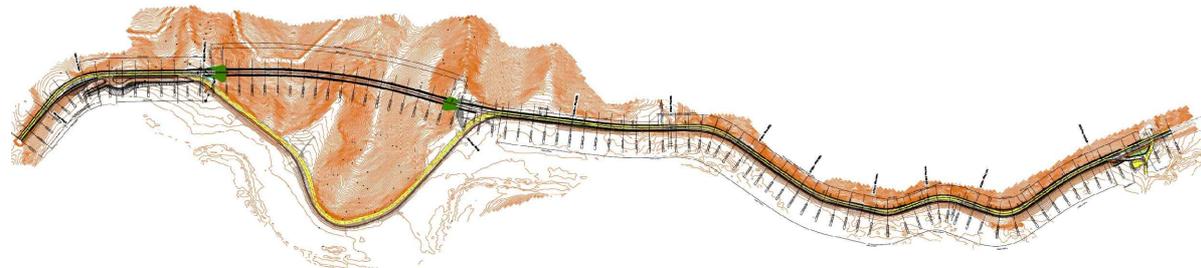


S.S. 685 "DELLE TRE VALLI UMBRE"

**RETTIFICA DEL TRACCIATO E ADEGUAMENTO ALLA SEZ. TIPO C2 DAL km 41+500 al km 51+500
STRALCIO 1 - LAVORI DI ADEGUAMENTO ALLA SEZ. TIPO C2 DAL km 49+300 al km 51+500**



PROGETTO ESECUTIVO

IMPRESA ESECUTRICE



RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Ing. Gianluca DE PAOLIS

PROGETTAZIONE



IL PROGETTISTA

Ing. Valerio BAJETTI
Ordine degli Ingegneri della
provincia di Roma n°A26211
(Diretto tecnico Ingegneria del Territorio)



IL COORDINATORE DELLA SICUREZZA
IN FASE DI PROGETTAZIONE

Ing. Fabrizio BAJETTI
Ordine degli Ingegneri della
provincia di Roma n°10112
(Diretto tecnico Ingegneria del Territorio)



PROTOCOLLO

DATA

N. ELABORATO:

H204

**CAPITOLO H - PROGETTO OPERE IN SOTTERRANEO
CAPITOLO H2 - GALLERIA NATURALE CASTEL SAN FELICE
MONITORAGGIO IN CORSO D'OPERA - RELAZIONE TECNICA**

CODICE PROGETTO

PROGETTO

PG0374E2201

NOME FILE

H204-P01GN01OSTRE04_A.dwg

REVISIONE

SCALA:

CODICE
ELAB.

P01GN01OSTRE04

A

D

C

B

A

PRIMA EMISSIONE

APRILE
2024

ING. GIANFRANCO
SODERO

ING. GIANCARLO
TANZI

ING. VALERIO
BAJETTI

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

SOMMARIO

| | | |
|------|---|----|
| 1 | PREMESSA | 2 |
| 2 | DOCUMENTI DI RIFERIMENTO..... | 6 |
| 2.1 | Normative - Raccomandazioni - Linee Guida | 6 |
| 2.2 | Bibliografia..... | 6 |
| 3 | SISTEMA DI CONTROLLO E MONITORAGGIO | 8 |
| 4 | RILIEVI GEOMECCANICI DEL FRONTE DI SCAVO | 9 |
| 4.1 | Rilievi di dettaglio | 9 |
| 4.2 | Rilievi di tipo speditivo..... | 11 |
| 5 | MISURE DI CONVERGENZA CON SISTEMA OTTICO | 11 |
| 5.1 | Modalità di esecuzione..... | 11 |
| 5.2 | Frequenze delle letture | 12 |
| 6 | STRUMENTAZIONE DI CONTROLLO DELLE DEFORMAZIONI DELL'AMMASSO CON ESTENSIMETRI MULTIBASE..... | 13 |
| 6.1 | Modalità di esecuzione..... | 13 |
| 6.2 | Frequenze delle misure..... | 15 |
| 7 | STRUMENTAZIONE DI MISURA DEL LIVELLO PIEZOMETRICO CON PIEZOMETRO ELETTRICO RESISTIVO | 15 |
| 7.1 | Modalità di esecuzione..... | 15 |
| 7.2 | Frequenze delle misure..... | 16 |
| 8 | STRUMENTAZIONE DI CONTROLLO DEL COMPORTAMENTO TENSIONALE E DEFORMATIVO DELLE STRUTTURE DI PRERIVESTIMENTO IN CORSO D'OPERA | 16 |
| 8.1 | Modalità di esecuzione..... | 16 |
| 8.2 | Frequenze delle misure..... | 18 |
| 9 | STRUMENTAZIONE DI CONTROLLO DEL COMPORTAMENTO TENSIONALE E DEFORMATIVO DELLE STRUTTURE DI RIVESTIMENTO DEFINITIVO IN ESERCIZIO | 18 |
| 9.1 | Modalità di esecuzione..... | 18 |
| 9.2 | Frequenza delle misure..... | 20 |
| 10 | APPLICAZIONE DEL MONITORAGGIO ALLE SEZIONI TIPO | 21 |
| 10.1 | Definizione delle soglie di attenzione e di allarme sul prerivestimento | 21 |
| 11 | DEFORMATA ATTESA PER LE SINGOLE SEZIONI TIPO DI SCAVO | 22 |
| 11.1 | Sezione tipo B1-B1b nelle Formazioni della Scaglia Rossa e della Scaglia Variegata | 22 |
| 11.2 | Sezione tipo B2-B2b nelle Formazioni della Scaglia Rossa e della Scaglia Variegata | 25 |
| 11.3 | Deformazione attesa e valori di soglia di attenzione e di allarme per le sezioni tipologiche di scavo | 27 |

1 PREMESSA

Nella seguente relazione sono presentate le verifiche le attività di monitoraggio geotecnico e topografico in programma per la galleria "Castel San Felice" nell'ambito della Progettazione Esecutiva inerente la "Rettifica del tracciato e adeguamento alla sez. tipo C2 della S.S. 685 "delle Tre Valli Umbre" dal km 49+300 al km 51+500"; il progetto costituisce il 1° stralcio funzionale dell'adeguamento della S.S.685 nel tratto che va dal km 41+500 al km 51+500, da attuare nel medio termine.

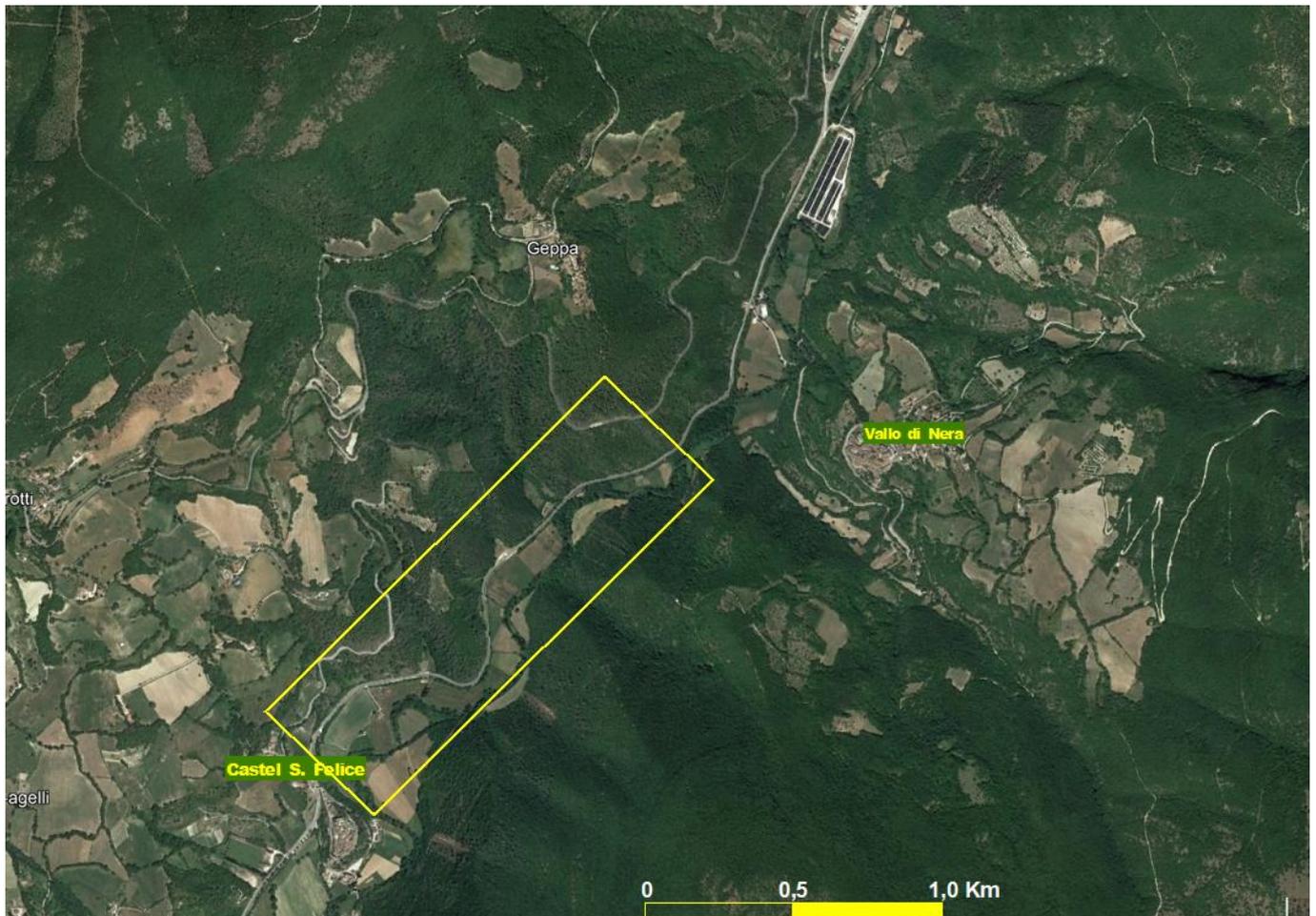


Figura 1.1 – Ubicazione dell'area in studio

La galleria naturale Castel San Felice fa parte delle opere previste nell'ambito del progetto di adeguamento della S.S.685: l'obiettivo è quello di bypassare il segmento di tracciato esistente più impervio, con curve di raggio inferiore ai 100 m e scarsa visibilità.

Il tratto in naturale della galleria inizia alla progressiva 0+439.60 e termina alla progressiva 875.60 con una lunghezza di 436 m. Le coperture massime sulla calotta risultano di poco superiori ai 50 metri, mentre in corrispondenza dell'incisione nella zona centrale raggiungono un minimo di circa 15 metri.

La sezione tipo in galleria conserva le stesse caratteristiche geometriche dei tratti a cielo aperto contigui, ovvero una piattaforma formata da corsie di larghezza 3,50 m e banchine laterali da 1,25 m, per una larghezza totale di 9,50 m (sezione tipo C2).

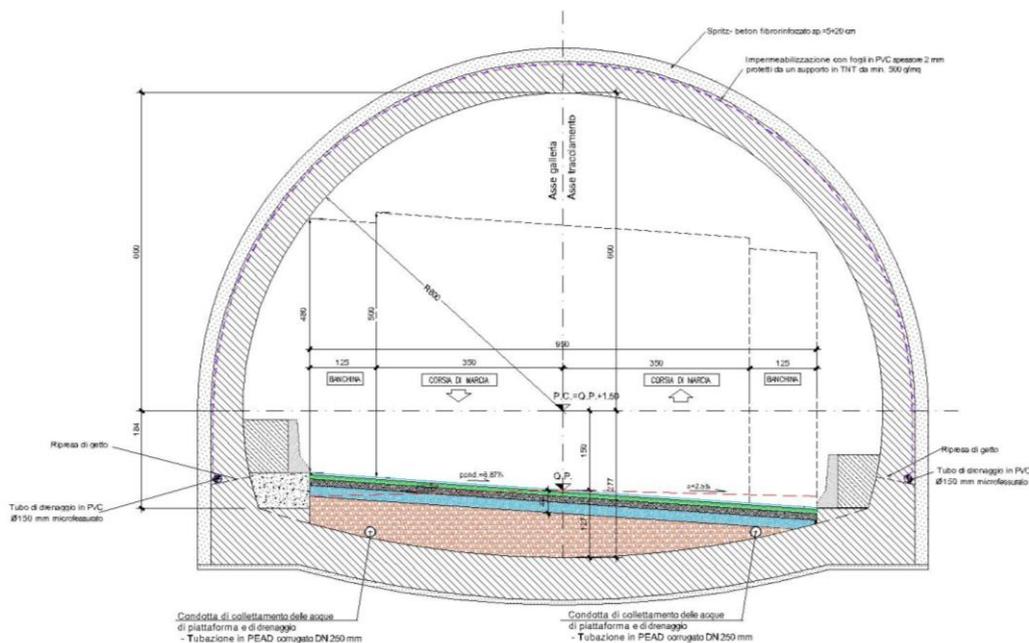


Figura 1.2 – Sezione corrente in galleria

Sui due lati della piattaforma stradale è collocato il profilo re direttivo previsto dalle norme (DM 5.11.2001, Linee Guida ANAS); il raggio interno del profilo di intradosso è pari a 6,00 m, tale da consentire un franco verticale minimo di 5,00 m sulla carreggiata e 4,80 m sulle banchine.

La galleria risulta suddivisa secondo i seguenti undici tratti:

| GALLERIA NATURALE CASTEL SAN FELICE | | | | |
|-------------------------------------|-------------|-----------|-------------|--------------|
| SEZIONI DI STUDIO | PK INIZIALE | PK FINALE | LUNGHEZZA (| SEZIONE TIPO |
| TRATTO 1 | 439.60 | 448.60 | 9.00 | B2 |
| TRATTO 2 | 448.60 | 514.33 | 65.73 | B1 |
| TRATTO 3 | 514.33 | 532.33 | 18.00 | B2b |
| TRATTO 4 | 532.33 | 555.43 | 23.10 | B1b |
| TRATTO 5 | 555.43 | 573.43 | 18.00 | B2b |
| TRATTO 6 | 573.43 | 693.84 | 120.41 | B1 |
| TRATTO 7 | 693.84 | 711.84 | 18.00 | B2b |
| TRATTO 8 | 711.84 | 768.46 | 56.62 | B1 |
| TRATTO 9 | 768.46 | 786.46 | 18.00 | B2b |
| TRATTO 10 | 786.46 | 866.60 | 80.14 | B1 |
| TRATTO 11 | 866.60 | 875.60 | 9.00 | B2 |
| LUNGHEZZA TOTALE | | | 436.00 | |

Quindi non si può prescindere dal predisporre un sistema di misure e controlli in corso d'opera mediante idonea strumentazione di tipo geotecnico il cui scopo è quello di verificare che il comportamento allo scavo sia quello previsto dalle analisi progettuali.

Per raggiungere tali obiettivi il piano di monitoraggio prevede le seguenti attività:

- sondaggi in avanzamento;
- rilievi geomeccanici sistematici dei fronti di scavo;
- misure di convergenza con sistema ottico (convergenze);
- strumentazione di controllo delle deformazioni dell'ammasso al contorno (estensimetri multibase);
- strumentazione di controllo del comportamento tensionale e deformativo delle strutture (distinguendo il monitoraggio dei rivestimenti di prima fase dal monitoraggio dei rivestimenti definitivi);
- misura delle pressioni e delle portate delle acque.

Le modalità e la frequenza delle stazioni strumentate variano lungo lo sviluppo della galleria in base al previsto comportamento dell'ammasso circostante.

Ogni stazione di monitoraggio che includa strumenti di tipo elettronico ad acquisizione automatica delle letture dovrà essere corredata di datalogger con numero di canali opportuno a cui dovranno essere cablati gli strumenti elettronici della sezione strumentata.

Nei paragrafi che seguono vengono indicate le caratteristiche e le modalità esecutive del programma di monitoraggio predisposto.

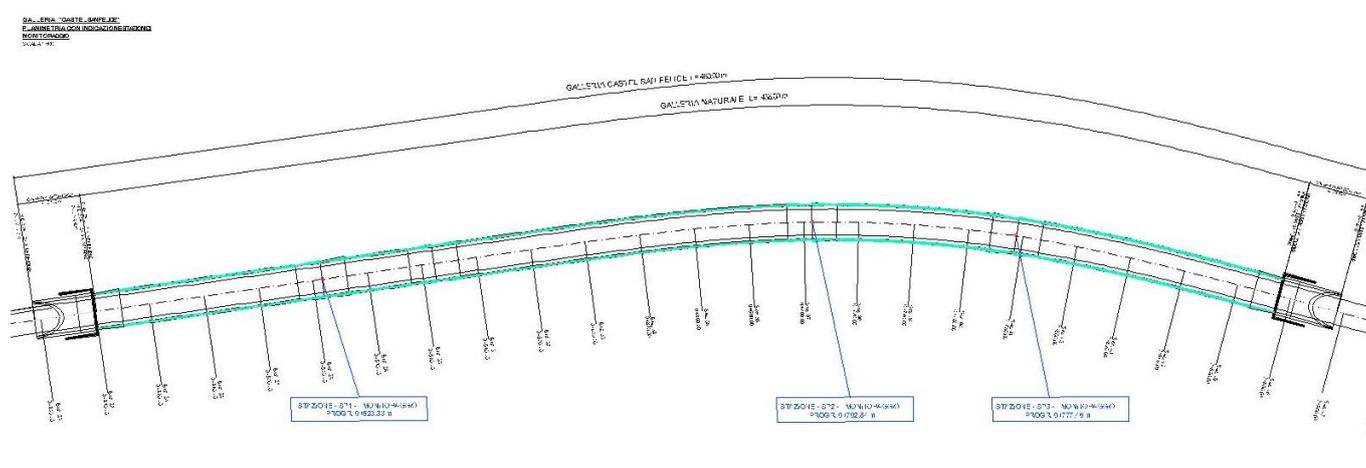


Figura 1.4 – Planimetria con ubicazione sezioni di monitoraggio

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Normative - Raccomandazioni - Linee Guida

- DM 17/01/2018. Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni
- Circolare 21/01/2019 n. 7 C.S.LL.PP. Istruzioni per l'applicazione dell'"Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al DM 17/01/2018
- Decreto Ministeriale LL.PP. 09/01/1996 – Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- Decreto Ministeriale LL.PP. 16/01/1996 – Criteri generali per la verifica della sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi.
- Circolare 15/10/1996 Ministero LL.PP. – Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche di cui al decreto ministeriale 09/01/1996.
- Circolare 04/07/1996 Ministero LL.PP. – Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche di cui al decreto ministeriale 16/01/1996.
- Decreto Ministeriale LL.PP. 11/03/1988 – 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 e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- Circolare LL.PP. 24/09/1988 n.30483 – L.2.2.1974, n.64 - art.1 – Istruzioni per l'applicazione del D.M. 11/03/1988.
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003: "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" e successive modifiche e integrazioni.
- A.F.T.E.S. Groupe de Travail n. 7 – Tunnel support and lining. – "Recommendations for use of convergence – confinement method".
- Raccomandazioni AICAP 1993 "Ancoraggi nei terreni e nelle rocce".

2.2 Bibliografia

- LOMBARDI G., AMBERG W.A. (1974): "Une méthode de calcul élasto-plastique de l'état de tension et de déformation autour d'une cavité souterraine". Congresso Internazionale ISRM, Denver, 1974.
- BIENIAWSKI Z.T. (1989): "Engineering rock mass classifications". J. Wiley & Sons.
- 14. PANET M., GUENOT A. (1982): "Analysis of convergence behind the face of a tunnel". Tunnelling '82, Brighton, 197-204.
- PANET M. (1995): "Calcul des tunnels par la methode convergence-confinement". Presses de l'école national des Ponts et Chaussees, Paris.
- A.F.T.E.S. (1993): Tunnel et ouvrages souterrains – Supplement n°117.
- HOEK E., BROWN E.T. (1982): "Underground excavation in rock". Institution of Mining and Metallurgy, London.
- HOEK E., CARRANZA-TORRES C., CORKUM B. (2002): "Hoek-Brown failure criterion" – 2002 Edition.
- HOEK E. (2004): "Numerical Modelling for Shallow Tunnels in Weak Rock". Rocscience, April 2004.

- LUNARDI P. (2000): "The design and construction of tunnels using the approach based on the analysis of controlled deformation in rocks and soils". Tunnels & Tunnelling International, May.
- PECK R.B. (1969): "Deep excavations and tunnelling in soft ground". Proc. 7th Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., Mexico city, 225-290.
- MAIR R.J., TAYLOR R.N., BURLAND J.B. (1996): "Prediction of Ground Movements and Assessment of Risk of Building Damage due to Bored Tunnelling". Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground, London.
- CORNEJO L. (1989): "Instability at the face: its repercussion for tunnelling technology". Tunnels & Tunnelling, April.
- ORESTE P.P. (1999) "Aspetti notevoli dell'analisi e dimensionamento dei sostegni di gallerie at-traverso i metodi di calcolo numerici". Gallerie e Grandi Opere Sotterranee, Nr. 57, 1999, 39-50.
- LANCELLOTTA R. (1991): "Geotecnica" – Edizioni Zanichelli.

3 SISTEMA DI CONTROLLO E MONITORAGGIO

La realizzazione di un'opera in sotterraneo è sempre accompagnata da incertezze legate alle sole parzialmente note condizioni geologiche e geotecniche che si incontrano durante lo scavo.

Il monitoraggio geotecnico in corso d'opera consente la verifica delle ipotesi progettuali di base e il controllo continuo dell'evoluzione temporale delle condizioni dell'ammasso e dell'interazione di questo con la struttura di sostegno.

Nonostante sia oggi possibile raggiungere una buona previsione del comportamento fisico-meccanico dell'ammasso, l'interpretazione dei fenomeni tensio-deformativi per le gallerie raggiunge un livello ottimale soltanto durante lo scavo, e tramite l'applicazione alle opere in sotterraneo del ben noto "Metodo Osservazionale" di Terzaghi le misurazioni "in corso d'opera" e "in fase di esercizio dell'opera" assumono un ruolo fondamentale del percorso progettuale.

Il monitoraggio in corso d'opera è finalizzato a valutare l'andamento dei parametri significativi, in relazione alle fasi costruttive, ai materiali scelti e alle geometrie in gioco, con particolare riguardo alla stabilità dello scavo.

Il monitoraggio in fase di esercizio ha invece come obiettivo principale quello di registrare le eventuali variazioni a lungo termine dei parametri chiave e quindi di permettere la valutazione delle cause che abbiano determinato tali variazioni.

La strumentazione geotecnica prevista per il monitoraggio in corso d'opera è tale da consentire l'acquisizione dei parametri significativi sia per la verifica delle corrispondenze tra comportamento reale e comportamento ipotizzato, sia per l'eventuale attivazione di procedure di gestione del progetto (fasi esecutive, modalità di avanzamento) mirate ad evitare il manifestarsi di situazioni di pericolo.

Il monitoraggio in fase di esercizio si baserà su analoga strumentazione geotecnica ma necessariamente su sistemi centralizzati di acquisizione dati, posizioni remote, quadri sinottici riepilogativi dell'intero sistema e di sue parti, piuttosto che su sistemi di lettura o acquisizione manuale.

Nel monitoraggio in corso d'opera e in esercizio, la cadenza di esecuzione delle misure sarà differente, in generale più fitta in corrispondenza delle fasi costruttive e con obiettivi più a lungo termine per quanto riguarda il monitoraggio in fase di esercizio.

Le principali problematiche che si possono riscontrare durante lo scavo di una galleria riguardano:

- la verifica delle convergenze del cavo, principalmente sul priverestimento in fase di scavo e successivamente eventualmente sul rivestimento definitivo;
- la verifica dello stato tensio-deformativo della struttura e delle sue interazioni con l'ammasso roccioso circostante;
- il controllo del bacino di subsidenza che può essere indotto in superficie in concomitanza con le fasi di avanzamento dello scavo;
- la verifica e il controllo delle variazioni della superficie piezometrica e dei livelli idrici presenti nei terreni di scavo.

Si riportano nel seguito la descrizione delle stazioni di misura nonché le modalità e la frequenza con cui andranno eseguiti i controlli in corso d'opera.

4 RILIEVI GEOMECCANICI DEL FRONTE DI SCAVO

I rilievi geomeccanici del fronte di scavo permetteranno di acquisire dati relativi alle caratteristiche geomeccaniche e geotecniche in base ai quali verrà confermata oppure ridefinita la sezione tipo da applicare nel corso dell'avanzamento.

Si distinguono due tipi di rilievi geologici-geostrutturali:

- **rilievi di dettaglio** da eseguire ad ogni variazione significativa della qualità dell'ammasso roccioso o della litologia;
- **rilievi di tipo speditivo** da eseguire giornalmente.

Dovranno essere redatte delle schede di rilievo giornaliero e dei rapporti di rilievo settimanali e/o mensili; questa attività ed i rilievi stessi dovranno essere materialmente eseguiti da uno o più geologi o ingegneri geomeccanici dotati di specifico addestramento ed esperienza.

Il rilievo del fronte di scavo permetterà di acquisire gli elementi relativi alle caratteristiche geostretturali e geomeccaniche dell'ammasso roccioso, inteso come complesso costituito dalla matrice roccia e dai piani di discontinuità, principalmente per uso di classificazione mediante indice RMR.

Per l'esecuzione dei rilievi sono richieste le seguenti attrezzature:

- bussola geologica per misure della orientazione di piani nello spazio;
- nastri misuratori e bindelle metrate;
- Schmidt Hammer (sclerometro);
- profilatore di rugosità a pettine (Pettine di Barton) ;
- disco (diametro 30 cm) per l'appoggio della bussola;
- point load strength tester.

4.1 Rilievi di dettaglio

Modalità esecutive

Le modalità esecutive saranno conformi alle prescrizioni «Suggested Methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses-International Society for Rock Mechanics», alle quali si rimanda direttamente per quanto non espressamente precisato nel seguito.

Il rilievo si eseguirà materializzando sul fronte da rilevare una linea, della maggior lunghezza possibile, effettuando le misure in corrispondenza dei punti di intersezione dei piani con la traccia dello stendimento, annotandone la progressiva dall'origine dello stendimento, ma considerando anche tutti gli elementi non direttamente intersecanti la linea ma vicini ed idealmente prolungabili fino all'intersezione. Si dovranno eseguire stendimenti di misura fra loro tendenzialmente ortogonali, in modo da descrivere compiutamente l'ammasso in senso realistica-mente tridimensionale.

Per ciascuna stazione di misura, il numero di stendimenti da eseguire sarà quello necessario per la perfetta caratterizzazione dell'ammasso; la quantità degli stendimenti programmati sarà comunicata alla Direzione Lavori.

Il fronte rilevato dovrà essere accuratamente descritto, con il corredo di fotografie (dove saranno visibili tracce degli stendimenti) e schizzi, precisando dettagliate informazioni sulla litologia, sulle facies, sugli elementi strutturali visibili alla scala dell'affioramento, sulla presenza di acqua e su quanti altri elementi possano concorrere alla comprensione delle caratteristiche geologiche e geomeccaniche d'insieme dell'ammasso roccioso entro il quale sono state realizzate le misure.

Il rilievo lungo ciascuna linea deve definire quanto segue:

Caratteristiche litologiche. Genesi del litotipo, litologia e caratteristiche petrografiche macroscopiche, grado e tipo di cementazione o compattezza, grado di alterazione, colore, assetto generale dell'ammasso come individuabile a scala del fronte.

Caratteristiche geostrutturali. Inclinazione dei piani di discontinuità sull'orizzontale, immersione o azimut della linea di massima pendenza giacente sul piano di discontinuità.

Caratteristiche geomeccaniche. Classificazione dei diversi tipi di piani di discontinuità, suddividendoli in piani di strato, di scistosità, di faglia, di frattura. Si definiranno inoltre le caratteristiche dei piani precisando frequenza, spaziatura, lunghezza, persistenza percentuale rispetto all'affioramento, apertura, continuità di apertura in percentuale rispetto alla lunghezza, tipo di terminazione, distanza della terminazione della traccia, scabrezza (Joint Roughness Coefficient JCR), ondulazione, resistenza della parete del giunto (Joint Compressive Wall Strength JCS), tipo, granulometria, origine, grado di saturazione e di consistenza del materiale di riempimento, che può anche essere campionato per prove di laboratorio.

La scabrezza (JRC) sarà valutata numericamente con Pettine di Barton.

La resistenza della parete del giunto (JCS) sarà stimata con Schmidt Hammer e Point Load Strength Tester.

Osservazioni. Ritenzione idrica e venute d'acqua valutate sugli ultimi 8-10 m di scavo, distacchi gravitativi (ubicazione e geometria dei volumi), interventi di consolidamento e contenimento presenti.

Documentazione.

La documentazione comprenderà:

- fotografia del fronte;
- progressiva del fronte su cui è stato eseguito il rilievo, con rappresentazione grafica ed indicazione degli stendimenti di misura;
- relazione geologica descrittiva del sito di rilievo, inclusiva di tutti gli elementi necessari ad inquadrare e comprendere i risultati del rilievo stesso, delle note esplicative e descrittive del rilevatore, degli stereogrammi polari con la raffigurazione dei singoli poli dei piani rilevati e delle aree a diversa densità di concentrazione polare, degli schizzi illustrativi, della documentazione fotografica dell'ammasso roccioso e degli stendimenti di misura.

In qualsiasi caso oltre a quanto sopra richiesto dovranno essere compilati, in ogni parte apposite schede di rilievo e si dovrà procedere al calcolo del parametro RMR sulla base del rilievo dei sei parametri:

- resistenza a compressione monoassiale C_0 ;
- RQD;
- spaziatura delle discontinuità;

- condizioni delle discontinuità;
- condizioni idrauliche;
- orientamento delle discontinuità.

Tali parametri sono raggruppati in cinque intervalli di valori la cui somma permette di suddividere gli ammassi rocciosi in altrettante cinque classi di qualità.

4.2 Rilievi di tipo speditivo

Modalità esecutive

Le modalità esecutive saranno simili a quelle da eseguire per i rilievi di dettaglio con l'eccezione che l'assetto generale, le spaziature delle discontinuità, i parametri JRC e JCS potranno essere valutati qualitativamente.

Documentazione.

Anche in questo caso la documentazione da presentare sarà simile a quella che occorre predisporre per i rilievi di dettaglio, ad esclusione dei dati quantitativi su assetto, spaziatura delle discontinuità e misure della valutazione dei parametri JRC e JCS.

5 MISURE DI CONVERGENZA CON SISTEMA OTTICO

5.1 Modalità di esecuzione

Permetteranno una verifica delle ipotesi di progetto e della risposta dell'ammasso o del terreno allo scavo, consentendo una taratura ed una ottimizzazione degli interventi e delle modalità esecutive da applicare nell'ambito di ogni sezione tipo.

L'esecuzione e la restituzione delle misure di convergenza richiede l'impegno continuativo di un topografo esperto e di un coadiutore.

Per la misura delle deformazioni delle pareti della galleria vengono impiegati teodoliti a registrazione automatica e attrezzature elettroniche che permettano l'esecuzione di misure di distanza dello strumento dai punti di mira con errore < 1 mm per distanze fino a 80 m in condizioni di normale visibilità in galleria, e < 3° per le direzioni.

I punti di mira verranno realizzati con mire ottiche (riflettori) montate su normali bulloni di convergenza della lunghezza di almeno 1.0 m cementati nell'ammasso roccioso o con mire ottiche applicate direttamente sulle centine.

Le mire ottiche saranno installate alla minima distanza possibile dal fronte di scavo.

La misurazione della posizione dei punti di mira verrà effettuata con un teodolite a registrazione automatica collegato con un terminale. La posizione del teodolite prima della misura dovrà essere determinata rispetto ad almeno 3 punti fissi predefiniti distanti non più di 80 m dal punto di stazione dello strumento.

I dati così raccolti verranno trasferiti tramite interfaccia ad un computer su cui verrà installato un software in grado di effettuare l'analisi, il processamento e la restituzione dei dati; in particolare il programma dovrà permettere:

- il calcolo della posizione dei punti di mira in coordinate locali (x,y,z);
- il calcolo delle differenze tra le coordinate dei punti di mira nelle diverse letture;
- la visualizzazione grafica dei risultati come più oltre specificato.

Sono previste stazioni di convergenza a 5 basi ottiche (una in calotta, due alle reni e due sui piedritti).

I risultati verranno visualizzati almeno nei seguenti grafici, per ogni sezione di misura:

- vettore spostamento di ogni mira in funzione del tempo con indicazione delle lavorazioni effettuate in galleria;
- vettore spostamento di ogni mira in funzione della distanza dal fronte di scavo con indicazione delle lavorazioni effettuate in galleria;
- spostamenti sulla sezione di misura con indicazione del profilo teorico;
- componenti x, y, e z di ogni mira in funzione del tempo con indicazione delle lavorazioni effettuate in galleria;
- componenti x, y, e z di ogni mira in funzione della distanza dal fronte con indicazione delle lavorazioni effettuate in galleria.

5.2 Frequenze delle letture

In funzione della distanza dal fronte di scavo del sistema di lettura, si prevede:

| STRUMENTI | DISTANZA DAL FRONTE DA 0 A 2 DIAMETRI | DISTANZA DAL FRONTE DA 2 A 4 DIAMETRI | DISTANZA DAL FRONTE OLTRE 4 DIAMETRI |
|--------------|--|--|---|
| Mire ottiche | Ogni giorno | 2 volte a settimana | 1 volta al mese |

Tabella 5.1 – Programma delle letture per mire ottiche

Le misure verranno protratte sino alla stabilità della variazione delle letture con il seguente criterio:

- giornalmente per le sezioni ove si verifichino spostamenti delle mire $u > 1 \text{ mm/g}$. La prima lettura («zero») viene effettuata subito dopo l'installazione delle mire in corrispondenza del fronte di scavo;
- settimanalmente per le sezioni ove si verifichino spostamenti delle mire $0.5 \text{ mm/g} < u < 1 \text{ mm/g}$;
- mensilmente per le sezioni ove si verifichino spostamenti $u < 0.5 \text{ mm/g}$.

Le misure verranno protratte fino alla completa stabilizzazione ($u < 0.1 \text{ mm/g}$) e comunque verrà eseguita una lettura prima della posa in opera dell'impermeabilizzazione.

Il sistema di elaborazione dati deve offrire i seguenti diagrammi e tabulati numerici in funzione del tempo e della distanza dal fronte:

- Convergenze, spostamenti orizzontali, spostamenti verticali, spostamenti longitudinali rispetto all'asse della galleria;
- Velocità di convergenza (mm/giorno);
- Ad ogni grafico di spostamento dovrà essere associato un grafico che riporti la successione delle diverse fasi di esecuzione e lo stato di avanzamento (avanzamento dello scavo, scavo e getto dell'arco rovescio, getto delle murette, getto della calotta).

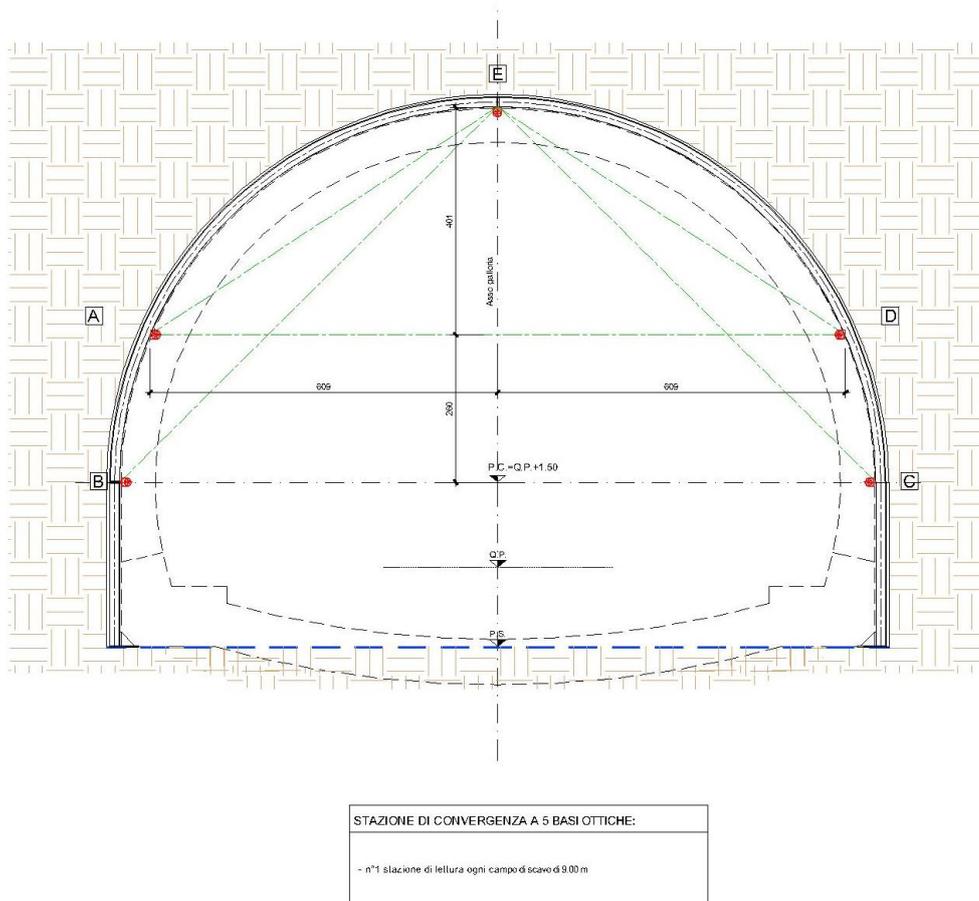


Figura 5.1 – Monitoraggio con misure di convergenza con sistema ottico.

6 STRUMENTAZIONE DI CONTROLLO DELLE DEFORMAZIONI DELL'AMMASSO CON ESTENSIMETRI MULTIBASE

6.1 Modalità di esecuzione

Questa tipologia strumentale consente di registrare in corso d'opera lo stato deformativo del terreno circostante la galleria in modo tale da valutare l'alterazione e l'evoluzione del raggio plastico al suo contorno con maggior accento alle zone critiche.

Si prevede la messa in opera di n.3 estensimetri multipunto a 4 basi di misura per il controllo delle deformazioni dell'ammasso.

La lunghezza totale sarà di 15 m e le basi saranno cementate a 2.0 m, 4.0 m, 8 m, 15 m dalla parete della galleria.

Gli estensimetri multibase dovranno essere costituiti dai seguenti elementi:

- testa di misura in ferro zincato a una o a più basi con alloggiamenti in acciaio inox per i comparatori e trasduttori lineari di spostamento protetti da tappo di plastica;
- riscontri di lettura riposizionabili con astine filettate di lunghezza non inferiore a 150 mm;
- aste di misura in acciaio con idoneo sistema di accoppiamento e dotate di tubazione rigida di protezione in PVC o acciaio;

- ancoraggi profondi in acciaio ad aderenza migliorata di lunghezza non inferiore a 500 mm da cementare alle pareti del foro;
- sistema di collegamento tra gli ancoraggi e le aste di misura;
- tubo di iniezione della malta cementizia;
- il foro di installazione dovrà avere diametro non inferiore a 101 mm per estensimetri sino a 3 basi di misura e non inferiore a 127 mm per estensimetri sino a 6 basi di misura;
- il foro dovrà essere eseguito a carotaggio continuo e dovrà avere una lunghezza superiore di almeno 50 cm alla base di ancoraggio più profonda;
- al termine della perforazione dovranno essere installati gli estensimetri ad aste posizionate alle profondità indicate. Una volta che tutte le parti della strumentazione saranno posizionate si provvederà a cementare gli ancoraggi impiegando l'apposito tubo di iniezione e pompando la miscela cementizia dal fondo del foro a bassa pressione. A presa avvenuta si procederà alla regolazione dello zero iniziale impiegando un comparatore centesimale con esecuzione di almeno tre misure di riscontro;
- cablaggio di ogni singolo sensore alla centralina di acquisizione automatica a più canali dovrà avvenire attraverso cavi elettrici multipolari schermati. Dalla centralina di acquisizione e registrazione in galleria i dati saranno spediti all'unità di raccolta che provvederà alla validazione.

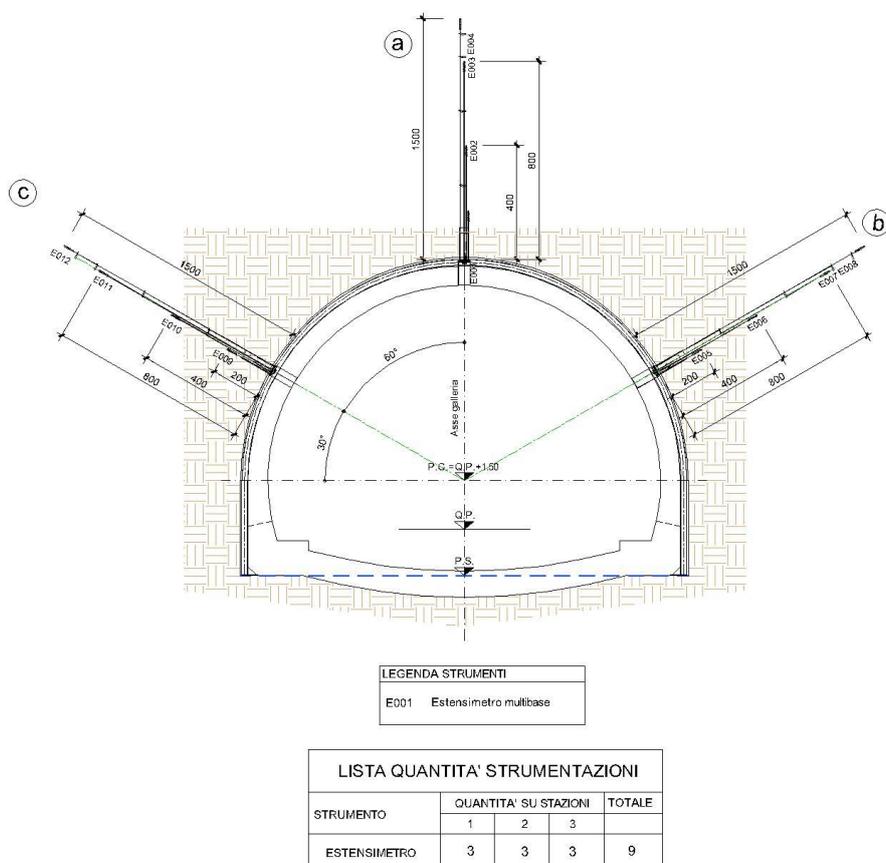


Figura 6.1 – Monitoraggio con estensimetri multibase

6.2 Frequenze delle misure

In funzione della distanza dal fronte di scavo del sistema di lettura, si prevede:

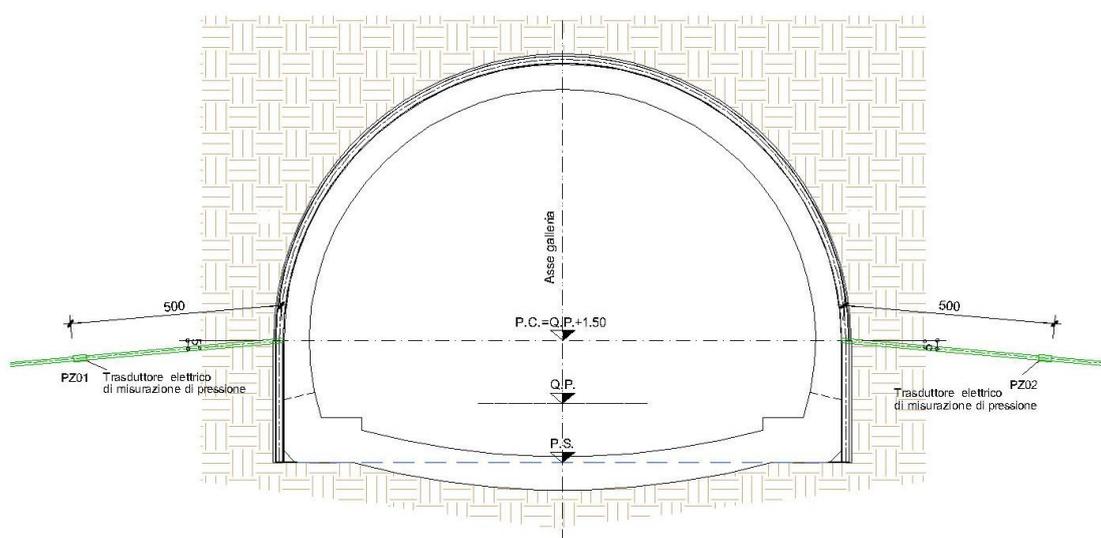
| STRUMENTI | DISTANZA DAL FRONTE DA 0 A 2 DIAMETRI | DISTANZA DAL FRONTE DA 2 A 4 DIAMETRI | DISTANZA DAL FRONTE OLTRE 4 DIAMETRI |
|------------------------|--|--|---|
| Estensimetri multibase | Ogni giorno | 1 volte a settimana | 1 volta al mese |

Tabella 6.1 – Programma delle letture per estensimetri multibase

7 STRUMENTAZIONE DI MISURA DEL LIVELLO PIEZOMETRICO CON PIEZOMETRO ELETTRICO RESISTIVO

7.1 Modalità di esecuzione

Il piezometro elettrico resistivo è un trasduttore di pressione che viene utilizzato per misurare la pressione interstiziale del terreno (versione assoluta) o per determinare l'altezza piezometrica all'interno di piezometri (versione relativa); disponibile in due versioni ovvero con sensore di diametro 21 mm e con sensore miniaturizzato di diametro 12 mm, adatto, quest'ultimo, ad essere inserito all'interno dei tubi piezometrici di Casagrande.



| LEGENDA STRUMENTI | |
|-------------------|----------------------|
| PZ | Piezometro elettrico |

| STRUMENTO | QUANTITA' SU STAZIONI | | | TOTALE |
|----------------------|-----------------------|---|---|--------|
| | 1 | 2 | 3 | |
| PIEZOMETRO ELETTRICO | 2 | 2 | 2 | 6 |

Figura 7.1 – Monitoraggio con piezometro elettrico resistivo

Nella sua versione relativa, all'interno del cavo di collegamento un tubicino mette in comunicazione la camera di riferimento del sensore con l'atmosfera, in modo tale da misurare la sola pressione piezometrica e il relativo livello dell'acqua.

Il cavo elettrico di collegamento essendo autoportante viene fissato alla carcassa del piezometro permettendone l'immissione e il recupero.

La lettura dei dati può avvenire mediante l'utilizzo di una centralina portatile o tramite un sistema automatico di acquisizione dati progettato per realizzare un monitoraggio in continuo.

7.2 Frequenze delle misure

In funzione della distanza dal fronte di scavo del sistema di lettura, si prevede:

| STRUMENTI | DISTANZA DAL FRONTE DA 0 A 2 DIAMETRI | DISTANZA DAL FRONTE DA 2 A 4 DIAMETRI | DISTANZA DAL FRONTE OLTRE 4 DIAMETRI |
|------------------------|--|--|---|
| Estensimetri multibase | Ogni giorno | 1 volta a settimana | 1 volta al mese |

Tabella 7.1 – Programma delle letture per piezometro elettrico resistivo

8 STRUMENTAZIONE DI CONTROLLO DEL COMPORTAMENTO TENSIONALE E DEFORMATIVO DELLE STRUTTURE DI PRERIVESTIMENTO IN CORSO D'OPERA

8.1 Modalità di esecuzione

Tali misure consistono nel rilevamento e nella restituzione grafica e numerica dello stato tensionale entro i rivestimenti di prima fase e verranno misurate con:

- celle di carico sotto i piedi delle centine;
- celle di pressione saldate sulle piastre di giunzione delle centine;
- barrette estensimetriche a corda vibrante posizionate sulle ali delle centine.

Il sistema di rilevamento dei dati avviene mediante celle di carico, di pressione e barrette estensimetriche in funzione dello stato tensionale che si vuole rilevare, con gli accorgimenti necessari per una perfetta installazione e funzionamento. Nello specifico:

1. **Celle di carico:** le celle di carico sono previste sotto i piedi delle centine. Sono sostanzialmente costituite da un corpo in acciaio inossidabile sensibilizzato da una serie di griglie estensimetriche applicate alla superficie interna del corpo stesso ed isolate. Una piastra in acciaio permette l'omogenea ripartizione del carico sull'intero corpo della cella. La deformazione, indotta dal carico alla cella, viene rilevata dagli strain-gauges, trasformata in un segnale elettrico proporzionale al carico agente e trasferita alla centralina di lettura. In alternativa possono essere previste celle di carico idrauliche anch'esse con sensore elettrico.

La procedura di installazione è la seguente:

- Effettuare l'adeguamento delle dimensioni dei piedritti della centina in modo che l'inserimento della cella di carico non determini una variazione di geometrie e di ingombri;

- Inserire e fissare la cella di carico nel mezzo delle piastre di giunzione montate perfettamente in piano;
- Fissare i cavi della cella di carico all'interno dell'anima della centina con filo di legatura, i cavi verranno sciolti e cablati a un pannello centrale di raccolta dati.

2. **Celle di pressione con sensore a corda vibrante:** sono posizionate tra le piattabande delle centine. Si tratta di piatti d'acciaio saldati tra di loro all'interno del quale un fluido permette di verificare la pressione di trasferimento derivante dal carico indotto. Tale pressione viene letta da un sensore a corda vibrante e trasmessa alla centralina per la lettura.

3. **Barrette estensimetriche a corda vibrante (strain meters):** le barrette estensimetriche a corda vibrante sono costituite da un cavo in acciaio armonico teso tra due blocchi, fissati a loro volta alle ali delle centine, mediante bullonatura o resinatura. La frequenza di vibrazione del cavo in acciaio è funzione della deformazione della centina nella sezione considerata.

La procedura di installazione da adottarsi sarà la seguente:

- Fissare mediante saldatura ad arco i blocchetti di ancoraggio nelle posizioni prestabilite sull'anima della centina metallica a ridosso delle ali, utilizzando una apposita dima distanziatrice;
- Inserire le estremità dell'estensimetro nei blocchetti di ancoraggio;
- Serrare una delle estremità dell'estensimetro al blocchetto con vite a brugola;
- Tendere manualmente l'estensimetro sino a raggiungere la posizione di zero, ovvero a metà del campo di misura dello strumento, misurando i valori di frequenza di vibrazione del filo di acciaio;
- Proteggere lo strumento con un lamierino metallico;
- Svolgere i cavi elettrici aventi una lunghezza tale da raggiungere il pannello di lettura dati.

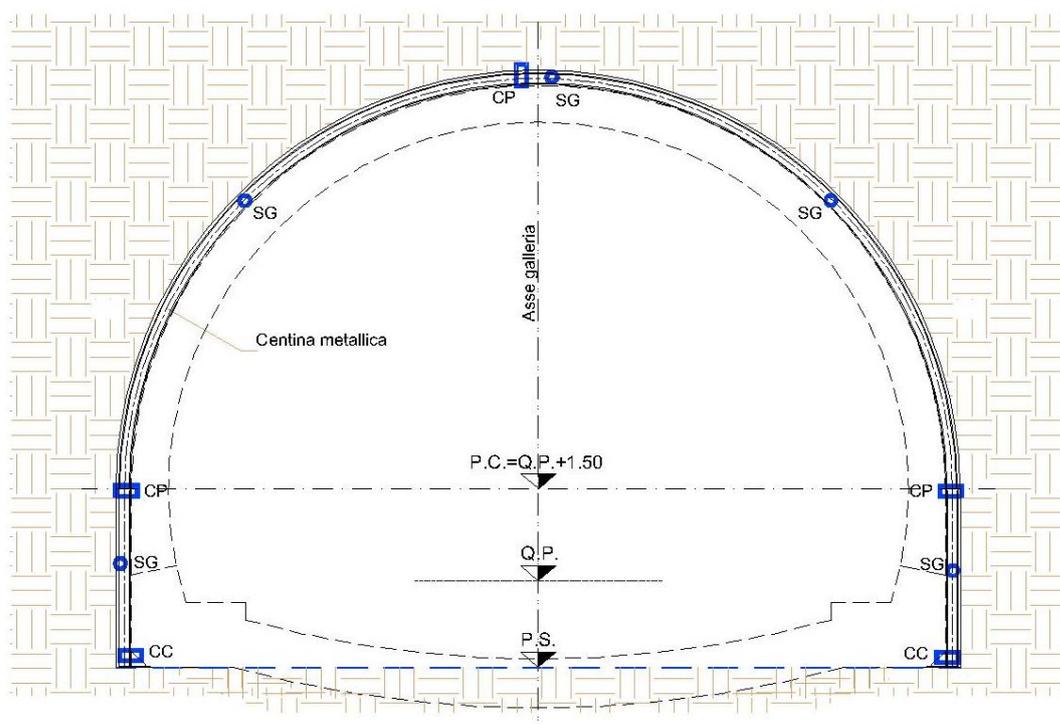


Figura 8.1 – Monitoraggio tensionale e deformativo del preinvestimento

Le caratteristiche tecniche della strumentazione risultano:

- Lunghezza: 150 mm;
- Segnale di uscita: Herz;
- Campo di misura: 3000 μ s;
- Precisione: <2% FS

La documentazione relativa alla installazione dovrà comprendere:

- Informazioni generali (commessa, cantiere, opera ..);
- Codifica dei singoli strumenti;
- Scema grafico di installazione degli strain meters, delle celle di carico e celle di pressione;
- Documentazione tecnica relativa agli strumenti installati;
- Certificato di taratura dei singoli strumenti utilizzati in data non inferiore a 6 mesi;
- Risultati della tesatura iniziale delle barrette estensimetriche e delle letture di controllo delle celle di carico e di pressione da eseguirsi prima del posizionamento della centina;
- Risultati della lettura di controllo degli strumenti da eseguirsi dopo la posa della centina;
- Schema grafico del cablaggio alla centralina di lettura.

Il sistema di elaborazione dati avviene su software apposito e si richiedono i seguenti diagrammi e tabulati numerici:

- carichi tra le piastre di giunzione della centina in funzione del tempo e in funzione della distanza dal fronte di scavo per le celle di carico;
- tensioni in funzione del tempo e in funzione della distanza dal fronte di scavo per gli estensimetri a corda vibrante.

8.2 Frequenze delle misure

In funzione della distanza dal fronte di scavo del sistema di lettura, si prevede:

| STRUMENTI | DISTANZA DAL FRONTE DA 0 A 2 DIAMETRI | DISTANZA DAL FRONTE DA 2 A 4 DIAMETRI | DISTANZA DAL FRONTE OLTRE 4 DIAMETRI |
|--|--|--|---|
| Celle di carico, celle di pressione e barrette estensimetriche | Ogni giorno | 1 volta a settimana | 1 volta al mese |

Tabella 8.1 – Programma delle letture per prerivestimento

9 STRUMENTAZIONE DI CONTROLLO DEL COMPORTAMENTO TENSIONALE E DEFORMATIVO DELLE STRUTTURE DI RIVESTIMENTO DEFINITIVO IN ESERCIZIO

9.1 Modalità di esecuzione

Tali misure consistono nel rilevamento e nella restituzione grafica e numerica dello stato tensionale entro i rivestimenti definitivi.

Le tensioni nel rivestimento definitivo verranno misurate con 8 coppie di barrette estensimetriche a corda vibrante (di cui 3 coppie di strumenti in arco rovescio e 5 coppie di strumenti nel rivestimento in calotta), saldate all'armatura di estradosso ed intradosso della sezione da monitorare.

Il sistema di rilevamento dei dati avviene mediante barrette estensimetriche, in funzione dello stato tensionale che si vuole rilevare, con gli accorgimenti necessari per una perfetta installazione e funzionamento. Nello specifico:

- **Barrette estensimetriche a corda vibrante:** le barrette estensimetriche a corda vibrante sono costituite da un cavo in acciaio armonico teso tra due blocchi, fissati a loro volta all'armatura, mediante resinatura o saldatura. Ogni deformazione della struttura comporterà uno spostamento relativo tra i due blocchetti e una conseguente variazione di tensione della corda di acciaio. Tale tensione viene misurata eccitando la corda mediante un elettromagnete e rilevandone la frequenza di risonanza.

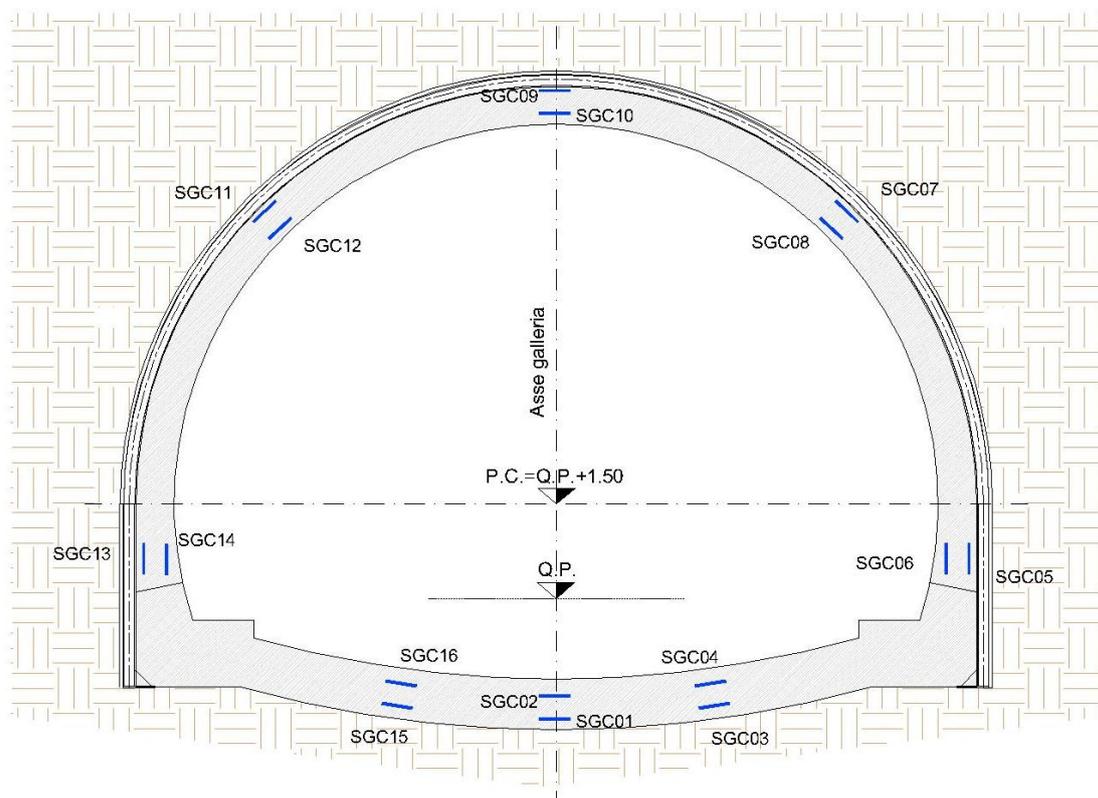


Figura 9.1 – Monitoraggio del rivestimento definitivo

La procedura di installazione consiste:

- Preparare in cantiere un telaio metallico con tondini di ferro e fissarla nella orientazione desiderata in maniera stabile al getto;
- Fissare sul telaio l'estensimetro con filo di ferro tesato, realizzare due spirali di filo di ferro sui braccetti dello strumento e fissarli ai tondini della struttura metallica;
- Fissare i cavi di segnale dell'estensimetro fino a un pannello di centralizzazione.

La documentazione relativa alla installazione dovrà comprendere:

- Informazioni generali (commessa, cantiere, opera ..);
- Codifica dei singoli strumenti;
- Scema grafico di installazione degli strain meters con indicazione dell'orientazione e della posizione;
- Documentazione tecnica relativa agli strumenti installati;
- Certificato di taratura dei singoli strumenti utilizzati in data non inferiore a 6 mesi;
- Risultati della tesatura iniziale delle barrette estensimetriche (frequenza di zero);
- Risultati della lettura di controllo degli strumenti almeno 3 dopo l'esecuzione del getto;
- Schema grafico del cablaggio alla centralina di lettura.

L'elaborazione dati avviene su software apposito e si richiedono i seguenti diagrammi e tabulati numerici

- deformazioni funzione del tempo e della distanza dal fronte;
- tensioni in funzione del tempo.

9.2 Frequenza delle misure

Il numero minimo di rilevamenti da eseguire dopo la misura iniziale di riferimento per ogni barretta estensimetrica è il seguente:

- n.1 misura al giorno, per i primi 7 giorni dal getto;
- n.1 misura ogni 3 giorni fino al raggiungimento del 30° giorno dall'installazione.

In funzione della distanza dal fronte di scavo del sistema di lettura, si prevede:

| STRUMENTI | Distanza dal fronte | Distanza dal fronte | Distanza dal fronte |
|--------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | Da 0 a 2 Diametri | Da 2 a 4 Diametri | Oltre 4 Diametri |
| Barrette estensimetriche | Ogni giorno | 1 volta a settimana | 1 volta al mese |

Tabella 9.1 – Programma delle letture del rivestimento definitivo

10 APPLICAZIONE DEL MONITORAGGIO ALLE SEZIONI TIPO

Il monitoraggio in corso d'opera presenta un mezzo forte di controllo della coerenza progettuale e dell'applicabilità delle condizioni al contorno ipotizzate in fase di progettazione.

Esso permette di verificare le seguenti condizioni:

- verificare la rispondenza di quanto misurato in situ rispetto alle ipotesi di progetto;
- verificare e ottimizzare l'intensità degli interventi previsti (numero di consolidamenti al fronte, lunghezze delle sovrapposizioni, passo delle centine, ecc.) in relazione alla risposta deformativa del fronte e dello stato tensionale nei rivestimenti;
- verificare la corretta applicazione delle sezioni tipologiche previste in progetto;
- segnalare la necessità o possibilità di applicazioni di sezioni tipo differenti da quelle previste in progetto.

L'interpretazione dei dati di monitoraggio si basa principalmente sulla "corretta interpretazione" del comportamento tenso-deformativo al fronte e al contorno del cavo con una analisi completa di tutti i dati provenienti dal monitoraggio.

In altri termini valutando contemporaneamente il rilievo geologico al fronte, le misure di convergenza e di subsidenza si può valutare e ipotizzare il meccanismo di collasso del cavo e i margini rispetto a tale situazione per poter eventualmente intervenire in una nuova taratura del progetto realizzato in opera.

Per meglio interpretare i dati di monitoraggio si è soliti stabilire dei "valori di soglia" che risultano essere dei valori di riferimento limite rispetto alle ipotesi progettuali.

Sono quindi introdotti i seguenti valori di soglia:

- **Soglia di attenzione.** Al superamento di tale soglia si eseguirà un'accurata verifica dell'esecuzione delle fasi costruttive previste e si valuterà tempestivamente se apportare leggere modifiche a tali lavorazioni, orientati dalla presenza o meno di eventuali segni premonitori di instabilità dell'evoluzione temporale delle misure, valutando la successiva stabilizzazione della risposta;
- **Soglia di allarme.** Al superamento di tale soglia si aumenterà opportunamente la prevista frequenza delle misure per verificare l'eventuale progressiva stabilizzazione della risposta.

Qualora le velocità di variazione delle grandezze misurate non si annullino in breve termine, le operazioni di scavo si arresteranno e si applicheranno tempestivamente dei provvedimenti atti a contrastare la tendenza al comportamento instabile del cavo.

10.1 Definizione delle soglie di attenzione e di allarme sul prerivestimento

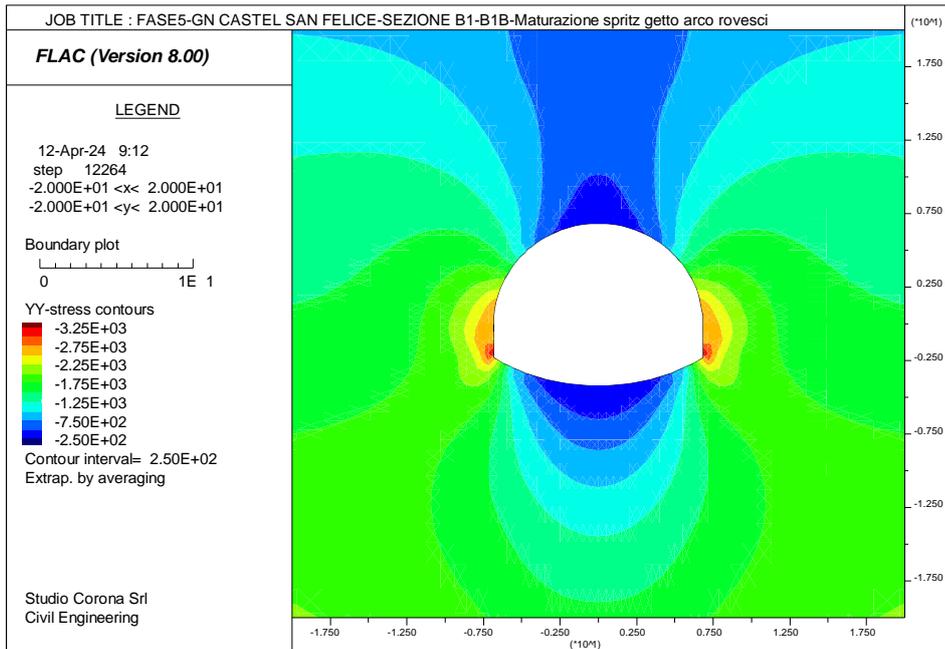
I valori di soglia di attenzione e di allarme risultano così definiti per una deformata C_{ATTESA} ottenuta con calcoli svolti in condizioni drenate:

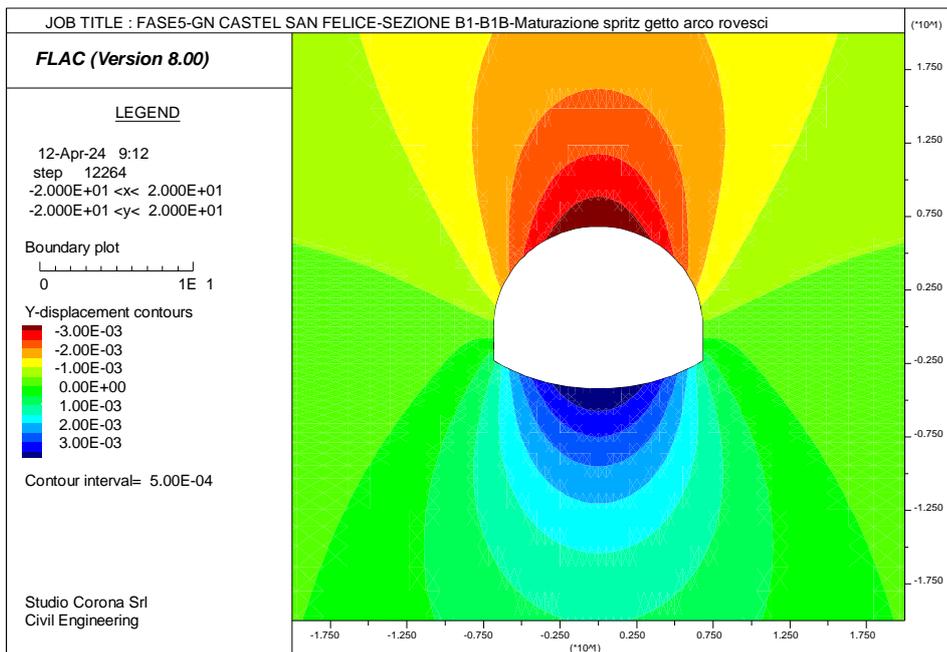
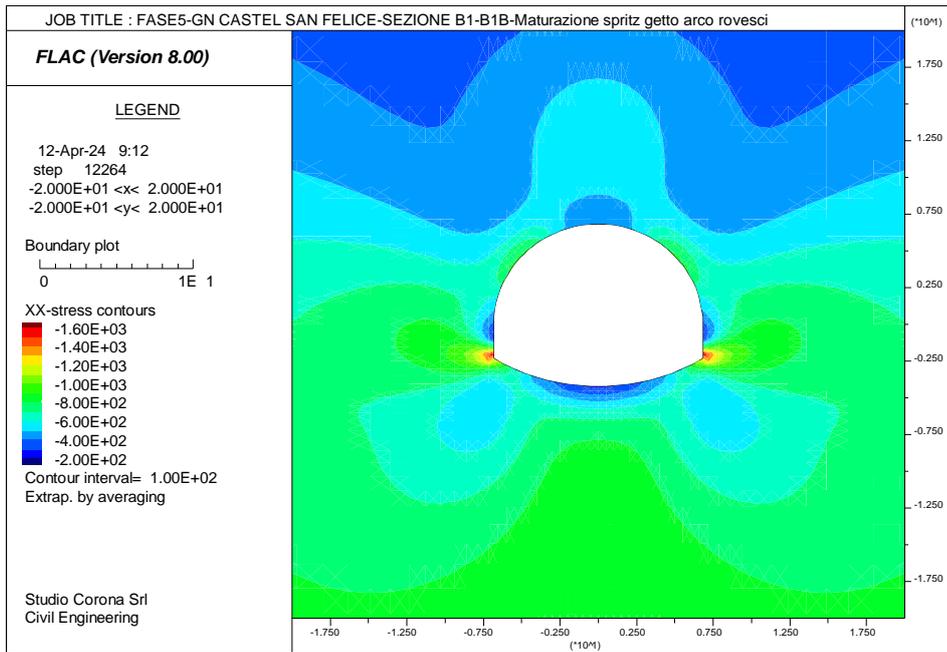
- soglia di attenzione = $1.2 C_{ATTESA}$
- soglia di allarme = $1.3 S_{ATTENZIONE}$

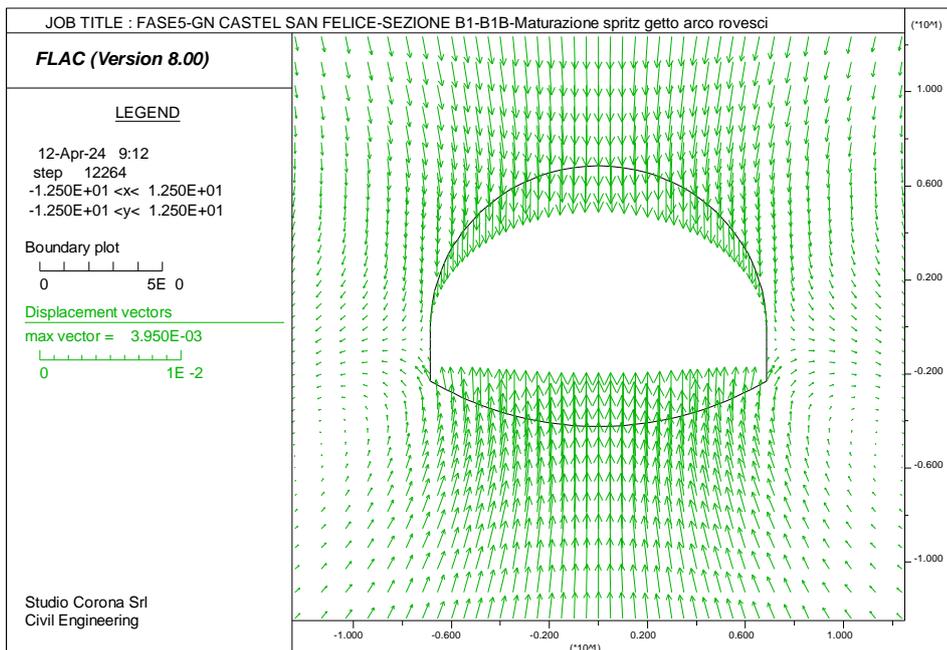
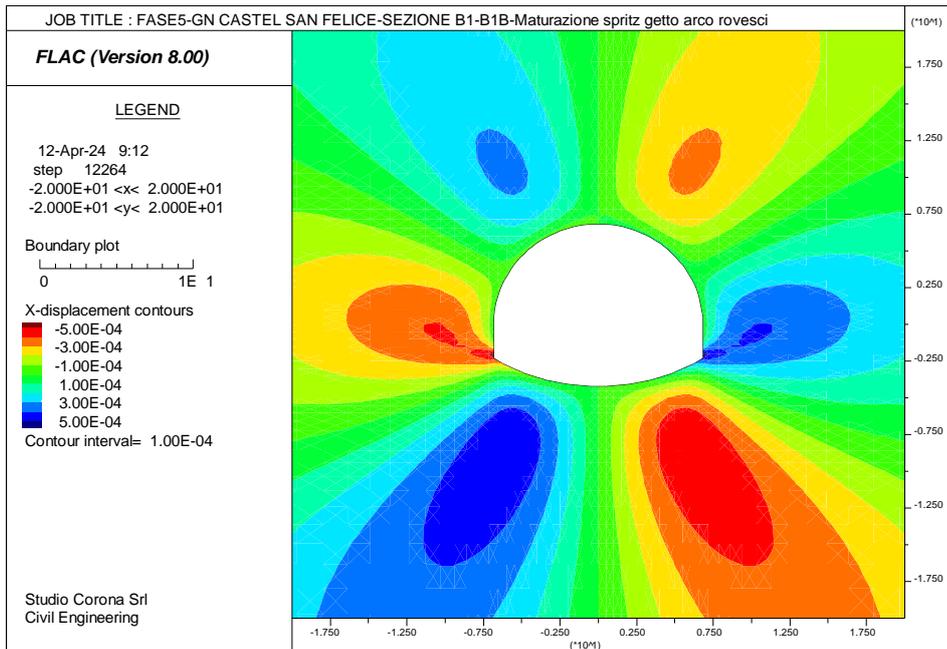
11 DEFORMATA ATTESA PER LE SINGOLE SEZIONI TIPO DI SCAVO

Si presentano sotto forma grafica i valori della deformata attesa sul prerinvestimento per le singole sezioni tipo di scavo, con i valori della deformata massima riferiti alle Fasi 5 di calcolo del progetto strutturale con "Maturazione spritz beton e getto arco rovescio".

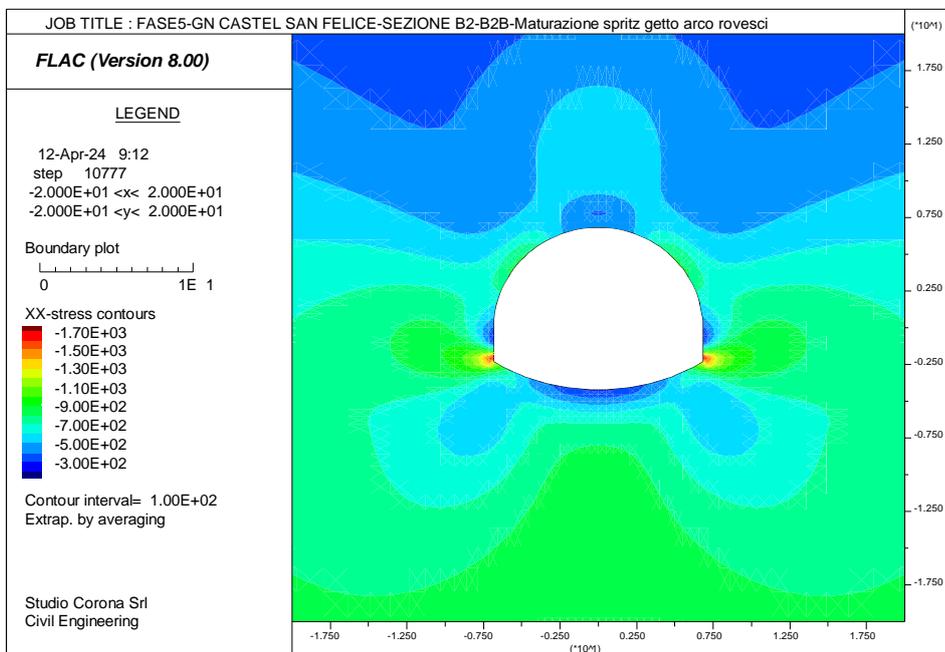
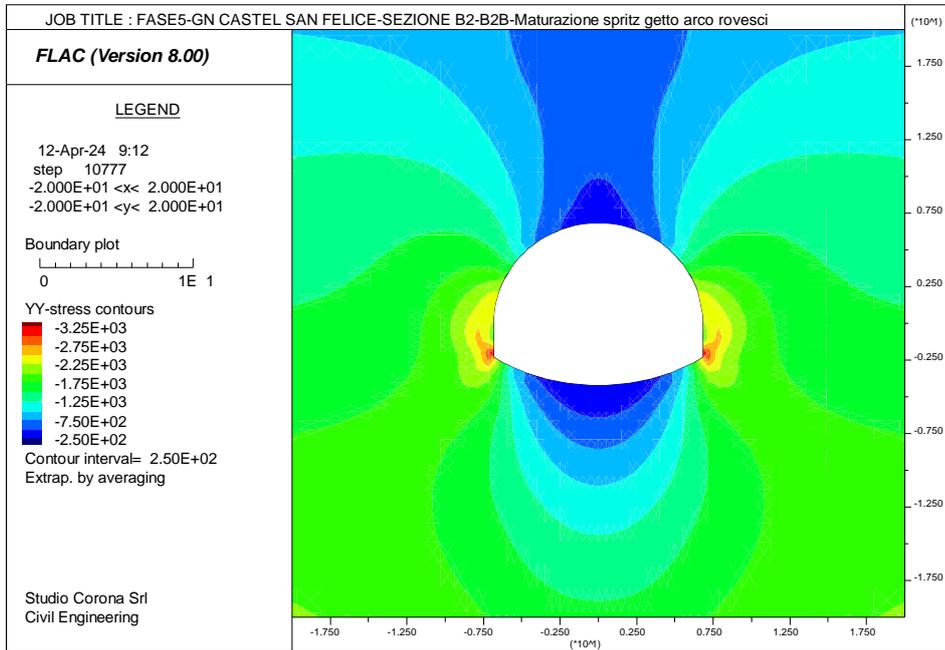
11.1 Sezione tipo B1-B1b nelle Formazioni della Scaglia Rossa e della Scaglia Variegata

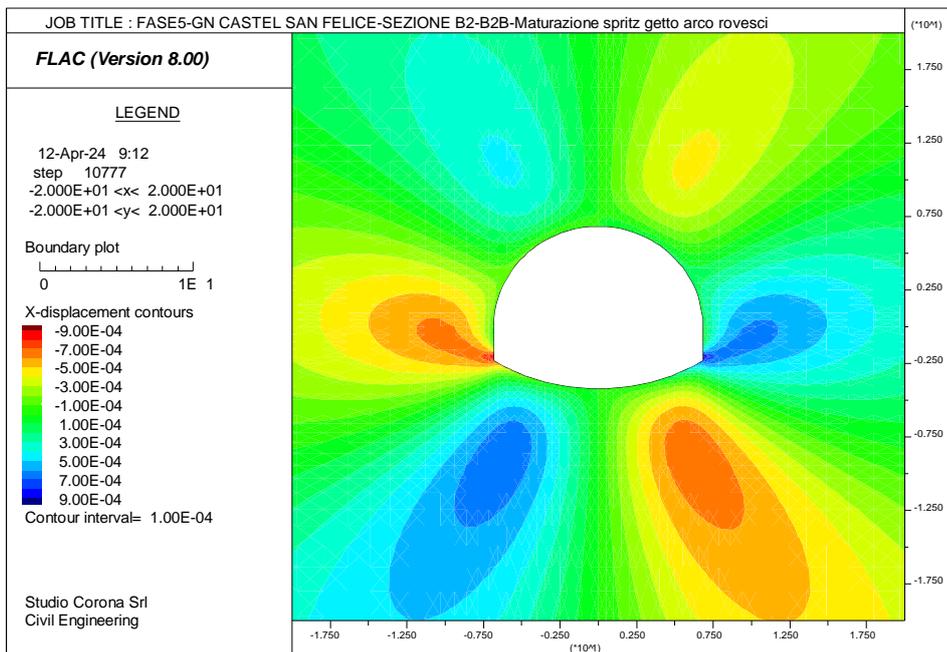
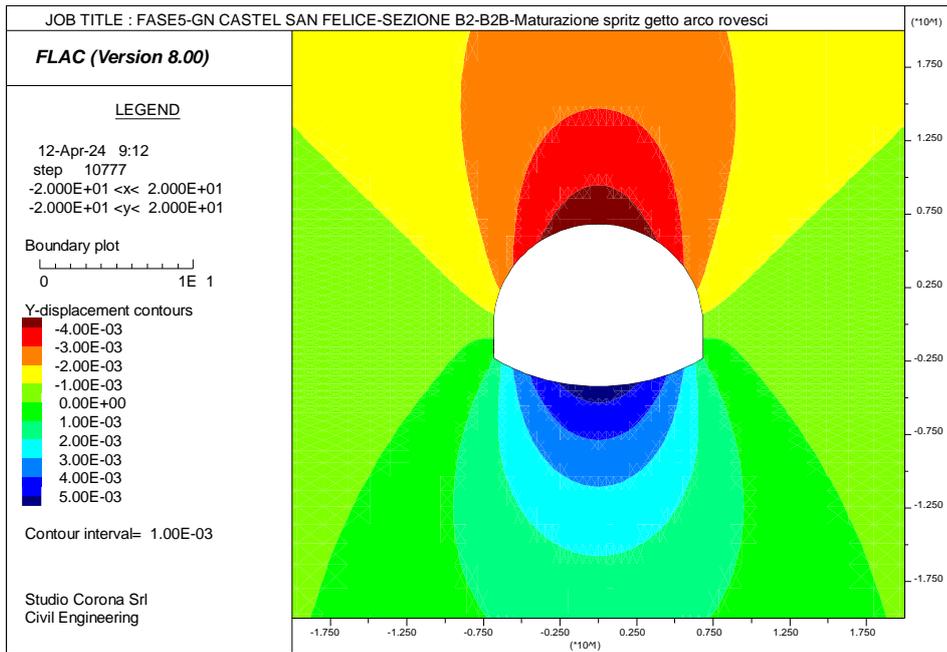


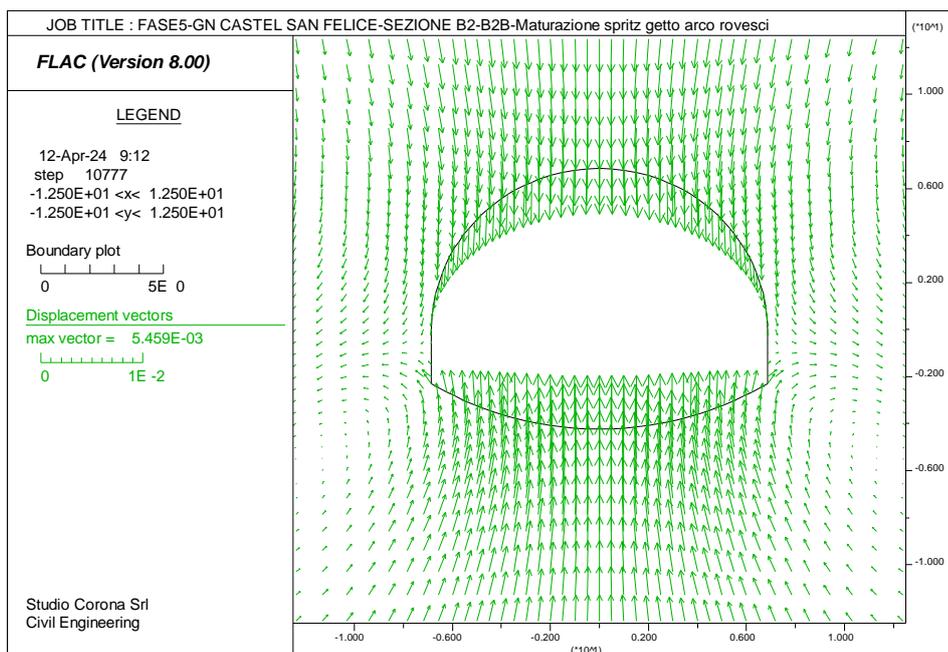




11.2 Sezione tipo B2-B2b nelle Formazioni della Scaglia Rossa e della Scaglia Variegata







11.3 Deformazione attesa e valori di soglia di attenzione e di allarme per le sezioni tipologiche di scavo

Si presentano di seguito i valori di deformazione attesa suddivisi in funzione della Sezione tipo, della Formazione incontrata e del ricoprimento del terreno considerato nei calcoli:

| Sezione Tipo | Formazione | H | Range teorico | Soglia di attenzione | Soglia di allarme |
|--------------|------------|-----|-----------------|----------------------|-------------------|
| | | (m) | $y_{Dis.}$ (mm) | $y_{Dis.}$ (mm) | $y_{Dis.}$ (mm) |
| TIPO B1-B1b | SV-SR | 50 | 3.42 | 4.10 | 5.33 |
| TIPO B2-B2b | SV-SR | 50 | 4.63 | 5.55 | 7.22 |

Tabella 11.1 – Valori di soglia e di allarme sul prinvestimento