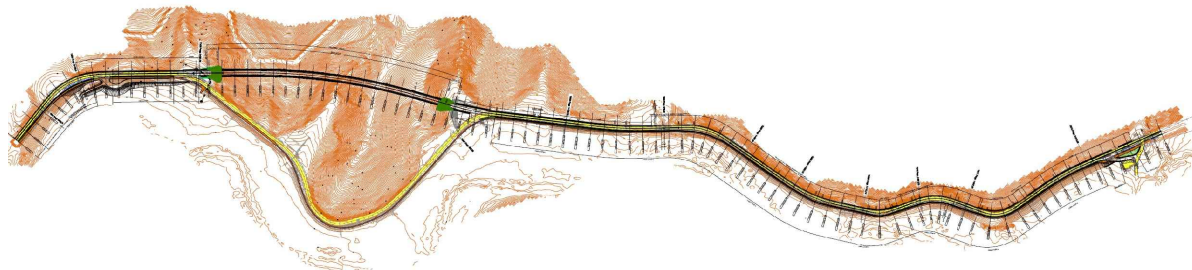


S.S. 685 "DELLE TRE VALLI UMBRE"

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:

H202

CAPITOLO H - PROGETTO OPERE IN SOTTERRANEO
CAPITOLO H2 - GALLERIA NATURALE CASTEL SAN FELICE
LINEE GUIDA PER L'APPLICAZIONE DELLE SEZIONI TIPO - RELAZIONE TECNICA

CODICE PROGETTO

NOME FILE

H202-P01GN01OSTRE02_A.dwg

REVISIONE

SCALA:

PROGETTO

PG0374E2201

CODICE
ELAB.

P01GN01OSTRE02

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.....	3
2.1	Normative Raccomandazioni Linee guida.....	3
2.2	Bibliografia.....	3
3	DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	5
4	PROGETTAZIONE DELLE GALLERIE SECONDO IL METODO OSSERVAZIONALE.....	6
5	DEFINIZIONE DELLE SEZIONI DI AVANZAMENTO.....	8
5.1	Sezione di scavo tipo B1 nelle Formazioni della Scaglia Rossa e nella Scaglia Variegata	8
5.1.1	Variabilità degli interventi	8
5.2	Sezione di scavo tipo B1b nelle Formazioni della Scaglia Variegata nel tratto tra le due faglie. 10	
5.2.1	Variabilità degli interventi	10
5.3	Sezione di scavo tipo B2 nelle Formazioni della Scaglia Rossa e nella Scaglia Variegata come concio d'attacco agli Imbocchi	12
5.3.1	Variabilità degli interventi	12
5.4	Sezione di scavo tipo B2b nelle Formazioni della Scaglia Rossa e nella Scaglia Variegata in corrispondenza delle faglie.....	14
5.4.1	Variabilità degli interventi	14
6	PROCEDURA PER LA GESTIONE DELLE LINEE GUIDA.....	16
7	APPLICAZIONE DEL MONITORAGGIO ALLE SEZIONI TIPO	21
7.1	Misure delle soglie di attenzione e di allarme.....	21
7.2	Deformazione attesa e valori di soglia di attenzione e di allarme per le sezioni tipologiche di scavo 22	
8	CONDIZIONI DI SOSTA PROLUNGATA E SITUAZIONI DI EMERGENZA.....	23

1 PREMESSA

La seguente relazione ha lo scopo di definire le Linee Guida per l'Applicazione delle sezioni tipo previste per lo scavo della 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.

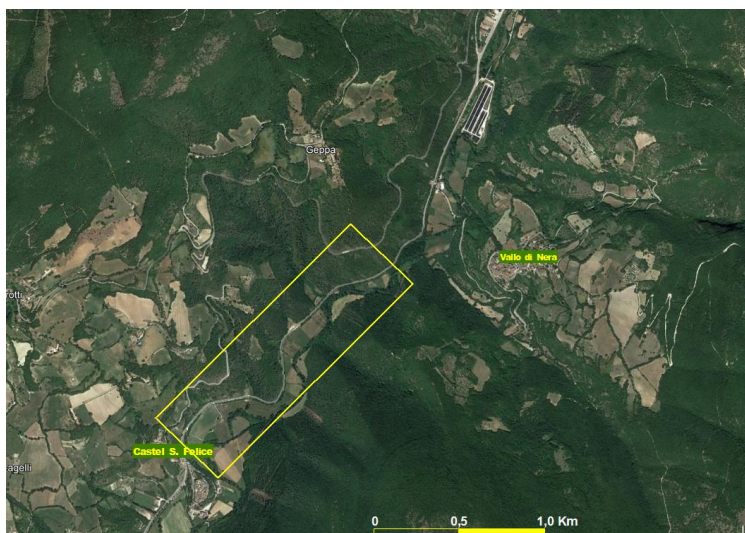


Figura 1.1 – Ubicazione dell'area in studio

L'emissione di uno specifico documento di gestione dello scavo in corso d'opera nasce nell'ambito della progettazione secondo il Metodo Osservazionale (EC7-NTC18) che, mediante il controllo delle risultanze di monitoraggio e il confronto con i valori attesi, consentirà la definizione della sezione di scavo adeguata al contesto incontrato confermando o meno le previsioni progettuali e i limiti ammissibili anticipati.

Facendo riferimento alle problematiche evidenziate nella relazione geomeccanica, vengono inizialmente fornite nei capitoli successivi le descrizioni dell'opera in oggetto e le indicazioni sulle soluzioni progettuali e sulle modalità costruttive adottate.

Sono quindi presentate le Linee Guida che disciplinano la variabilità in sede di progetto dell'applicazione delle sezioni di scavo che hanno l'obiettivo di:

- Confermare in avanzamento le sezioni tipo riportate nei profili geomeccanici di progetto;
- Eventualmente variare gli interventi di consolidamento e preconsolidamento al fronte che devono, senza modificare strutturalmente le caratteristiche finali dell'opera, adeguarsi alle reali condizioni geomeccaniche riscontrate durante lo scavo di avanzamento, nonché al comportamento deformativo del cavo ed estrusivo del fronte.

La verifica in corso d'opera è fondamentale e prevede sistematici rilievi geostrutturali dei fronti di scavo e l'adozione di un sistema di monitoraggio che permettano, mediante misure di convergenza, misure topografiche, di verificare la correttezza delle ipotesi progettuali e di apportare eventuali adeguamenti alle soluzioni proposte in caso di deviazione dal comportamento atteso.

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.
- LANCELOTTO R. (1991): "Geotecnica" – Edizioni Zanichelli.

3 DESCRIZIONE DELL'OPERA

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).

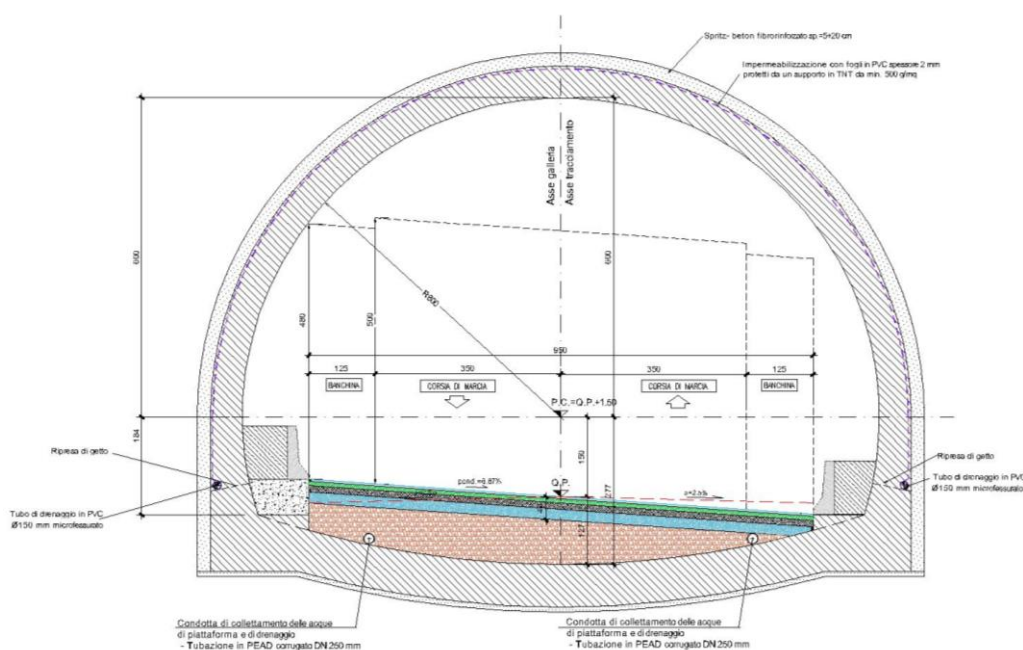


Figura 3.1 – Sezione corrente in galleria

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.

4 PROGETTAZIONE DELLE GALLERIE SECONDO IL METODO OSSERVAZIONALE

La progettazione definitiva dell'opera in sotterraneo si è sviluppata secondo diversi gradi di approfondimento in accordo alle fasi indicate nello schema logico di Figura 4.1.

In relazione alle risultanze della caratterizzazione geologica e geotecnica, dell'individuazione del modello geotecnico e ricorrendo a idonei metodi di analisi, si perviene alla definizione delle scelte progettuali in termini di:

- metodo di scavo;
- interventi di miglioramento;
- rinforzo e stabilizzazione;
- rivestimenti da adottare.

Tali scelte sono riferite a tratti di galleria geotecnica mente omogenei nei quali vengono definite opportune sezioni tipo o di progetto, mediante anticipazione dei possibili comportamenti allo scavo, assieme ai limiti ammissibili delle grandezze caratteristiche atte a definire tali comportamenti.

Nei contesti in cui si prevedono situazioni geologiche e geotecniche complesse (le cosiddette Condizioni Difficili) per le quali, anche dopo accertamenti ragionevolmente estesi e approfonditi rimangono elementi di incertezza che possono essere risolti solo in fase costruttiva, la progettazione si basa sul Metodo Osservazionale (Terzaghi et al., 1945 e Peck, 1969). Questo prevede che in sede di progettazione siano predisposte delle soluzioni progettuali alternative in relazione ai diversi scenari attesi, definendo per ciascuna i limiti ammissibili delle grandezze caratteristiche che saranno oggetto di controlli e misure mediante il sistema di monitoraggio. Sarà così possibile, nel caso in cui i limiti prima definiti per la soluzione applicata siano raggiunti, adottare tempestivamente una delle soluzioni alternative proposte dal progetto.

Nell'ingegneria geotecnica, Peck (1969) ha razionalizzato il Metodo Osservazionale proposto per la prima volta da Terzaghi (1945) descrivendolo nel seguente modo:

- predisposizione di una campagna di indagine geotecnica iniziale sufficiente a stabilire la natura, lo schema e le proprietà dell'ammasso roccioso;
- valutazione delle condizioni più probabili e delle più sfavorevoli deviazioni dalle stesse: in questo caso le valutazioni di natura geologica spesso giocano il ruolo principale;
- redazione del progetto basato sulle ipotesi di lavoro circa il comportamento previsto nelle condizioni più probabili;
- scelta delle grandezze da osservare durante la costruzione e calcolo dei loro valori previsti sulla base delle ipotesi di lavoro;
- definizione dei valori delle stesse grandezze nelle condizioni più sfavorevoli, compatibili con i dati concernenti le condizioni dell'ammasso roccioso;
- scelta, in anticipo, di una serie di azioni o modifiche del progetto per ogni prevedibile significativa deviazione delle grandezze misurate rispetto a quelle previste sulla base delle condizioni di lavoro;
- misura delle grandezze da osservare e valutazione delle condizioni effettivamente incontrate;

- modifica del progetto sulla base di quanto definito e adattamento alle condizioni incontrate.

I valori di riferimento delle grandezze osservate sono quelli previsti dal progetto iniziale allo stadio di avanzamento in atto in corso d'opera. Le condizioni del sito e i parametri geotecnici del terreno, valutate sulla base delle indagini geotecniche, sono verificate mediante analisi a ritroso (back-analysis) dei dati forniti dal monitoraggio; questo tipo di operazione viene definita "conferma delle assunzioni di progetto".

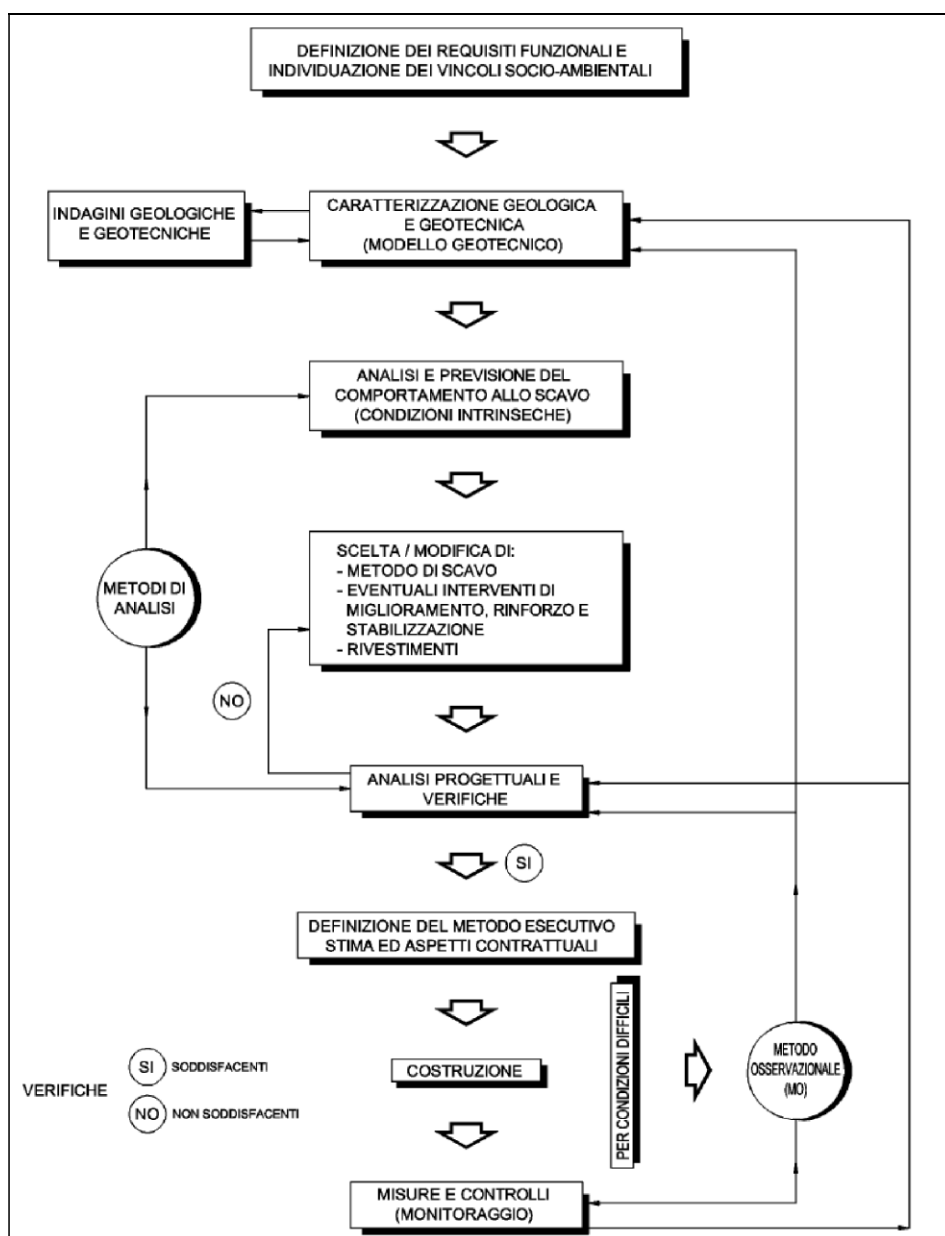


Figura 4.1: Schema logico della metodologia di progettazione delle strutture in sotterraneo (G. Barla)

5 DEFINIZIONE DELLE SEZIONI DI AVANZAMENTO

Nel presente capitolo verranno definiti gli interventi da adottare durante la realizzazione della galleria, necessari a garantire la stabilità del cavo a breve e a lungo termine, in accordo con le indicazioni provenienti dall'analisi del comportamento deformativo allo scavo. Sono descritte le sezioni tipo di avanzamento e la successione delle fasi esecutive ed i campi di applicazione.

5.1 Sezione di scavo tipo B1 nelle Formazioni della Scaglia Rossa e nella Scaglia Variegata

La sezione B1 viene applicata nelle Formazioni della Scaglia Rossa e nella Scaglia Variegata.

La sezione è caratterizzata dai seguenti interventi:

- in presenza d'acqua saranno eseguiti n.4 drenaggi con tubi in PVC microfessurati rivestiti da TNT diametro 760 mm, lunghi 27.0 m e sovrapposizione 9.0 m;
- scavo per campi di lunghezza complessiva pari a 9.0 m e sfondi successivi di lunghezza variabile 1.25÷1.75 m, seguito dalla immediata posa in opera del rivestimento di prima fase costituito da spritz-beton fibrorinforzato, armato con fibre metalliche (30 Kg/mc) o plastiche (4 Kg/mc) di spessore pari a 25 cm (5 cm prespritz + 20 cm) e centine 2IPN 180 a passo variabile 1.25÷1.75 m. Sul fronte sarà eseguito uno strato di spritz-beton di spessore pari a 10 cm alla fine di ogni campo di avanzamento;
- posa dell'impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC in corrispondenza delle murette, getto delle stesse e dell'arco rovescio in cemento armato di spessore 80 cm ad una distanza massima dal fronte variabile da 3 a 5 diametri. In funzione della risposta deformativa del cavo evidenziata dal monitoraggio in corso d'opera potranno essere adottate misure più o meno restrittive.
- posa in opera dell'impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC e getto del rivestimento definitivo di spessore in calotta di 60 cm e a una distanza massima dal fronte non vincolata ma minore di 100 m. Anche tale limite potrà variare in rapporto alle risultanze del monitoraggio in corso d'opera.

5.1.1 VARIABILITÀ DEGLI INTERVENTI

In ragione della peculiarità della sezione tipo B1, si prevede la variabilità per gli interventi di sostegno previsti, in particolare si ha la variabilità del passo delle centine ed eventualmente del numero di dreni (+2).

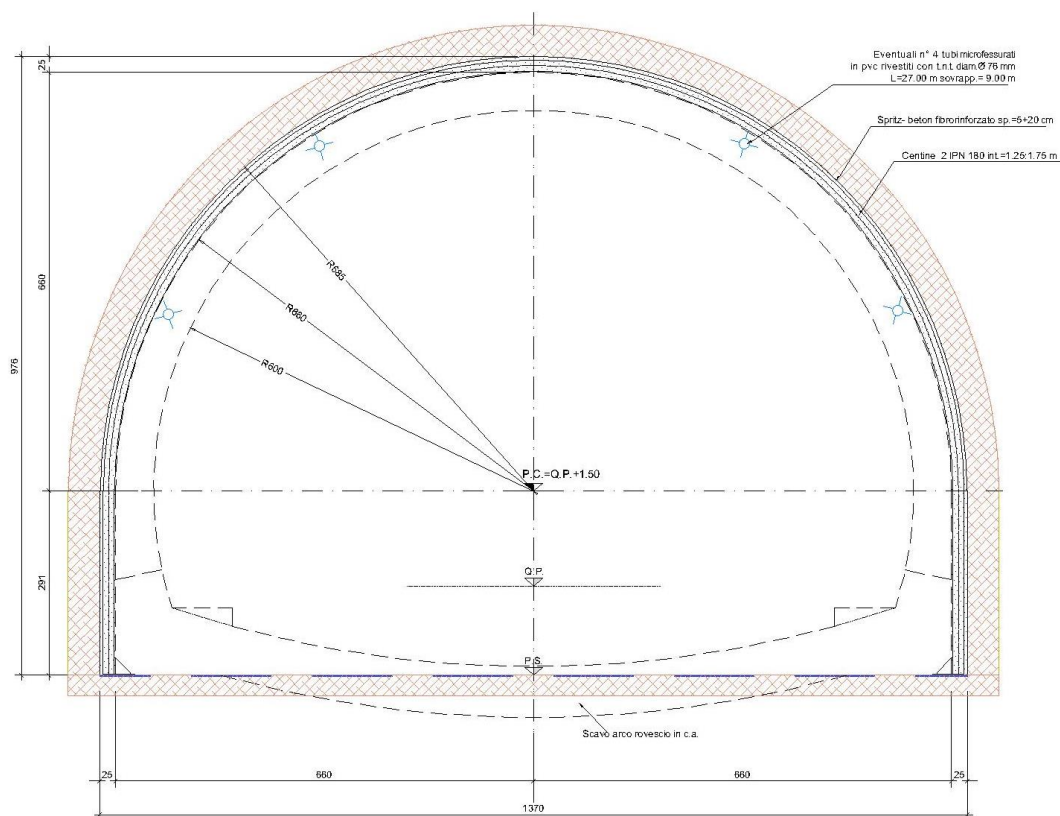


Figura 5.1 – Sezione tipo B1 – Interventi – Sezione trasversale

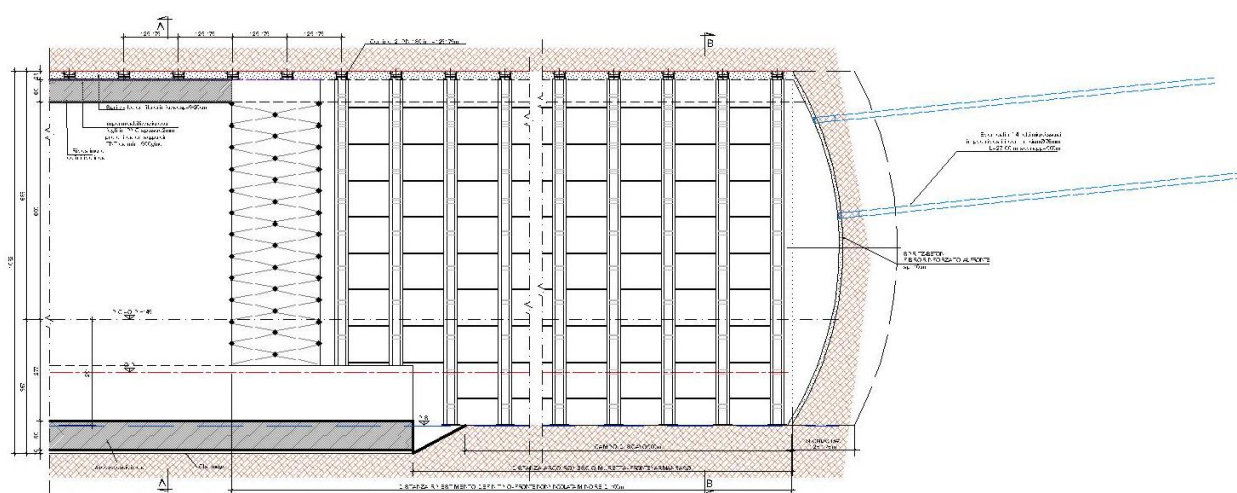


Figura 5.2 – Sezione tipo B1 – Interventi – Sezione longitudinale

5.2 Sezione di scavo tipo B1b nelle Formazioni della Scaglia Variegata nel tratto tra le due faglie

La sezione B1b viene applicata nella Formazione della Scaglia Variegata nel tratto tra le due faglie.

La sezione è caratterizzata dai seguenti interventi:

- in presenza d'acqua saranno eseguiti n.4 drenaggi con tubi in PVC microfessurati rivestiti da TNT diametro 760 mm, lunghi 27.0 m e sovrapposizione 9.0 m;
- preconsolidamento del fronte di scavo con n. 39 ± 10 tubi in VTR Φ 60/40, cementati in foro con miscele cementizie, perforazione maggiore di 100 mm, lunghezza 18.00 m, sovrapposizione 9.00 m e campo utile 9.0 m;
- scavo per campi di lunghezza complessiva pari a 9.0 m e sfondi successivi di lunghezza variabile $0.80 \div 1.20$ m, seguito dalla immediata posa in opera del rivestimento di prima fase costituito da spritz-beton fibrorinforzato, armato con fibre metalliche (30 Kg/mc) o plastiche (4 Kg/mc) di spessore pari a 25 cm (5 cm prespritz + 20 cm) e centine 2IPN 180 a passo variabile $0.80 \div 1.20$ m. Sul fronte sarà eseguito uno strato di spritz-beton di spessore pari a 10 cm alla fine di ogni campo di avanzamento;
- posa dell'impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC in corrispondenza delle murette, getto delle stesse e dell'arco rovescio in cemento armato di spessore 80 cm ad una distanza massima dal fronte variabile da 3 a 5 diametri. In funzione della risposta deformativa del cavo evidenziata dal monitoraggio in corso d'opera potranno essere adottate misure più o meno restrittive.
- posa in opera dell'impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC e getto del rivestimento definitivo di spessore in calotta di 60 cm e a una distanza massima dal fronte variabile da 5 a 7 diametri. Anche tale limite potrà variare in rapporto alle risultanze del monitoraggio in corso d'opera.

5.2.1 VARIABILITÀ DEGLI INTERVENTI

In ragione della peculiarità della sezione tipo B1b, si prevede la variabilità per gli interventi di preconsolidamento e sostegno previsti, in particolare si ha la variabilità del passo delle centine, del numero di barre in VTR (± 10) ed eventualmente del numero di dreni (+2).

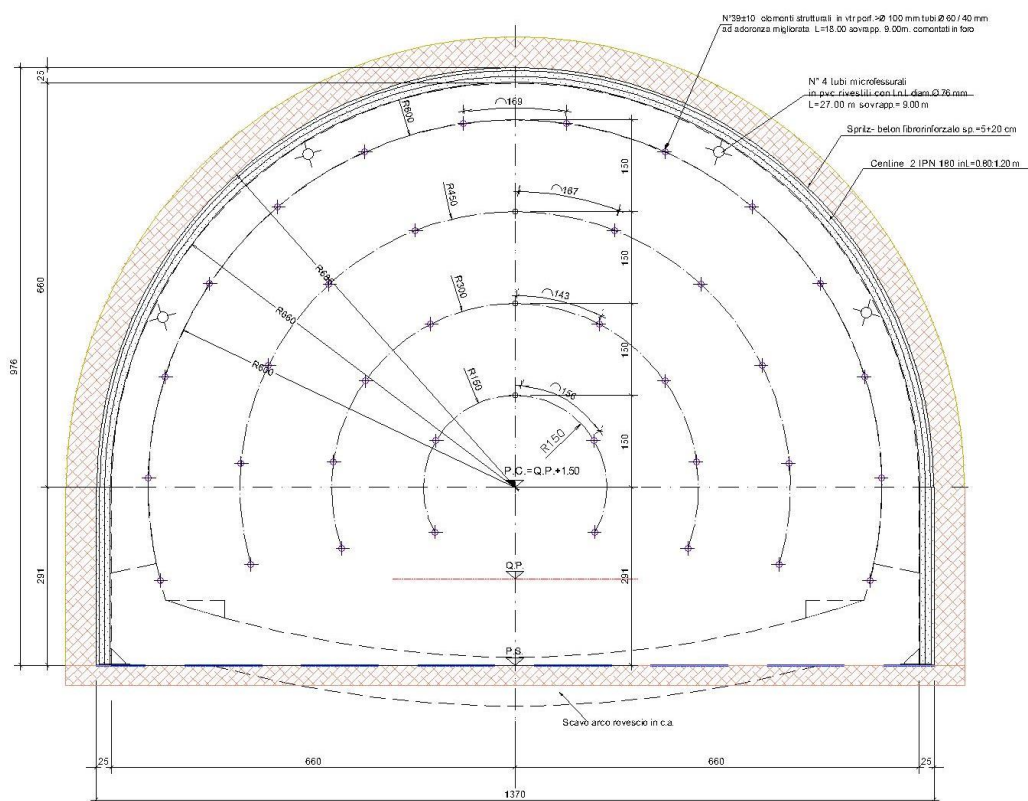


Figura 5.3 – Sezione tipo B1b – Interventi – Sezione trasversale

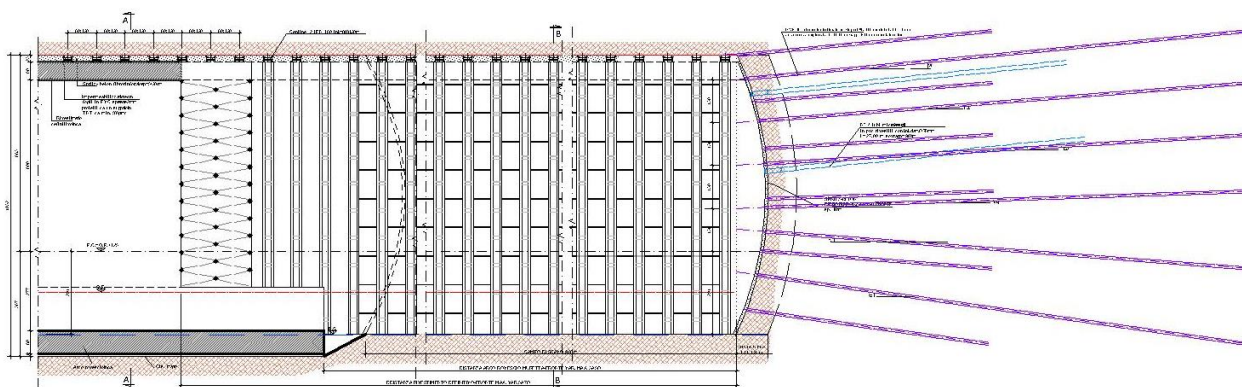


Figura 5.4 – Sezione tipo B1b – Interventi – Sezione longitudinale

5.3 Sezione di scavo tipo B2 nelle Formazioni della Scaglia Rossa e nella Scaglia Variegata come concio d'attacco agli Imbocchi

La sezione B2 viene applicata nella Formazione della Scaglia Rossa e della Scaglia Variegata in corrispondenza del concio d'attacco degli Imbocchi.

La sezione è caratterizzata dai seguenti interventi:

- in presenza d'acqua saranno eseguiti n.4 drenaggi con tubi in PVC microfessurati rivestiti da TNT diametro 760 mm, lunghi 27.0 m e sovrapposizione 9.0 m;
- preconsolidamento al contorno delle centine mediante n. 37 infilaggi con tubi metallici in Acciaio S355, del diametro di 114.3 mm e spessore 10.0 mm, iniettati con miscele cementizie, perforazione $\Phi 140$ mm, di lunghezza 15.00 m, 6.00 m di lunghezza di sovrapposizione, campo utile 9.0 m;
- scavo per campi di lunghezza complessiva pari a 9.0 m e sfondi successivi di lunghezza variabile 0.80÷1.20 m, seguito dalla immediata posa in opera del rivestimento di prima fase costituito da spritz-beton fibrorinforzato, armato con fibre metalliche (30 Kg/mc) o plastiche (4 Kg/mc) di spessore pari a 25 cm (5 cm prespritz + 20 cm) e centine 2IPN 180 a passo variabile 0.80÷1.20 m. Sul fronte sarà eseguito uno strato di spritz-beton di spessore pari a 10 cm alla fine di ogni campo di avanzamento;
- posa dell'impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC in corrispondenza delle murette, getto delle stesse e dell'arco rovescio in cemento armato di spessore 90 cm ad una distanza massima dal fronte variabile da 2 a 4 diametri. In funzione della risposta deformativa del cavo evidenziata dal monitoraggio in corso d'opera potranno essere adottate misure più o meno restrittive.
- posa in opera dell'impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC e getto del rivestimento definitivo di spessore variabile da 50 a 110 cm in calotta e a una distanza massima dal fronte variabile da 5 a 7 diametri. Anche tale limite potrà variare in rapporto alle risultanze del monitoraggio in corso d'opera.

5.3.1 VARIABILITÀ DEGLI INTERVENTI

In ragione della peculiarità della sezione tipo B2, si prevede la variabilità per gli interventi di sostegno previsti, in particolare si ha la variabilità del passo delle centine ed eventualmente del numero di dreni (+2).

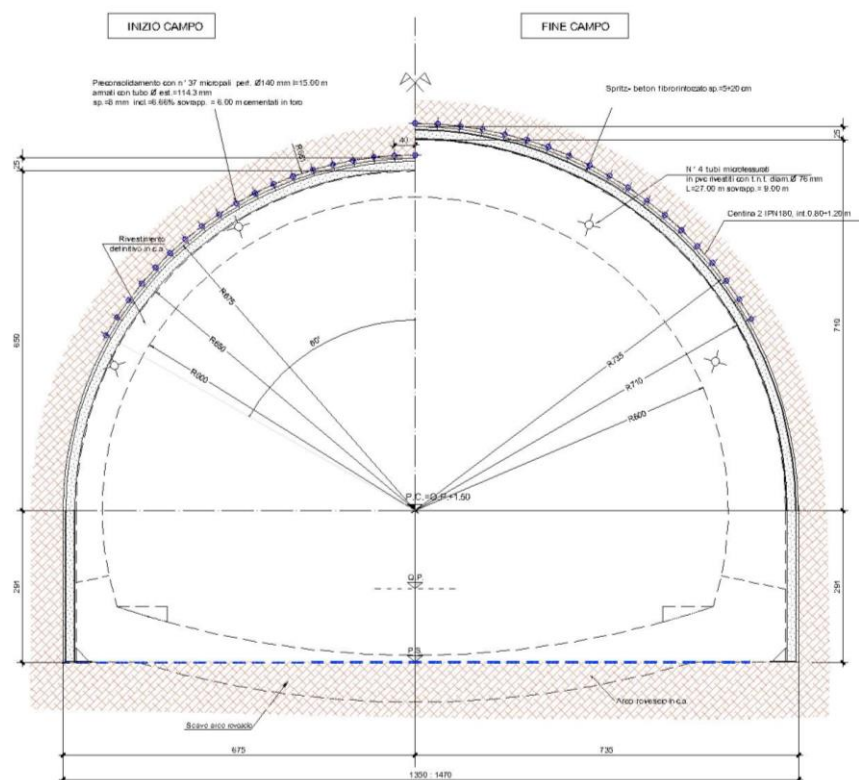


Figura 5.5 – Sezione tipo B2 – Interventi – Sezione trasversale

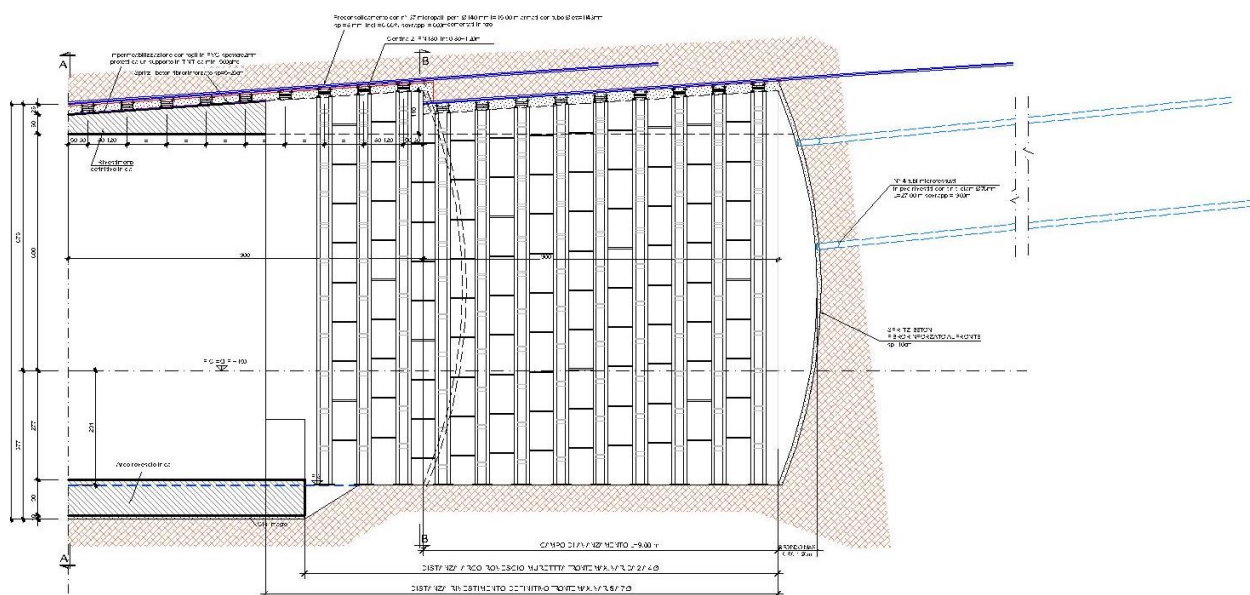


Figura 5.6 – Sezione tipo B2 – Interventi – Sezione longitudinale

5.4 Sezione di scavo tipo B2b nelle Formazioni della Scaglia Rossa e nella Scaglia Variegata in corrispondenza delle faglie

La sezione B2b viene applicata nella Formazione della Scaglia Rossa e della Scaglia Variegata in corrispondenza del concio d'attacco degli Imbocchi.

La sezione è caratterizzata dai seguenti interventi:

- in presenza d'acqua saranno eseguiti n.4 drenaggi con tubi in PVC microfessurati rivestiti da TNT diametro 760 mm, lunghi 27.0 m e sovrapposizione 9.0 m;
- preconsolidamento del fronte di scavo con n. 39 ± 10 tubi in VTR Φ 60/40, cementati in foro con miscele cementizie, perforazione maggiore di 100 mm, lunghezza 18.00 m, sovrapposizione 9.00 m e campo utile 9.0 m;
- preconsolidamento al contorno delle centine mediante n. 37 infilaggi con tubi metallici in Acciaio S355, del diametro di 114.3 mm e spessore 10.0 mm, iniettati con miscele cementizie, perforazione Φ 140 mm, di lunghezza 15.00 m, 6.00 m di lunghezza di sovrapposizione, campo utile 9.0 m;
- scavo per campi di lunghezza complessiva pari a 9.0 m e sfondi successivi di lunghezza variabile $0.80 \div 1.20$ m, seguito dalla immediata posa in opera del rivestimento di prima fase costituito da spritz-beton fibrorinforzato, armato con fibre metalliche (30 Kg/mc) o plastiche (4 Kg/mc) di spessore pari a 25 cm (5 cm prespritz + 20 cm) e centine 2IPN 180 a passo variabile $0.80 \div 1.20$ m. Sul fronte sarà eseguito uno strato di spritz-beton di spessore pari a 10 cm alla fine di ogni campo di avanzamento;
- posa dell'impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC in corrispondenza delle murette, getto delle stesse e dell'arco rovescio in cemento armato di spessore 90 cm ad una distanza massima dal fronte variabile da 2 a 4 diametri. In funzione della risposta deformativa del cavo evidenziata dal monitoraggio in corso d'opera potranno essere adottate misure più o meno restrittive.
- posa in opera dell'impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC e getto del rivestimento definitivo di spessore variabile da 50 a 110 cm in calotta e a una distanza massima dal fronte variabile da 5 a 7 diametri. Anche tale limite potrà variare in rapporto alle risultanze del monitoraggio in corso d'opera.

5.4.1 VARIABILITÀ DEGLI INTERVENTI

In ragione della peculiarità della sezione tipo B2b, si prevede la variabilità per gli interventi di preconsolidamento e sostegno previsti, in particolare si ha la variabilità del passo delle centine, del numero di barre in VTR (± 10) ed eventualmente del numero di dreni (+2).

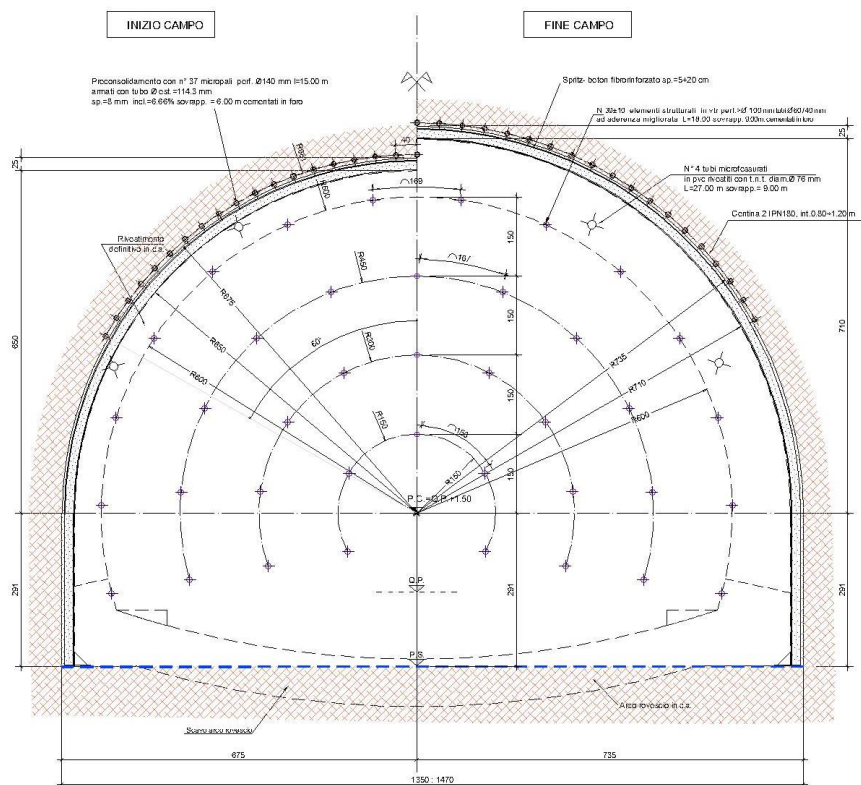


Figura 5.7 – Sezione tipo B2b – Interventi – Sezione trasversale

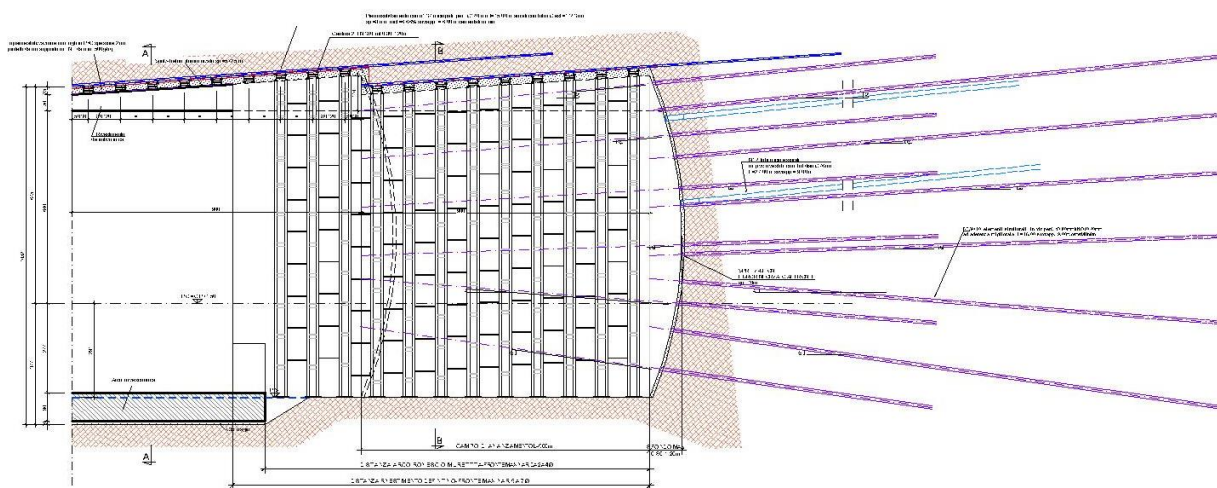


Figura 5.8 – Sezione tipo B2b – Interventi – Sezione longitudinale

6 PROCEDURA PER LA GESTIONE DELLE LINEE GUIDA

Il quadro geologico geotecnico e la previsione del comportamento deformativo del fronte e del cavo permetteranno nel corso degli avanzamenti di disporre di criteri progettuali per l'applicazione delle sezioni tipo e delle relative variabilità degli interventi previsti.

Accanto all'analisi del comportamento deformativo un ruolo fondamentale è rappresentato dalla raccolta dei dati geomeccanici al fronte tramite l'esecuzione sistematica dei rilievi geologici strutturali del fronte di scavo.

L'analisi congiunta dei dati guiderà la scelta in merito alla messa in opera degli interventi di sostegno, presostegno e preconsolidamento.

La galleria risulta suddivisa secondo i seguenti undici tratti:

GALLERIA NATURALE CASTEL SAN FELICE				
SEZIONI DI STUDIO	PK INIZIALE	PK FINALE	LUNGHEZZA (m)	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	

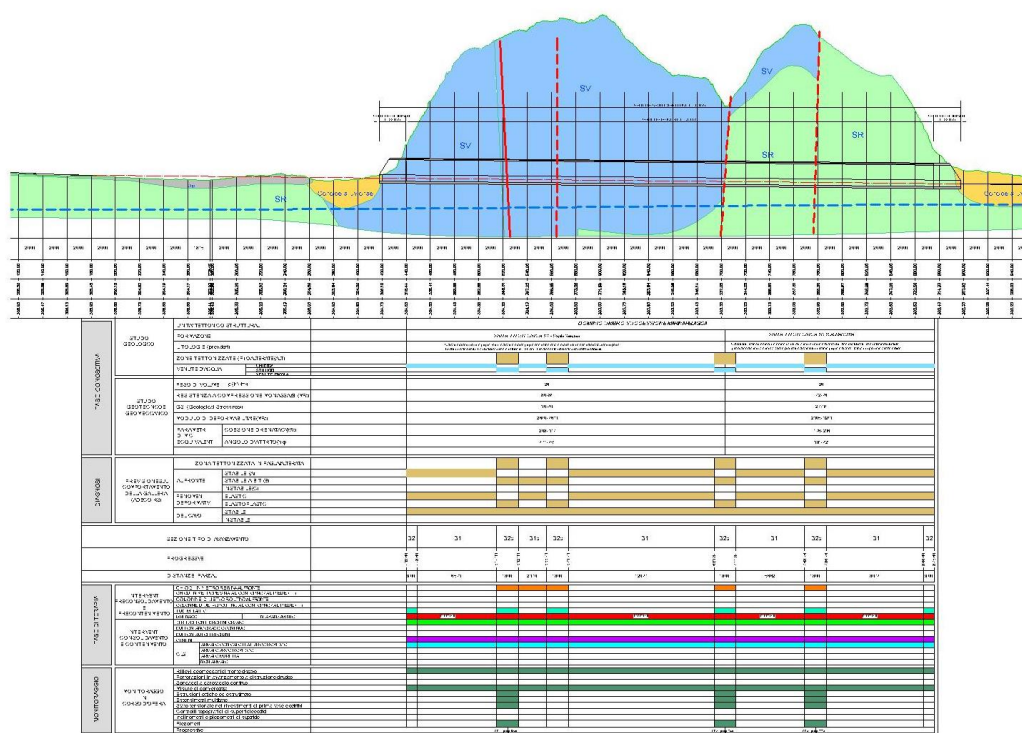


Figura 6.1 – Profilo geologico con interventi

Facendo riferimento alle problematiche evidenziate nella relazione geomeccanica la galleria presenterà quindi le seguenti due Principali Tipologie di Sezioni di scavo:

- Sezione corrente tipo B1 nelle Formazioni della Scaglia Rossa e della Scaglia Variegata e Sezione tipo B1b nel tratto tra le due faglie nella Formazione della Scaglia Variegata;
- Sezione tipo B2 utilizzata solo negli Imbocchi e Sezione tipo B2b in corrispondenza delle faglie sempre nelle Formazioni della Scaglia Rossa e della Scaglia Variegata.

Nella Tabella 6.1 sono inseriti i parametri di caratterizzazione geotecnica delle Formazioni interessate dagli scavi in galleria di riferimento per la progettazione della galleria naturale.

PARAMETRI DI CALCOLO PER LA GALLERIA NATURALE CASTEL SAN FELICE					
FORMAZIONE	γ kN/mc	C' kPa	ϕ	E MPa	ν
SCAGLIA VARIEGATA VALORI DI PICCO	26	317	45.93	4613.62	0.3
SCAGLIA VARIEGATA VALORI RESIDUI	26	208	41.08	2640.57	0.3
SCAGLIA ROSSA VALORI DI PICCO	26	236	42.66	3243.64	0.3
SCAGLIA ROSSA VALORI RESIDUI	26	176	38.68	2305.15	0.3

Tabella 6.1 – Caratterizzazione geotecnica in sede di Progetto Esecutivo di riferimento per la progettazione delle gallerie naturali.

Sarà possibile l'applicazione delle seguenti linee guida con riferimento alle seguenti tre condizioni:

- se i valori di convergenza misurati risultano coerenti con quanto ipotizzato dalle previsioni progettuali si procede con la sezione tipo indicata per la tratta in esame;
- se i valori rilevati risultano maggiori di quelli attesi si procede nell'ambito della variabilità prevista dal progetto per la sezione tipo, sino al raggiungimento della condizione "massima" degli interventi progettuali;
- se anche a seguito di una eventuale modifica della sezione tipo si raggiungono limiti superiori previsti per le deformazioni sarà necessaria una nuova valutazione delle condizioni geomeccaniche e di avanzamento.

Allo scopo di consentire la gestione in corso d'opera delle specifiche di progetto, con particolare riferimento alle fasi esecutive e alla variabilità degli interventi, nelle pagine seguenti viene descritta la procedura che sarà adottata nella fase costruttiva, sede in cui potrà essere eventualmente affinata e definita con maggiore dettaglio. Tale procedura è schematicamente riportata in Figura 6.2.

L'inizio delle operazioni di scavo deve avvenire mediante la sezione tipo prevalente per la tratta di galleria in esame e con gli interventi riportati negli elaborati grafici di progetto, ovvero con i valori medi del range presentato nel presente documento di Linee Guida. Contestualmente saranno avviate le attività previste dal programma di monitoraggio, nel rispetto delle frequenze di misura specificate in dettaglio nel Profilo Geomeccanico e di Monitoraggio.

L'attività di monitoraggio consentirà di raccogliere – in modo pressoché sistematico - informazioni puntuali in merito al contesto geotecnico di scavo (rilievi geomeccanici dei fronti di scavo) e al comportamento deformativo dell'ammasso, in particolare presso il fronte, il cavo e in superficie (misure di estrusione e stazioni di misura della convergenza, rete topografica a piano campagna). Dati integrativi riguarderanno lo stato tensionale del rivestimento di prima fase e definitivo, nonché le eventuali evidenze di perforazioni eseguite in avanzamento, sia a carotaggio continuo con prelievo di campioni e misura delle eventuali pressioni e portate d'acqua, sia a distruzione con misura dei parametri di perforazione (DAC-Test).

La raccolta dei dati sarà coordinata, anche durante le misurazioni in sito, da un addetto alle attività di monitoraggio, presente nella Direzione Lavori. La serie dei dati provenienti dal monitoraggio dovrà essere resa disponibile, anche per via telematica, nel minor tempo possibile (legato alla restituzione della misura, al trasferimento nel Database e alla comunicazione di avvenuto aggiornamento), in modo da garantire la ricezione dei dati da parte dei soggetti coinvolti (Impresa, D.L. ed eventuale progettista in corso d'opera), consentendo di seguire tempestivamente l'evoluzione della risposta tensio-deformativa dell'ammasso allo scavo e di interpretare in tempo reale i fenomeni in atto; tutti i dati saranno raccolti in una banca dati, che rappresenti il più accuratamente possibile l'andamento dei lavori.

Sulla base del quadro complessivo di monitoraggio acquisito, l'Impresa aggiudicatrice dei lavori in sotterraneo redigerà periodicamente un "Rapporto Tecnico" nel quale, in funzione dei contenuti delle presenti Linee Guida e degli elaborati di progetto e in anticipo rispetto all'inizio delle attività al fronte, per ogni campo di scavo identificherà gli interventi che saranno adottati per gli avanzamenti successivi. Anche il suddetto "Rapporto Tecnico" sarà riportato nella banca dati informatica. Le tempistiche di redazione dei "Rapporti Tecnici" potranno essere variate dall'Impresa, in accordo con la Direzione Lavori, in funzione delle reali sequenze di avanzamento.

In particolare, nel "Rapporto Tecnico" sarà data evidenza della gestione dello scavo della galleria secondo i punti di seguito indicati:

- conferma della sezione tipo prevista, mantenendo le fasi esecutive di progetto e gli interventi nel range medio, qualora le condizioni geologiche e geomeccaniche rilevabili al fronte e la risposta deformativa risultino conformi ai valori medi previsti per la sezione tipo indicata lungo il tracciato nella tratta in esame;
- eventuale modifica dell'intensità degli interventi individuati all'interno delle variabilità definite per la sezione tipo adottata (descritti nel presente documento di linee guida) qualora la risposta

deformativa manifesti la tendenza al raggiungimento del limite inferiore o superiore del range previsto in progetto, confermata dall'evidenza dei rilievi geomeccanici;

- passaggio ad una diversa sezione tipo, tra quelle previste in progetto per la tratta in oggetto, qualora le condizioni geomeccaniche osservate risultino sensibilmente differenti da quelle ipotizzate e le deformazioni eccedano i range previsti per la sezione tipo adottata.

L'Impresa esecutrice potrà quindi muoversi tra le ipotesi sopra descritte, dandone preventiva comunicazione, all'interno del "Rapporto Tecnico", alla Direzione Lavori.

Qualora gli adeguamenti e i cambiamenti di sezione eccedessero i limiti superiori previsti per ogni tratta, risultando necessari interventi non contemplati nel progetto, la specifica situazione dovrà essere valutata preventivamente con la Direzione Lavori, al fine di riesaminare le determinazioni progettuali alla luce delle nuove evidenze raccolte in fase costruttiva, in termini di condizioni geomeccaniche e tensio-deformative effettivamente incontrate.

Il riesame progettuale potrà, al limite, coinvolta anche la Stazione Appaltante, evidenziare la necessità di definire una nuova sezione tipo di avanzamento non prevista nel presente Progetto Esecutivo.

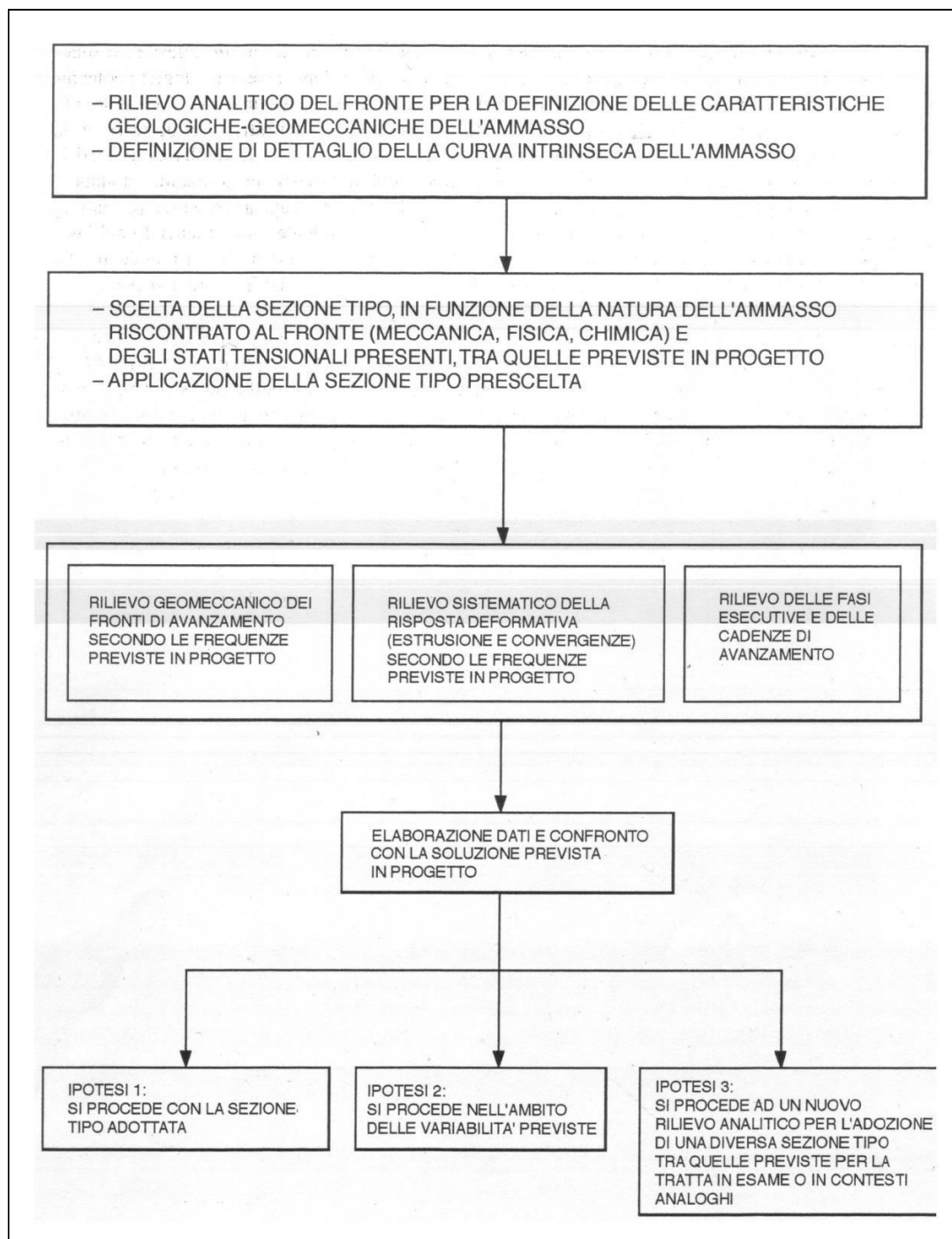


Figura 6.2: Fase operativa e di verifica in corso d'opera.

7 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, le misure di estrusione, di convergenza e di subsidenza si può valutare e ipotizzare il meccanismo di collasso dal 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.

7.1 Misure delle soglie di attenzione e di allarme

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 = $1.3 S_{ATTENZIONE}$

7.2 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)	$\cdot y_{Dis.}$ (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 7.1 – Valori di soglia e di allarme sul priverivestimento					

8 CONDIZIONI DI SOSTA PROLUNGATA E SITUAZIONI DI EMERGENZA

Considerata la natura dello scavo in sotterraneo, le fasi di scavo e la sequenza delle operazioni sono state ipotizzate come ricorrenti senza soluzione di continuità.

Durante le fasi di avanzamento si potrebbero tuttavia manifestare particolari condizioni che conducono all'interruzione, programmata o meno, delle condizioni di scavo in una qualsiasi fase del ciclo produttivo previsto per la Sezione Tipo adottata.

In particolare, qualora le operazioni di scavo vengano interrotte per un periodo prossimo alle 24h sarà necessario sagomare, in terreni non coesivi, il fronte a forma concava e porre in opera uno strato di betoncino fibrorinforzato di spessore di almeno 30 cm.

Se il fermo delle operazioni di avanzamento risultasse maggiore, il ciclo delle lavorazioni dovrà necessariamente terminare con il fronte di scavo consolidato, sagomato a forma concava e ricoperto di uno strato di betoncino fibrorinforzato idoneo alla stabilità e si dovrà procedere al getto contemporaneo dell'arco rovescio e delle murette a ridosso del fronte stesso.

Con riferimento alla gestione di particolari "situazioni di emergenza" durante le fasi di avanzamento, vengono di seguito fornite alcune indicazioni preliminari per la messa in sicurezza degli scavi:

- nel caso di "rilasci parziali" del fronte di scavo, si dovrà interrompere l'avanzamento al fronte applicando uno strato idoneo di betoncino fibrorinforzato e in funzione delle caratteristiche geomeccaniche rilevate procedere a un eventuale intervento aggiuntivo di consolidamento al fronte;
- qualora si verificassero "instabilità globali" del fronte sotto forma di crolli improvvisi e imprevedibili, occorrerà procedere alla messa in sicurezza del fronte mediante la creazione di un muro tampone al piede attraverso blocchi in cls o similari. Si dovrà verificare la necessità di procedere all'intasamento dei vuoti creati al contorno del cavo mediante l'iniezione di miscele cementizie iniettate in doppia fase a bassa e a alta pressione attraverso elementi strutturali in VTR opportunamente valvolati.

In ogni caso, la progettazione di dettaglio degli interventi per la messa in sicurezza del fronte di scavo e per la ripartenza potrà essere condotta solo una volta raccolte le evidenze dell'evento, (geometria della galleria, caratteristiche dell'ammasso e circolazione idrica), la condizione contingente (prerivestimento, distanza getto rivestimento definitivo) e il possibile coinvolgimento di eventuali preesistenze in superficie.