura 27 – Time 2 – Spostamenti

Osservando i valori di questi spostamenti in corrispondenza dei target per le misure di convergenza, è possibile osservare un'ottima corrispondenza con le misure rilevate in sito.

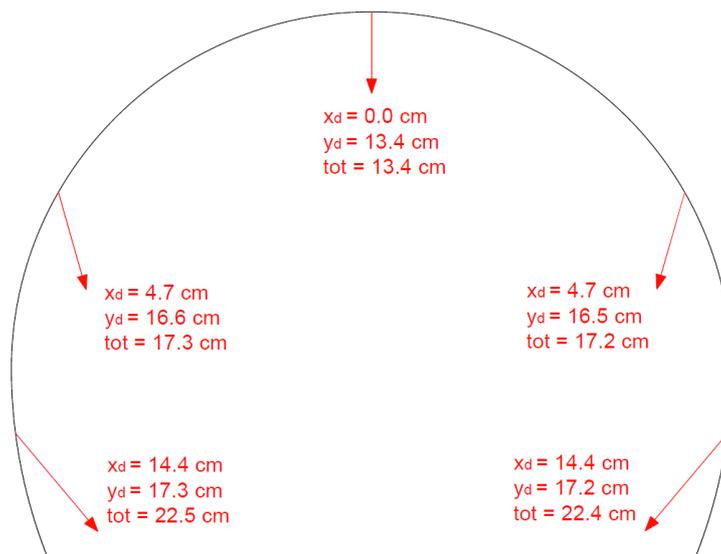


Figura 28 – Back-analysis - Spostamenti

Si ottiene infatti, per i target 1- 2, una convergenza prossima ai 30 cm ed abbassamenti verticali dell'ordine dei 17 cm. Come avvenuto in sito dove il comportamento del priverivestimento ha mostrato abbassamenti pressoché costanti delle centine (sinonimo di punzonamento delle stesse) associati a chiusure in corrispondenza dei target 1-2 e solo parzialmente in corrispondenza dei target 3-4, si ha un'ulteriore conferma della bontà dell'analisi condotta, dalle misure di convergenza per i target 3-4 in corrispondenza dei quali le convergenze sono limitate a circa 10 cm sull'orizzontale.

Il fenomeno di punzonamento del piede centina è facilmente visibile nell'analisi, oltre che dal controllo degli spostamenti ottenuti, anche dall'osservazione della deformata. Come mostrato nell'immagine sottostante, dove in rosso è indicata la griglia indeformata ed in blu la deformata, si può chiaramente osservare il fenomeno sopra descritto.

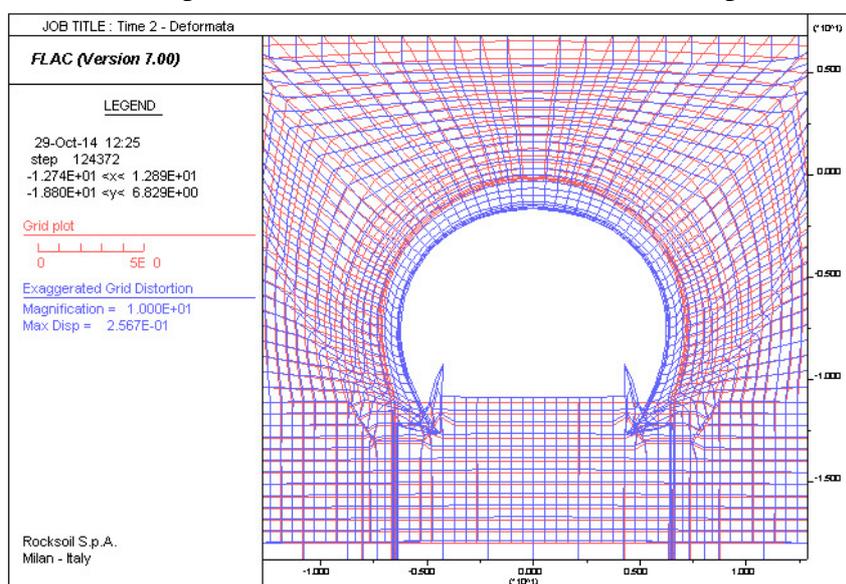


Figura 29 – Time 2 - Deformata

Osservando infine i fenomeni di plasticizzazione, si osservano importanti fasce di plasticizzazione in corrispondenza del piano dei centri che si propagano fino in superficie in conformità con le attese.

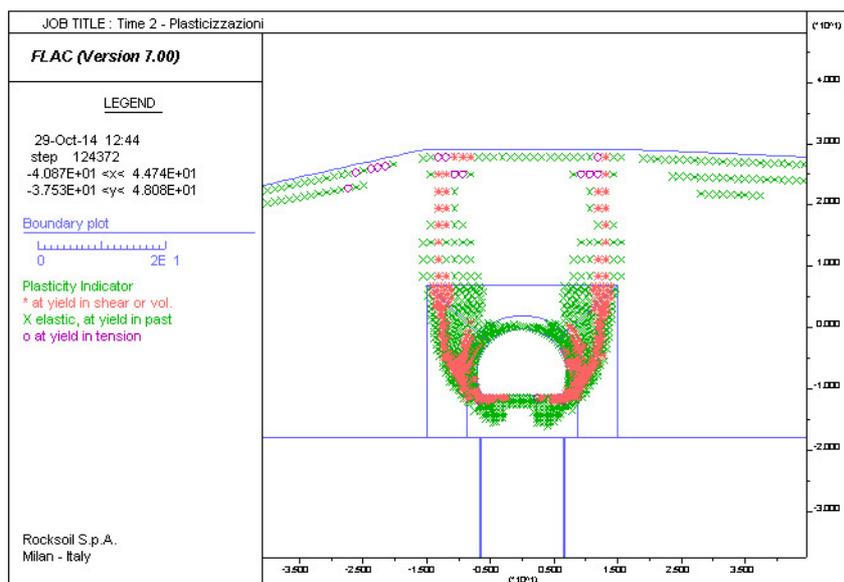


Figura 30 – Time 2 - Plasticizzazioni

I risultati ottenuti hanno quindi mostrato un'ottima corrispondenza tra gli spostamenti calcolati con quelli misurati, pertanto i parametri geomeccanici trovati si possono con buona approssimazione assimilare a quelli realmente presenti in sito.

6. Verifiche statiche

6.1 Premessa

Nei seguenti paragrafi sono riportati i risultati delle analisi numeriche che hanno permesso di investigare il regime tenso-deformativo nei rivestimenti strutturali previsti in progetto.

Questo è stato raggiunto tramite due approcci differenti:

- Stabilità del fronte;
- Analisi alle differenze finite.

Le analisi di stabilità del fronte hanno consentito di cogliere le caratteristiche deformative del fronte in funzione della copertura e del materiale di scavo e quindi di predimensionare, qualora le analisi ne avessero evidenziato la necessità, gli interventi di preconsolidamento del fronte.

L'analisi alle differenze finite ha permesso invece di indagare più dettagliatamente - per le condizioni più rappresentative - il regime tensionale e deformativo nelle strutture e nell'ammasso circostante, nelle principali fasi esecutive fino alla completa realizzazione dell'opera, consentendo quindi di valutare l'evoluzione del comportamento dell'opera nel breve, medio e lungo termine.

6.2 Verifica di stabilità del fronte – Metodo di Tamez

In questa fase viene valutata l'efficacia dei consolidamenti al fronte di scavo, mediante le formulazioni empiriche proposte da Tamez e descritte nel seguito.

La valutazione della stabilità del fronte di scavo può essere condotta mediante l'impiego di metodi analitici semplificati all'equilibrio limite. In particolare si fa riferimento alle teorie di Tamez e Cornejo che ipotizzano che esistano dei prismi di terreno in distacco secondo sezioni longitudinali, giungendo a definire un coefficiente di sicurezza FSF nei confronti della stabilità del fronte di scavo.

Il metodo dell'equilibrio limite proposto da Tamez tiene conto della riduzione dello stato di confinamento triassiale del nucleo di terreno oltre il fronte per mezzo di un meccanismo di rottura del tipo effetto volta, con il quale il volume di terreno gravante sulla corona della galleria è definito da un paraboloide, approssimato mediante tre solidi prismatici, come illustrato nelle figure seguenti.

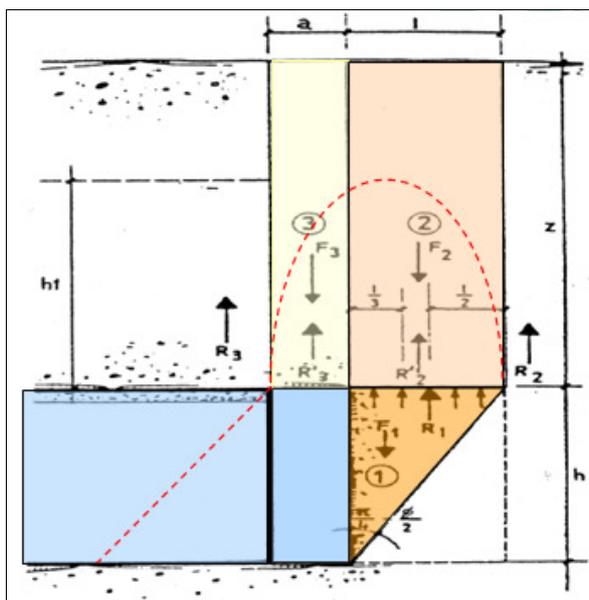


Figura 31 - Schema proposto da Tamez.

In questo modo si determinano le massime tensioni tangenziali che si possono sviluppare sulle facce di ogni prisma senza che avvengano scorrimenti (forze resistenti) e le forze di massa di ogni prisma (forze agenti). Il rapporto tra i momenti delle forze resistenti e delle forze agenti fornisce un coefficiente di sicurezza, denominato FSF (face security factor). Al valore di FS definito dall'equilibrio limite è associato un tipo di comportamento del fronte di scavo secondo quanto descritto nella tabella esposta nel seguito.

FS	Comportamento del fronte di scavo
>2	Comportamento elastico
1.5 - 2	Comportamento elasto - plastico: cedimenti normalmente ammissibili
1.3 - 1.5	Comportamento elasto - plastico: cedimenti importanti
1 - 1.3	Incipiente rottura
<1	Rottura

Tabella 3 – Categorie di comportamento del fronte – FS secondo Tamez

I consolidamenti previsti da progetto sono stati tenuti in conto mediante il metodo della coesione equivalente, ovvero valutando la pressione di confinamento sul fronte esercitata dagli elementi in vetroresina. L'incremento di coesione è stato calcolato secondo lo schema riportato nella seguente figura:

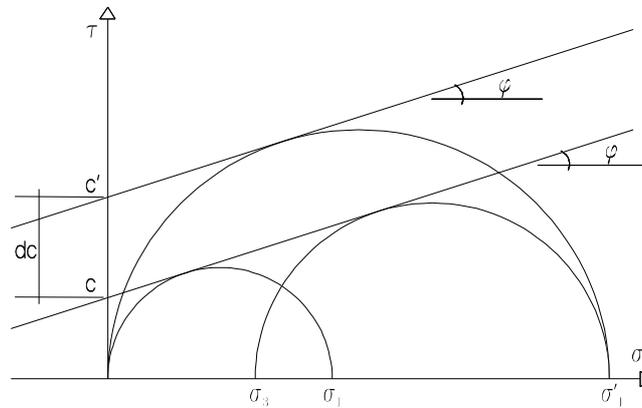


Figura 32 – Contributo dei VTR

con riferimento alla seguente formulazione:

$$dc = \frac{\sigma_3 \cdot K_p}{2 \cdot \sqrt{K_p}}$$

$K_p = \tan^2 (45^\circ + \phi/2)$ coefficiente di spinta passiva.

Si è calcolato il valore di σ_3 (= pressione di confinamento sul fronte) relativo ai due possibili meccanismi di rottura (rottura del VTR e sfilamento dell'elemento), considerando per la valutazione di dc il minore tra i due. Per le verifiche si è considerata la sezione C2P in corrispondenza della massima copertura pari a circa 37 m da chiave calotta.

Sezione C2P

Rottura VTR

$$\sigma_3 = N \frac{A_c \cdot \sigma_s}{A_s} = 737 \text{ KPa}$$

con:

- | | |
|---------------------------------|------------------------------|
| $A_c = 1570 \text{ mm}^2$ | area VTR; |
| $\sigma_s = 800 \text{ N/mm}^2$ | tensione di snervamento VTR; |
| $N = 81$ | numero di elementi in VTR; |
| $A_s = 138 \text{ m}^2$ | area di scavo; |

Rottura per sfilamento

$$\sigma_3 = N \frac{A_{lat} \cdot \tau_{sfil}}{A_s} = 248 \text{ KPa}$$

con:

- | | |
|------------------------------|---|
| $A_{lat} = 2.82 \text{ m}^2$ | area laterale VTR (su una lunghezza di sovrapposizione di 9m, |
|------------------------------|---|

$\tau_{\text{sfil}} = 150 \text{ KPa}$ perforazione $\phi 100\text{mm}$);
 $A_s = 138 \text{ m}^2$ tensione di aderenza malta/morena;
 area di scavo.

L'incremento di coesione dc fornito dall'intervento di consolidamento previsto risulta quindi pari a 214 KPa.

Nel seguito è riportato il risultato dell'analisi svolta in termini di fattore di sicurezza. Essendo previsto l'utilizzo di dreni in avanzamento nell'eventualità di presenza di acqua le analisi sono state svolte in assenza di falda.

ANALISI STABILITA' DEL FRONTE - Tamez & Cornejo							
Copertura (m)	D_{tunnel} (m)	H_{tunnel} (m)	γ (kN/m ³)	ϕ (°)	c' (kPa)	$\Delta c'_{\text{FRONTE}}$ (kPa)	FSF
37	14.7	11	23	30	65	214	1.96

Tabella 4 – Risultati verifiche di stabilità

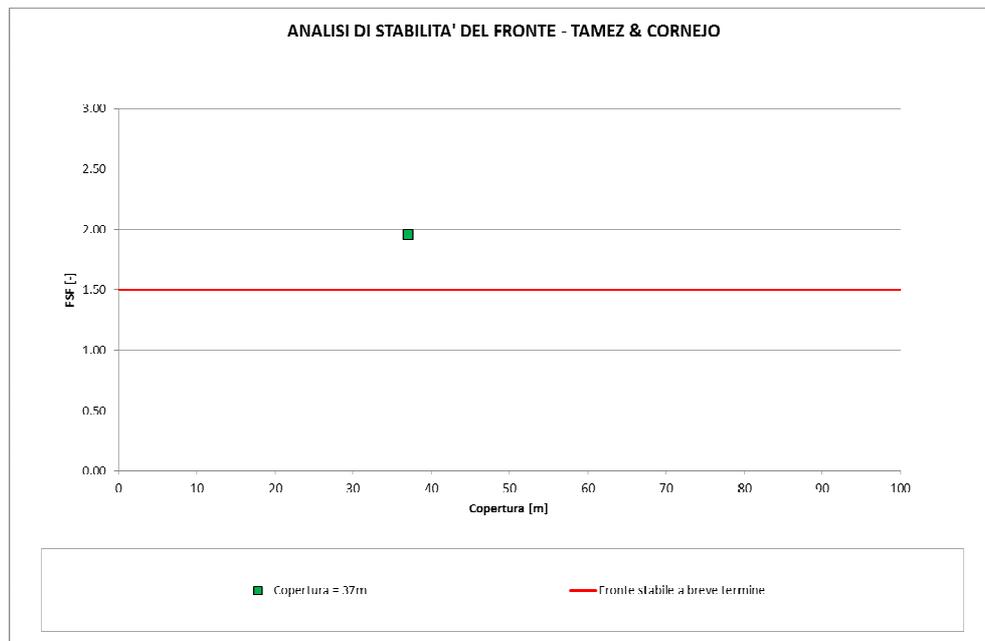


Figura 33 – Risultati verifiche di stabilità

Dai risultati esposti nella tabella di sintesi si osserva come la presenza di consolidamenti al fronte, garantisca un fronte stabile nel breve termine con comportamento elastoplastico caratterizzato da spostamenti di entità ridotta e pertanto ammissibili.

6.3 Analisi alle differenze finite - Verifiche statiche

6.3.1 Analisi numeriche

Le analisi numeriche, volte a valutare lo stato tenso-deformativo nel rivestimento e nell'ammasso al contorno del cavo, sono state condotte in condizioni di deformazioni piane (plane-strain); queste sono rappresentative delle sezioni tipologiche correnti della galleria naturale analizzata in questa sede.

Con l'ausilio del codice di calcolo alle differenze finite FLAC 7.0 è stata condotta un'analisi numerica per la condizione ritenuta più significativa in corrispondenza dell'edificio di Via Gavatro n°26-28 in presenza delle massime coperture pari a circa 37 m considerando quale sezione tipo di avanzamento la sezione C2P. Attraverso tali analisi è stato possibile simulare le principali fasi esecutive, fino alla completa realizzazione dell'opera e verificare l'idoneità delle sezioni previste in fase progettuale.

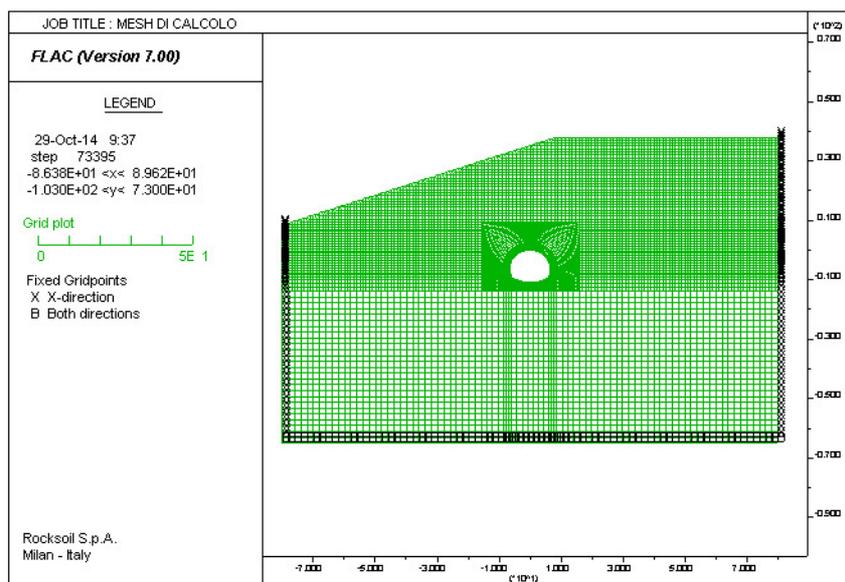


Figura 34 – Mesh di calcolo

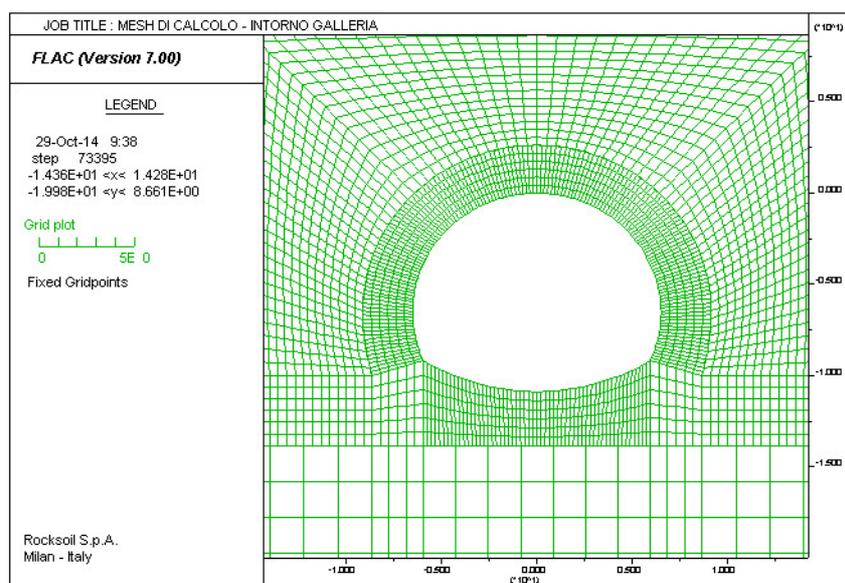


Figura 35 – Intorno galleria

6.3.2 Geometrie dei modelli

Le analisi numeriche sono state condotte considerando dei reticoli di forma rettangolare, aventi dimensioni e grado di infittimento al contorno del cavo tali da garantire una soluzione numerica accurata e rappresentativa della situazione in sito. Le dimensioni della griglia e le distanze dalla galleria ai limiti esterni della griglia stessa sono tali da evitare eventuali effetti di bordo sull'area di interesse del reticolo. Il contorno dei modelli è stato vincolato lateralmente ed inferiormente mediante opportuni vincoli.

6.3.3 Leggi di comportamento del materiale

Il criterio di rottura adottato nelle analisi è quello di Mohr-Coulomb in condizioni di strain-softening descritto in precedenza.

I parametri geomeccanici utilizzati nell'analisi sono stati determinati, come ampiamente descritto in precedenza, tramite il processo di back-analysis che ha condotto alla rideterminazione dei parametri dell'ammasso in funzione delle evidenze riscontrate nel tratto di galleria già scavato.

Nella seguente tabella vengono nuovamente riportati i parametri così ottenuti:

Unità	γ	$c'_p - c'_r$	$\phi_p - \phi_r$	E	ν
[-]	[kN/m ³]	[kPa]	[°]	[MPa]	[-]
Back-Analysis	23	65 - 52	30 - 24	250	0.3

Tabella 5 – Parametri geomeccanici

Si osserva che i parametri geomeccanici ottenuti sono inferiori non solo ai valori previsti da PE in corrispondenza delle alte coperture ma anche dei parametri geomeccanici previsti in corrispondenza delle basse coperture in zona imbocco nord. Le Verifiche della sezione tipo C2P ad alta copertura risultano pertanto valide e cautelative anche per la sezione tipo C2VP, prevista per le basse coperture, non essendoci differenze in termine di carpenterie minime ed armature oltre che di consolidamenti tra le due sezioni.

Per la definizione delle caratteristiche geotecniche della fascia di materiale consolidato al contorno del cavo, si è adottato il criterio empirico (basato sulla osservazione di dati sperimentali di gallerie, scavate in contesti geotecnici analoghi e su cui si è operato con simili interventi di preconsolidamento) di amplificare il valore del modulo di deformabilità di 2-3 volte rispetto a quello naturale.

6.3.4 Stato di sforzo iniziale

Nella prima fase dell'analisi numerica viene ricostruita in termini di sforzi e di deformazioni la situazione iniziale preesistente allo scavo della galleria.

Il carico applicato in direzione verticale corrisponde al carico geostatico alle varie quote del modello.

Il carico applicato in direzione orizzontale è stato determinato per back-analysis al fine di ottenere spostamenti in linea con quanto rilevato dal sistema di monitoraggio e risulta pari a: $K_0 = 0.7$.

6.3.5 Carichi idraulici

La valutazione degli effetti del carico idrostatico sulla galleria è stato introdotto nella fase di lungo termine delle analisi svolte come carico agente sui rivestimenti definitivi. Si è considerato un battente piezometrico proporzionato alla copertura considerata nel calcolo con battente piezometrico pari a 24 m sopra la chiave calotta della galleria.

6.3.6 Scavo delle gallerie

La simulazione dello scavo avviene mediante il progressivo annullamento delle forze interne al profilo di scavo, fino al loro completo rilassamento; gli step di rilassamento vengono operati in funzione della distanza dal fronte della sezione considerata nell'analisi, mediante l'impiego delle curve di Panet. La scelta della curva di Panet da utilizzare è stata condotta considerando il numero di stabilità $N_s=1$.

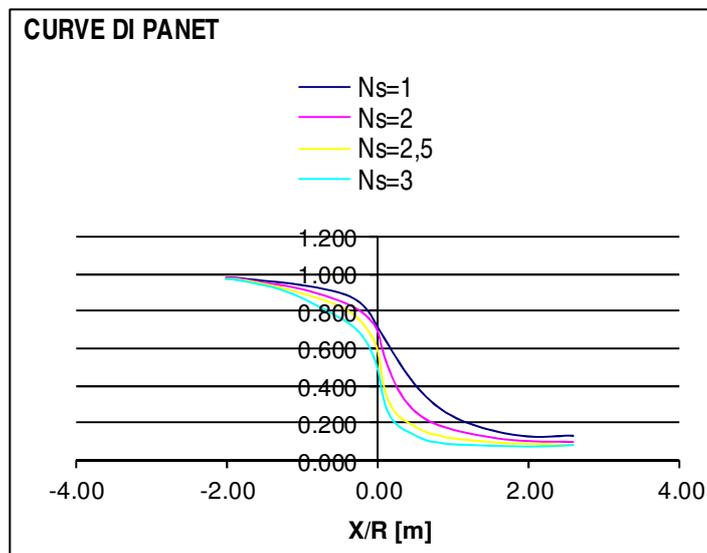


Figura 36 – Curve di Panet

L'adozione della sola curva di Panet non produce tuttavia i dovuti risultati tenso-deformativi, nè per confronto con quanto ottenuto in base alla teoria delle Linee Caratteristiche, né per confronto con quanto effettivamente rilevato in analoghe gallerie in corso d'opera. Un ruolo fondamentale per una corretta definizione dei rilassamenti da adottare nelle analisi è il valore di rilassamento da impiegare in corrispondenza del fronte di scavo. Al fine di adattare il valore di rilassamento alle caratteristiche geomeccaniche del materiale, dello stato tensionale in sito e del criterio di rottura del materiale si è proceduto ad impiegare al fronte un valore di rilassamento tale da determinare una risposta deformativa, in termini di convergenza al fronte, paragonabile a quella ottenuta dalle analisi precedentemente condotte mediante il Metodo delle Linee Caratteristiche; è questo un procedimento di “taratura” della curva di Panet.

Una volta determinata la riduzione iniziale, in corrispondenza del fronte di scavo, le riduzioni alle fasi successive verranno determinate proporzionalmente all'andamento della curva di Panet in funzione della distanza dal fronte, secondo la seguente formula:

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

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

Si riporta nella seguente tabella il rilassamento teorico al fronte utilizzato nell'analisi al fine di ottenere una convergenza dello stesso dell'ordine di quanto ottenuto tramite le linee caratteristiche.

Sezione tipo	Rilassamento	Convergenza [cm]
C2P	80%	4.1

Tabella 6 – Rilassamenti al fronte

6.3.7 Prerivestimento e rivestimento definitivo

Il prerivestimento ed il rivestimento definitivo sono stati modellati attraverso una successione di aste rettilinee, elementi tipo “beam”, collegate con continuità tra loro ed ai nodi della mesh. In questo modo si sono determinate le sollecitazioni agenti sul rivestimento stesso in termini di azioni interne.

Prerivestimenti - Caratteristiche dei materiali

Nelle analisi la messa in opera del prerivestimento è stata simulata introducendo nel modello zone con caratteristiche strutturali assimilabili a quelle dello spritz-beton e centine, e legge costitutiva elastico lineare.

In tutte le sezioni tipo, il prerivestimento è costituito da spritz-beton $R_{ck} \geq 37$ MPa e da centine S275, aventi le seguenti caratteristiche meccaniche:

spritz-beton $R_{ck} \geq 37$ MPa:

$E = 32840$ MPa a 28gg;

centine S275:

$E = 210000$ MPa.

Nella modellazione numerica il prerivestimento è stato schematizzato come materiale a comportamento elastico-lineare e isotropo, il cui modulo di deformabilità è stato determinato attraverso l’omogeneizzazione delle centine al calcestruzzo.

Nella tabella seguente sono indicate le principali caratteristiche geometriche e meccaniche relative ai rivestimenti di prima fase considerati nell’analisi numerica.

SEZIONE	CENTINE	SPRITZ BETON Spessore [cm]	SPRITZ BETON Rck [MPa] 28 gg
C2P	2IPE 200/1.0 m	25 20+5)	37

Tabella 7 – Sintesi delle caratteristiche del prerivestimento

Rivestimenti definitivi - Caratteristiche dei materiali

Nelle analisi la messa in opera del rivestimento è stata simulata introducendo nel modello zone con caratteristiche strutturali assimilabili a quelle del calcestruzzo e legge costitutiva elastica-lineare.

Il rivestimento definitivo è costituito da calcestruzzo C30/37; a tale materiale corrispondono le seguenti caratteristiche meccaniche:

$$E = 32840\text{MPa} \quad \text{a } 28\text{gg};$$

$$\nu = 0.20.$$

Il rivestimento definitivo è stato schematizzato come materiale a comportamento elastico-lineare. Per la sezione tipo analizzata, si riporta una sintesi delle principali caratteristiche geometriche relative ai rivestimenti definitivi considerati nelle elaborazioni numeriche.

SEZIONE	CALOTTA Spessore [cm]	ARCO ROVESCIO Spessore [cm]
C2P	60	80

Tabella 8 – Caratteristiche geometriche dei rivestimenti definitivi

6.3.8 Criteri di verifica delle sezioni di scavo

Verifica del rivestimento di prima fase

Verifiche allo stato limite ultimo

Per la verifica allo stato limite ultimo viene utilizzata la seguente combinazione di azioni:

$$E_d = \gamma_G G_k$$

in quanto le azioni prese in conto (peso proprio struttura, sovrastruttura, forze indotte dalla pressione del terreno o dell'acqua) risultano classificate come permanenti (G).

La verifica allo stato limite ultimo viene condotta attraverso la definizione delle seguenti azioni di progetto:

$$N_d = 1.3 * N$$

$$M_d = 1.3 * M$$

dove N ed M sono le sollecitazioni derivanti dalle analisi numeriche.

La resistenza di calcolo del calcestruzzo è definita attraverso la relazione:

$$f_{cd} = 0.83 * 0.85 * R_{ck} / \gamma_c$$

dove il coefficiente parziale di sicurezza del conglomerato cementizio (γ_c) è pari a 1.5.

Individuata quindi la sezione tipo analizzata e le sollecitazioni agenti si è proceduto alla

verifica a presso flessione mediante i domini di resistenza.

Verrà quindi riportato il diagramma di interazione M-N, il cui contorno individua i limiti della resistenza di calcolo R_d . La verifica risulta soddisfatta quando $R_d < E_d$, ovvero quando i punti rappresentativi delle coppie di sollecitazioni sul rivestimento risultano all'interno del diagramma.

Il diagramma relativo al pririvestimento viene costruito considerando una sezione in calcestruzzo armato di spessore pari allo spessore di spritz beton e un armatura pari all'area delle ali delle centine (AFTES "Recommendations for the DESIGN OF SPRAYED CONCRETE FOR UNDERGROUND SUPPORT" – 09/11/2000).

Verifiche allo stato limite di esercizio - Limitazione delle tensioni

Le verifiche di pressoflessione vengono svolte prendendo in considerazione una sezione in calcestruzzo armato di spessore pari allo spessore di spritz beton e un armatura pari all'area delle ali della centina, nelle sezioni ove questa è presente (AFTES "Recommendations for the DESIGN OF SPRAYED CONCRETE FOR UNDERGROUND SUPPORT" – 09/11/2000)

Per i materiali con cui viene realizzato il pririvestimento, si prescrivono le seguenti caratteristiche meccaniche:

- spritz-beton:
 R_{ck} a 28 gg ≥ 37 MPa;
- centine:
 acciaio S275;
 tensione di snervamento $\sigma_y = 275$ MPa.

Nella modellazione numerica il pririvestimento è stato schematizzato come un materiale a comportamento elastico-lineare, il cui modulo di deformabilità è stato determinato attraverso l'omogeneizzazione delle centine al calcestruzzo.

Le verifiche delle tensioni normali sono state condotte in diverse sezioni del pririvestimento, in modo tale da cogliere complessivamente il livello tensionale al quale i materiali sono soggetti.

Le limitazioni tensionali assunte consentono un tasso di utilizzo del materiale massimo fra quelli indicati dalla normativa: tale considerazione è ammessa in quanto si tratta di una struttura provvisoria.

$\sigma_c < f_{ck} \times 0.6;$
 $\sigma_s < f_{yk} \times 0.8.$

Verifica del rivestimento definitivo

Verifiche allo stato limite ultimo

Per la verifica allo stato limite ultimo viene utilizzata la seguente combinazione di azioni:

$$E_d = \gamma_G G_k$$

La verifica allo stato limite ultimo viene condotta attraverso la definizione delle seguenti azioni di progetto:

$$N_d = 1.3 * N$$

$$M_d = 1.3 * M$$

dove N ed M sono le sollecitazioni derivanti dalle analisi numeriche.

Verrà riportato il diagramma di interazione M-N, i cui confini rappresentano i limiti della resistenza di calcolo R_d . La verifica risulta soddisfatta allorquando $R_d < E_d$, ovvero quando i punti rappresentativi delle coppie di sollecitazioni sul rivestimento risultano all'interno al diagramma.

Calcestruzzo

Le resistenze di calcolo, da utilizzare nelle verifiche allo stato limite ultimo, si ricavano dividendo le resistenze caratteristiche per opportuni coefficienti:

$$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{0.85 f_{ck}}{\gamma_c} = 17 MPa \Rightarrow \text{per C30/37};$$

con $\gamma_c = 1.5$.

Acciaio armatura

Le resistenze di calcolo, da utilizzare nelle verifiche allo stato limite ultimo, si ricavano dividendo le resistenze caratteristiche per opportuni coefficienti:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 391.3 MPa$$

con: $f_{yk} = 450 MPa$
 $\gamma_s = 1.15$.

Verifiche allo stato limite di esercizio

La verifica allo stato limite di esercizio viene condotta calcolando le tensioni massime sul rivestimento a partire dai valori nominali ottenuti dall'analisi e confrontando queste con quelle ammissibili definite attraverso le relazioni:

$$\sigma_c < f_{ck} \times 0.45;$$

$$\sigma_s < f_{yk} \times 0.8.$$

Le verifiche a presso flessione sono state condotte per le combinazioni di sollecitazione ritenute più significative.

6.3.9 Fasi di calcolo

Il calcolo è stato condotto per fasi successive, secondo lo schema di seguito descritto:

TIME 1 – Geostatico

In questa prima fase di calcolo vengono applicati il peso proprio del terreno e le caratteristiche di resistenza e deformabilità delle formazioni in sito, in modo tale da ricostruire la situazione tensionale preesistente alla costruzione della galleria.

TIME 2 – Taratura e scavo – Relax 80%

In questa time di calcolo viene simulata l'apertura del fronte attraverso un'opportuna riduzione delle forze di scavo.

TIME 3 – Avanzamento pari allo sfondo di 1.00 m – Relax 83%

Viene simulato lo scavo pari allo sfondo di 1.00 m.

TIME 4 – Posa priverivestimento al contorno e avanzamento a 3 m dal fronte – Relax 8%

Viene simulata la posa del priverivestimento in prossimità del fronte di scavo.

TIME 5 – Posa del puntone e avanzamento a 1 ϕ dal fronte – Relax 96.5%

Viene simulata la posa del puntone e l'avanzamento dello scavo.

TIME 6 – Getto dell'arco rovescio – Relax 100%

Viene simulato il getto dell'arco rovescio e l'ulteriore avanzamento dello scavo.

TIME 7 – Getto del rivestimento di calotta

Viene simulata la realizzazione del rivestimento di calotta, a completamento del rivestimento definitivo.

TIME 8 – Decadimento del privervestimento e simulazione falda di progetto

Viene modellata la condizione a lungo termine sul rivestimento definitivo, rimuovendo gli elementi rappresentativi del privervestimento ed applicando una pressione al contorno del cavo che simula la falda di progetto.

Esame dei risultati

I risultati più significativi ottenuti dalla presente analisi sono riassunti in allegato.

Gli output dell'elaborazione FLAC, di tipo grafico, sono riportati anch'essi in allegato; le dimensioni geometriche e gli spostamenti sono espressi in metri, mentre le tensioni in Pa. Nel corso della simulazione delle fasi esecutive della galleria naturale, i fenomeni di plasticizzazione nel terreno al contorno della cavità interessano una fascia di pochi metri in prossimità del piano dei centri della galleria e dei reni della stessa.

In termini deformativi la convergenza diametrale ed i cedimenti medi risultano da calcolo pari a 4 cm circa. Tali deformazioni si esauriscono in gran parte prima della messa in opera della centina/puntone, che risulta essere determinante, assieme al consolidamento al contorno, nell'impedire che le fasce di plasticizzazione al contorno si propaghino fino a raggiungere il piano campagna. I valori residui di convergenza diametrale e cedimento successivi alla messa in opera della centina/puntone risultano infatti inferiori al centimetro.

Tale stato deformativo induce risentimenti superficiali che raggiungono nel lungo termine valori dell'ordine dei 2.5 cm in asse galleria e 1.5 cm in corrispondenza dell'edificio n°8.

Visto il contributo risolutivo dell'utilizzo di un privervestimento chiuso in arco rovescio tramite puntone di contrasto e del miglioramento delle caratteristiche dell'ammasso al contorno fornito dai consolidamenti, il getto della calotta non risulterebbe necessario da calcolo ad una distanza dal fronte pari ai 2 diametri previsti da PE per il controllo dei fenomeni deformativi. Si ritiene pertanto che tale distanza potrà essere incrementata in corso d'opera qualora il monitoraggio in galleria ed in superficie confermino le previsioni progettuali ed il quadro fessurativo dell'edificio n°8 non subisca significative evoluzioni.

I valori di spostamento in galleria ed in superficie derivati dal calcolo sono da intendersi quale indicazione qualitativa dei livelli di deformazione attesi, generalmente sottostimati, non potendo tenere conto, per la valutazione e l'interpretazione delle misure stesse, di fattori difficilmente schematizzabili e modellabili numericamente, quali anisotropie nel comportamento deformativo del cavo, condizioni geomeccaniche particolari e localizzate, fasi esecutive e cadenze d'avanzamento.

Nella seguente tabella riepilogativa, tenendo conto, sia di quanto emerso dalle analisi di calcolo, sia di quanto emerso dal monitoraggio in corso d'opera, nonché dall'esperienza acquisita in contesti analoghi, si riportano le convergenze diametrali ed i cedimenti da assumere come riferimento per il monitoraggio in corso d'opera.

Risposta deformativa in galleria			Risposta deformativa in superficie	
Convergenza diametrale (cm)	Cedimento (cm)	Estrusione(*) (cm)	Cedimenti in asse galleria (cm)	Cedimenti max in corrispondenza edificio 8 (cm)
min/max 1/2	min/max 1/2	min/max 5/8	min/max 2/3	min/max 1/2

(*): valori desunti dalle pre-convergenze delle analisi numeriche

6.3.10 Verifiche statiche

I risultati delle analisi numeriche in termini di sollecitazioni agenti sul rivestimento di prima fase e definitivo sono allegati alla presente relazione.

Di seguito sono riassunti i risultati delle verifiche tensionali condotte nei rivestimenti per le sezioni ritenute maggiormente rappresentative.

Verifica del priverivestimento

Per la creazione del dominio di rottura è stata considerata una sezione in calcestruzzo di 25 cm di spessore, armata all'intradosso e all'estradosso con un'area di armatura pari all'area delle ali delle centine. Si riporta, nel seguito, la tabella di sintesi delle verifiche allo stato limite ultimo e in esercizio ed i domini relativi alle diverse time di calcolo. I valori delle sollecitazioni ottenute dalle verifiche sezionali sono compatibili con i limiti previsti per i materiali impiegati e i punti rappresentativi delle sollecitazioni sono interni al dominio M-N, quindi le verifiche sono soddisfatte.

VERIFICHE SLE

PRIVERIVESTIMENTO - PUNTONE								
TIME	SEZIONE	Sp.	A _s	A' _s	M	N	σ _c	σ _s
		[cm]	[cm ²]	[cm ²]	[KN*m]	[KN]	[MPa]	[MPa]
5	ARCO ROVESCIO	25	17.00	17.00	9.1	333.7	1.75	24.0
	ATTACCO PIEDRITTO - AR	25	17.00	17.00	70.5	382.1	7.75	114.5

Tabella 9 – Verifiche in esercizio – Priverivestimento – Time 5 – Puntone

PRIVERIVESTIMENTO - SPRITZ BETON - CONTORNO								
TIME	SEZIONE	Sp.	A _s	A' _s	M	N	σ _c	σ _s
		[cm]	[cm ²]	[cm ²]	[KN*m]	[KN]	[MPa]	[MPa]
6	CALOTTA	25	17.00	17.00	5.5	811.8	3.09	44.9
	RENE	25	17.00	17.00	7.6	817.1	3.25	46.9
	PIEDRITTO	25	17.00	17.00	90.0	616.1	10.04	118.1

Tabella 10 – Verifiche in esercizio – Priverivestimento – Time 6 – Spritz-beton - Contorno

VERIFICHE SLU

PRERIVESTIMENTO								
TIME	SEZIONE	Sp.	A _s	A' _s	M	N	M _d	N _d
		[cm]	[cm ²]	[cm ²]	[KN*m]	[KN]	[KN*m]	[KN]
5	ARCO ROVESCIO	25	17.00	17.00	9.10	333.7	11.8	433.8
	ATTACCO PIEDRITTO - AR	25	17.00	17.00	70.45	382.1	91.6	496.7
6	CALOTTA	25	17.00	17.00	5.50	811.8	7.2	1055.3
	RENE	25	17.00	17.00	7.63	817.1	9.9	1062.2
	PIEDRITTO	25	17.00	17.00	90	616.1	117.0	800.9

Tabella 11 – Sollecitazioni SLU – Prerivestimento

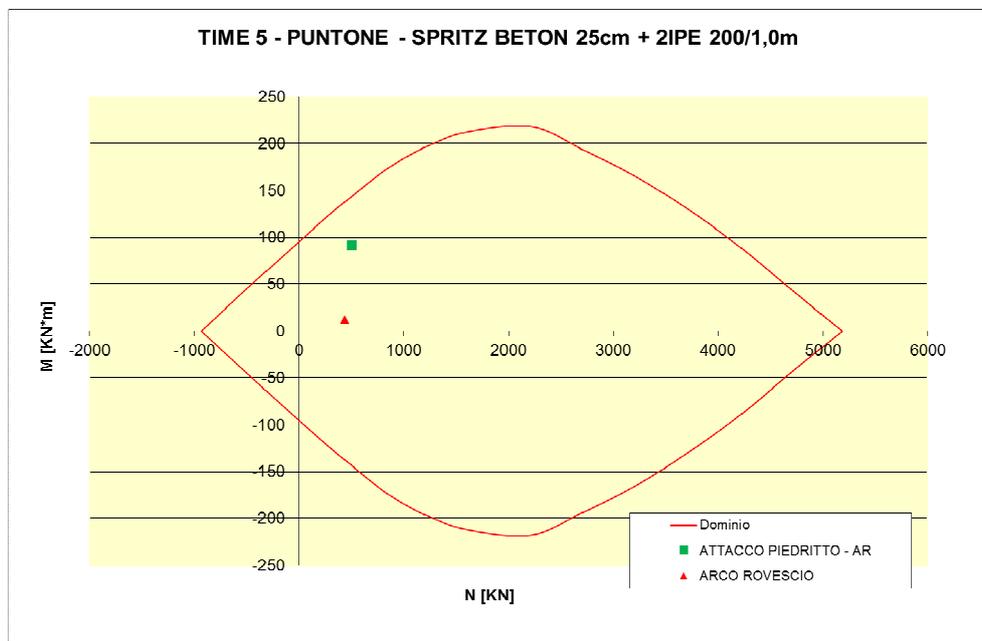


Figura 37 - Dominio M-N – Time 5 – Prerivestimento – Puntone

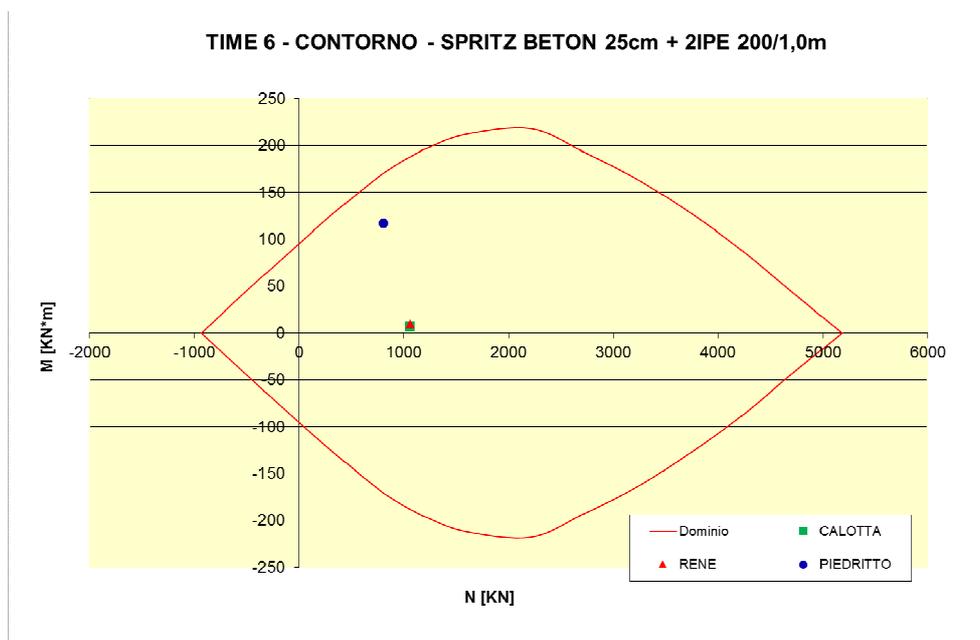


Figura 38 - Dominio M-N – Time 6 – Prerivestimento - Contorno

Verifica del rivestimento definitivo

Rimandando ai paragrafi precedenti per le caratteristiche dei materiali ed i relativi limiti tensionali, si riportano nel seguito le verifiche svolte allo stato limite ultimo e stato limite di esercizio nelle time di calcolo più gravose. Si sono esclusi dalla verifica i valori di sollecitazione nei punti angolosi in corrispondenza dei nodi arco rovescio-muretta dove, per effetto della modellazione numerica, si determinano eccessive concentrazioni di sforzo.

Si osserva come i valori delle tensioni desunte dalle verifiche condotte risultino compatibili con i limiti previsti per i materiali impiegati.

VERIFICHE SLE

DEFINITIVO										
TIME	SEZIONE	SPESORE	A _s [φ20/25]	A' _s [φ20/25]	M	N	σ _c	σ _s	M _{form fess}	M _f > M
		[cm]	[cm ²]	[cm ²]	[kN*m]	[kN]	[MPa]	[MPa]	[kN*m]	-
8	CALOTTA	60	12.57	12.57	52.1	2340	4.44	64.3	-	-
	RENE	60	12.57	12.57	44.6	2369	4.38	63.7	-	-
	PIEDRITTO	60	12.57	12.57	-294.1	2496	8.31	111.4	-	-
	ARCO ROVESCIO	80	12.57	12.57	-450.7	2006	6.68	28.2	863.4	SI

Tabella 12 – Verifiche in esercizio – Rivestimento definitivo

Le verifiche a fessurazione sono anch'esse soddisfatte in quanto, nell'unica sezione non interamente reagente il momento di formazione delle fessure risulta maggiore del momento agente

VERIFICHE SLU

DEFINITIVO								
TIME	SEZIONE	SPESSORE	A _s	A' _s	M	N	M _d	N _d
		[cm]	[cm ²]	[cm ²]	[KN*m]	[KN]	[KN*m]	[KN]
8	CALOTTA	60	4.52	9.05	52.13	2340.0	67.8	3042.0
	RENE	60	4.52	9.05	44.64	2369	58.0	3079.7
	PIEDRITTO	60	21.62	15.33	-294.10	2496.0	-382.3	3244.8
	ARCO ROVESCIO	80	12.57	12.57	-450.7	2006	-585.9	2607.8

Tabella 13 – Sollecitazioni SLU – Rivestimento definitivo

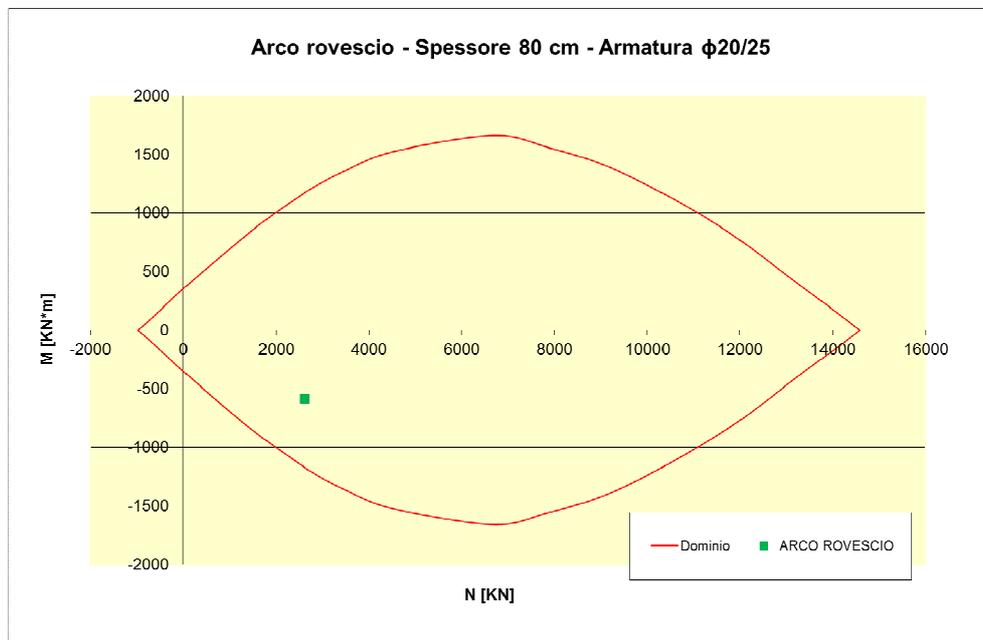


Figura 39 - Dominio M-N – Arco rovescio

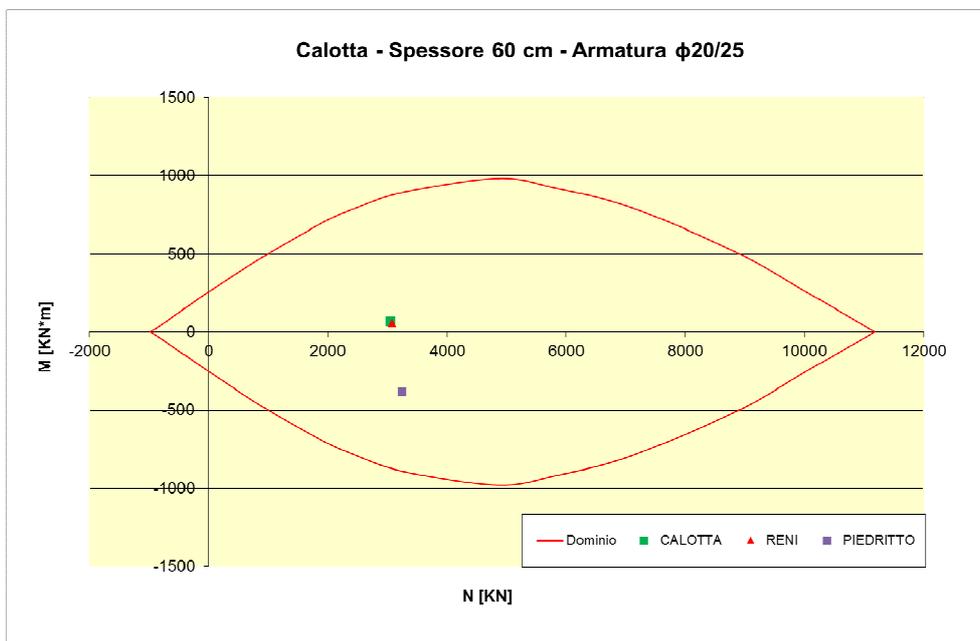


Figura 40 - Dominio M-N – Calotta

Di seguito si riportano delle tabelle in cui vengono confrontati i valori di taglio sollecitante e taglio resistente: quest'ultimo è stato valutato con l'espressione fornita dalla normativa per gli elementi non armati a taglio.

VERIFICA A TAGLIO - TU 2008										
base [cm]	altezza [cm]	coprif. [cm]	ϕ [mm]	A_s tesa [mm ²]						
100	60	5	20	1257						
Rck [MPa]	γ_c	γ_s	N [kN]	E_s [Mpa]	f_{yk} [MPa]					
37	1.5	1.15	2221	210000	450					
d [mm]	k	b_w [mm]	V _{Sdu} [kN]							
540	1.609	1000	120.3							
f_{ck} [MPa]	v _{min}	σ_{cp} [MPa]	Se NON risulta necessario armare							
30.71	0.396	3.480466667	<table border="1" style="margin: auto;"> <tr><td style="text-align: center;">limite a Vsd</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">[kN]</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">2909.26</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">Vsd < Vlim</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">Si</td></tr> </table>			limite a Vsd	[kN]	2909.26	Vsd < Vlim	Si
limite a Vsd										
[kN]										
2909.26										
Vsd < Vlim										
Si										
ρ_l	V _{Rd} [kN]									
0.0023	495.60									
NON risulta necessario armare a taglio (Vsd < VRd,c)										

Tabella 14 – Verifica a taglio – Calotta

VERIFICA A TAGLIO - TU 2008																
base [cm]	altezza [cm]	coprif. [cm]	ϕ [mm]	A_s tesa [mm ²]												
100	60	5	20	1257												
Rck [MPa]	γ_c	γ_s	N [kN]	E_s [Mpa]	f_{yk} [MPa]											
37	1.5	1.15	2462	210000	450											
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>d [mm]</td> <td>k</td> <td>b_w [mm]</td> </tr> <tr> <td>540</td> <td>1.609</td> <td>1000</td> </tr> </table>			d [mm]	k	b_w [mm]	540	1.609	1000	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>V_{Sdu} [kN]</td> </tr> <tr> <td>116.0</td> </tr> </table>			V_{Sdu} [kN]	116.0			
d [mm]	k	b_w [mm]														
540	1.609	1000														
V_{Sdu} [kN]																
116.0																
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>f_{ck} [MPa]</td> <td>v_{min}</td> <td>σ_{cp} [MPa]</td> </tr> <tr> <td>30.71</td> <td>0.396</td> <td>3.480466667</td> </tr> </table>			f_{ck} [MPa]	v_{min}	σ_{cp} [MPa]	30.71	0.396	3.480466667	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align: center;">Se NON risulta necessario armare</p> <table border="1" style="width: 100%; margin: 0 auto;"> <tr> <td>limite a V_{sd}</td> </tr> <tr> <td>[kN]</td> </tr> <tr> <td>2909.26</td> </tr> <tr> <td>$V_{sd} < V_{lim}$</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Si</td> </tr> </table> </div>			limite a V_{sd}	[kN]	2909.26	$V_{sd} < V_{lim}$	Si
f_{ck} [MPa]	v_{min}	σ_{cp} [MPa]														
30.71	0.396	3.480466667														
limite a V_{sd}																
[kN]																
2909.26																
$V_{sd} < V_{lim}$																
Si																
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>ρ_l</td> <td>V_{Rd} [kN]</td> </tr> <tr> <td>0.0023</td> <td>495.60</td> </tr> </table>			ρ_l	V_{Rd} [kN]	0.0023	495.60										
ρ_l	V_{Rd} [kN]															
0.0023	495.60															
<p>NON risulta necessario armare a taglio ($V_{sd} < V_{Rd,c}$)</p>																

Tabella 15 – Verifica a taglio – Reni

VERIFICA A TAGLIO - TU 2008																
base [cm]	altezza [cm]	coprif. [cm]	ϕ [mm]	A_s tesa [mm ²]												
100	60	5	20	1257												
Rck [MPa]	γ_c	γ_s	N [kN]	E_s [Mpa]	f_{yk} [MPa]											
37	1.5	1.15	2496	210000	450											
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>d [mm]</td> <td>k</td> <td>b_w [mm]</td> </tr> <tr> <td>540</td> <td>1.609</td> <td>1000</td> </tr> </table>			d [mm]	k	b_w [mm]	540	1.609	1000	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>V_{Sdu} [kN]</td> </tr> <tr> <td>518.7</td> </tr> </table>			V_{Sdu} [kN]	518.7			
d [mm]	k	b_w [mm]														
540	1.609	1000														
V_{Sdu} [kN]																
518.7																
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>f_{ck} [MPa]</td> <td>v_{min}</td> <td>σ_{cp} [MPa]</td> </tr> <tr> <td>30.71</td> <td>0.396</td> <td>3.480466667</td> </tr> </table>			f_{ck} [MPa]	v_{min}	σ_{cp} [MPa]	30.71	0.396	3.480466667	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align: center;">Se NON risulta necessario armare</p> <table border="1" style="width: 100%; margin: 0 auto;"> <tr> <td>limite a V_{sd}</td> </tr> <tr> <td>[kN]</td> </tr> <tr> <td>2909.26</td> </tr> <tr> <td>$V_{sd} < V_{lim}$</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Si</td> </tr> </table> </div>			limite a V_{sd}	[kN]	2909.26	$V_{sd} < V_{lim}$	Si
f_{ck} [MPa]	v_{min}	σ_{cp} [MPa]														
30.71	0.396	3.480466667														
limite a V_{sd}																
[kN]																
2909.26																
$V_{sd} < V_{lim}$																
Si																
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>ρ_l</td> <td>V_{Rd} [kN]</td> </tr> <tr> <td>0.0023</td> <td>495.60</td> </tr> </table>			ρ_l	V_{Rd} [kN]	0.0023	495.60										
ρ_l	V_{Rd} [kN]															
0.0023	495.60															
<p>Risulta necessario armare a taglio ($V_{sd} > V_{Rd,c}$)</p>																

Tabella 16 – Verifica a taglio – Piedritti

VERIFICA A TAGLIO - TU 2008																
base [cm]	altezza [cm]	coprif. [cm]	ϕ [mm]	A_s tesa [mm ²]												
100	80	5	20	1257												
Rck [MPa]	γ_c	γ_s	N [kN]	E_s [Mpa]	f_{yk} [MPa]											
37	1.5	1.15	1999	210000	450											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">d [mm]</td> <td style="text-align: center;">k</td> <td style="text-align: center;">b_w [mm]</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">740</td> <td style="text-align: center;">1.520</td> <td style="text-align: center;">1000</td> </tr> </table>			d [mm]	k	b_w [mm]	740	1.520	1000	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">V_{Sdu} [kN]</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">534.2</td> </tr> </table>			V_{Sdu} [kN]	534.2			
d [mm]	k	b_w [mm]														
740	1.520	1000														
V_{Sdu} [kN]																
534.2																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">f_{ck} [MPa]</td> <td style="text-align: center;">v_{min}</td> <td style="text-align: center;">σ_{cp} [MPa]</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">30.71</td> <td style="text-align: center;">0.363</td> <td style="text-align: center;">2.49875</td> </tr> </table>			f_{ck} [MPa]	v_{min}	σ_{cp} [MPa]	30.71	0.363	2.49875	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align: center; margin: 0;"><u>Se NON risulta necessario armare</u></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin: 5px auto;"> <tr> <td style="text-align: center;">limite a V_{sd}</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">[kN]</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3986.76</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">$V_{sd} < V_{lim}$</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; color: red;">Si</td> </tr> </table> </div>			limite a V_{sd}	[kN]	3986.76	$V_{sd} < V_{lim}$	Si
f_{ck} [MPa]	v_{min}	σ_{cp} [MPa]														
30.71	0.363	2.49875														
limite a V_{sd}																
[kN]																
3986.76																
$V_{sd} < V_{lim}$																
Si																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">ρ_l</td> <td style="text-align: center;">V_{Rd} [kN]</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0.0017</td> <td style="text-align: center; color: red;">546.30</td> </tr> </table>			ρ_l	V_{Rd} [kN]	0.0017	546.30										
ρ_l	V_{Rd} [kN]															
0.0017	546.30															
NON risulta necessario armare a taglio ($V_{sd} < V_{Rd,c}$)																

Tabella 17 – Verifica a taglio – Arco rovescio

7. Analisi di interferenza scavo-edificio n°8

In considerazione del danneggiamento subito dall'edificio n°8 sito in via Gavatro 26-28 nel corso degli scavi già eseguiti, che si trova all'apice del versante interessato dallo scavo della galleria, dove la copertura è di circa 40m, è stata condotta un'analisi dei cedimenti indotti sia dallo scavo pregresso (sez tipo C2R) che da quello che deve essere ancora eseguito (sez tipo C2P e C2VP).

Relativamente a tale fabbricato, le risultanze del piano di monitoraggio di superficie hanno condotto alla valutazione dei cedimenti differenziali connessi con le operazioni di scavo della galleria. Le misure inclinometriche in prossimità dell'edificio stesso sono finalizzate alla valutazione delle componenti planimetriche di spostamento.

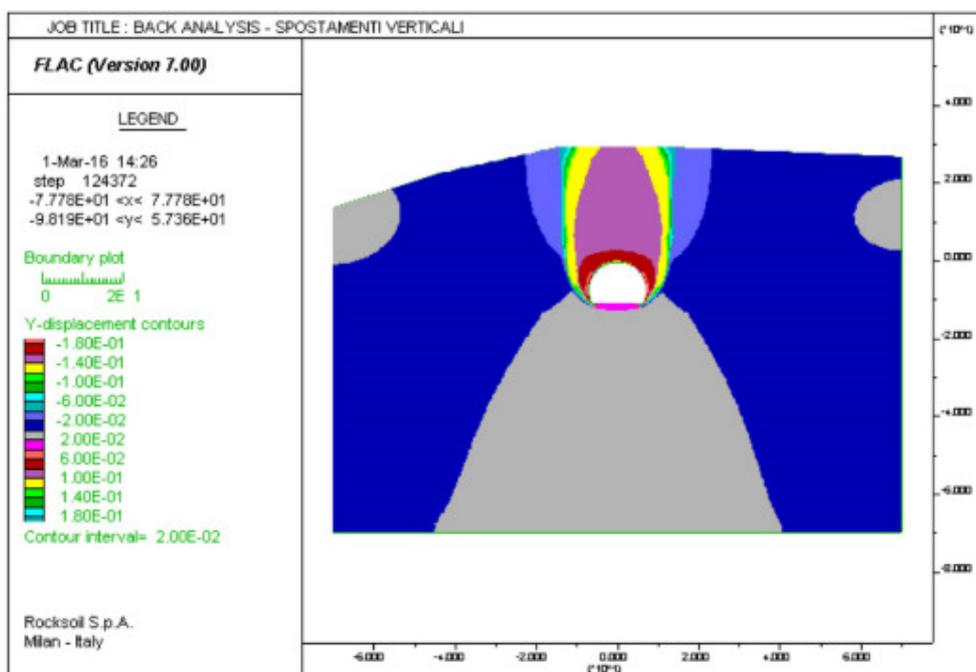


Figura 41 – Analisi dei cedimenti calcolati sezione di calcolo (Scavo pregresso Sez. tipo C2R)

Le risultanze della back-analysis condotta evidenziano un buon accordo tra i cedimenti calcolati e quelli misurati durante lo scavo pregresso. In particolare, si evince come il bacino di subsidenza indotto risulti essere molto stretto (max cedimenti in asse galleria pari a 15 cm che si riducono a 5 cm a paramento, molto prossimi a quelli massimi misurati in superficie).

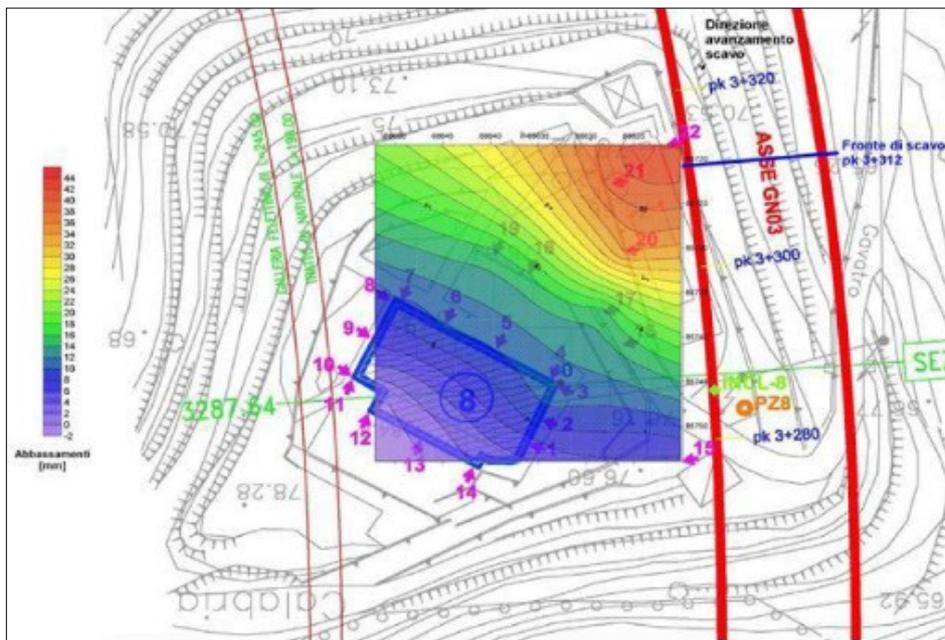


Figura 42 – Cedimenti misurati in corrispondenza dell'edificio n.8

Adottando la sezione tipo C2P descritta nella presente proposta progettuale i cedimenti massimi in superficie si riducono significativamente, con valori max in asse galleria pari a 2 cm circa.

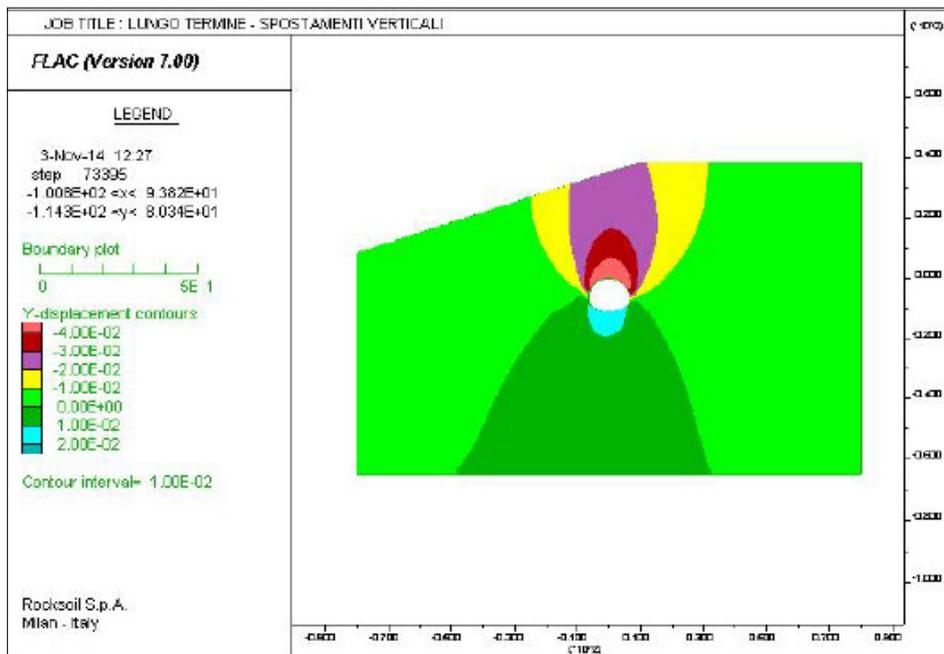


Figura 43 – Analisi dei cedimenti calcolati sezione di calcolo (Scavo progressivo Sez. tipo C2P)

La valutazione dei cedimenti indotti dagli scavi e di conseguenza del relativo bacino di subsidenza è stata utilizzata per valutare la categoria di danno dell'edificio 8.

Sia considerando gli effetti del solo scavo pregresso che la somma di quest'ultimi con quelli, molto più contenuti, dovuti ai prossimi scavi, la categoria di danno dell'edificio ricade in classe 2 (danni lievi da *Boscardin* e *Cording*).

In effetti però il reale quadro fessurativo sull'edificio sembrerebbe essere più rilevante, soprattutto per disposizione e caratteristiche delle lesioni che sembrerebbero riconducibili, piuttosto che a spostamenti prevalentemente verticali da subsidenza indotta, a spostamenti orizzontali, da attribuirsi a movimenti di versante.

7.1 Categorie di danno

Sulla base dello studio dei cedimenti indotti dallo scavo, unitamente alle caratteristiche geometriche, strutturali e di conservazione degli edifici, si può conseguentemente effettuare una valutazione del probabile rischio di danno in merito ai risentimenti provocati sugli edifici dallo scavo della galleria.

Nel seguito si riassumono i criteri di classificazione del danno rispettivamente basati sulla determinazione della distorsione limite e sulla stima delle deformazioni di trazione generate nelle strutture secondo le formulazioni di Mayer, Burland e Taylor.

Nel caso in esame una volta determinati i cedimenti secondo quanto specificato in precedenza, si procederà ad individuare l'effetto indotto sui fabbricati mediante il calcolo delle categorie di danno secondo quanto riportato in letteratura (Mair e Taylor e Burland, 1996). Secondo tali approcci la categoria di danno è correlata con la deformazione unitaria massima di allungamento ϵ_{max} . Per l'edificio analizzato, sulla base della deformazione massima di trazione ϵ_{max} e del relativo bacino di subsidenza, è stato possibile determinare un valore del parametro "categoria di danno" secondo quanto esposto nelle tabelle di sintesi riportate in letteratura (Boscardin e Cording, 1989), ottenendo così una valutazione del rischio.

7.1.1 Spostamenti e distorsioni limite

Al fine di stabilire le ripercussioni degli scavi sulla preesistenza in superficie, appare importante individuare i valori limite di spostamento e distorsione.

Oltre al cedimento massimo, un parametro molto significativo per la valutazione del danno ai fabbricati è la "distorsione angolare" fra due punti dell'edificio, essendo principalmente il cedimento differenziale la causa dell'insorgere di lesioni e rotture.

Al riguardo, facendo riferimento alla bibliografia esistente sull'argomento, Skempton e MacDonald (1956), basandosi sull'osservazione di 98 edifici e con riferimento anche allo studio di Ricceri e Sorazo (1985) su 25 strutture realizzate in Italia, evidenziano che non si ha comparsa di fessure sulle strutture di tamponamento fino a valori di $\epsilon < 1/300$ e per vedere danni sulle strutture portanti in calcestruzzo è necessario arrivare a valori di ϵ pari a 1/150.

In Polschin e Tokar (1957) si considera un approccio più conservativo, indicando valori ammissibili pari a 1/500 per strutture a telaio in calcestruzzo armato con tamponature, e pari a 1/200 per telai aperti.

Stessi valori vengono indicati anche nell'ambito dell'Eurocodice 7, appendice H, dove si indica come ammissibile una distorsione pari a 1/500, evidenziando una condizione di stato limite ultimo pari a 1/150.

Un criterio di classificazione dei rischi indotti dai cedimenti, relativamente a strutture in cemento armato, è stato proposto da Rankin (1988) secondo quanto esposto nella tabella

sottostante.

Categoria di rischio	Massima distorsione dell'edificio	Massimo cedimento dell'edificio [cm]	Descrizione del rischio
1	$\beta < 1/500$	$w < 1$	Non visibile
2	da 1/500 a 1/200	da 1 a 5	Leggero: crepe facilmente rimovibili con una tinteggiatura
3	da 1/200 a 1/50	da 5 a 7.5	Moderato: danni a porte e finestre, danni da infiltrazione di umidità
4	$\beta > 1/50$	$w > 7.5$	Alto: danni strutturali, necessità di riparazioni notevoli, pericoli di instabilità

Tabella 18 – Criterio di classificazione del rischio di Rankin

Il valore del cedimento assoluto, come pure il valore differenziale, dovrà essere valutato in dettaglio in funzione delle condizioni dell'edificio e delle reali geometrie delle fondazioni.

In prima battuta, in assenza informazioni puntuali sulle caratteristiche dei fabbricati, le analisi di danno sono state condotte considerando il valore degli spostamenti assoluti e tenendo conto delle deformazioni di trazione generate nelle strutture secondo le formulazioni di Mayer, Burland e Taylor, come illustrato nel seguito.

7.1.2 Stima delle deformazioni e definizione delle categorie di danno

Nel caso in esame si è proceduto ad individuare la categoria di danno secondo quanto suggerito dalla letteratura (Mair e Taylor e Burland – *Prediction of ground movements and assessment of risk of building damage due to bored tunneling*). Come indicato in Mair, Taylor e Burland, la categoria di danno è correlata con la deformazione unitaria massima di allungamento ϵ_{max} .

La determinazione di tale deformazione può essere individuata assimilando l'edificio ad un corpo elastico di altezza H, lunghezza L, momento d'inerzia I e rapporto tra moduli elastici E/G pari a 12.5 per il cemento armato e a 2.6 per la muratura.

Il bacino di subsidenza può essere suddiviso in due zone distinte in base alle modalità di deformazione del piano campagna, come rappresentato in figura.

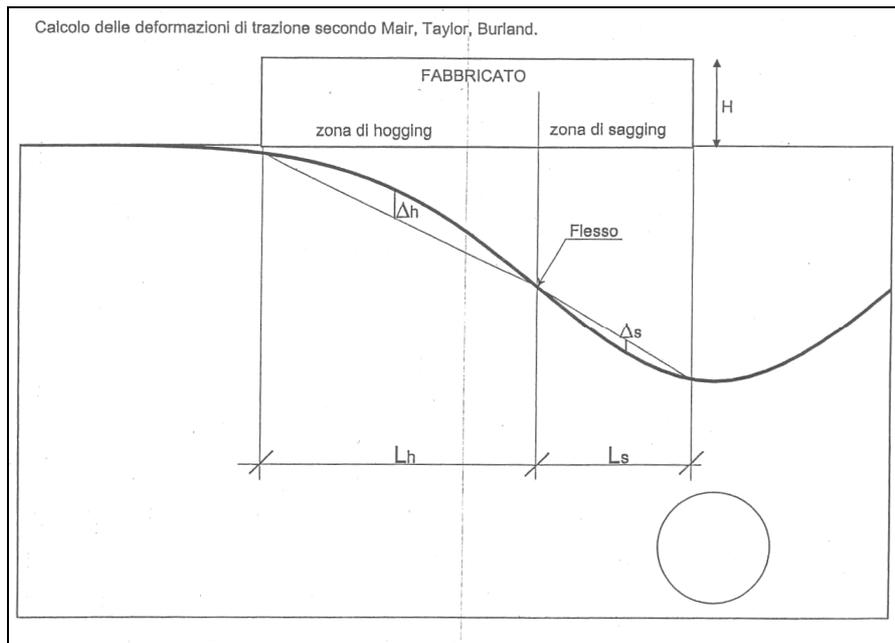


Figura 44 – Zona di hogging e sagging

zona di hogging (concavità della deformata orientata verso il basso):

momento d'inerzia edificio $\Rightarrow I=H^3/3$

distanza asse neutro dal lembo teso = H

zona di sagging (concavità della deformata rivolta verso l'alto):

momento d'inerzia edificio $\Rightarrow I=H^3/12$

distanza asse neutro dal lembo teso = H/2

Considerando un generico edificio, posizionato come in figura, il punto di inflessione dello spostamento, (i), divide l'edificio stesso nelle due zone sopra indicate.

Nella zona di hogging ($-i > y > i$) dove l'asse neutro è pari ad H, tutti gli sforzi dovuti alla flessione sono di trazione, mentre nella zona di sagging, dove l'asse neutro si assume pari ad H/2, la flessione induce sforzi sia di compressione che di trazione.

Definita l'inflessione massima Δ/L , così come indicato dagli autori, è possibile risalire alle deformazioni unitarie massime per trazione.

Per quanto dovuto a sollecitazioni di flessione, le deformazioni si sviluppano parallelamente all'asse dell'edificio e valgono:

$$\epsilon_b = \left(\frac{\Delta}{L}\right) \times \frac{1}{\left[\left(\frac{L}{12t}\right) + \left(\frac{3EI}{2tLHG}\right)\right]}$$

dove $t = (H; H/2)$ secondo se ci si trova in zona Hogging o Sagging.

Invece per le deformazioni dovute taglio si ha:

$$\varepsilon_d = \left(\frac{\Delta}{L}\right) \times \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{HL^2G}{18EI}\right)\right]}$$

Si considera inoltre il contributo dovuto alle deformazioni orizzontali (ε_h) che verrà combinato con la deformazione di flessione e taglio.

$$\varepsilon_{bt} = \varepsilon_h + \varepsilon_b$$

$$\varepsilon_{dt} = 0.35\varepsilon_h + \sqrt{\left((0.65\varepsilon_h)^2 + \varepsilon_d^2\right)}$$

Si ottiene quindi la massima deformazione di trazione ε_{max} pari al valore massimo tra ε_{bt} e ε_{dt}

Si riportano nel seguito le tabelle di sintesi di Boscarding e Cording (1989).

Categoria del danno	Intensità del danno	Deformazione limite di trazione ε_{lim} (%)
0	Trascurabile	0÷0.05
1	Molto lieve	0.05÷0.075
2	Lieve	0.075÷0.15
3	Moderata	0.15÷0.3
4	Severa	0.3÷0.45
5	Molto severa	>0.45

Tabella 19 – Boscardin e Cording, 1989

Categoria del danno	Intensità del danno	Descrizione
0	Trascurabile	Fessure capillari con aperture ≤ 0.1 mm.
1	Molto lieve	Fessure sottili cui si rimedia facilmente con lavori di pitturazione. Il danno è limitato agli intonaci delle pareti interne. Fessure alle parti esterne rilevabili con attento esame. Tipica apertura delle lesioni ≤ 1 mm.
2	Lieve	Fessure facilmente stuccabili, ripittura necessaria. Le fessure ricorrenti possono essere mascherate con opportuni rivestimenti. Fessure anche visibili all'esterno; può essere necessaria qualche ripresa della spillatura per garantire l'impermeabilità. Possibili difficoltà nell'apertura di porte e finestre. Tipica apertura delle lesioni ≤ 5 mm.

3	Moderata	Le fessure richiedono cucì e scuci della muratura. Anche all'esterno necessari interventi sulla muratura. Possibile blocco di porte e finestre. Rottura di tubazioni. Spesso l'impermeabilità non è garantita. Tipica apertura delle lesioni $5 \div 15$ mm, oppure molte lesioni ≤ 3 .
4	Severa	Necessarie importanti riparazioni, compresa demolizione e ricostruzione di parti di muri, specie al di sopra di porte e finestre. I telai di porte e finestre si distorcono; percepibile pendenza di pavimenti. Muri inclinati o spanciati; qualche perdita d'appoggio di travi. Tubazioni distrutte. Tipica apertura delle lesioni $15 \div 25$ mm, dipendente anche dal numero di lesioni.
5	Molto severa	Richiesti importanti lavori con parziale e totale demolizione e ricostruzione. Le travi perdono l'appoggio, i muri si inclinano fortemente e richiedono puntellatura. Pericolo di instabilità. Tipica apertura delle lesioni superiori a 25 mm, dipendente anche dal numero di lesioni.

Tabella 20 – Boscardin e Cording, 1989

La categoria di danno ammissibile per un fabbricato dipende dalle caratteristiche dell'edificio stesso, ovvero dalla metodologia costruttiva (strutture in c.a./acciaio o muratura), dallo stato di conservazione (stato buono o precario) e dalla destinazione d'uso.

7.1.3 Fasi di calcolo

La sezione di riferimento è la medesima analizzata in precedenza e di cui si riportano le fasi di calcolo.

TIME 1 – Geostatico

In questa prima fase di calcolo vengono applicati il peso proprio del terreno e le caratteristiche di resistenza e deformabilità delle formazioni in sito, in modo tale da ricostruire la situazione tensionale preesistente alla costruzione della galleria.

TIME 2 – Taratura e scavo – Relax 80%

In questa time di calcolo viene simulata l'apertura del fronte attraverso un'opportuna riduzione delle forze di scavo.

TIME 3 – Avanzamento pari allo sfondo di 1.00 m – Relax 83%

Viene simulato lo scavo pari allo sfondo di 1.00 m.

TIME 4 – Posa prerivestimento al contorno e avanzamento a 3 m dal fronte – Relax 8%

Viene simulata la posa del prerivestimento in prossimità del fronte di scavo.

TIME 5 – Posa del puntone e avanzamento a 1 ϕ dal fronte – Relax 96.5%

Viene simulata la posa del puntone e l'avanzamento dello scavo.

TIME 6 – Getto dell'arco rovescio – Relax 100%

Viene simulato il getto dell'arco rovescio e l'ulteriore avanzamento dello scavo.

TIME 7 – Getto del rivestimento di calotta

Viene simulata la realizzazione del rivestimento di calotta, a completamento del rivestimento definitivo.

TIME 8 – Decadimento del prerivestimento e simulazione falda di progetto

Viene modellata la condizione a lungo termine sul rivestimento definitivo, rimuovendo gli elementi rappresentativi del prerivestimento ed applicando una pressione al contorno del cavo che simula la falda di progetto.

7.1.4 Sintesi dei risultati

Vengono riportati nel seguito i risultati ottenuti dalla simulazione FLAC ed i grafici in cui si mostra l'andamento dei cedimenti in corrispondenza dell'impronta dell'edificio al livello del piano di fondazione. Sono questi, infatti, i cedimenti di maggiore interesse ai fini della valutazione della classe di danno attesa per l'edificio in esame.

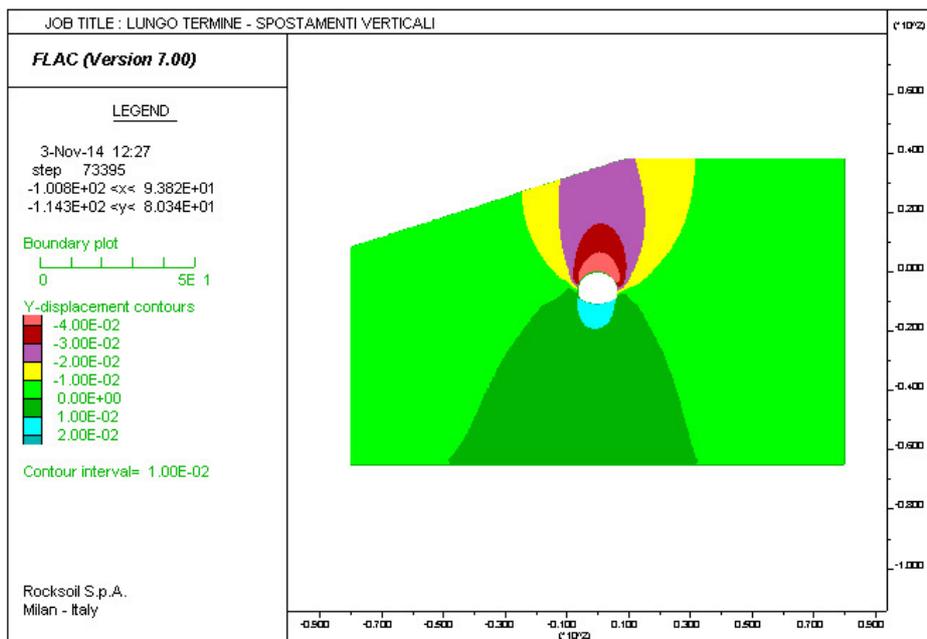


Figura 45 – Analisi FLAC – Cedimenti verticali

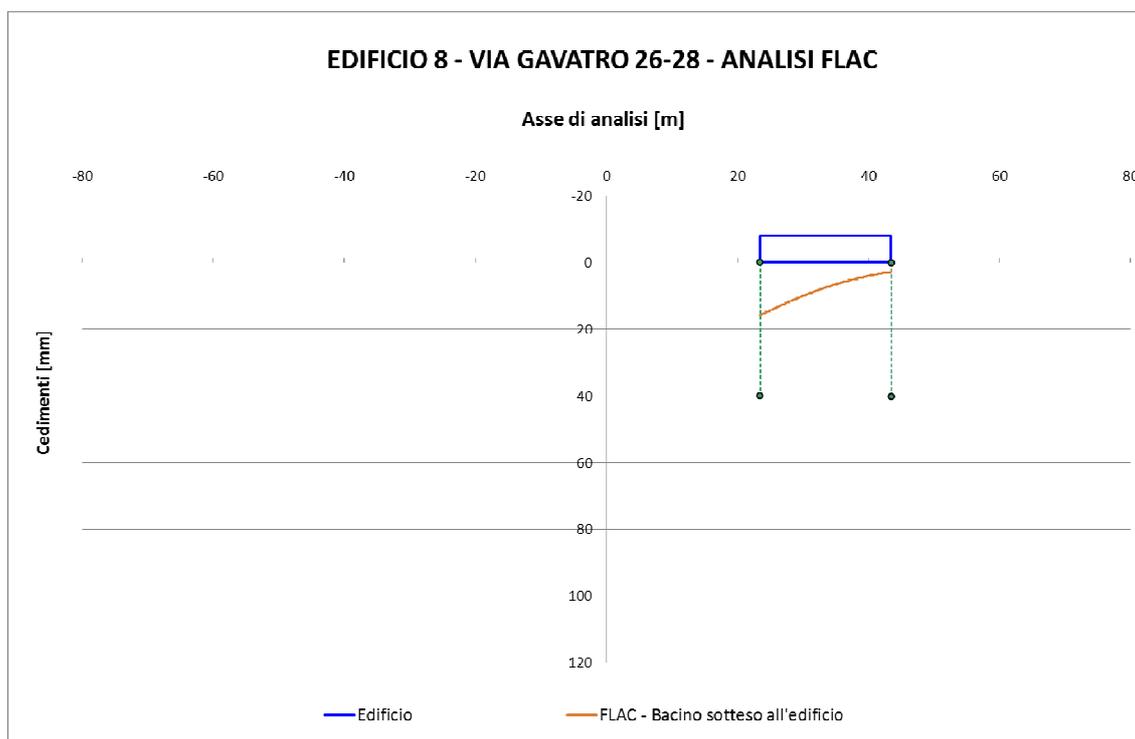


Figura 46 – Bacino di subsidenza - FLAC

Come si evince dal grafico sopra riportato, lo scavo eseguito tramite la sezione tipo di avanzamento C2P, induce cedimenti massimi sull'edificio pari a circa 16-17 mm con un delta di spostamento tra i vertici dello stesso pari a circa 12-13 mm.

Per la valutazione del danno indotto non è però sufficiente la conoscenza di questi cedimenti, risulta infatti necessario sommare ad essi anche i cedimenti già registrati sull'edificio tramite il monitoraggio in corso d'opera che hanno mostrato valori differenziali pari a circa 15 mm. Questo valore verrà quindi sommato al cedimento massimo ottenuto dall'analisi FLAC consentendo così di poter valutare la classe di danno indotta sull'edificio in esame.

Nel seguente grafico viene mostrato l'andamento del bacino di subsidenza sotteso all'edificio nel lungo termine dato dalla somma del cedimento calcolato tramite FLAC e del cedimento misurato in sito.

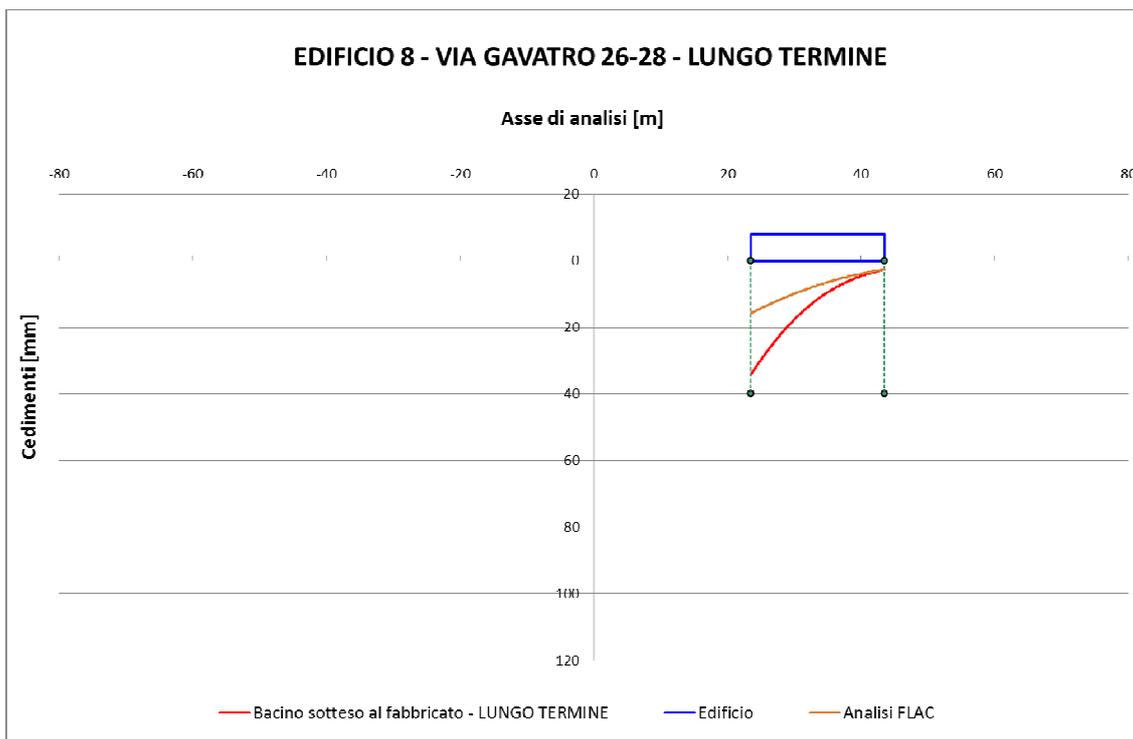


Figura 47 – Bacino di subsidenza – Lungo termine

Valutato il bacino di subsidenza sono state infine eseguite analisi di classificazione del danno, secondo quanto riportato in letteratura da Boscardin e Cording.

Sia considerando gli effetti del solo scavo pregresso che la somma di quest’ultimi con quelli, molto più contenuti, dovuti ai prossimi scavi, la categoria di danno dell’edificio ricade in classe 2 (danni lievi *da Boscardin e Cording*). Nella seguente tabella sono mostrati i risultati delle analisi di classificazione del danno in termini di cedimenti, deformazioni e classe di danno. Vengono inoltre riportati i valori di volume perso e parametro k che caratterizzano i profili ottenuti nelle analisi numeriche alle differenze finite.

Vp	k	Cedimento max edificio [mm]	$\epsilon_{max, hogging}$ [mm]	$\epsilon_{max, sagging}$ [mm]	Classe di danno
3.0%	0.4	34	0.125%	0.000%	2

Tabella 21 – Classificazione del danno

Come si può osservare, k risulta essere pari a circa 0,4 in linea con le aspettative considerando il contesto geomeccanico della sezione analizzata. Il valore di volume perso si attesta invece nell’intorno del 3% risultando quindi elevato ma attendibile se si considera che tale valore è dato dalla somma dei cedimenti ottenuti tramite l’analisi numerica ed i cedimenti ottenuti dal monitoraggio.

In effetti però il reale quadro fessurativo sull'edificio 8 sembrerebbe essere più rilevante della classe di danno 2, soprattutto per disposizione e caratteristiche delle lesioni che sembrerebbero riconducibili, piuttosto che a spostamenti prevalentemente verticali da subsidenza indotta, a spostamenti orizzontali, da attribuirsi a movimenti di versante.

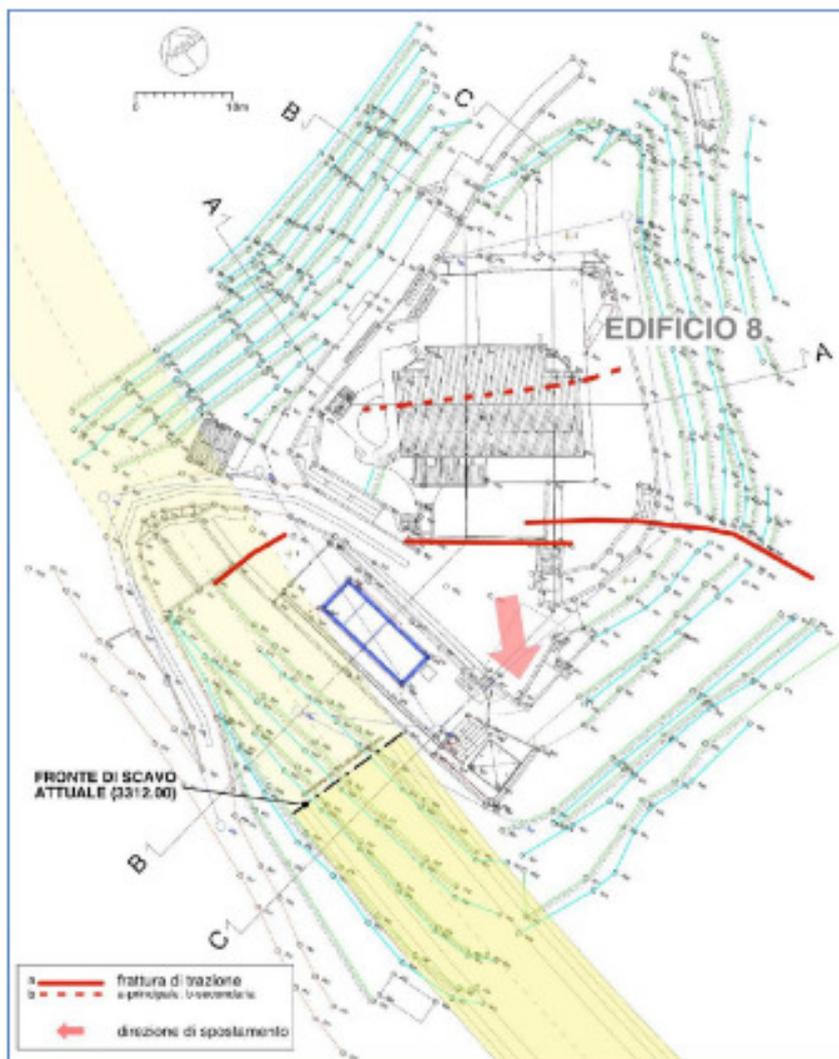


Figura 48 – Fessure sull'edificio 8 e fratture di trazione sul terreno nella fase di scavo progressivo (GEOEQUIPE)

In seguito a tali evidenze sono state eseguite indagini integrative (rilievi geomorfologici di dettaglio, inclinometri e piezometri), volte ad approfondire gli aspetti di stabilità del versante. A valle di tali indagini, l'interpretazione geologica del fenomeno sviluppata da GEOEQUIPE (vedi relazione specifica) porta a sostenere l'attivazione, in fase di scavo della galleria ed in contestuale presenza di precipitazioni eccezionali, di anomali movimenti di versante profondi lungo strato, attualmente stabilizzatisi. A tali movimenti vanno pertanto principalmente imputati i danni dell'edificio 8.

In considerazione di tali elementi nell'ambito della presente proposta si è quindi anche provveduto alla definizione di un adeguato intervento migliorativo al fine permettere di incrementare il coefficiente di stabilità del versante.

7.2 Interventi di stabilizzazione del versante

Dalle risultanze degli studi geomorfologici sul versante e delle recenti indagini integrative risulterebbe che il movimento di versante profondo lungo strato sia passante per la testa della berlinese di imbocco (che si presenta localmente lesionata) e sia emerso in superficie con fratture di trazione individuate sulla sommità del rilievo.

Per garantire la stabilità del versante a lungo termine, si prevede il prolungamento di 20m della galleria artificiale, prevista a PE, ed il potenziamento del suo ritombamento, a contrasto del piede del versante.

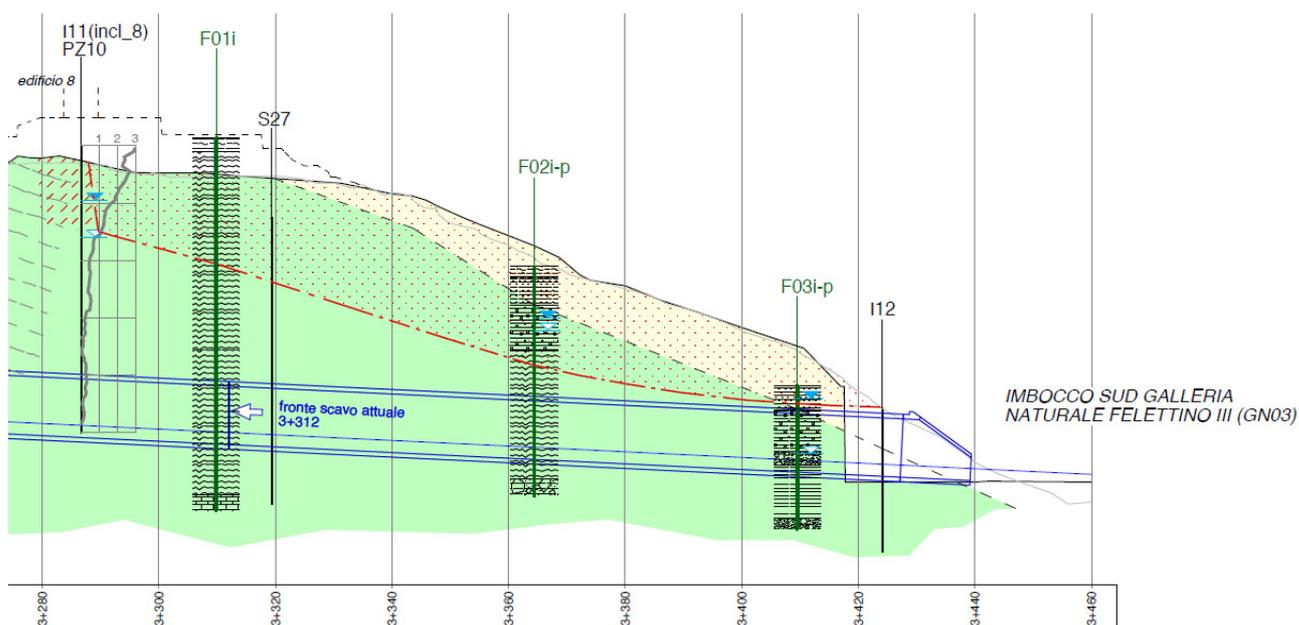


Figura 49 – Profilo geologico e superficie di scorrimento lungo strato (GEOEQUIPE)

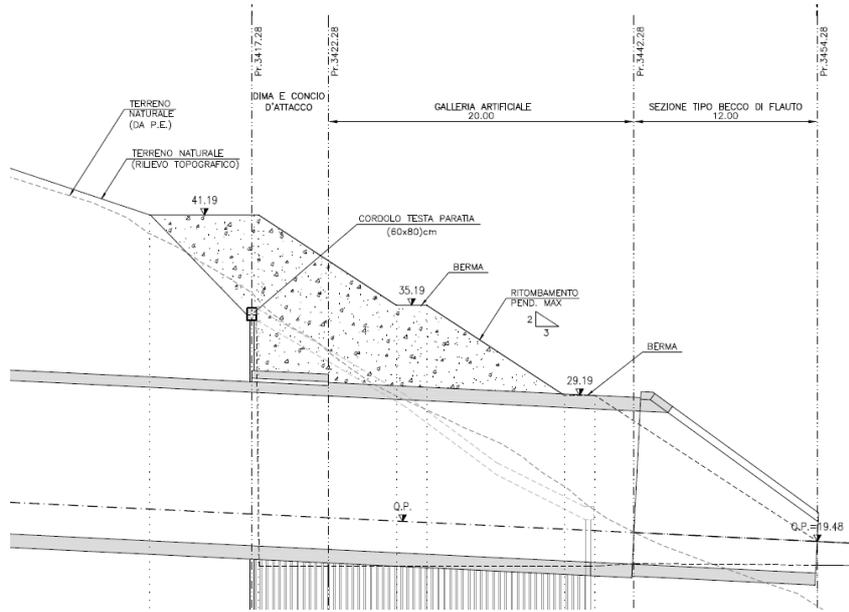


Figura 50 – Riprogettazione della sezione di imbocco

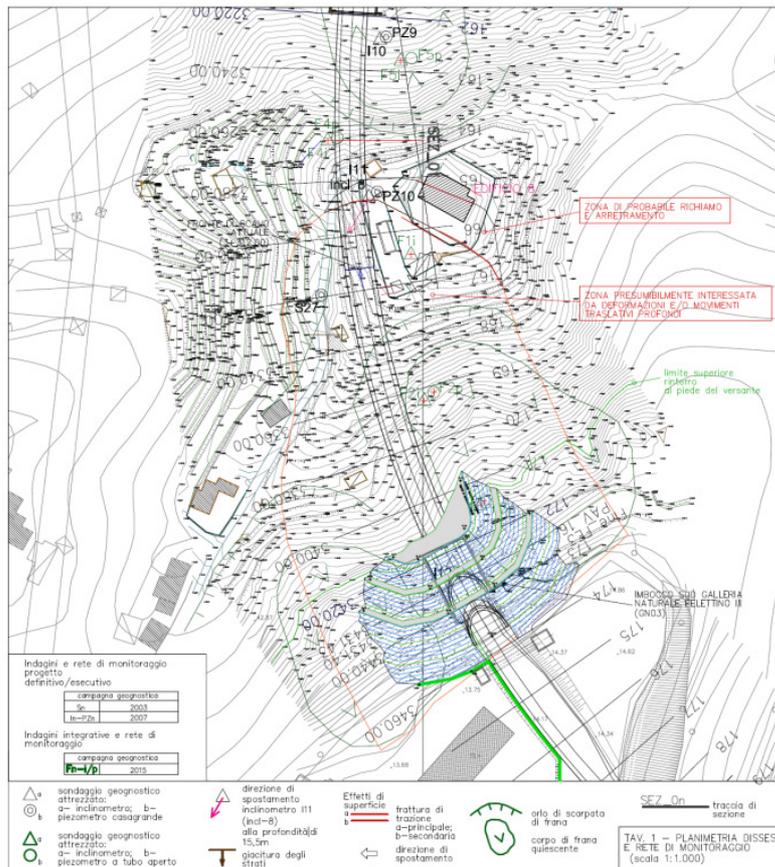


Figura 51 – Ritombamento previsto al piede del versante

Al fine di valutare l'efficacia dell'interventi, si è provveduto inizialmente alla valutazione delle condizioni di stabilità attuali del versante.

Le analisi sono state condotte con i metodi all'equilibrio limite tenendo conto della stratigrafia reale del sito (angolo d'attrito residuo da prove torsionali) e della posizione della falda misurata dai piezometri.

L'analisi si è focalizzata sulla taratura dei parametri di resistenza della shear band, al fine di ottenere un fattore di sicurezza vicino all'unità per la superficie di scorrimento ipotizzata in base alle risultanze di monitoraggio.

In dettaglio, per il piano di scorrimento si è assunta una coesione nulla e si è ottenuto un angolo d'attrito, che si può considerare come l'angolo d'attrito residuo della formazione M2.

Il modello realizzato restituisce un fattore di sicurezza superiore all'unità (FS=1.145).

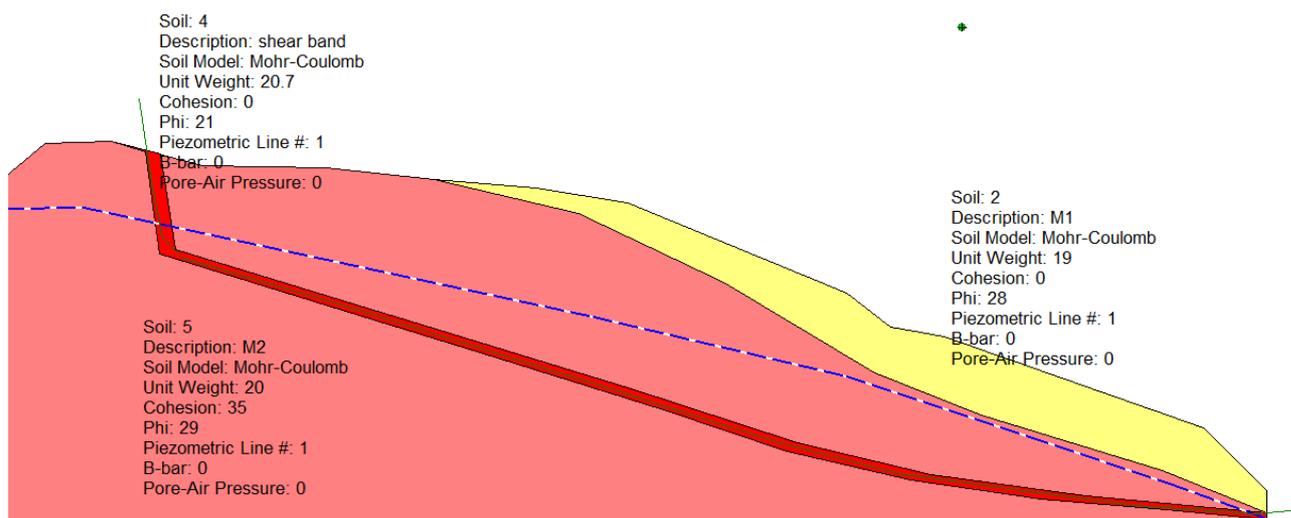


Figura 52 – Modello di calcolo per la back-analysis del versante

Simulata la condizione attuale, si valuta l'efficacia della misura mitigativa proposta, che consiste nell'allungamento della galleria artificiale di 20m per permettere un adeguato ritombamento che funziona da massa stabilizzante al piede della frana.

Inoltre, allungando l'artificiale, si fornisce maggiore protezione al traffico veicolare, allontanando la zona di ingresso in galleria dal corpo franoso.

Le verifiche risultano soddisfatte, sia in campo statico (FS= 1.309) che in campo sismico.

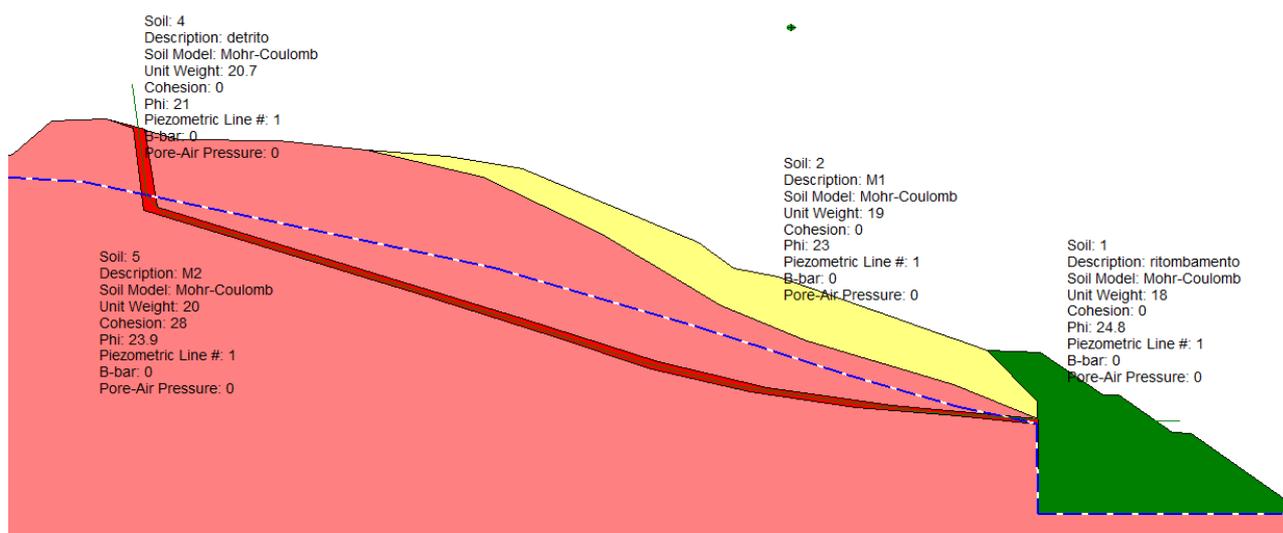


Figura 53 – Modello di calcolo per la sistemazione definitiva

A completamento della modifica progettuale, il conccio d’attacco in corrispondenza della dima e la galleria artificiale sono stati verificati considerando il peso del ritombamento nella nuova sistemazione definitiva.

Allo scopo di contenere quanto più possibile gli effetti dovuti dallo scavo di completamento della galleria sul versante e sull’edificio 8 le attività di scavo sia dal lato sud che da quello nord potranno essere riprese solo dopo avere gettato le rispettive gallerie artificiali e messo in opera i ritombamenti previsti.

Inoltre, nella fase di scavo di completamento della galleria in via cautelativa dovrà prevedersi il temporaneo allontanamento degli abitanti dell’edificio n° 8.

8. Monitoraggio in corso d'opera

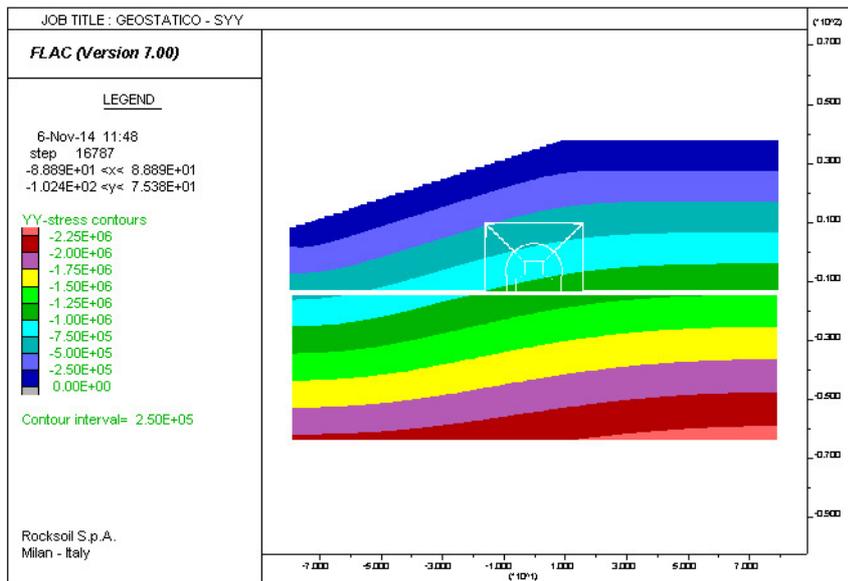
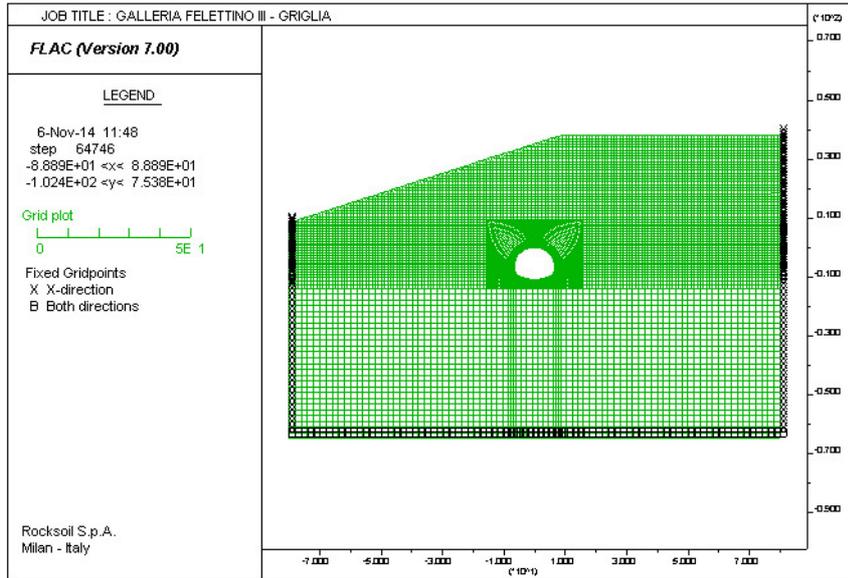
Riprendendo ed integrando le prescrizioni di PE, si dovrà prevedere per ogni campo di scavo la seguente attività di monitoraggio:

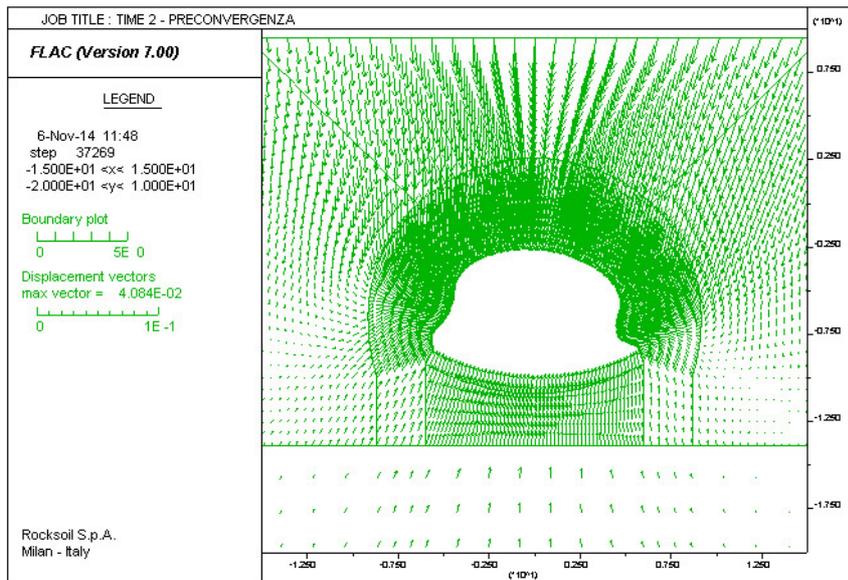
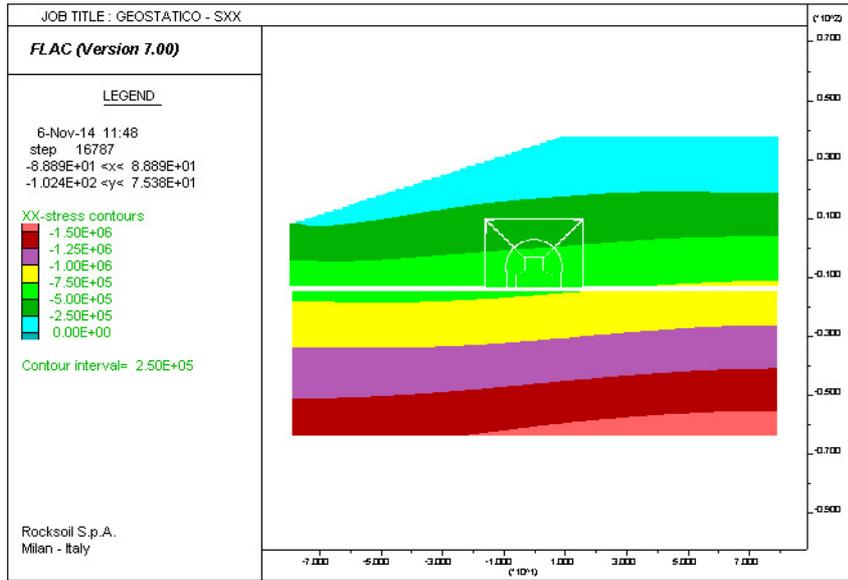
- Installazione di un estrusimetro al fronte di lunghezza minima 30 m posizionato approssimativamente al centro dello stesso, per il quale dovranno essere eseguite una lettura zero prima dell'inizio degli scavi, una a metà campo ed una a fine campo. Nel corso delle misure dovranno essere garantite le condizioni di sicurezza degli operatori prevedendo un tampone di spritz al fronte fibrorinforzato di spessore pari a circa 10-20 cm e uno strato di pre-spritz fibrorinforzato al contorno di spessore pari a circa 5-10 cm. I reali spessori dello spritz-beton sopra indicati verranno decisi e definiti dal preposto al fronte sulla base delle analisi delle condizioni locali;
- Installazione (qualora non ripristinabili) di stazioni di convergenza a 5 mire ogni 10 m ca. a partire dal fronte attuale (ultima/penultima centina) fino al rivestimento definitivo, in cui dovrà essere eseguita la lettura di 0 prima della ripartenza dello scavo e letture giornaliere in fase di scavo fino al getto del rivestimento definitivo;
- Rilievo geologico del fronte di scavo da eseguirsi approssimativamente al termine del campo.
- Monitoraggio della strumentazione topografica e geotecnica presente in superficie, con cadenza giornaliera in fase di scavo e settimanale a fronte fermo.

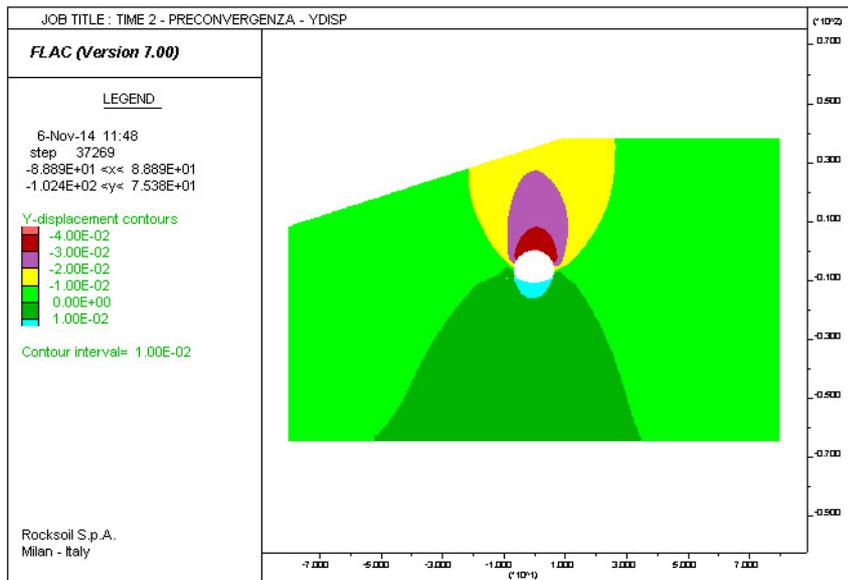
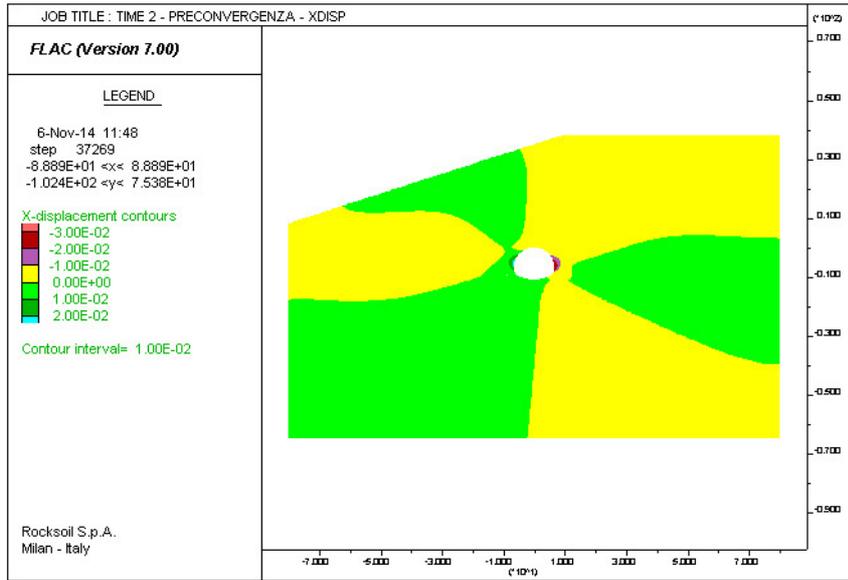
Per quanto riguarda la restante strumentazione per il monitoraggio della superficie vedasi elaborato relativo.

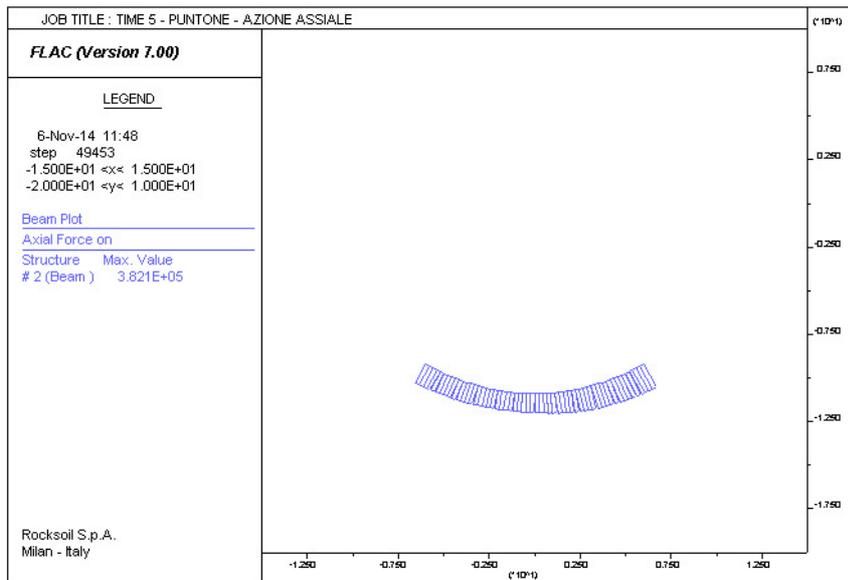
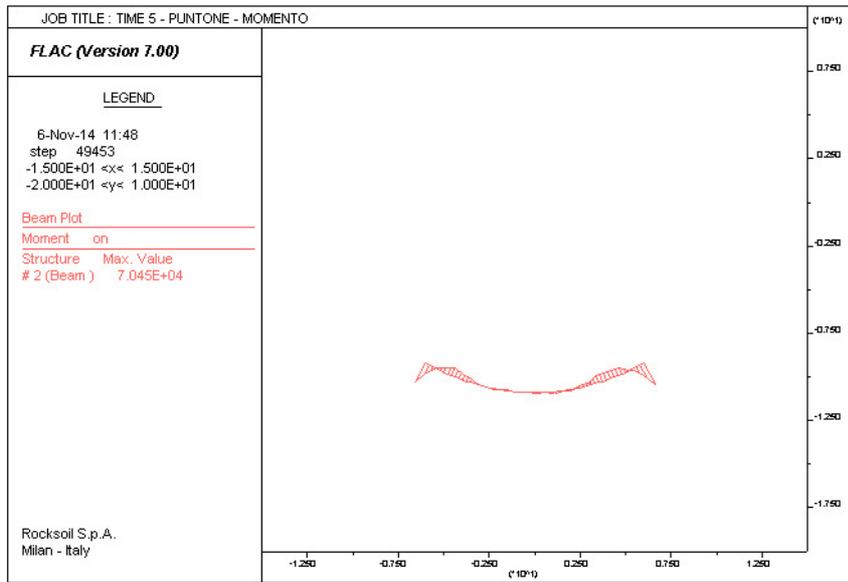
ALLEGATO 1

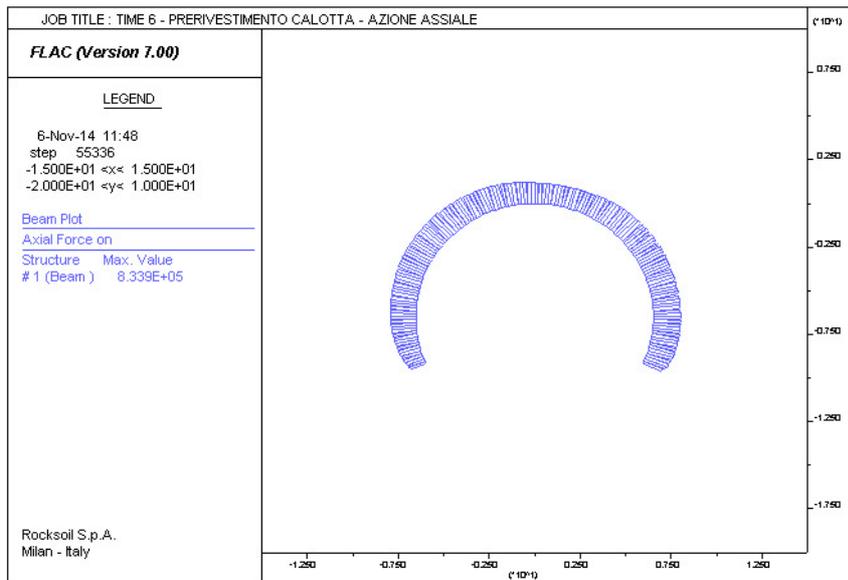
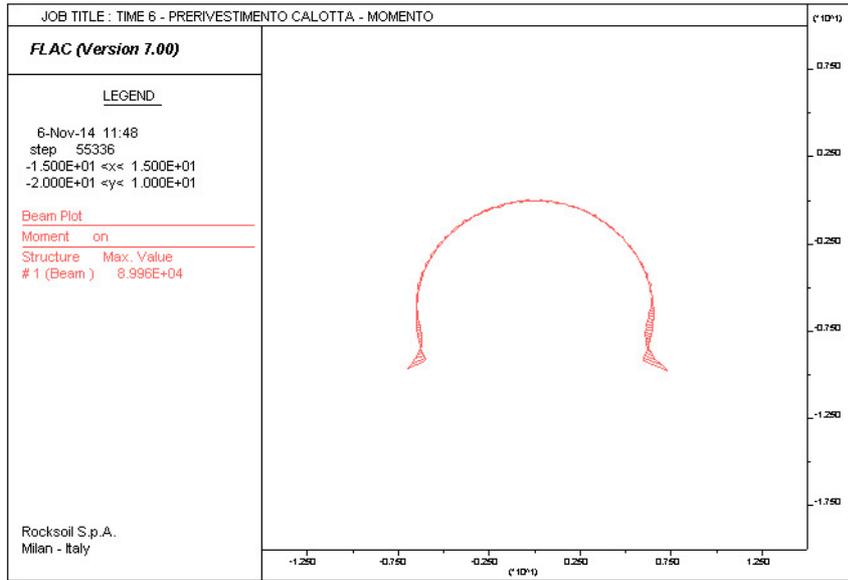
Output FLAC

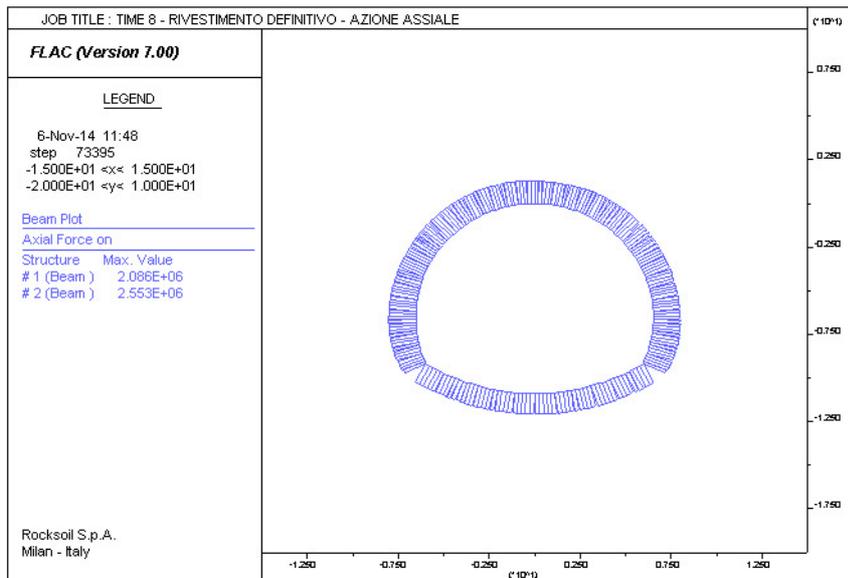
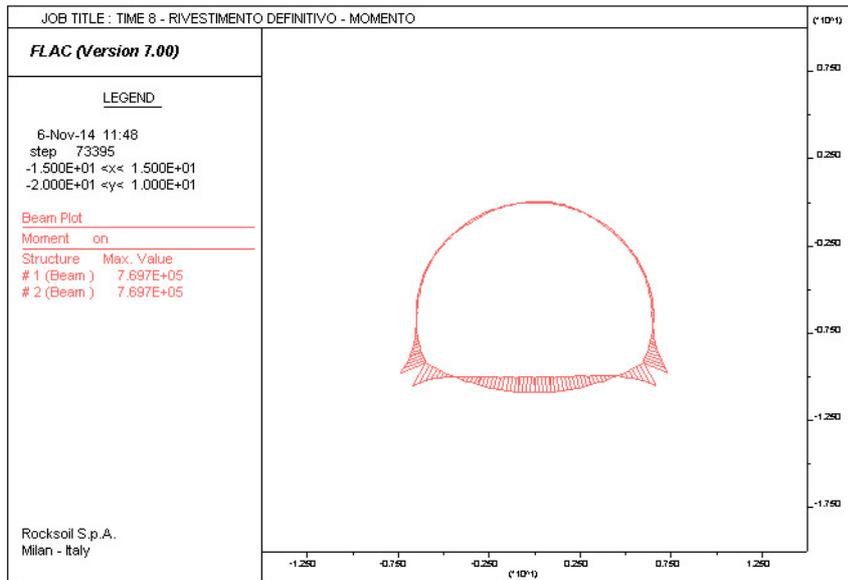


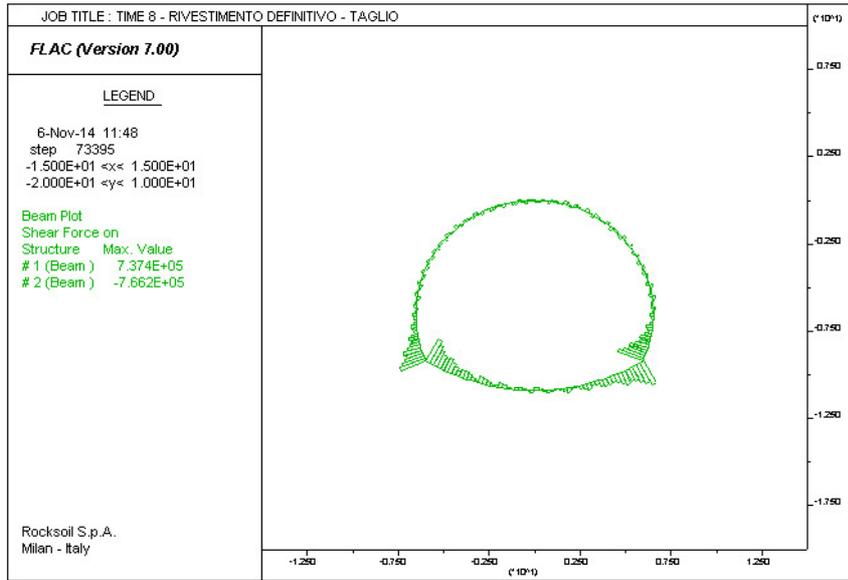




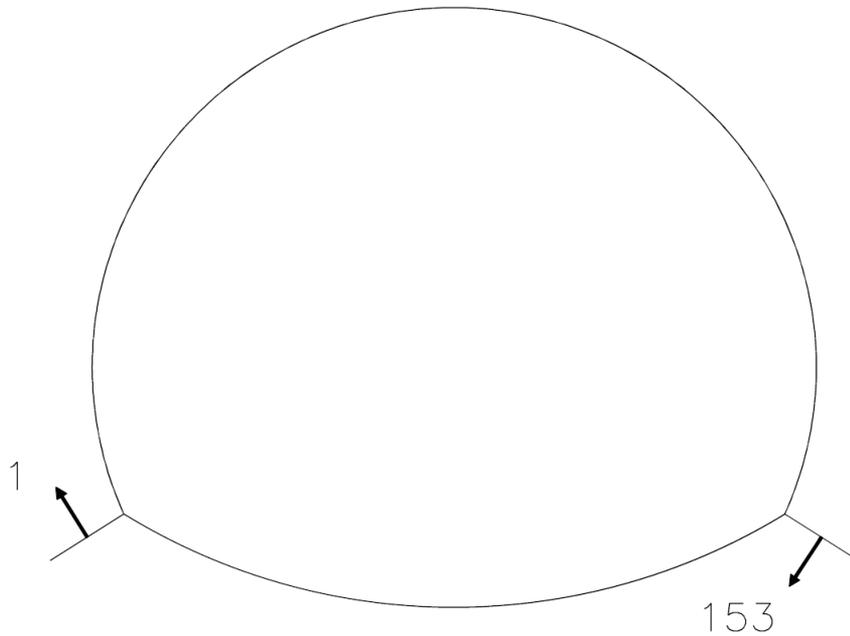








Azioni interne puntone

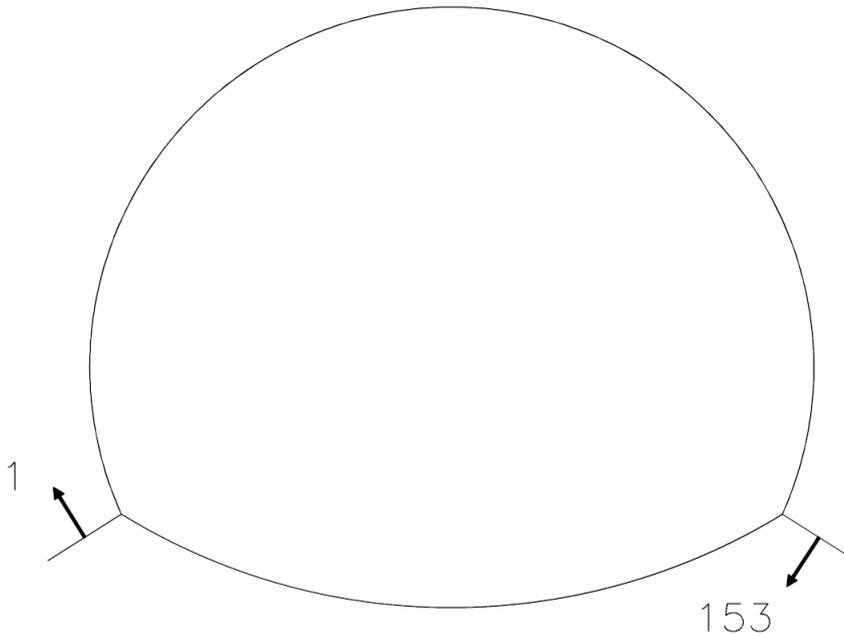


Structural element data ...

Elem ID	Nod1	Nod2	Prop	F-shear	F-axial	Mom-1	Mom-2	strain
208	2	208	1 1002 beam	-1.154E+05	3.127E+05	3.063E+04	-5.650E+04	-3.325E-05
207	2	207 208	1002 beam	-8.445E+04	3.120E+05	1.170E+04	-3.063E+04	-3.318E-05
206	2	206 207	1002 beam	-5.702E+04	3.072E+05	-1.079E+03	-1.170E+04	-3.266E-05
205	2	205 206	1002 beam	-3.410E+04	3.027E+05	-8.720E+03	1.078E+03	-3.218E-05
204	2	204 205	1002 beam	-2.351E+04	2.970E+05	-1.403E+04	8.767E+03	-3.158E-05
203	2	203 204	1002 beam	-2.421E+04	2.917E+05	-1.946E+04	1.404E+04	-3.101E-05
202	2	202 203	1002 beam	-8.309E+03	2.908E+05	-2.134E+04	1.948E+04	-3.092E-05
201	2	201 202	1002 beam	5.790E+03	2.899E+05	-2.005E+04	2.135E+04	-3.082E-05
200	2	200 201	1002 beam	1.732E+04	2.889E+05	-1.615E+04	2.003E+04	-3.072E-05
199	2	199 200	1002 beam	8.771E+03	2.878E+05	-1.416E+04	1.612E+04	-3.060E-05
198	2	198 199	1002 beam	7.847E+03	2.852E+05	-1.240E+04	1.416E+04	-3.032E-05
197	2	197 198	1002 beam	1.391E+04	2.819E+05	-9.272E+03	1.239E+04	-2.997E-05
196	2	196 197	1002 beam	1.840E+04	2.788E+05	-5.131E+03	9.254E+03	-2.964E-05
195	2	195 196	1002 beam	2.143E+04	2.767E+05	-3.180E+02	5.122E+03	-2.942E-05
194	2	194 195	1002 beam	-1.742E+03	2.747E+05	-6.764E+02	2.861E+02	-2.921E-05
193	2	193 194	1002 beam	7.183E+02	2.726E+05	-5.163E+02	6.772E+02	-2.898E-05
192	2	192 193	1002 beam	3.471E+03	2.717E+05	2.535E+02	5.244E+02	-2.889E-05
191	2	191 192	1002 beam	6.917E+03	2.709E+05	1.794E+03	-2.441E+02	-2.880E-05
190	2	190 191	1002 beam	2.648E+03	2.703E+05	2.379E+03	-1.786E+03	-2.874E-05
189	2	189 190	1002 beam	-9.454E+03	2.695E+05	2.532E+02	-2.372E+03	-2.866E-05
188	2	188 189	1002 beam	-4.223E+03	2.695E+05	-6.992E+02	-2.472E+02	-2.866E-05
187	2	187 188	1002 beam	1.300E+03	2.698E+05	-4.091E+02	7.003E+02	-2.868E-05
186	2	186 187	1002 beam	7.184E+03	2.704E+05	1.215E+03	3.947E+02	-2.875E-05
185	2	185 186	1002 beam	-3.676E+03	2.715E+05	4.107E+02	-1.234E+03	-2.887E-05

184	2	184	185	1002	beam	-6.167E+03	2.728E+05	-9.469E+02	-4.351E+02	-2.901E-05
183	2	183	184	1002	beam	-2.108E+02	2.744E+05	-9.925E+02	9.452E+02	-2.918E-05
182	2	182	183	1002	beam	5.902E+03	2.765E+05	3.310E+02	9.917E+02	-2.940E-05
181	2	181	182	1002	beam	1.222E+04	2.791E+05	3.068E+03	-3.288E+02	-2.968E-05
180	2	180	181	1002	beam	-7.771E+03	2.824E+05	1.328E+03	-3.070E+03	-3.003E-05
179	2	179	180	1002	beam	-1.848E+03	2.856E+05	9.120E+02	-1.326E+03	-3.036E-05
178	2	178	179	1002	beam	3.928E+03	2.890E+05	1.797E+03	-9.166E+02	-3.073E-05
177	2	177	178	1002	beam	9.577E+03	2.928E+05	3.942E+03	-1.795E+03	-3.114E-05
176	2	176	177	1002	beam	5.658E+03	2.973E+05	5.205E+03	-3.938E+03	-3.161E-05
175	2	175	176	1002	beam	-8.537E+03	3.016E+05	3.295E+03	-5.208E+03	-3.207E-05
174	2	174	175	1002	beam	-4.788E+03	3.057E+05	2.226E+03	-3.299E+03	-3.251E-05
173	2	173	174	1002	beam	-1.675E+03	3.099E+05	1.861E+03	-2.236E+03	-3.295E-05
172	2	172	173	1002	beam	2.737E+03	3.158E+05	2.472E+03	-1.859E+03	-3.358E-05
171	2	171	172	1002	beam	-1.141E+04	3.202E+05	-8.310E+01	-2.472E+03	-3.405E-05
170	2	170	171	1002	beam	-1.940E+04	3.197E+05	-4.429E+03	8.156E+01	-3.400E-05
169	2	169	170	1002	beam	-1.461E+04	3.278E+05	-7.702E+03	4.427E+03	-3.485E-05
168	2	168	169	1002	beam	-6.279E+03	3.337E+05	-9.098E+03	7.691E+03	-3.548E-05
167	2	167	168	1002	beam	-2.123E+03	3.334E+05	-9.576E+03	9.100E+03	-3.545E-05
166	2	166	167	1002	beam	-2.581E+04	3.410E+05	-1.536E+04	9.572E+03	-3.626E-05
165	2	165	166	1002	beam	-1.610E+04	3.453E+05	-1.896E+04	1.535E+04	-3.671E-05
164	2	164	165	1002	beam	-9.894E+03	3.451E+05	-2.117E+04	1.896E+04	-3.669E-05
163	2	163	164	1002	beam	2.515E+03	3.515E+05	-2.060E+04	2.117E+04	-3.738E-05
162	2	162	163	1002	beam	3.036E+03	3.533E+05	-1.992E+04	2.060E+04	-3.757E-05
161	2	161	162	1002	beam	-7.261E+03	3.556E+05	-2.155E+04	1.992E+04	-3.781E-05
160	2	160	161	1002	beam	5.301E+03	3.572E+05	-2.036E+04	2.155E+04	-3.798E-05
159	2	159	160	1002	beam	1.853E+04	3.598E+05	-1.620E+04	2.035E+04	-3.826E-05
158	2	158	159	1002	beam	3.358E+04	3.627E+05	-8.668E+03	1.619E+04	-3.857E-05
157	2	157	158	1002	beam	2.787E+04	3.681E+05	-2.421E+03	8.660E+03	-3.914E-05
156	2	156	157	1002	beam	3.733E+04	3.723E+05	5.955E+03	2.410E+03	-3.959E-05
155	2	155	156	1002	beam	6.333E+04	3.766E+05	2.014E+04	-5.952E+03	-4.004E-05
154	2	154	155	1002	beam	9.454E+04	3.819E+05	4.134E+04	-2.015E+04	-4.060E-05
153	2	153	154	1002	beam	1.299E+05	3.821E+05	7.045E+04	-4.133E+04	-4.063E-05

Azioni interne prerivestimento in calotta



Structural element data ...

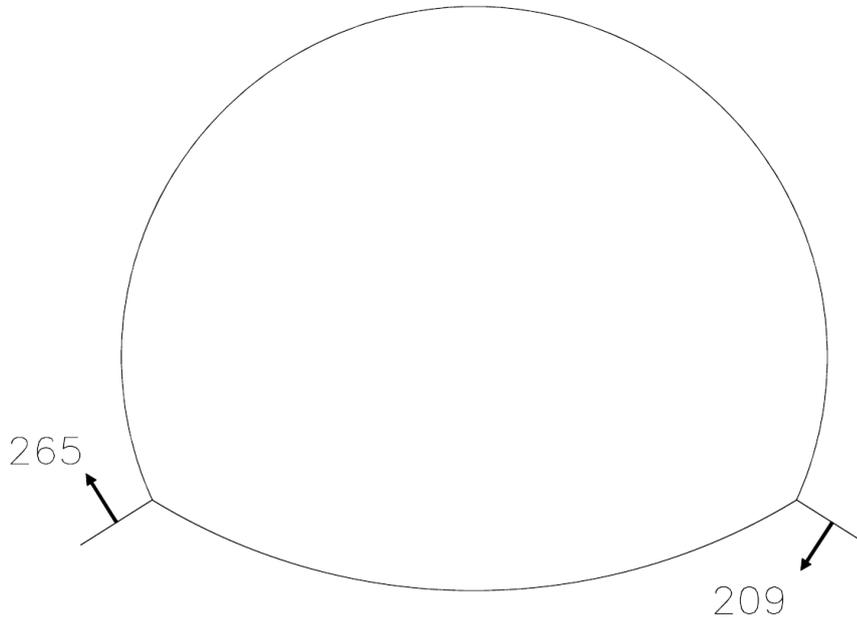
Elem ID	Nod1	Nod2	Prop	F-shear	F-axial	Mom-1	Mom-2	strain		
152	1	152	153	1001	beam	-1.834E+05	6.161E+05	5.971E+04	-8.996E+04	-6.551E-05
151	1	151	152	1001	beam	-1.411E+05	6.804E+05	3.643E+04	-5.971E+04	-7.234E-05
150	1	150	151	1001	beam	-9.072E+04	7.311E+05	2.146E+04	-3.643E+04	-7.773E-05
149	1	149	150	1001	beam	-5.541E+04	7.614E+05	1.233E+04	-2.147E+04	-8.096E-05
148	1	148	149	1001	beam	-8.032E+04	7.787E+05	-9.144E+02	-1.233E+04	-8.279E-05
147	1	147	148	1001	beam	-4.776E+04	7.898E+05	-8.796E+03	9.185E+02	-8.397E-05
146	1	146	147	1001	beam	-1.671E+04	8.003E+05	-1.155E+04	8.794E+03	-8.509E-05
145	1	145	146	1001	beam	-1.101E+04	8.104E+05	-1.337E+04	1.155E+04	-8.616E-05
144	1	144	145	1001	beam	-3.791E+04	8.189E+05	-1.962E+04	1.337E+04	-8.708E-05
143	1	143	144	1001	beam	-1.091E+04	8.238E+05	-2.143E+04	1.963E+04	-8.759E-05
142	1	142	143	1001	beam	1.557E+04	8.288E+05	-1.886E+04	2.143E+04	-8.812E-05
141	1	141	142	1001	beam	3.349E+03	8.313E+05	-1.831E+04	1.886E+04	-8.839E-05
140	1	140	141	1001	beam	-1.577E+04	8.339E+05	-2.090E+04	1.830E+04	-8.867E-05
139	1	139	140	1001	beam	8.202E+03	8.331E+05	-1.955E+04	2.090E+04	-8.858E-05
138	1	138	139	1001	beam	3.207E+04	8.337E+05	-1.426E+04	1.955E+04	-8.865E-05
137	1	137	138	1001	beam	5.086E+03	8.331E+05	-1.342E+04	1.426E+04	-8.858E-05
136	1	136	137	1001	beam	-3.302E+03	8.317E+05	-1.397E+04	1.343E+04	-8.843E-05
135	1	135	136	1001	beam	1.845E+04	8.286E+05	-1.093E+04	1.397E+04	-8.810E-05
134	1	134	135	1001	beam	3.923E+04	8.271E+05	-4.459E+03	1.093E+04	-8.794E-05
133	1	133	134	1001	beam	-2.754E+03	8.267E+05	-4.914E+03	4.460E+03	-8.790E-05
132	1	132	133	1001	beam	-1.737E+03	8.257E+05	-5.201E+03	4.914E+03	-8.779E-05
131	1	131	132	1001	beam	1.709E+04	8.242E+05	-2.379E+03	5.198E+03	-8.764E-05
130	1	130	131	1001	beam	3.593E+04	8.241E+05	3.549E+03	2.378E+03	-8.762E-05
129	1	129	130	1001	beam	-1.915E+04	8.244E+05	3.939E+02	-3.552E+03	-8.766E-05
128	1	128	129	1001	beam	-5.838E+03	8.241E+05	-5.700E+02	-3.930E+02	-8.762E-05
127	1	127	128	1001	beam	1.342E+04	8.237E+05	1.643E+03	5.707E+02	-8.758E-05
126	1	126	127	1001	beam	2.690E+04	8.238E+05	6.081E+03	-1.645E+03	-8.759E-05
125	1	125	126	1001	beam	-2.709E+04	8.247E+05	1.613E+03	-6.082E+03	-8.768E-05
124	1	124	125	1001	beam	-6.624E+03	8.240E+05	5.213E+02	-1.614E+03	-8.761E-05

123	1	123	124	1001	beam	1.374E+04	8.249E+05	2.791E+03	-5.247E+02	-8.771E-05
122	1	122	123	1001	beam	1.580E+04	8.248E+05	5.393E+03	-2.790E+03	-8.770E-05
121	1	121	122	1001	beam	-2.509E+04	8.257E+05	1.259E+03	-5.397E+03	-8.779E-05
120	1	120	121	1001	beam	-4.371E+03	8.247E+05	5.369E+02	-1.258E+03	-8.768E-05
119	1	119	120	1001	beam	1.601E+04	8.247E+05	3.181E+03	-5.394E+02	-8.769E-05
118	1	118	119	1001	beam	5.494E+03	8.241E+05	4.090E+03	-3.184E+03	-8.762E-05
117	1	117	118	1001	beam	-2.302E+04	8.227E+05	2.934E+02	-4.090E+03	-8.748E-05
116	1	116	117	1001	beam	-2.289E+03	8.206E+05	-8.406E+01	-2.935E+02	-8.725E-05
115	1	115	116	1001	beam	1.824E+04	8.187E+05	2.920E+03	8.897E+01	-8.705E-05
114	1	114	115	1001	beam	-4.266E+03	8.165E+05	2.213E+03	-2.916E+03	-8.682E-05
113	1	113	114	1001	beam	-2.007E+04	8.131E+05	-1.100E+03	-2.210E+03	-8.645E-05
112	1	112	113	1001	beam	4.441E+02	8.096E+05	-1.027E+03	1.100E+03	-8.609E-05
111	1	111	112	1001	beam	2.074E+04	8.062E+05	2.392E+03	1.029E+03	-8.572E-05
110	1	110	111	1001	beam	-1.348E+04	8.027E+05	1.706E+02	-2.392E+03	-8.534E-05
109	1	109	110	1001	beam	-1.681E+04	7.983E+05	-2.601E+03	-1.718E+02	-8.488E-05
108	1	108	109	1001	beam	3.406E+03	7.940E+05	-2.038E+03	2.600E+03	-8.442E-05
107	1	107	108	1001	beam	2.351E+04	7.900E+05	1.838E+03	2.040E+03	-8.400E-05
106	1	106	107	1001	beam	-2.159E+04	7.858E+05	-1.721E+03	-1.838E+03	-8.355E-05
105	1	105	106	1001	beam	-1.266E+04	7.813E+05	-3.811E+03	1.723E+03	-8.307E-05
104	1	104	105	1001	beam	8.546E+03	7.768E+05	-2.258E+03	3.811E+03	-8.259E-05
103	1	103	104	1001	beam	1.664E+04	7.724E+05	7.624E+02	2.258E+03	-8.213E-05
102	1	102	103	1001	beam	-2.198E+04	7.671E+05	-3.232E+03	-7.616E+02	-8.156E-05
101	1	101	102	1001	beam	8.416E+02	7.622E+05	-3.079E+03	3.232E+03	-8.104E-05
100	1	100	101	1001	beam	2.336E+04	7.575E+05	1.164E+03	3.079E+03	-8.054E-05
99	1	99	100	1001	beam	-6.569E+03	7.528E+05	-2.889E+01	-1.163E+03	-8.004E-05
98	1	98	99	1001	beam	-8.015E+03	7.471E+05	-1.484E+03	2.803E+01	-7.944E-05
97	1	97	98	1001	beam	1.225E+04	7.395E+05	7.417E+02	1.484E+03	-7.863E-05
96	1	96	97	1001	beam	1.749E+04	7.323E+05	3.915E+03	-7.398E+02	-7.787E-05
95	1	95	96	1001	beam	-1.941E+04	7.241E+05	3.861E+02	-3.913E+03	-7.700E-05
94	1	94	95	1001	beam	-3.903E+02	7.166E+05	3.148E+02	-3.858E+02	-7.619E-05
93	1	93	94	1001	beam	1.871E+04	7.069E+05	3.714E+03	-3.148E+02	-7.517E-05
92	1	92	93	1001	beam	-1.089E+04	6.966E+05	1.738E+03	-3.715E+03	-7.407E-05
91	1	91	92	1001	beam	-1.123E+04	6.862E+05	-3.034E+02	-1.738E+03	-7.296E-05
90	1	90	91	1001	beam	7.285E+03	6.776E+05	1.020E+03	3.031E+02	-7.205E-05
89	1	89	90	1001	beam	1.088E+04	6.708E+05	2.996E+03	-1.021E+03	-7.132E-05
88	1	88	89	1001	beam	-2.156E+04	6.642E+05	-9.210E+02	-2.997E+03	-7.063E-05
87	1	87	88	1001	beam	-2.836E+03	6.599E+05	-1.436E+03	9.212E+02	-7.017E-05
86	1	86	87	1001	beam	1.583E+04	6.563E+05	1.440E+03	1.437E+03	-6.979E-05
85	1	85	86	1001	beam	-1.202E+04	6.533E+05	-7.419E+02	-1.440E+03	-6.947E-05
84	1	84	85	1001	beam	-1.039E+04	6.509E+05	-2.630E+03	7.414E+02	-6.921E-05
83	1	83	84	1001	beam	8.286E+03	6.495E+05	-1.123E+03	2.629E+03	-6.906E-05
82	1	82	83	1001	beam	1.197E+04	6.490E+05	1.050E+03	1.123E+03	-6.901E-05
81	1	81	82	1001	beam	-1.768E+04	6.488E+05	-2.162E+03	-1.051E+03	-6.898E-05
80	1	80	81	1001	beam	9.053E+02	6.495E+05	-1.997E+03	2.161E+03	-6.906E-05
79	1	79	80	1001	beam	1.946E+04	6.509E+05	1.541E+03	1.995E+03	-6.921E-05
78	1	78	79	1001	beam	-9.702E+03	6.538E+05	-2.197E+02	-1.541E+03	-6.952E-05
77	1	77	78	1001	beam	-7.968E+03	6.569E+05	-1.668E+03	2.201E+02	-6.984E-05
76	1	76	77	1001	beam	9.986E+03	6.619E+05	1.477E+02	1.667E+03	-7.037E-05
75	1	75	76	1001	beam	1.186E+04	6.692E+05	2.302E+03	-1.485E+02	-7.115E-05
74	1	74	75	1001	beam	-1.899E+04	6.769E+05	-1.147E+03	-2.302E+03	-7.197E-05
73	1	73	74	1001	beam	-7.508E+02	6.852E+05	-1.285E+03	1.148E+03	-7.286E-05

72	1	72	73	1001	beam	1.810E+04	6.952E+05	2.003E+03	1.285E+03	-7.392E-05
71	1	71	72	1001	beam	-1.523E+04	7.061E+05	-7.608E+02	-2.005E+03	-7.508E-05
70	1	70	71	1001	beam	-1.237E+04	7.141E+05	-3.008E+03	7.610E+02	-7.593E-05
69	1	69	70	1001	beam	7.866E+03	7.209E+05	-1.579E+03	3.008E+03	-7.665E-05
68	1	68	69	1001	beam	9.485E+03	7.270E+05	1.436E+02	1.578E+03	-7.730E-05
67	1	67	68	1001	beam	-2.154E+04	7.328E+05	-3.771E+03	-1.427E+02	-7.791E-05
66	1	66	67	1001	beam	-1.461E+02	7.385E+05	-3.799E+03	3.772E+03	-7.853E-05
65	1	65	66	1001	beam	2.184E+04	7.434E+05	1.686E+02	3.800E+03	-7.904E-05
64	1	64	65	1001	beam	-1.309E+04	7.493E+05	-2.208E+03	-1.681E+02	-7.967E-05
63	1	63	64	1001	beam	-7.666E+03	7.545E+05	-3.600E+03	2.207E+03	-8.023E-05
62	1	62	63	1001	beam	1.387E+04	7.598E+05	-1.079E+03	3.598E+03	-8.078E-05
61	1	61	62	1001	beam	1.412E+04	7.653E+05	1.484E+03	1.079E+03	-8.137E-05
60	1	60	61	1001	beam	-1.789E+04	7.705E+05	-1.764E+03	-1.486E+03	-8.192E-05
59	1	59	60	1001	beam	3.492E+03	7.753E+05	-1.128E+03	1.762E+03	-8.244E-05
58	1	58	59	1001	beam	2.520E+04	7.803E+05	3.453E+03	1.126E+03	-8.296E-05
57	1	57	58	1001	beam	-1.389E+04	7.853E+05	9.319E+02	-3.453E+03	-8.350E-05
56	1	56	57	1001	beam	-7.873E+03	7.896E+05	-4.972E+02	-9.333E+02	-8.396E-05
55	1	55	56	1001	beam	1.387E+04	7.938E+05	2.025E+03	4.949E+02	-8.440E-05
54	1	54	55	1001	beam	1.227E+04	7.982E+05	4.259E+03	-2.032E+03	-8.487E-05
53	1	53	54	1001	beam	-1.998E+04	8.014E+05	6.302E+02	-4.260E+03	-8.521E-05
52	1	52	53	1001	beam	2.135E+03	8.048E+05	1.019E+03	-6.312E+02	-8.557E-05
51	1	51	52	1001	beam	2.467E+04	8.082E+05	5.502E+03	-1.019E+03	-8.594E-05
50	1	50	51	1001	beam	-1.679E+04	8.118E+05	2.455E+03	-5.504E+03	-8.632E-05
49	1	49	50	1001	beam	-8.969E+03	8.144E+05	8.275E+02	-2.457E+03	-8.659E-05
48	1	48	49	1001	beam	1.264E+04	8.172E+05	2.915E+03	-8.298E+02	-8.689E-05
47	1	47	48	1001	beam	2.152E+04	8.198E+05	6.467E+03	-2.919E+03	-8.716E-05
46	1	46	47	1001	beam	-2.540E+04	8.216E+05	2.279E+03	-6.469E+03	-8.736E-05
45	1	45	46	1001	beam	-4.619E+03	8.231E+05	1.518E+03	-2.280E+03	-8.751E-05
44	1	44	45	1001	beam	1.616E+04	8.247E+05	4.186E+03	-1.520E+03	-8.769E-05
43	1	43	44	1001	beam	1.263E+04	8.262E+05	6.266E+03	-4.186E+03	-8.784E-05
42	1	42	43	1001	beam	-2.227E+04	8.263E+05	2.596E+03	-6.269E+03	-8.786E-05
41	1	41	42	1001	beam	-1.486E+03	8.263E+05	2.353E+03	-2.598E+03	-8.786E-05
40	1	40	41	1001	beam	1.932E+04	8.267E+05	5.543E+03	-2.356E+03	-8.790E-05
39	1	39	40	1001	beam	3.256E+03	8.266E+05	6.080E+03	-5.544E+03	-8.789E-05
38	1	38	39	1001	beam	-1.924E+04	8.253E+05	2.905E+03	-6.079E+03	-8.775E-05
37	1	37	38	1001	beam	1.329E+03	8.244E+05	3.127E+03	-2.908E+03	-8.766E-05
36	1	36	37	1001	beam	2.200E+04	8.238E+05	6.761E+03	-3.132E+03	-8.759E-05
35	1	35	36	1001	beam	-6.440E+03	8.227E+05	5.701E+03	-6.762E+03	-8.748E-05
34	1	34	35	1001	beam	-1.657E+04	8.207E+05	2.971E+03	-5.704E+03	-8.726E-05
33	1	33	34	1001	beam	3.861E+03	8.189E+05	3.611E+03	-2.974E+03	-8.707E-05
32	1	32	33	1001	beam	2.434E+04	8.171E+05	7.627E+03	-3.613E+03	-8.687E-05
31	1	31	32	1001	beam	-1.620E+04	8.144E+05	4.957E+03	-7.626E+03	-8.660E-05
30	1	30	31	1001	beam	-1.450E+04	8.114E+05	2.569E+03	-4.960E+03	-8.627E-05
29	1	29	30	1001	beam	5.137E+03	8.092E+05	3.420E+03	-2.572E+03	-8.604E-05
28	1	28	29	1001	beam	2.451E+04	8.073E+05	7.462E+03	-3.419E+03	-8.583E-05
27	1	27	28	1001	beam	-2.843E+04	8.044E+05	2.777E+03	-7.464E+03	-8.553E-05
26	1	26	27	1001	beam	-1.513E+04	8.013E+05	2.813E+02	-2.777E+03	-8.520E-05
25	1	25	26	1001	beam	4.254E+03	7.993E+05	9.840E+02	-2.822E+02	-8.498E-05
24	1	24	25	1001	beam	1.811E+04	7.971E+05	3.971E+03	-9.845E+02	-8.475E-05
23	1	23	24	1001	beam	-3.364E+04	7.940E+05	-1.571E+03	-3.977E+03	-8.443E-05
22	1	22	23	1001	beam	-1.359E+04	7.913E+05	-3.809E+03	1.566E+03	-8.414E-05

21	1	21	22	1001	beam	6.349E+03	7.894E+05	-2.760E+03	3.808E+03	-8.394E-05
20	1	20	21	1001	beam	8.659E+03	7.867E+05	-1.334E+03	2.762E+03	-8.365E-05
19	1	19	20	1001	beam	-3.059E+04	7.820E+05	-6.380E+03	1.335E+03	-8.315E-05
18	1	18	19	1001	beam	-1.090E+04	7.776E+05	-8.176E+03	6.377E+03	-8.268E-05
17	1	17	18	1001	beam	8.433E+03	7.733E+05	-6.787E+03	8.178E+03	-8.222E-05
16	1	16	17	1001	beam	-1.140E+03	7.674E+05	-6.977E+03	6.789E+03	-8.159E-05
15	1	15	16	1001	beam	-2.752E+04	7.592E+05	-1.152E+04	6.983E+03	-8.072E-05
14	1	14	15	1001	beam	-7.645E+03	7.506E+05	-1.278E+04	1.152E+04	-7.981E-05
13	1	13	14	1001	beam	1.194E+04	7.418E+05	-1.081E+04	1.278E+04	-7.887E-05
12	1	12	13	1001	beam	-6.472E+03	7.290E+05	-1.189E+04	1.082E+04	-7.752E-05
11	1	11	12	1001	beam	-1.765E+04	7.150E+05	-1.480E+04	1.189E+04	-7.603E-05
10	1	10	11	1001	beam	4.663E+03	7.005E+05	-1.404E+04	1.480E+04	-7.448E-05
9	1	9	10	1001	beam	2.726E+04	6.856E+05	-9.537E+03	1.403E+04	-7.290E-05
8	1	8	9	1001	beam	5.265E+03	6.679E+05	-8.671E+03	9.539E+03	-7.101E-05
7	1	7	8	1001	beam	1.101E+04	6.493E+05	-6.864E+03	8.680E+03	-6.904E-05
6	1	6	7	1001	beam	3.708E+04	6.299E+05	-7.466E+02	6.863E+03	-6.698E-05
5	1	5	6	1001	beam	6.377E+04	6.076E+05	9.774E+03	7.452E+02	-6.460E-05
4	1	4	5	1001	beam	4.482E+04	5.830E+05	1.717E+04	-9.776E+03	-6.199E-05
3	1	3	4	1001	beam	7.057E+04	5.531E+05	2.881E+04	-1.716E+04	-5.881E-05
2	1	2	3	1001	beam	1.051E+05	5.155E+05	4.614E+04	-2.880E+04	-5.481E-05
1	1	1	2	1001	beam	1.338E+05	4.804E+05	6.819E+04	-4.613E+04	-5.108E-05

Azioni interne rivestimento definitivo



Structural element data ...

Elem ID	Nod1	Nod2	Prop	F-shear	F-axial	Mom-1	Mom-2	strain		
416	2	152	153	1004	beam	-7.662E+05	2.280E+06	6.433E+05	-7.697E+05	-1.157E-04
415	2	151	152	1004	beam	-6.469E+05	2.354E+06	5.367E+05	-6.434E+05	-1.195E-04
414	2	150	151	1004	beam	-5.208E+05	2.412E+06	4.509E+05	-5.368E+05	-1.224E-04
413	2	149	150	1004	beam	-4.334E+05	2.452E+06	3.795E+05	-4.509E+05	-1.245E-04
412	2	148	149	1004	beam	-5.181E+05	2.463E+06	2.940E+05	-3.794E+05	-1.250E-04
411	2	147	148	1004	beam	-3.990E+05	2.496E+06	2.282E+05	-2.941E+05	-1.267E-04
410	2	146	147	1004	beam	-2.757E+05	2.525E+06	1.829E+05	-2.283E+05	-1.281E-04
409	2	145	146	1004	beam	-2.345E+05	2.541E+06	1.442E+05	-1.829E+05	-1.290E-04
408	2	144	145	1004	beam	-2.950E+05	2.541E+06	9.564E+04	-1.443E+05	-1.290E-04
407	2	143	144	1004	beam	-1.935E+05	2.549E+06	6.380E+04	-9.572E+04	-1.293E-04
406	2	142	143	1004	beam	-9.786E+04	2.553E+06	4.777E+04	-6.391E+04	-1.296E-04
405	2	141	142	1004	beam	-1.235E+05	2.548E+06	2.737E+04	-4.772E+04	-1.293E-04
404	2	140	141	1004	beam	-1.712E+05	2.542E+06	-8.551E+02	-2.738E+04	-1.290E-04
403	2	139	140	1004	beam	-8.638E+04	2.538E+06	-1.527E+04	1.025E+03	-1.288E-04
402	2	138	139	1004	beam	8.110E+01	2.534E+06	-1.538E+04	1.539E+04	-1.286E-04
401	2	137	138	1004	beam	-6.817E+04	2.523E+06	-2.700E+04	1.577E+04	-1.281E-04
400	2	136	137	1004	beam	-8.117E+04	2.512E+06	-4.035E+04	2.696E+04	-1.275E-04
399	2	135	136	1004	beam	-3.788E+03	2.501E+06	-4.119E+04	4.057E+04	-1.269E-04
398	2	134	135	1004	beam	7.025E+04	2.492E+06	-2.966E+04	4.125E+04	-1.265E-04
397	2	133	134	1004	beam	-4.789E+04	2.482E+06	-3.769E+04	2.979E+04	-1.260E-04
396	2	132	133	1004	beam	-3.557E+04	2.475E+06	-4.353E+04	3.767E+04	-1.256E-04
395	2	131	132	1004	beam	2.713E+04	2.467E+06	-3.917E+04	4.364E+04	-1.252E-04
394	2	130	131	1004	beam	8.923E+04	2.462E+06	-2.463E+04	3.935E+04	-1.249E-04
393	2	129	130	1004	beam	-7.100E+04	2.456E+06	-3.637E+04	2.466E+04	-1.246E-04
392	2	128	129	1004	beam	-2.787E+04	2.451E+06	-4.081E+04	3.621E+04	-1.244E-04
391	2	127	128	1004	beam	3.291E+04	2.446E+06	-3.533E+04	4.076E+04	-1.241E-04
390	2	126	127	1004	beam	7.451E+04	2.442E+06	-2.291E+04	3.519E+04	-1.239E-04

389	2	125	126	1004	beam	-8.477E+04	2.440E+06	-3.690E+04	2.292E+04	-1.238E-04
388	2	124	125	1004	beam	-2.367E+04	2.436E+06	-4.071E+04	3.681E+04	-1.236E-04
387	2	123	124	1004	beam	3.739E+04	2.435E+06	-3.457E+04	4.073E+04	-1.236E-04
386	2	122	123	1004	beam	4.367E+04	2.432E+06	-2.719E+04	3.439E+04	-1.234E-04
385	2	121	122	1004	beam	-7.715E+04	2.429E+06	-3.990E+04	2.717E+04	-1.233E-04
384	2	120	121	1004	beam	-1.503E+04	2.425E+06	-4.234E+04	3.986E+04	-1.231E-04
383	2	119	120	1004	beam	4.641E+04	2.423E+06	-3.453E+04	4.218E+04	-1.230E-04
382	2	118	119	1004	beam	1.666E+04	2.421E+06	-3.165E+04	3.440E+04	-1.229E-04
381	2	117	118	1004	beam	-6.715E+04	2.417E+06	-4.265E+04	3.157E+04	-1.227E-04
380	2	116	117	1004	beam	-5.240E+03	2.413E+06	-4.350E+04	4.264E+04	-1.224E-04
379	2	115	116	1004	beam	5.673E+04	2.409E+06	-3.404E+04	4.340E+04	-1.223E-04
378	2	114	115	1004	beam	-9.052E+03	2.407E+06	-3.547E+04	3.398E+04	-1.222E-04
377	2	113	114	1004	beam	-5.544E+04	2.400E+06	-4.457E+04	3.542E+04	-1.218E-04
376	2	112	113	1004	beam	6.490E+03	2.394E+06	-4.344E+04	4.452E+04	-1.215E-04
375	2	111	112	1004	beam	6.813E+04	2.389E+06	-3.226E+04	4.350E+04	-1.213E-04
374	2	110	111	1004	beam	-3.308E+04	2.384E+06	-3.770E+04	3.225E+04	-1.210E-04
373	2	109	110	1004	beam	-4.284E+04	2.376E+06	-4.463E+04	3.757E+04	-1.206E-04
372	2	108	109	1004	beam	1.851E+04	2.369E+06	-4.159E+04	4.464E+04	-1.202E-04
371	2	107	108	1004	beam	7.864E+04	2.363E+06	-2.860E+04	4.157E+04	-1.199E-04
370	2	106	107	1004	beam	-5.875E+04	2.357E+06	-3.830E+04	2.861E+04	-1.196E-04
369	2	105	106	1004	beam	-3.369E+04	2.350E+06	-4.389E+04	3.834E+04	-1.193E-04
368	2	104	105	1004	beam	2.860E+04	2.343E+06	-3.873E+04	4.393E+04	-1.189E-04
367	2	103	104	1004	beam	5.030E+04	2.339E+06	-2.957E+04	3.871E+04	-1.187E-04
366	2	102	103	1004	beam	-6.967E+04	2.332E+06	-4.221E+04	2.955E+04	-1.184E-04
365	2	101	102	1004	beam	-1.775E+03	2.329E+06	-4.258E+04	4.226E+04	-1.182E-04
364	2	100	101	1004	beam	6.631E+04	2.327E+06	-3.054E+04	4.259E+04	-1.181E-04
363	2	99	100	1004	beam	-2.359E+04	2.327E+06	-3.483E+04	3.055E+04	-1.181E-04
362	2	98	99	1004	beam	-2.409E+04	2.324E+06	-3.917E+04	3.479E+04	-1.179E-04
361	2	97	98	1004	beam	4.522E+04	2.321E+06	-3.105E+04	3.926E+04	-1.178E-04
360	2	96	97	1004	beam	6.775E+04	2.318E+06	-1.875E+04	3.105E+04	-1.177E-04
359	2	95	96	1004	beam	-4.545E+04	2.313E+06	-2.698E+04	1.873E+04	-1.174E-04
358	2	94	95	1004	beam	2.313E+04	2.308E+06	-2.279E+04	2.700E+04	-1.171E-04
357	2	93	94	1004	beam	9.072E+04	2.302E+06	-6.275E+03	2.276E+04	-1.168E-04
356	2	92	93	1004	beam	-3.054E+03	2.296E+06	-6.842E+03	6.288E+03	-1.165E-04
355	2	91	92	1004	beam	-8.283E+02	2.286E+06	-7.001E+03	6.850E+03	-1.160E-04
354	2	90	91	1004	beam	6.505E+04	2.275E+06	4.645E+03	7.175E+03	-1.155E-04
353	2	89	90	1004	beam	8.032E+04	2.264E+06	1.913E+04	-4.545E+03	-1.149E-04
352	2	88	89	1004	beam	-2.942E+04	2.250E+06	1.380E+04	-1.915E+04	-1.142E-04
351	2	87	88	1004	beam	3.284E+04	2.236E+06	1.971E+04	-1.375E+04	-1.135E-04
350	2	86	87	1004	beam	9.250E+04	2.221E+06	3.647E+04	-1.966E+04	-1.127E-04
349	2	85	86	1004	beam	-9.090E+03	2.209E+06	3.476E+04	-3.641E+04	-1.121E-04
348	2	84	85	1004	beam	-1.194E+04	2.197E+06	3.256E+04	-3.472E+04	-1.115E-04
347	2	83	84	1004	beam	4.260E+04	2.188E+06	4.026E+04	-3.252E+04	-1.110E-04
346	2	82	83	1004	beam	4.578E+04	2.183E+06	4.852E+04	-4.021E+04	-1.108E-04
345	2	81	82	1004	beam	-6.408E+04	2.181E+06	3.681E+04	-4.846E+04	-1.107E-04
344	2	80	81	1004	beam	-8.677E+03	2.183E+06	3.523E+04	-3.681E+04	-1.108E-04
343	2	79	80	1004	beam	4.726E+04	2.188E+06	4.382E+04	-3.523E+04	-1.110E-04
342	2	78	79	1004	beam	-5.596E+04	2.197E+06	3.362E+04	-4.378E+04	-1.115E-04
341	2	77	78	1004	beam	-5.129E+04	2.207E+06	2.427E+04	-3.359E+04	-1.120E-04
340	2	76	77	1004	beam	9.498E+03	2.218E+06	2.596E+04	-2.424E+04	-1.126E-04
339	2	75	76	1004	beam	1.622E+04	2.231E+06	2.889E+04	-2.595E+04	-1.132E-04

338	2	74	75	1004	beam	-8.568E+04	2.242E+06	1.333E+04	-2.889E+04	-1.138E-04
337	2	73	74	1004	beam	-2.243E+04	2.252E+06	9.254E+03	-1.333E+04	-1.143E-04
336	2	72	73	1004	beam	4.123E+04	2.261E+06	1.675E+04	-9.260E+03	-1.147E-04
335	2	71	72	1004	beam	-6.463E+04	2.269E+06	5.001E+03	-1.673E+04	-1.152E-04
334	2	70	71	1004	beam	-5.379E+04	2.274E+06	-4.759E+03	-5.015E+03	-1.154E-04
333	2	69	70	1004	beam	1.070E+04	2.279E+06	-2.772E+03	4.717E+03	-1.157E-04
332	2	68	69	1004	beam	1.379E+04	2.285E+06	-2.669E+02	2.770E+03	-1.159E-04
331	2	67	68	1004	beam	-8.676E+04	2.287E+06	-1.603E+04	2.634E+02	-1.161E-04
330	2	66	67	1004	beam	-2.364E+04	2.292E+06	-2.030E+04	1.600E+04	-1.163E-04
329	2	65	66	1004	beam	3.992E+04	2.296E+06	-1.303E+04	2.029E+04	-1.165E-04
328	2	64	65	1004	beam	-7.130E+04	2.301E+06	-2.599E+04	1.305E+04	-1.168E-04
327	2	63	64	1004	beam	-5.487E+04	2.305E+06	-3.596E+04	2.599E+04	-1.170E-04
326	2	62	63	1004	beam	1.281E+04	2.311E+06	-3.361E+04	3.594E+04	-1.173E-04
325	2	61	62	1004	beam	1.541E+04	2.316E+06	-3.079E+04	3.359E+04	-1.175E-04
324	2	60	61	1004	beam	-7.870E+04	2.319E+06	-4.508E+04	3.078E+04	-1.177E-04
323	2	59	60	1004	beam	-1.038E+04	2.322E+06	-4.696E+04	4.507E+04	-1.179E-04
322	2	58	59	1004	beam	5.813E+04	2.326E+06	-3.640E+04	4.696E+04	-1.181E-04
321	2	57	58	1004	beam	-5.492E+04	2.331E+06	-4.638E+04	3.641E+04	-1.183E-04
320	2	56	57	1004	beam	-3.164E+04	2.335E+06	-5.213E+04	4.638E+04	-1.185E-04
319	2	55	56	1004	beam	3.858E+04	2.340E+06	-4.512E+04	5.213E+04	-1.188E-04
318	2	54	55	1004	beam	3.900E+04	2.347E+06	-3.803E+04	4.511E+04	-1.191E-04
317	2	53	54	1004	beam	-5.191E+04	2.350E+06	-4.745E+04	3.802E+04	-1.193E-04
316	2	52	53	1004	beam	1.676E+04	2.356E+06	-4.441E+04	4.745E+04	-1.196E-04
315	2	51	52	1004	beam	8.430E+04	2.362E+06	-2.914E+04	4.446E+04	-1.199E-04
314	2	50	51	1004	beam	-3.852E+04	2.370E+06	-3.616E+04	2.917E+04	-1.203E-04
313	2	49	50	1004	beam	-1.634E+04	2.376E+06	-3.915E+04	3.618E+04	-1.206E-04
312	2	48	49	1004	beam	4.648E+04	2.382E+06	-3.148E+04	3.915E+04	-1.209E-04
311	2	47	48	1004	beam	7.073E+04	2.387E+06	-1.982E+04	3.148E+04	-1.212E-04
310	2	46	47	1004	beam	-6.892E+04	2.392E+06	-3.123E+04	1.986E+04	-1.214E-04
309	2	45	46	1004	beam	-9.583E+03	2.396E+06	-3.290E+04	3.132E+04	-1.216E-04
308	2	44	45	1004	beam	5.021E+04	2.400E+06	-2.462E+04	3.290E+04	-1.218E-04
307	2	43	44	1004	beam	3.855E+04	2.403E+06	-1.825E+04	2.461E+04	-1.220E-04
306	2	42	43	1004	beam	-6.491E+04	2.405E+06	-2.902E+04	1.831E+04	-1.221E-04
305	2	41	42	1004	beam	-4.337E+03	2.407E+06	-2.976E+04	2.904E+04	-1.222E-04
304	2	40	41	1004	beam	5.593E+04	2.410E+06	-2.053E+04	2.975E+04	-1.223E-04
303	2	39	40	1004	beam	8.307E+03	2.413E+06	-1.921E+04	2.057E+04	-1.224E-04
302	2	38	39	1004	beam	-5.922E+04	2.415E+06	-2.902E+04	1.925E+04	-1.226E-04
301	2	37	38	1004	beam	1.529E+03	2.417E+06	-2.877E+04	2.902E+04	-1.227E-04
300	2	36	37	1004	beam	6.150E+04	2.421E+06	-1.868E+04	2.882E+04	-1.229E-04
299	2	35	36	1004	beam	-2.376E+04	2.426E+06	-2.256E+04	1.865E+04	-1.231E-04
298	2	34	35	1004	beam	-5.483E+04	2.429E+06	-3.157E+04	2.252E+04	-1.233E-04
297	2	33	34	1004	beam	5.631E+03	2.434E+06	-3.065E+04	3.158E+04	-1.235E-04
296	2	32	33	1004	beam	6.720E+04	2.439E+06	-1.957E+04	3.066E+04	-1.238E-04
295	2	31	32	1004	beam	-5.386E+04	2.446E+06	-2.847E+04	1.959E+04	-1.241E-04
294	2	30	31	1004	beam	-4.756E+04	2.450E+06	-3.633E+04	2.848E+04	-1.243E-04
293	2	29	30	1004	beam	1.447E+04	2.457E+06	-3.392E+04	3.631E+04	-1.247E-04
292	2	28	29	1004	beam	7.820E+04	2.464E+06	-2.102E+04	3.392E+04	-1.250E-04
291	2	27	28	1004	beam	-8.135E+04	2.472E+06	-3.446E+04	2.104E+04	-1.255E-04
290	2	26	27	1004	beam	-3.561E+04	2.479E+06	-4.032E+04	3.444E+04	-1.258E-04
289	2	25	26	1004	beam	2.856E+04	2.487E+06	-3.569E+04	4.040E+04	-1.262E-04
288	2	24	25	1004	beam	7.532E+04	2.495E+06	-2.330E+04	3.572E+04	-1.266E-04

287	2	23	24	1004	beam	-8.395E+04	2.502E+06	-3.720E+04	2.336E+04	-1.270E-04
286	2	22	23	1004	beam	-1.853E+04	2.509E+06	-4.023E+04	3.717E+04	-1.273E-04
285	2	21	22	1004	beam	4.724E+04	2.516E+06	-3.239E+04	4.018E+04	-1.277E-04
284	2	20	21	1004	beam	5.746E+04	2.523E+06	-2.291E+04	3.238E+04	-1.281E-04
283	2	19	20	1004	beam	-6.435E+04	2.530E+06	-3.362E+04	2.300E+04	-1.284E-04
282	2	18	19	1004	beam	7.840E+03	2.535E+06	-3.239E+04	3.368E+04	-1.287E-04
281	2	17	18	1004	beam	8.179E+04	2.541E+06	-1.897E+04	3.246E+04	-1.290E-04
280	2	16	17	1004	beam	6.336E+04	2.547E+06	-8.554E+03	1.899E+04	-1.292E-04
279	2	15	16	1004	beam	-1.129E+04	2.549E+06	-1.040E+04	8.535E+03	-1.293E-04
278	2	14	15	1004	beam	6.875E+04	2.547E+06	9.680E+02	1.037E+04	-1.293E-04
277	2	13	14	1004	beam	1.504E+05	2.544E+06	2.583E+04	-1.014E+03	-1.291E-04
276	2	12	13	1004	beam	1.041E+05	2.543E+06	4.299E+04	-2.585E+04	-1.291E-04
275	2	11	12	1004	beam	8.184E+04	2.538E+06	5.648E+04	-4.298E+04	-1.288E-04
274	2	10	11	1004	beam	1.789E+05	2.525E+06	8.599E+04	-5.647E+04	-1.281E-04
273	2	9	10	1004	beam	2.817E+05	2.506E+06	1.325E+05	-8.601E+04	-1.272E-04
272	2	8	9	1004	beam	2.251E+05	2.494E+06	1.696E+05	-1.325E+05	-1.266E-04
271	2	7	8	1004	beam	2.677E+05	2.469E+06	2.138E+05	-1.696E+05	-1.253E-04
270	2	6	7	1004	beam	3.895E+05	2.431E+06	2.780E+05	-2.138E+05	-1.234E-04
269	2	5	6	1004	beam	5.151E+05	2.386E+06	3.630E+05	-2.780E+05	-1.211E-04
268	2	4	5	1004	beam	4.507E+05	2.362E+06	4.372E+05	-3.629E+05	-1.199E-04
267	2	3	4	1004	beam	5.375E+05	2.309E+06	5.259E+05	-4.372E+05	-1.172E-04
266	2	2	3	1004	beam	6.509E+05	2.245E+06	6.331E+05	-5.257E+05	-1.139E-04
265	2	1	2	1004	beam	7.560E+05	2.175E+06	7.578E+05	-6.331E+05	-1.104E-04
264	1	208	1	1003	beam	-7.217E+05	2.012E+06	5.958E+05	-7.575E+05	-7.660E-05
263	1	207	208	1003	beam	-6.050E+05	2.002E+06	4.602E+05	-5.958E+05	-7.621E-05
262	1	206	207	1003	beam	-4.946E+05	1.990E+06	3.493E+05	-4.602E+05	-7.573E-05
261	1	205	206	1003	beam	-3.924E+05	1.981E+06	2.614E+05	-3.493E+05	-7.541E-05
260	1	204	205	1003	beam	-3.577E+05	1.963E+06	1.812E+05	-2.613E+05	-7.471E-05
259	1	203	204	1003	beam	-3.879E+05	1.936E+06	9.432E+04	-1.812E+05	-7.371E-05
258	1	202	203	1003	beam	-3.048E+05	1.938E+06	2.603E+04	-9.434E+04	-7.378E-05
257	1	201	202	1003	beam	-2.289E+05	1.944E+06	-2.525E+04	-2.604E+04	-7.399E-05
256	1	200	201	1003	beam	-1.592E+05	1.954E+06	-6.086E+04	2.519E+04	-7.437E-05
255	1	199	200	1003	beam	-2.158E+05	1.954E+06	-1.091E+05	6.078E+04	-7.439E-05
254	1	198	199	1003	beam	-2.172E+05	1.960E+06	-1.578E+05	1.091E+05	-7.462E-05
253	1	197	198	1003	beam	-1.615E+05	1.974E+06	-1.940E+05	1.578E+05	-7.513E-05
252	1	196	197	1003	beam	-1.075E+05	1.988E+06	-2.181E+05	1.940E+05	-7.567E-05
251	1	195	196	1003	beam	-5.704E+04	1.993E+06	-2.308E+05	2.180E+05	-7.586E-05
250	1	194	195	1003	beam	-1.928E+05	1.983E+06	-2.741E+05	2.309E+05	-7.547E-05
249	1	193	194	1003	beam	-1.442E+05	1.983E+06	-3.064E+05	2.741E+05	-7.549E-05
248	1	192	193	1003	beam	-9.594E+04	1.985E+06	-3.279E+05	3.064E+05	-7.557E-05
247	1	191	192	1003	beam	-4.786E+04	1.988E+06	-3.387E+05	3.279E+05	-7.565E-05
246	1	190	191	1003	beam	-6.136E+04	1.988E+06	-3.524E+05	3.387E+05	-7.568E-05
245	1	189	190	1003	beam	-1.359E+05	1.984E+06	-3.828E+05	3.524E+05	-7.552E-05
244	1	188	189	1003	beam	-8.752E+04	1.986E+06	-4.024E+05	3.828E+05	-7.561E-05
243	1	187	188	1003	beam	-3.875E+04	1.988E+06	-4.110E+05	4.023E+05	-7.568E-05
242	1	186	187	1003	beam	9.831E+03	1.991E+06	-4.088E+05	4.110E+05	-7.579E-05
241	1	185	186	1003	beam	-6.539E+04	1.992E+06	-4.234E+05	4.087E+05	-7.583E-05
240	1	184	185	1003	beam	-7.899E+04	1.992E+06	-4.411E+05	4.234E+05	-7.583E-05
239	1	183	184	1003	beam	-3.064E+04	1.994E+06	-4.479E+05	4.411E+05	-7.591E-05
238	1	182	183	1003	beam	1.754E+04	1.996E+06	-4.440E+05	4.479E+05	-7.599E-05
237	1	181	182	1003	beam	6.614E+04	1.999E+06	-4.292E+05	4.440E+05	-7.610E-05

236	1	180	181	1003	beam	-7.231E+04	2.003E+06	-4.454E+05	4.292E+05	-7.623E-05
235	1	179	180	1003	beam	-2.393E+04	2.004E+06	-4.507E+05	4.453E+05	-7.627E-05
234	1	178	179	1003	beam	2.406E+04	2.006E+06	-4.453E+05	4.507E+05	-7.635E-05
233	1	177	178	1003	beam	7.227E+04	2.009E+06	-4.291E+05	4.453E+05	-7.646E-05
232	1	176	177	1003	beam	5.758E+04	2.013E+06	-4.162E+05	4.291E+05	-7.664E-05
231	1	175	176	1003	beam	-1.928E+04	2.018E+06	-4.204E+05	4.161E+05	-7.680E-05
230	1	174	175	1003	beam	2.792E+04	2.020E+06	-4.142E+05	4.205E+05	-7.688E-05
229	1	173	174	1003	beam	7.595E+04	2.023E+06	-3.972E+05	4.142E+05	-7.699E-05
228	1	172	173	1003	beam	1.235E+05	2.026E+06	-3.696E+05	3.973E+05	-7.711E-05
227	1	171	172	1003	beam	4.626E+04	2.035E+06	-3.592E+05	3.696E+05	-7.745E-05
226	1	170	171	1003	beam	3.169E+04	2.037E+06	-3.522E+05	3.593E+05	-7.753E-05
225	1	169	170	1003	beam	8.116E+04	2.037E+06	-3.340E+05	3.522E+05	-7.753E-05
224	1	168	169	1003	beam	1.314E+05	2.036E+06	-3.047E+05	3.341E+05	-7.749E-05
223	1	167	168	1003	beam	1.830E+05	2.025E+06	-2.640E+05	3.050E+05	-7.707E-05
222	1	166	167	1003	beam	5.017E+04	2.027E+06	-2.528E+05	2.641E+05	-7.716E-05
221	1	165	166	1003	beam	1.094E+05	2.017E+06	-2.284E+05	2.529E+05	-7.679E-05
220	1	164	165	1003	beam	1.681E+05	2.004E+06	-1.907E+05	2.284E+05	-7.629E-05
219	1	163	164	1003	beam	2.319E+05	1.999E+06	-1.387E+05	1.907E+05	-7.607E-05
218	1	162	163	1003	beam	2.353E+05	1.997E+06	-8.607E+04	1.387E+05	-7.601E-05
217	1	161	162	1003	beam	1.806E+05	2.004E+06	-4.563E+04	8.611E+04	-7.627E-05
216	1	160	161	1003	beam	2.534E+05	2.000E+06	1.120E+04	4.560E+04	-7.611E-05
215	1	159	160	1003	beam	3.303E+05	1.999E+06	8.507E+04	-1.105E+04	-7.608E-05
214	1	158	159	1003	beam	4.109E+05	1.999E+06	1.771E+05	-8.506E+04	-7.610E-05
213	1	157	158	1003	beam	3.745E+05	2.030E+06	2.608E+05	-1.770E+05	-7.726E-05
212	1	156	157	1003	beam	4.059E+05	2.051E+06	3.517E+05	-2.608E+05	-7.806E-05
211	1	155	156	1003	beam	5.089E+05	2.063E+06	4.658E+05	-3.517E+05	-7.854E-05
210	1	154	155	1003	beam	6.188E+05	2.077E+06	6.044E+05	-4.657E+05	-7.905E-05
209	1	153	154	1003	beam	7.374E+05	2.086E+06	7.697E+05	-6.044E+05	-7.940E-05