

NODO STRADALE E AUTOSTRADALE DI GENOVA

Adeguamento del sistema

A7 – A10 – A12

PROGETTO DEFINITIVO

GALLERIE NATURALI

CODICE DI SCAVO AI FINI IDROGEOLOGICI

GALLERIE E OPERE IN SOTTERRANEO
REALIZZATE IN TRADIZIONALE

IL RESPONSABILE PROGETTAZIONE
SPECIALISTICA

Ing. Andrea Tanzi
Ord. Ingg. Parma N.1154

RESPONSABILE UFFICIO TUN

IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. Orlando Mazza
Ord. Ingg. Pavia N. 1496

RESPONSABILE AREA DI PROGETTO GENOVA

IL DIRETTORE TECNICO

Ing. Maurizio Torresi
Ord. Ingg. Milano N. 16492

RESPONSABILE DIREZIONE DTP

WBS	RIFERIMENTO ELABORATO														DATA:		REVISIONE					
—	DIRETTORIO					FILE							LUGLIO 2015		n.	data						
	codice		commessa		N.Prog.	unita'	ufficio	n. progressivo			Rev.	—										
—	1	1	0	7	1	2	0	5	S	T	P	T	U	N	0	5	0	1	—	—		
	SCALA:														—							

 	RESPONSABILE PROGETTO GENOVA				ELABORAZIONE GRAFICA A CURA DI :			
	Ing. Orlando Mazza Ord. Ingg. Pavia N. 1496				ELABORAZIONE PROGETTUALE A CURA DI :			
	CONSULENZA A CURA DI :				IL RESPONSABILE UNITA' STP			Ing. Andrea Tanzi O.I. Parma N.1154

VISTO DEL COMMITTENTE			VISTO DEL CONCEDENTE		
					
R.U.P. – Arch. Rossella Degni			Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, GLI AFFARI GENERALI ED IL PERSONALE STRUTTURA DI VIGILANZA SULLE CONCESSIONARIE AUTOSTRADALI		

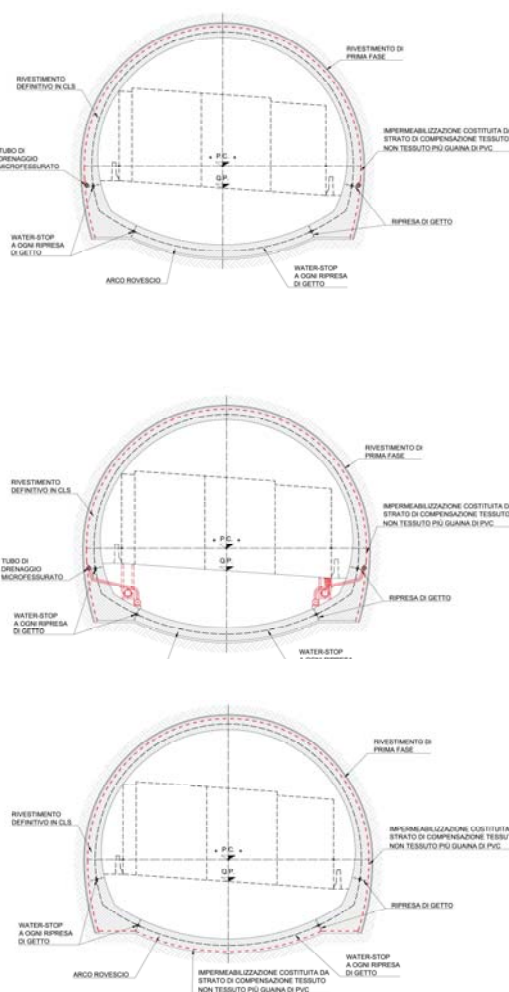
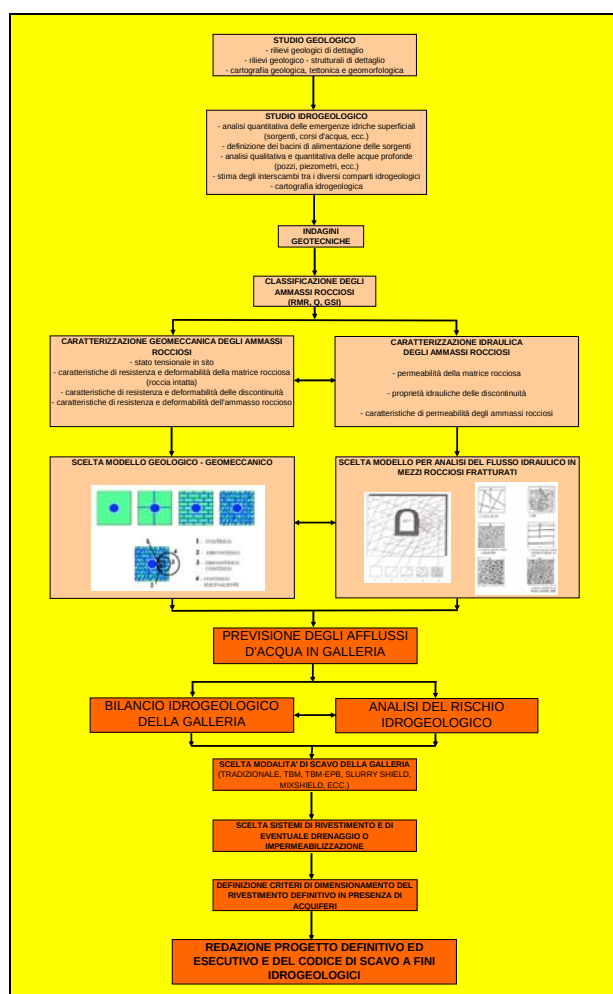
GRONDA DI PONENTE

RIQUALIFICAZIONE A10 E POTENZIAMENTO A7 E A12

GALLERIE ED OPERE IN SOTTERRANEO

REALIZZATE IN TRADIZIONALE

CODICE DI SCAVO A FINI IDROGEOLOGICI



INDICE

1. INTRODUZIONE	4
1.1 Oggetto e scopo	4
1.2 Il codice di scavo a fini idrogeologici	10
1.3 Documenti di riferimento	13
1.3.1 Elaborati progettuali	13
1.3.2 Normativa	16
1.3.3 Bibliografia	16
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO	19
2.1 Inquadramento geologico opere ad Est del torrente Polcevera	19
2.1.1 Argilliti di Montanesi (MTE)	19
2.1.2 Formazione di Ronco (ROC)	20
2.1.3 Formazione del Monte Antola (FAN)	21
2.1.4 Argilliti di Montoggio	21
2.2 Inquadramento geologico opere ad Ovest del torrente Polcevera	22
2.2.1 Calcescisti (CS)	22
2.2.2 Metagabbri (MG) e Metabasiti (MB)	23
2.3 Condizioni idrogeologiche	24
2.3.1 Caratterizzazione idraulica degli ammassi rocciosi	24
2.3.2 Profilo idrogeologico e carico piezometrico agente sul rivestimento definitivo	26
3. TECNOLOGIA ESECUTIVA E RIVESTIMENTO DELLE GALLERIE	31
3.1 Sezioni tipo A	31
3.2 Sezioni tipo B	32
3.3 Sezioni tipo C	34
3.4 Gallerie con scavo parzializzato mediante le due gallerie di piedritto	36
3.5 Cameroni	36
3.6 Rivestimento definitivo e sistema di impermeabilizzazione e drenaggio	40
4. INTERAZIONE FRA LE CONDIZIONI IDROGEOLOGICHE E L'AVANZAMENTO DELLE GALLERIE	45
4.1 Drenaggio operato dallo scavo delle gallerie	45
4.2 Carichi idrostatici agenti sul rivestimento	50

5. SCELTA DELLE SEZIONI TIPO E MONITORAGGIO DURANTE L'AVANZAMENTO DEL FRONTE DI SCAVO	51
5.1 Procedura per la gestione delle sezioni tipo di scavo e avanzamento	51
5.1.1 Fasi esecutive e cadenze di avanzamento	51
5.1.2 Applicazione delle sezioni tipo e delle relative variabilità	51
5.2 Piano di monitoraggio	55
5.2.1 Stazioni di monitoraggio	55
5.2.2 Sondaggi in avanzamento a distruzione di nucleo	58
5.2.3 Rilievi geomeccanici del fronte di scavo	58
5.2.3.1 Rilievi di dettaglio	59
5.2.3.1.1 Modalità esecutive	59
5.2.3.1.2 Documentazione	61
5.2.3.2 Rilievi di tipo speditivo	64
5.2.3.2.1 Modalità esecutive	64
5.2.3.2.2 Documentazione	64
6. CRITERI DI INTERPRETAZIONE DELLE INDAGINI IN CORSO D'OPERA E DEL MONITORAGGIO	65
7. GALLERIA DI SICUREZZA	67
8. CONCLUSIONI	68

1. INTRODUZIONE

1.1 Oggetto e scopo

La presente relazione costituisce il Codice di Scavo a fini idrogeologici delle gallerie naturali e opere in sotterraneo la cui realizzazione è prevista con scavo in tradizionale. Si tratta di 19 gallerie naturali, 14 situate ad Est del torrente Polcevera e 5 ad Ovest del torrente Polcevera (quest'ultime relative all'interconnessione di Voltri), e 8 cameroni situati lungo tali gallerie, in corrispondenza degli innesti fra i diversi rami del tracciato. Le seguenti tabelle 1.1 e 1.2 riepilogano, rispettivamente, le lunghezze delle gallerie naturali oggetto del presente Codice di Scavo e i dati essenziali degli 8 cameroni situati lungo tali gallerie.

Tabella 1.1 – Gallerie naturali la cui realizzazione è prevista in tradizionale.

GALLERIA	LUNGHEZZA (m)
GALLERIE AD EST DEL TORRENTE POLCEVERA	
Monte Sperone	1920.0
Granarolo	3304.0
Forte Begato	1385.9
Moro 1	826.0
Moro 2	769.3
Torbella Est	110.7
Torbella Ovest	349.7
Forte Diamante	2788.7
Bric du Vento	2453.8
Baccan	1509.9
San Rocco	1265.8
Polcevera	463.7
Morego	92.7
Campursone	104.3
GALLERIE AD OVEST DEL TORRENTE POLCEVERA (INTERCONNESSIONE DI VOLTRI)	
Voltri Ovest	203.1
Voltri Est	205.5
Bric del Carmo	825.4
Ciocia	382.6
Delle Grazie	1242.4

Tabella 1.2 – Dati principali degli 8 cameroni situati lungo le gallerie naturali in corrispondenza dei diversi rami di galleria.

(a) Cameroni situati ad Est del torrente Polcevera

Camerone	Lunghezza (m)	Copertura minima (m)	Copertura massima (m)	Larghezza minima (m)	Larghezza massima (m)	Formazione geologica
Camerone 1 (Forte Diamante - Baccan)	210	39	90	23.5	31	Formazione di Ronco
Camerone 2 (Forte Diamante - Torbella Ovest)	172	45	133	23.5	31	Formazione di Ronco
Camerone 3 (Bric du Vento - San Rocco)	111	116	140	18.5	29	Formazione di Ronco
Camerone 4 (Bric du vento - Torbella Est)	92	187	199	18.5	29	Formazione di Ronco
Camerone 5 (Monte Sperone - Forte Begato)	210	95	230	18.5	29	Formazione del Monte Antola
Camerone 6 (Granarolo - Forte Begato)	276	230	271	18.5	25	Formazione di Ronco
Camerone 7 (Granarolo - Moro 2)	91	80	87	18.5	29	Formazione di Ronco

(b) Camerone situato ad Ovest del torrente Polcevera

Camerone	Lunghezza (m)	Copertura minima (m)	Copertura massima (m)	Larghezza minima (m)	Larghezza massima (m)	Formazione geologica
Camerone 8 (Delle Grazie - Ciocia)	70	43	59.25	16.5	31	Calcescisti

Per tali gallerie, la cui realizzazione è prevista in tradizionale, le sezioni tipo stradali adottate sono le seguenti:

- galleria con piattaforma stradale comprendente due corsie della larghezza di 3.75 m e una corsia di emergenza della larghezza di 3 m, che corrisponde ad una superficie di scavo di circa 175 metri quadrati (figura 1.1);
- galleria con piattaforma stradale comprendente tre corsie della larghezza di 3.75 m che corrisponde ad una superficie di scavo di circa 205 metri quadrati (figura 1.2);
- galleria ad una corsia con piattaforma della larghezza di 6 m, con o senza il cunicolo di sicurezza, a seconda delle diverse gallerie (figura 1.3);
- galleria ad una corsia con piattaforma della larghezza di 8 m, con o senza il cunicolo di sicurezza, a seconda delle diverse gallerie (figura 1.4);

Inoltre, in un tratto limitato della galleria Forte Diamante è prevista una galleria a 4 corsie come mostrato nella figura 1.5. Anche la galleria Voltri Est è caratterizzata da dimensioni analoghe a quelle della tratta a 4 corsie della gallerie Forte Diamante, al fine di consentire il passaggio dello scudo della TBM, una volta terminato lo scavo della galleria Amandola, per permettere il successivo scavo della galleria Borgonuovo.

Nell'ambito del tracciato della Gronda di Ponente, della riqualificazione della A10 e del potenziamento della A7 e della A12, inoltre, per alcune gallerie naturali, sono previsti alcuni cameroni necessari alla realizzazione delle diramazioni fra le diverse gallerie (figura 1.6). Tali cameroni, in funzione del tracciato stradale, hanno una lunghezza compresa fra un minimo di 70 m ed un massimo di circa 270 m, con larghezze variabili, lungo lo sviluppo longitudinale, da un minimo di circa 18.5 m (nel caso di gallerie a 3 corsie) o di 23.5 m (nel caso di gallerie a 4 corsie), fino ad un massimo compreso fra 30 e 33 m. Le coperture in corrispondenza dei cameroni sono variabili fra 40 e 270m circa. Sette cameroni sono ubicati nelle gallerie naturali ad est del torrente Polcevera, di cui sei interessano la formazione flyschoidale denominata Formazione di Ronco, comprendente areniti fini, siltiti marnose e argilliti, e uno interessa la Formazione del Monte Antola costituita da torbiditi marnose e marnoso – calcaree. L'ottavo camerone è situato nella interconnessione fra la galleria Delle Grazie e Ciocia nella zona ad ovest del torrente Polcevera in prossimità di Voltri, e lo scavo interessa la Formazione dei calcescisti.

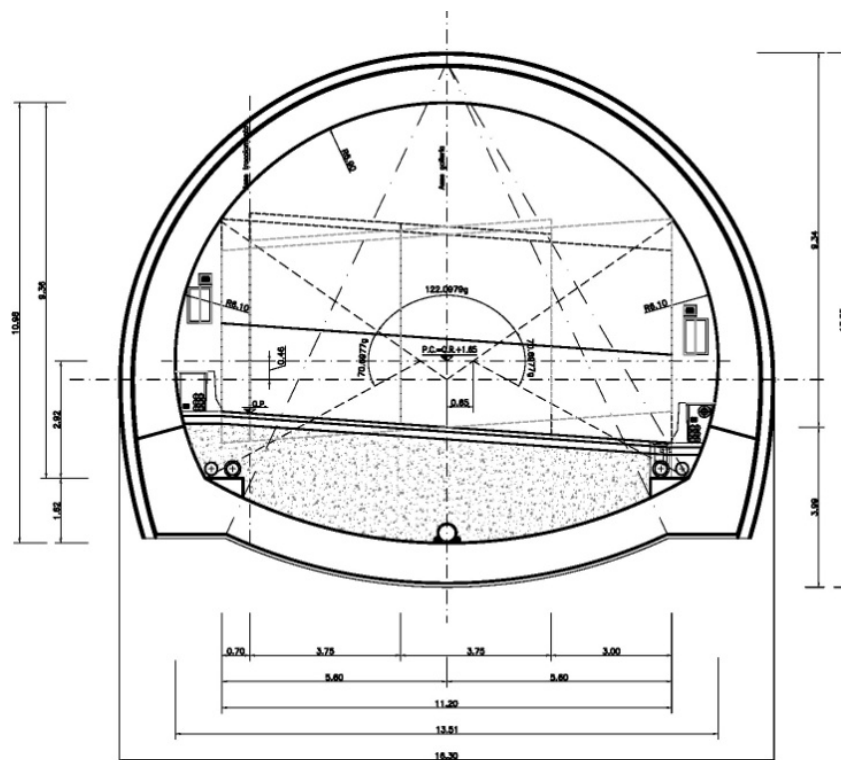


Figura 1.1 – Metodo di scavo tradizionale, galleria a due corsie più emergenza.

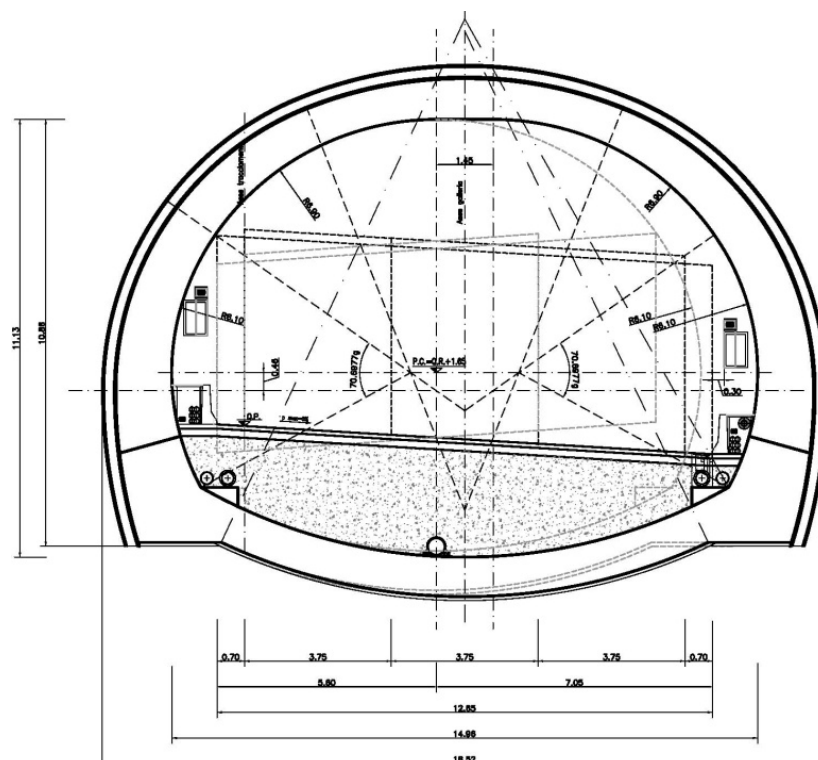


Figura 1.2 – Metodo di scavo tradizionale, galleria a tre corsie.

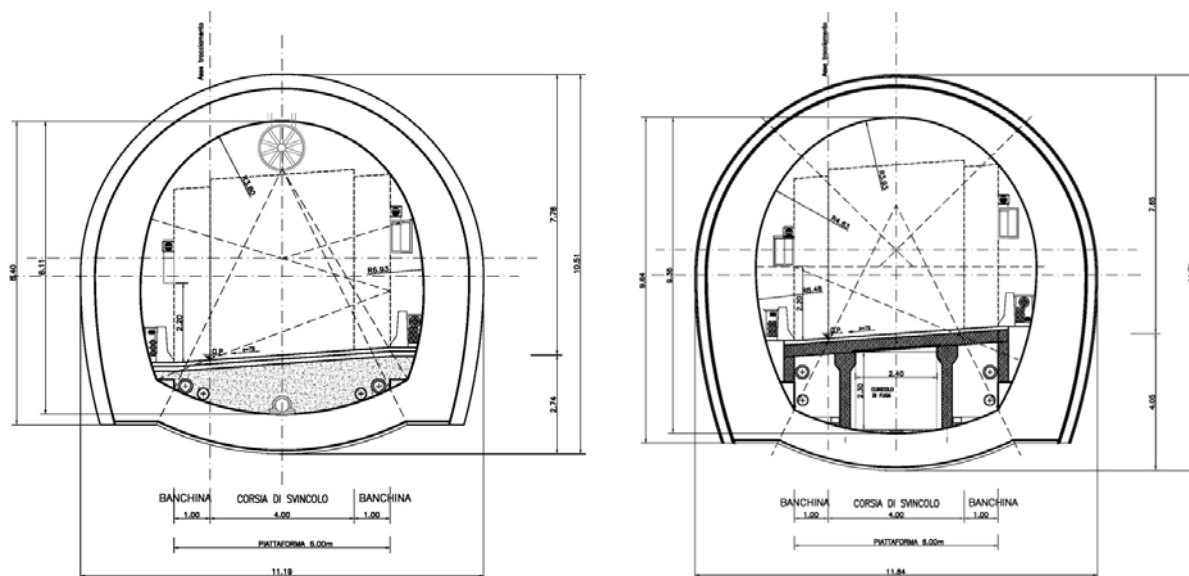


Figura 1.3 – Metodo di scavo tradizionale, galleria a una corsia con piattaforma stradale della larghezza di 6 m con le due differenti soluzioni, per quanto concerne la presenza o meno del cunicolo di sicurezza, a seconda delle diverse gallerie.

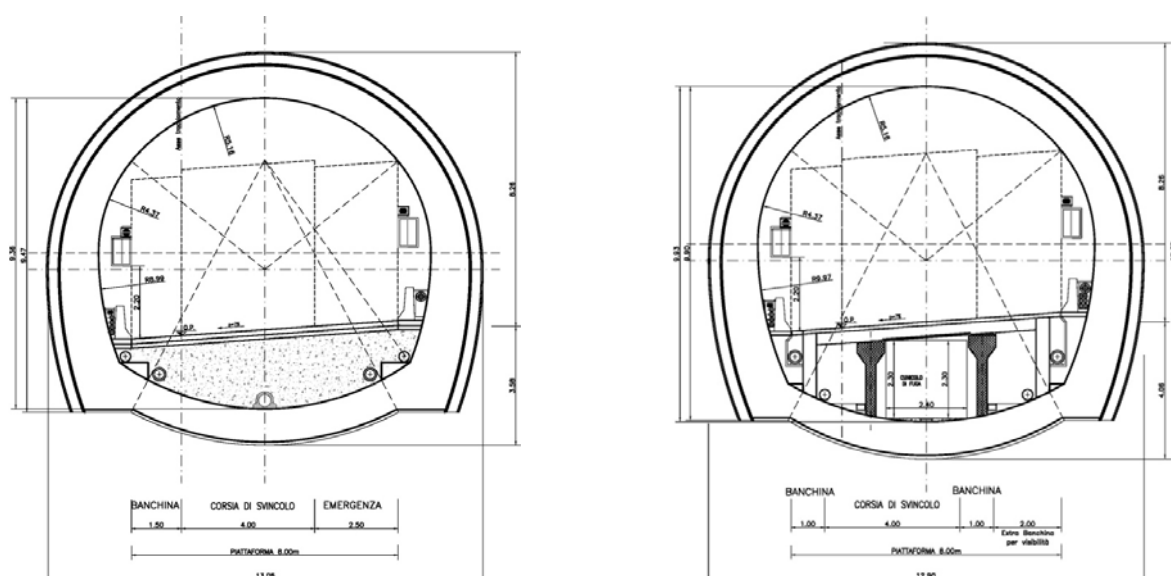


Figura 1.4 – Metodo di scavo tradizionale, galleria a una corsia con piattaforma stradale della larghezza di 8 m con le due differenti soluzioni, per quanto concerne la presenza o meno del cunicolo di sicurezza, a seconda delle diverse gallerie.

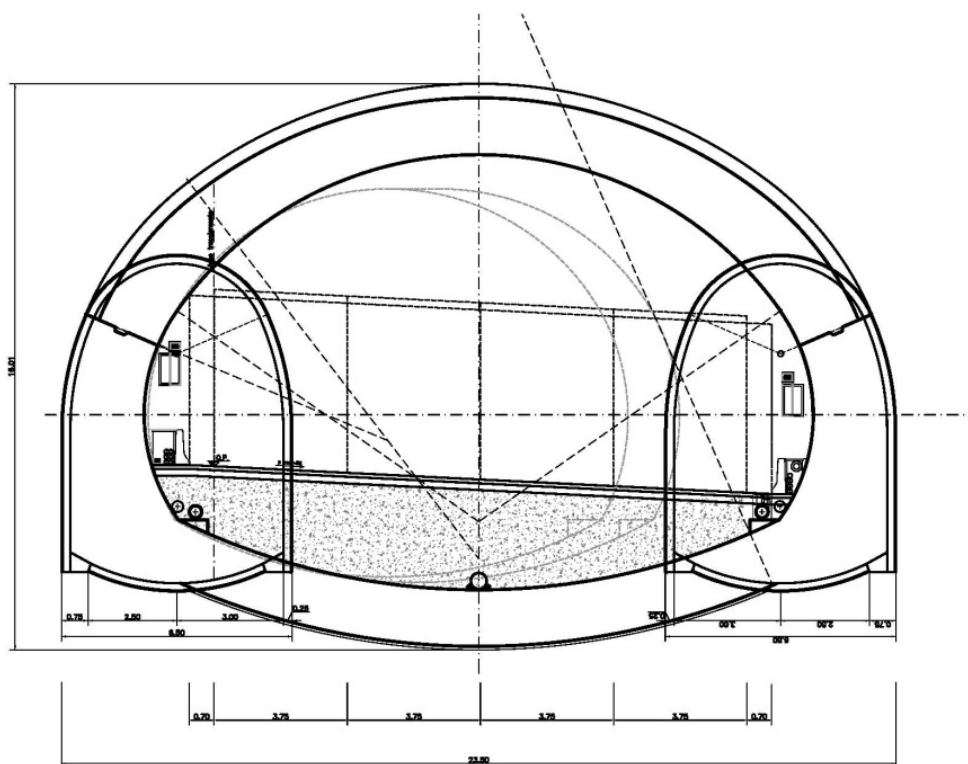


Figura 1.5 – Metodo di scavo tradizionale, galleria a 4 corsie.

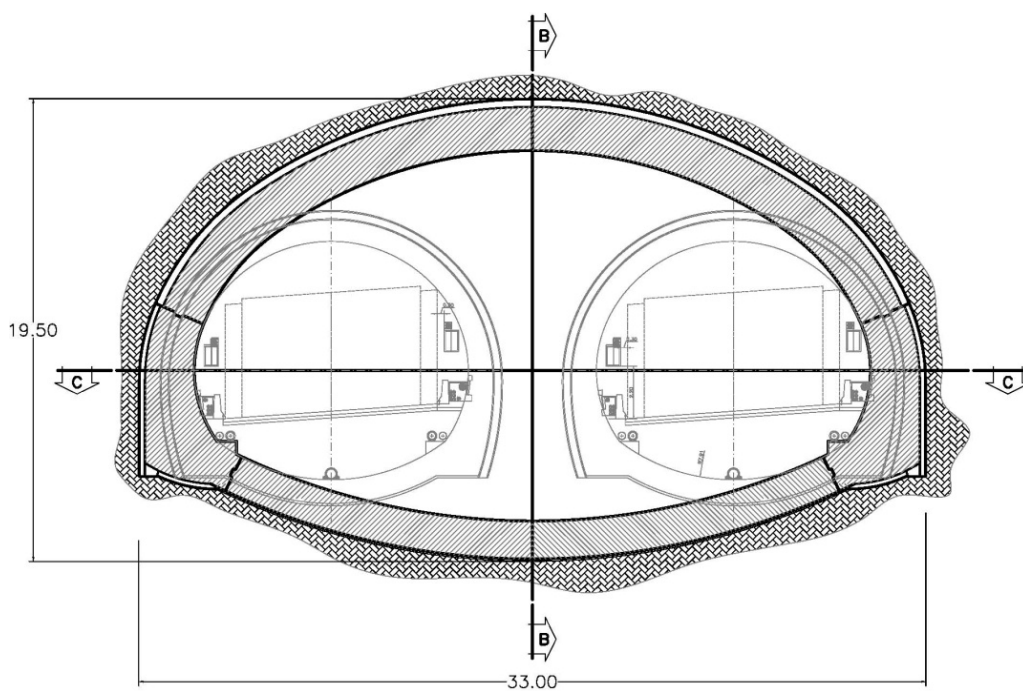


Figura 1.6 – Metodo di scavo tradizionale, sezione di massima larghezza in corrispondenza dei cameroni con indicate le due gallerie correnti di innesto.

1.2 Il codice di scavo a fini idrogeologici

La necessità di predisporre un documento progettuale relativo ad un Codice di esecuzione dei lavori di scavo in galleria, si è manifestata in tutta la sua urgenza negli anni novanta, durante la progettazione e la costruzione delle gallerie per l'attraversamento appenninico tra Bologna e Firenze relative alla nuova linea ferroviaria ad alta velocità/capacità Milano – Roma – Napoli, il cui tracciato di circa 78.5 km di lunghezza si sviluppa per il 90 % in sotterraneo, attraverso formazioni geologiche assai complesse ed eterogenee. Tale codice deve infatti evidenziare tutti i possibili fenomeni di impatto che la realizzazione di gallerie e di opere in sotterraneo in genere può provocare sull'assetto idrogeologico, suggerendo e predisponendo misure efficaci per mitigare i possibili impatti sulle risorse idriche, considerando al tempo stesso la sicurezza dell'opera, le esigenze operative dei cantieri e la sicurezza dei lavoratori.

In tale occasione si istituì infatti un apposito gruppo di lavoro dedicato alle problematiche idrogeologiche, il cui certissimo lavoro di confronto e costante verifica tra le previsioni progettuali e le risultanze di monitoraggio emerse durante il corso degli scavi, sia in galleria sia in superficie, consentì di calibrare i Codici di Scavo già predisposti in sede di progetto esecutivo per ciascuna galleria, aggiornandoli e finalizzandoli alle problematiche idrogeologiche.

Più recentemente, tale lavoro è stato ripreso per la realizzazione delle nuove gallerie autostradali della Variante di Valico dell'autostrada A1, avvalendosi dell'importante contributo degli Enti e delle Autorità, tra cui il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, che hanno fornito il loro parere basato su una vera e propria condivisione dell'impostazione e dei contenuti dei Codici di Scavo.

Il progetto e la costruzione di opere in sotterraneo devono essere finalizzati a ridurre il più possibile i rischi di impatto ambientale dovuti all'abbassamento della superficie di falda (o alla riduzione della pressione dell'acqua nel caso di acquiferi confinati) a seguito dell'azione di drenaggio esercitata dalla galleria durante lo scavo e in esercizio.

A questo scopo, assume un'importanza fondamentale disporre in fase costruttiva di un documento che riepiloghi tutte le fasi progettuali che hanno portato al progetto della galleria e indichi in dettaglio le procedure da adottare per lo scavo e la costruzione dell'opera.

Tale documento, detto "Codice di Scavo", dopo aver descritto il tracciato delle gallerie e le condizioni geologiche e idrogeologiche presenti, si articola secondo i seguenti punti fondamentali:

- (1) esposizione dei risultati dell'analisi del rischio idrogeologico relativo agli scavi;
- (2) previsione dei probabili afflussi d'acqua in galleria nell'eventualità che non siano realizzati specifici interventi di consolidamento ed impermeabilizzazione per ridurre il drenaggio del cavo;
- (3) previsione, sulla base delle probabili portate di acqua drenata dalla galleria, degli impatti sull'ambiente circostante, mediante un vero e proprio bilancio idrogeologico;

- (4) elaborazione, sulla base del bilancio idrogeologico, dei criteri da seguire per la realizzazione di eventuali interventi di impermeabilizzazione in galleria;
- (5) definizione, sulla base dei punti precedenti, delle modalità di scavo e delle sezioni tipo di impermeabilizzazione e drenaggio, con riferimento anche alla gestione delle acque drenate durante lo scavo, all'eventuale impianto di trattamento delle stesse, ai controlli e al tipo di monitoraggio da predisporre e operare all'interno e all'esterno della galleria.

I primi tre punti consentono, una volta noto il quadro idrogeologico di riferimento sulla base delle indagini e dei rilievi condotti (fase conoscitiva), di valutare gli afflussi d'acqua in galleria ed i relativi impatti sull'ambiente circostante in assenza di interventi (fase di diagnosi), mentre i successivi due punti permettono di definire le azioni di impermeabilizzazione o di compensazione da adottare in progetto (fase di terapia) ed i controlli da condurre in corso d'opera (fase di costruzione e di monitoraggio). L'approccio adottato per la predisposizione del presente Codice di Scavo a fini idrogeologici è riepilogato nella seguente figura 1.7.

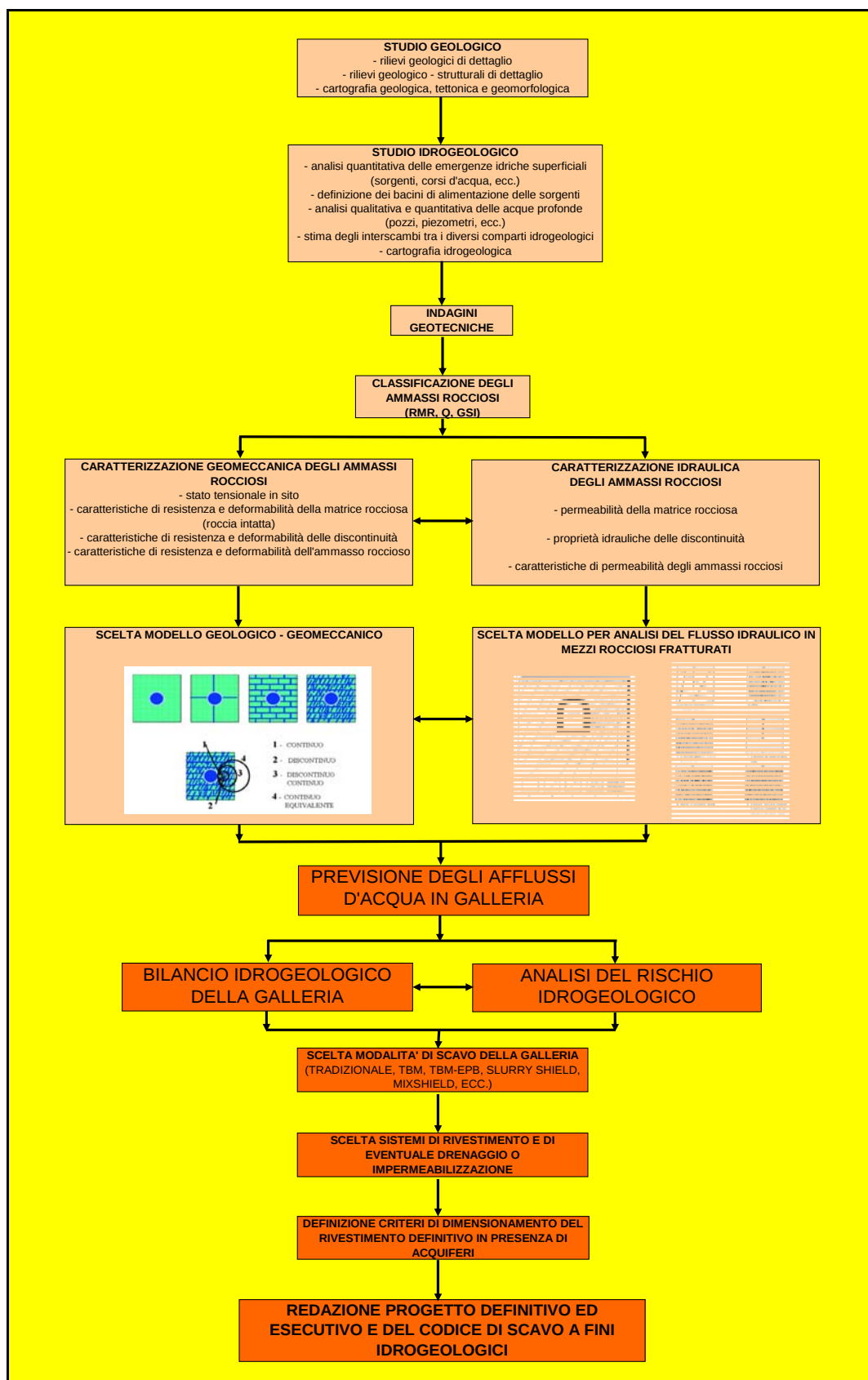


Figura 1.7 – Approccio metodologico adottato per la progettazione e costruzione delle gallerie naturali della Gronda di Ponente di Genova, relativamente alla predisposizione dei Codici di Scavo a fini idrogeologici.

1.3 Documenti di riferimento

1.3.1 Elaborati progettuali

Nelle seguenti tabelle, 1.3÷1.6, sono riepilogati gli elaborati progettuali la cui conoscenza e consultazione è di fondamentale importanza per la piena comprensione del presente documento relativo al Codice di Scavo a fini idrogeologici.

Infatti, gli studi geologici, idrogeologici e geomeccanici hanno portato a definire, per ogni galleria, le soluzioni progettuali più idonee per garantire:

1. l'avanzamento degli scavi in sicurezza, nel pieno rispetto dei tempi e dei costi indicati dal progetto Definitivo;
2. l'adozione di modalità di controllo e di monitoraggio in corso d'opera e di criteri di interpretazione che siano in grado, in accordo anche al metodo osservazionale indicato dall'attuale normativa (paragrafo 6.7 delle NTC 2008), di evitare e/o limitare il più possibile ogni eventuale impatto sugli acquiferi presenti.

Si ricorda, inoltre, l'importanza fondamentale della consultazione del documento **“Linee guida per la progettazione delle gallerie naturali della Gronda di Genova”** (elaborato n. TUN-0001, come mostrato nella seguente tabella 1.6), con particolare riferimento al capitolo 10 sull'analisi degli effetti dello scavo sull'ambiente circostante.

In tale documento viene chiaramente descritto il complesso iter progettuale adottato per la progettazione delle opere in sotterraneo che comprende:

- fase conoscitiva, basata sull'acquisizione, elaborazione e interpretazione di tutte le risultanze delle indagini esperite sul territorio e sui corpi geologici interessati dalla realizzazione delle opere in sotterraneo;
- fase di diagnosi, in cui il progettista sulla base degli elementi raccolti formula previsioni sul comportamento deformativo della galleria (estrusione, preconvergenza e convergenza) in assenza d'interventi di stabilizzazione, per giungere a una suddivisione del tracciato sotterraneo in tratte a comportamento deformativo omogeneo
- fase di terapia in cui il progettista, a seguito delle previsioni fatte in fase di diagnosi sulla qualità, la localizzazione e l'entità dei fenomeni deformativi che potrebbero prodursi durante l'avanzamento degli scavi in galleria, compie le scelte operative necessarie, in termini di sistemi, cadenze, fasi di scavo, strumenti di stabilizzazione e di bilanciamento degli stessi tra il nucleo – fronte e il perimetro del cavo per conseguire la stabilità degli scavi e delle eventuali preesistenze limitrofe, attraverso la formazione dell'effetto arco vicino alle pareti dello scavo e l'industrializzazione delle produzioni, compatibilmente con l'esigenza di operare nel pieno rispetto dell'ambiente, attraverso un'attenta progettazione delle modalità con cui sarà condotto

l'avanzamento ed eseguita la messa in opera degli eventuali interventi di stabilizzazione e di consolidamento.

Tabella 1.3 – Progetto Definitivo, elaborati di riferimento per la geologia.

Codice dell'elaborato	Rev.	Titolo dell'elaborato
GEOLOGIA		
GEO 001		Relazione geologica e idrogeologica generale
GEO 002		Carta geologica - Tavola 1
GEO 003		Carta geologica - Tavola 2
GEO 004		Carta geologica - Tavola 3
GEO 005	1	Carta geologica - Tavola 4
GEO 006		Carta geologica - Tavola 5
GEO 007		Carta geologica - Tavola 6
GEO 008		Carta geologica - Tavola 7
GEO 009		Carta geologica - Tavola 8
GEO 010		Profilo geologico - Gronda di Ponente - Tavola 1
GEO 011		Profilo geologico - Gronda di Ponente - Tavola 2
GEO 012		Profili geologici - Interconnessione di Vesima
GEO 013		Profili geologici - Interconnessione di Voltri
GEO 014		Profilo geologico - Potenziamento A7
GEO 015		Profilo geologico - Potenziamento A12
GEO 016		Profili geologici - Interconnessione di Bolzaneto
GEO 017		Profili geologici - Interconnessione A7-A12
GEO 018		Profili geologici - Interconnessione Genova Est
GEO 019		Profili geologici - Interconnessione Genova Ovst
GEO 036		Planimetria di ubicazione delle indagini - Tavola 1
GEO 037		Planimetria di ubicazione delle indagini - Tavola 2
GEO 038		Planimetria di ubicazione delle indagini - Tavola 3
GEO 039	1	Planimetria di ubicazione delle indagini - Tavola 4
GEO 040		Planimetria di ubicazione delle indagini - Tavola 5
GEO 041		Planimetria di ubicazione delle indagini - Tavola 6
GEO 042		Planimetria di ubicazione delle indagini - Tavola 7
GEO 043		Planimetria di ubicazione delle indagini - Tavola 8
GEO 044		Planimetria di ubicazione delle indagini e sezione interpretativa - Canale di calma

Tabella 1.4 – Progetto Definitivo, elaborati di riferimento per l'idrogeologia.

Codice dell'elaborato	Rev.	Titolo dell'elaborato
IDROGEOLOGIA		
GEO 150		Carta dei complessi idrogeologici - Tavola 1
GEO 151		Carta dei complessi idrogeologici - Tavola 2
GEO 152		Carta dei complessi idrogeologici - Tavola 3
GEO 153	1	Carta dei complessi idrogeologici - Tavola 4
GEO 154		Carta dei complessi idrogeologici - Tavola 5
GEO 155		Carta dei complessi idrogeologici - Tavola 6
GEO 156		Carta dei complessi idrogeologici - Tavola 7
GEO 157		Carta dei complessi idrogeologici - Tavola 8
GEO 158		Profilo idrogeologico - Gronda di Ponente - Tavola 1
GEO 159		Profilo idrogeologico - Gronda di Ponente - Tavola 2
GEO 160		Profilo idrogeologico - Potenziamento A7
GEO 161		Profilo idrogeologico - Potenziamento A12

Tabella 1.5 – Progetto Definitivo, elaborati di riferimento per l'idrologia sotterranea.

Codice dell'elaborato	Rev.	Titolo dell'elaborato
		IDROLOGIA SOTTERRANEA
IDR 0301	2	Relazione
IDR 0302	2	Censimento bibliografico dei punti d'acqua - Planimetria
IDR 0303	2	Censimento e caratterizzazione diretta dei punti d'acqua - Planimetria
IDR 0304	2	Portate di magra delle sorgenti censite - Planimetria
IDR 0305	2	Indice di probabilità relativa di interferenza per le sorgenti censite - Planimetria
IDR 0306	2	Utilizzo e valore strategico delle sorgenti e dei pozzi censiti - Planimetria
IDR 0307	2	Indice di rischio per le sorgenti e i pozzi censiti ($R = H \times V$) - Planimetria
IDR 0309	1	Profilo idrogeologico longitudinale settore Ovest torrente Polcevera
IDR 0310	1	Profilo idrogeologico longitudinale settore Est torrente Polcevera - Tav.1
IDR 0311	1	Profilo idrogeologico longitudinale settore Est torrente Polcevera - Tav.2

Tabella 1.6 – Progetto Definitivo, elaborati di riferimento per le gallerie naturali ad ovest del torrente Polcevera.

Codice dell'elaborato	Rev.	Titolo dell'elaborato
		GALLERIE NATURALI
		Elaborati generali
TUN 0001		Linee guida per la progettazione delle gallerie naturali della Gronda di Genova
TUN 0002		Relazione tecnica generale sulle gallerie
TUN 0003		Relazione geomeccanica gallerie naturali ad est del torrente Polcevera (formazioni appenniniche)
TUN 0005		Relazione di calcolo gallerie autostradali realizzate in tradizionale
TUN 0006		Relazione di calcolo dei cameroni
TUN 0008		Relazione sul monitoraggio delle gallerie naturali
TUN 0009		Gallerie realizzate in tradizionale - Monitoraggio in corso d'opera ed in esercizio
		Profili geomeccanici e di monitoraggio
TUN 0102		Galleria Voltri Ovest e Voltri Est - Profilo geomeccanico e di monitoraggio
TUN 0103		Galleria Bric del Carmo - Profilo geomeccanico e di monitoraggio
TUN 0104		Galleria Delle Grazie - Profilo geomeccanico e di monitoraggio
TUN 0105		Galleria Ciocia - Profilo geomeccanico e di monitoraggio
TUN 0112	1	Galleria Baccan - Profilo geomeccanico e di monitoraggio
TUN 0113		Galleria Polcevera - Profilo geomeccanico e di monitoraggio
TUN 0114		Galleria San Rocco - Profilo geomeccanico e di monitoraggio
TUN 0115		Galleria Morego - Profilo geomeccanico e di monitoraggio
TUN 0116	1	Galleria Forte Diamante - Profilo geomeccanico e di monitoraggio (Tav. 1/2)
TUN 0117	1	Galleria Forte Diamante - Profilo geomeccanico e di monitoraggio (Tav. 2/2)
TUN 0118	1	Galleria Bric du Vento - Profilo geomeccanico e di monitoraggio (Tav. 1/2)
TUN 0119	1	Galleria Bric du Vento - Profilo geomeccanico e di monitoraggio (Tav. 2/2)
TUN 0120	1	Galleria Torbella Est ed Ovest - Profilo geomeccanico e di monitoraggio
TUN 0121		Galleria Forte Begato - Profilo geomeccanico e di monitoraggio
TUN 0122	1	Galleria Monte Sperone - Profilo geomeccanico e di monitoraggio
TUN 0123		Galleria Campursone - Profilo geomeccanico e di monitoraggio
TUN 0124	1	Galleria Granarolo - Profilo geomeccanico e di monitoraggio (Tav. 1/2)
TUN 0125	1	Galleria Granarolo - Profilo geomeccanico e di monitoraggio (Tav. 2/2)
TUN 0126		Galleria Moro 1 - Profilo geomeccanico e di monitoraggio
TUN 0127		Galleria Moro 2 - Profilo geomeccanico e di monitoraggio

1.3.2 Normativa

- Decreto Ministeriale 14 Gennaio 2008. “Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni”. G.U. 4 Febbraio 2008.
- Circolare 2 febbraio 2009 n. 617 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici “Istruzioni per l’applicazione delle “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni” di cui al decreto ministeriale 14 Gennaio 2008 G.U. 26 febbraio 2009.
- Decreto Ministeriale 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”. G.U. n. 127 del 1° Giugno 1988.
- UNI EN 1997-1:2005 – Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: regole generali

1.3.3 Bibliografia

- Bear J (1972). Dynamics of Fluids in Porous Media. Elsevier, New York.
- Carlsson, A., Olsson, T. (1992). The analysis of fractures, stress and water flow for rock engineering projects. Comprehensive Rock Engineering, 2:17. Pergamon Press.
- Cesano D., Olofsson B., Bagtzoglou (2000). Parameters regulating ground – water inflows into hard rock tunnels-a statistical study of the Dolmen tunnel in southern Sweden. Tunnelling and underground Space Technology, V. 15/2, p. 153-165.
- Civita M, De Maio M, Fiorucci A, Pizzo S, Vigna B (2002). Le opere in sotterraneo e il rapporto con l’ambiente: problematiche idrogeologiche. Meccanica e Ingegneria delle Rocce, Torino.
- Cravero, M. Fidelibus C., Cammarata G. (2002). Caratterizzazione idraulica degli ammassi rocciosi. Meccanica e Ingegneria delle Rocce, Torino.
- Daw G.P., Scott R.A. (1983). Hydrological testing for deep shafts and tunnels. Int. Symp. Soil and Rock Investigations by in Situ Testing, 1, 391-396, Paris.
- Dematteis A, Kalamaras G, Eusebio A (2001). A systems approach for evaluating springs drawdown due to tunnelling. World Tunnel Congress AITES-ITA 2001 1:257–264.
- Fidelibus C., Barla G., Cravero M. (1994). Approccio metodologico all’analisi del flusso idraulico in mezzi rocciosi fratturati (Parte I e II). Consiglio Nazionale delle Ricerche, Convegno sul tema “Il ruolo dei fluidi nei problemi di ingegneria geotecnica”. Mondovì (Cuneo), 6-7 settembre 1994.
- Fidelibus C. (1996). Un metodo numerico per la previsione del regime di flusso idraulico in ammassi rocciosi con discontinuità. Tesi di Dottorato, Politecnico di Torino, Italia.
- Franciss F. O. (1994). Weak Rock Tunnelling. Balkema.

- Gale, J.E. and Raven, K. G. (1980). Effects of sample size on the stress – permeability relationship for natural fractures. Swedish-American Cooperative Program on Radioactive Waste Storage in Mines Caverns in Crystalline Rocks, SAC-48.
- Harrison J. P. (2002). Discontinuum characterisation and modelling of groundwater flow. IX Ciclo di Conferenze di Meccanica e Ingegneria delle Rocce, Novembre 2002.
- Heuer, R.E. (1995). Estimating rock-tunnel water inflow. Proceeding of the Rapid Excavation and Tunneling Conference, June 18-21, 1995.41.
- Indraratna B., Ranjith P. (2001). Hydromechanical Aspects and Unsaturated Flow in Jointed Rock. A. A. Balkema Publishers.
- ISRM (1988). List of computer programs in rock mechanics. Int. J. Rock Mech. Min. Sci.Geomech. Abstr., 25(4): 183-252.
- Lee CH, Farmer I (1993). Fluid flow in discontinuous rocks. Chapman & Hall, New York.
- Long, J.C.S. e Witherspoon P.A. (1985). The relationship of the degree of interconnectivity to permeability of fracture networks. J. Geophysical Res., 90(B4): 3087-3098.
- Lunardi P. (2006). Progetto e costruzione di gallerie. Analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli (ADECO-RS). Hoepli.
- Ribacchi R., Graziani A., Boldini D. (2002). Le opere in sotterraneo e il rapporto con l’ambiente. IX Ciclo di Conferenze di Meccanica e Ingegneria delle Rocce. Torino 26-27 novembre.
- Scesi L. (1993). Circolazione idrica in ammassi rocciosi cristallini e opere in sotterraneo. Le Strade marzo-aprile.
- Scesi L, Papini M, Gattinoni P (2006). Geologia Applicata. Il rilevamento geologico-tecnico. Casa Editrice Ambrosiana, Milano
- Scesi L. Saibene L. (1989). Verifica sperimentale della validità del rilevamento geologico strutturale per fini applicativi. Le Strade – anno XCI, n.1262, Casa Editrice La Fiaccola (Milano).
- Snow D.T. (1969b). The frequency and apertures of fractured rock. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Vol. 6(4): 23-40.
- Snow D.T. (1970). The frequency and apertures of fractured rock” – Int. J. Rock Mech. Min. Sci. n.7.
- Tanzini M. (2006). Gallerie: Aspetti geotecnici nella progettazione e costruzione, Seconda Edizione, Casa Editrice Dario Flaccovio.
- Tanzini M., M. Gatti (2013). Il codice di scavo a fini idrogeologici. Gallerie e Grandi Opere Sotterranee, n. 106.
- Vincenzi V., Piccinini L., Gargini A., Sapigni M. (2010). Parametric and numerical modelling tools to forecast hydrogeological impacts of a tunnel. Acqua mundi.

- Wittke, W. (2007). Stability analysis and design for mechanized tunnelling. Geotechnical Engineering in Research and Practice, Publication WBI-PRINT 6, Aachen.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

Nel presente capitolo si riporta l'inquadramento geologico e idrogeologico dell'area interessata dallo scavo delle seguenti opere in sotterraneo:

- 14 gallerie naturali (Campursone, Monte Sperone, Granarolo, Forte Begato, Torbella Est, Torbella Ovest, Forte Diamante, Bric du Vento, Baccan, San Rocco, Polcevera, Moro 1, Moro 2 e Morengo) e 7 cameroni situati ad Est del torrente Polcevera.
- 5 gallerie naturali realizzate in tradizionale in corrispondenza della interconnessione di Voltri (gallerie Voltri Ovest, Voltri Est, Bric del Carmo, Ciocia e Delle Grazie) con il camerone n. 8 situato in corrispondenza della diramazione della galleria Delle Grazie dalla galleria Ciocia, situate ad Ovest del torrente Polcevera.

2.1 Inquadramento geologico opere ad Est del torrente Polcevera

A livello stratigrafico sono interessate dallo scavo delle gallerie in tradizionale le seguenti unità e formazioni appartenenti al dominio appenninico:

- Unità tettonica Montanesi, con al suo interno la formazione delle Argilliti di Montanesi (MTE);
- Unità tettonica Ronco, con al suo interno la formazione di Ronco (ROC) e le brecce;
- Unità tettonica Antola, con al suo interno la Formazione del Monte Antola (FAN) e le argilliti di Montoggio.

2.1.1 Argilliti di Montanesi (MTE)

La formazione è descritta come *“Argilliti emipelagiche e argilliti siltose nere, solo raramente policrome, con intercalazioni di arenarie quarzose fini, in strati da centimetrici a pluridecimetrici”*.

Nel dettaglio, sono presenti argilliti e argilliti siltose fittamente laminate, di colore da grigio nerastro a nero, solo raramente policrome, nocciola in alterazione, con superfici di laminazione planari da lisce a molto lisce, leggermente alterate con patine argillose, localmente riempite, con sporadiche intercalazioni di arenarie quarzose fini laminate, grigie, nocciola in alterazione, in straterelli da millimetrici a decimetrici. Il rapporto arenaria/pelite è mediamente pari a 1:10. Sono presenti numerose vene di quarzo di spessore centimetrico.

Le superfici di laminazione risultano lisce, con ossidazione superficiale e sviluppo di patine limoso - argillose. La stratificazione raramente appare poco disturbata, e dove questo si verifica le giaciture sono vergenti mediamente verso E. Localmente si osserva una pseudo stratificazione indotta da pieghe isoclinali strizzate a piccolo raggio con interruzione della continuità degli strati arenacei, sempre con immersione verso i quadranti orientali e vergenza mediamente verso W; tali strutture potrebbero essere indotte da fenomeni di trascinamento legati a piani di thrust subparalleli alla stratificazione. La

foliazione suddivide l'ammasso in lithon di aspetto scaglioso, che sono interessati da fenomeni di pedogenesi fino a 5-6 m di profondità.

2.1.2 Formazione di Ronco (ROC)

La descrizione riporta *“Torbiditi costituite da areniti fini, siltiti marnose e argilliti, in strati da centimetrici a decimetrici. Stratificazione piano-parallela”*.

Si tratta di torbiditi costituite da areniti fini grigiastre, a laminazione piano-parallela, localmente convoluta, siltiti marnose e argilliti, in strati da centimetrici a decimetrici con interstrati siltitici di spessore da millimetrico a centimetrico. Verso il tetto sono presenti strati di 70-80 cm di spessore. La stratificazione è sempre piano-parallela a scala dell'affioramento.

L'unità non presenta tracce significative di metamorfismo, ed il contenuto paleontologico è limitato a nannoplancton calcareo mal conservato, con indizi di età compresa tra il Santoniano superiore e il Campaniano inferiore. A causa delle estese coperture, la Formazione di Ronco affiora diffusamente ma per piccole estensioni. I disturbi sono maggiori nella porzione medio-bassa dell'unità, dove il rapporto tra gli strati arenitici e le intercalazioni pelitiche può oscillare tra 1:1 ed 1:2. Nella parte medio-alta della formazione, caratterizzata da strati decisamente più massicci con interstrati pelitici sottili, o da sequenze di strati decimetrici con interstrati pelitici sottili, i disturbi sono meno evidenti e la clastesi è concentrata in fasce più ristrette. In questa unità non sono state osservate sorgenti significative o particolari evidenze relative alla presenza di acqua nell'ammasso.

All'interno sono presenti orizzonti brecciati, descritti come *“Breccia ad elementi arenitici e siltitici spigolosi, prevalente matrice argillitica fittamente laminate”*

Alcuni sondaggi effettuati lungo il tracciato presentano orizzonti di brecce a clasti da spigolosi a subarrotondati immersi in matrice pelitico-argillitica con strutture fluidali. Talora i clasti sono intrabacinali, quindi tali brecce potrebbero derivare da depositi di debris-flow tettonizzati; più frequentemente tra i clasti compaiono arenarie litificate, che hanno subito clastesi e ricristallizzazione di quarzo prima del coinvolgimento nella breccia. Di conseguenza sono da considerarsi brecce puramente tettoniche. Tali brecce delineano orizzonti tettonizzati di cui non si rilevano tracce in superficie; dove nel profilo sono stati indicati gli spessori maggiori si ha in realtà una fitta successione di pacchi di brecce alternati a pacchi di strati arenacei non tettonizzati; inoltre gli spessori evidenziati risentono dell'inclinazione elevata degli orizzonti. Molti di questi orizzonti potrebbero quindi essere legati a livelli tettonizzati coinvolti nella deformazione plicativa. La predicibilità in profondità risulta perciò fortemente aleatoria, in quanto i dati geometrici disponibili sono ben lontani dal consentire un quadro interpretativo univoco con sufficienti punti fissi.

2.1.3 Formazione del Monte Antola (FAN)

La descrizione geologica riporta *“Torbiditi calcareo-marnose, talvolta siltose, in strati di spessore fino a metrico di calcareniti, marne e marne calcaree, alternate ad argilliti emipelagiche in strati centimetrici”*.

Il materiale si presenta come sequenza di torbiditi carbonatiche, in prevalenza calcareo-marnose, talvolta siltose, con orizzonti fini prevalentemente marnosi: calcareniti e calcareniti marnose grigio chiare, biancastre in alterazione, marne e marne calcaree in strati planari, da decimetrici fino a plurimetrici, intercalati da strati marnosi e siltitici, ed in misura minore argillitici, in strati centimetrici fino a decimetrici. Il rapporto calcareniti/siltiti è pari a circa 13:1.

Negli orizzonti calcareo-marnosi più massivi il disturbo tettonico rende di difficile lettura la stratificazione, usualmente ben evidente. Il comportamento rigido degli orizzonti calcarei è manifesto nelle aree di cerniera, dove sono frequenti fratture radiali, quasi sempre suture da calcite. Gli orizzonti calcarei basali immediatamente soprastanti alla Formazione delle Argilliti di Montoggio, con spessore metrico, sono estremamente competenti: mostrano normalmente buon rilievo morfologico (es. tra Fregoso e Begato, alta Val Torbella) poiché le pareti sono ringiovanite da crolli a blocchi, innescati dalla presenza di un substrato tendenzialmente plastico (Argillite di Montoggio). Le falde di detrito generate in queste condizioni in presenza di paleotopografia favorevole possono superare lo spessore verticale di 25 m. Dove non direttamente interessati da disturbi tettonici gli ammassi rocciosi si presentano in buone condizioni.

La parte bassa della formazione è localmente sede di risorgenze diffuse, quasi sempre sepolte entro il detrito di falda; risorgenze effimere sono presenti anche in concomitanza di faglie a basso angolo: le faglie inverse in unità di questo tipo costituiscono normalmente acquicludi che sorreggono piccole falde temporanee; tuttavia la fratturazione fragile in regime distensivo, legata alle fasi neotettoniche soprattutto verso costa, determina l'impossibilità che queste falde temporanee possano dare sorgenti di carattere più continuo.

2.1.4 Argilliti di Montoggio

La descrizione riporta *“Argilliti di colore nero e verdastro, in strati da centimetrici a decimetrici. Il tetto della formazione è caratterizzato da strati policromi, spesso rossastri”*.

Nel dettaglio, sono presenti argilloscisti da grigio argenteo a grigio nerastro, privi di carbonati, in strati da centimetrici a decimetrici, con intercalazioni di arenarie fini e arenarie fini calcaree torbiditiche, in strati planari da centimetrici a decimetrici, talora debolmente rinsaldati; al tetto sono dominanti orizzonti di argilliti policrome laminate.

Questa unità è presente in modo discontinuo ma diffuso alla base della Formazione di Antola, poiché costituisce corpi lenticolari rimasti legati all'hanging wall del sovrascorrimento della Formazione di Antola sulle unità sottostanti.

2.2 Inquadramento geologico opere ad Ovest del torrente Polcevera

A livello stratigrafico sono interessate dallo scavo delle gallerie in tradizionale le seguenti formazioni appartenenti al gruppo di Voltri:

- Calcescisti (CS);
- Metagabbri (MG) e Metabasiti (MB).

2.2.1 Calcescisti (CS)

Con questo termine si indicano metasedimenti di varia composizione, in particolare si riconosce una alternanza di calcescisti carbonatici e di scisti quarzoso micacei.

Sono descritti come *“Alternanza di calcescisti carbonatici e scisti quarzoso micacei. Scistosità marcata, legata a diverse generazioni di deformazioni. Grado di alterazione talora intenso che a luoghi genera spesse coltri di disfacimento. Fenomeni di trasposizione hanno determinato localmente la presenza di bande di metabasiti di spessore decimetrico”*.

I calcescisti sono maggiormente rappresentati nelle valli del Torrente Cerusa e del Torrente Leira, mentre i micascisti si trovano prevalentemente nell'estremità occidentale dell'area (Val Vesima) ed in quella centrale (Rio Molinasse). Sono caratterizzati da una scistosità marcata, legata a diverse generazioni di deformazioni. La foliazione principale riportata in carta, definita da minerali in facies scisti verdi, ha allineato, oltre alla superficie litologica originaria, anche altre superfici tettoniche che non risultano più differenziabili. La foliazione principale risulta piegata più o meno blandamente dalle successive fasi deformative.

I calcescisti sono talvolta associati a bande trasposte di metabasiti (di spessore decametrico) disposte parallelamente rispetto alla foliazione pervasiva principale.

Nei calcescisti più carbonatici la foliazione principale è marcata prevalentemente dall'alternanza tra livelli di carbonati ed altri maggiormente quarzosi con rari fillosilicati; nei micascisti la foliazione si esprime mediante l'alternanza di film millimetrici di fillosilicati (mica bianca) e di lithons millimetrici a quarzo prevalente. I calcescisti carbonatici appaiono di colore da marrone (superficie debolmente alterata) a grigio (frattura fresca), mentre se sono più profondamente alterati assumono colorazioni rossastre.

Gli scisti quarzoso micacei, invece, assumono delle tonalità più scure, con colorazioni solitamente da grigie chiare a grigie scure in frattura fresca; sono rocce che spesso si alterano, assumendo tonalità arancione - ocra e si disgregano fino a generare spesse coltri di disfacimento.

Il settore più orientale dell'area presenta micascisti intensamente foliati e particolarmente alterati; questa caratteristica, evidenziata in carta da un apposito sovrassegno, potrebbe derivare dall'assetto strutturale della zona che si colloca a ridosso della "linea" Sestri – Voltaggio, oppure da una diversa composizione mineralogica originaria.

2.2.2 Metagabbri (MG) e Metabasiti (MB)

La descrizione geologica riporta *“Metabasiti e metagabbri indifferenziati. I metagabbri mostrano grana da fine a pegmatoide, e localmente una tessitura flaser fino a blastomilonitica ereditata da deformazione e metamorfismo di fondo oceanico. Localmente sono presenti lenti di leucogabbri con tessitura di tipo flaser, a fuchsite e pirosseno smeragdítico. Facies metamorfica da scisti blu (Val Branega) ad eclogitica con blanda riequilibrio in scisti verdi. Le metabasiti si presentano sia compatte che scistose, a grana fine e tessitura prevalentemente listata con forte retrocessione in facies scisti verdi. Sono spesso presenti anche i SAC, scisti ad anfibolo (serie tremolite-actinolite) e clorite $\pm$ diopside $\pm$ carbonato. I SAC sono presenti principalmente al contatto tra calcescisti e metabasiti, in livelli da centimetrici a decametrici fortemente deformati e interessati da piu' generazioni di pieghe isoclinali che determinano ripetizioni dei diversi litotipi a scala plurimetrica”*.

I metagabbri si presentano in affioramento come molto compatti, resistenti e formano lenti di qualche centinaio di metri, distribuite all'interno sia dei calcescisti, sia delle serpentiniti. Sono stati distinti in affioramento due categorie di metagabbri: un tipo preserva minerali di paragenesi eclogitica, mentre l'altro mostra una spiccata retrocessione metamorfica in facies scisti verdi. Quando non è stato possibile definire a quale di queste categorie appartenessero alcuni metagabbri, li si è indicati con il termine litologico generico.

I metagabbri in facies eclogitica sono stati cartografati esclusivamente in località Torrazza, in prossimità del Viadotto autostradale Fagaggia; i metagabbri indistinti, invece, risultano prevalentemente concentrati nella parte centro-meridionale dell'area in esame, tra il Bric Fagaggia ed il Bric Castellaccio.

I metagabbri in facies scisti verdi sono di colore verde e bianco in frattura fresca, in alterazione assumono colorazioni ocra. Hanno grana da medio a fine e struttura talvolta foliata. Tale foliazione è continua e marcata dall'alternanza tra livelli centimetrici a pirosseni ed anfiboli (retrocessi) ed altri a quarzo: spesso mostrano tessitura di tipo flaser. Questa roccia si presenta in affioramento come molto compatta e resistente.

Le metabasiti risultano rocce derivate da originari basalti o gabbri per le quali non è stato possibile riconoscere il protolito in maniera continua. Solo a livello degli affioramenti, quando possibile, sono stati

distinti i metabasalti. Questi si presentano sia compatti che scistosi a grana fine frequentemente a tessitura listata di spessore da millimetrico a centimetrico a prevalenti albite -epidoto ed anfibolo – clorite.

2.3 Condizioni idrogeologiche

2.3.1 Caratterizzazione idraulica degli ammassi rocciosi

Nel corso della campagna geognostica 2010, per il Progetto Definitivo delle gallerie naturali situate ad est del torrente Polcevera, in tutti i sondaggi realizzati sono state effettuate numerose prove di permeabilità Lugeon. Le prove Lugeon sono state interpretate adottando il noto criterio proposto da Hously (1976), la seguente tabella riepiloga i valori del coefficiente di permeabilità equivalente ottenuti da ciascuna prove di permeabilità Lugeon effettuata.

Tabella 2.1 - Risultati delle prove di permeabilità Lugeon (settore ad Est del torrente Polcevera).

Sondaggio	Unità litologica	Profondità (m da p.c.)	K (m/s)
PO1	ROC	40.40-45.50	5,00E-08
PO2	MTE	39.50-42.50	5,00E-08
RE9	FAN	20.50-21.50	≈1.5E-6
RE10 (orizz.)	FAN	10.5-11.3	≈3.5E-6
RE10 (orizz.)	FAN	40.0-40.80	≈3.5E-6
RE11 (orizz.)	FAN	41.0-41.80	≈3E-6
RE19	MTE	18.8-19.8	≈1.0E-6
MB4	ROC	81.5-84.5	≈ E-8
MB7	ROC	87-90	max ≈5E-8
MB7	ROC	100-103	max ≈5E-8
MB8	ROC	187-190	2.5E-7
MB8	ROC	200-203	2.2E-7
MB9	ROC	217-220	1.5÷2.5 E-7
MB9	ROC	230-233	4.0E-7
MB11	ROC	200-203	2.9E-7
MB17	ROC	7,80-9,80	
RE02	ROC	24-25	max 8E-8
MB20	ROC	126.55-129.55	
MB20	ROC	140.50-143.50	2.5E-8
MB23	ROC	112.75-115.75	

Sondaggio	Unità litologica	Profondità (m da p.c.)	K (m/s)
MB23	ROC	124.60-127.60	8,00E-08
MB24	ROC	37.60-40.00	≈4.5E-8
MB26	ROC	122.10-125.10	≈1.0E-8
MB26	ROC	141.70-144.70	
MB28	ROC	107.50-110.50	≈1.0E-7
MB28	ROC	119.60-122.60	8.5E-8
MB29	ROC	90.75-93.75	3.6E-7
MB29	ROC	103.0-106.0	7.7E-8
MB30	MTE	107.0-110.0	3.25E-7
MB30	MTE	119.80-122.80	1.8E-7
MB31	ROC	67.70-70.70	1.05E-7
MB31	ROC	81.30-84.30	2.2E-8
MB33	ROC	97.15-100.15	≈1E-8
MB33	ROC	110.65-113.65	max≈2E-8
RE15	MTE	23.20-24.00	max≈2 E-8
RE16	MTE	18.50-20.50	max≈2 E-8
RE02	ROC	24-25	max 8E-8
MS1	ROC	116-120	8,00E-09
MS1	ROC	130.00-133.00	1,00E-08
MS3	FAN	234.50-239.50	8,00E-08
MS3	FAN	249.25-254.15	6.5E-7
RE09	FAN	20.50-21.50	≈1E-6

FAN = Formazione del Monte Antola

ROC = Formazione di Ronco

MTE = Argilliti di Montànesi

Sulla base dei risultati delle prove di permeabilità per le Formazioni del M. Antola e del Ronco trattandosi di Flysch la permeabilità risente della presenza e alternanza dei diversi litotipi presenti e del grado di fratturazione, trattandosi comunque di valori di permeabilità bassi mentre per quanto riguarda le argilliti del Montanesi e di Montoggio si hanno tipicamente valori da bassi a molto bassi.

Con riferimento alle classi di permeabilità riportate nella seguente tabella 2.1, i Flysch del M. Antola e del Ronco appartengono alla classe K2 mentre le argilliti di Montanesi e di Montoggio appartengono alla classe K1

Tabella 2.1 – Classi di permeabilità (AFTES, 2003)

Classe	Permeabilità dell'ammasso roccioso K_M (m/s)	Descrizione
K1	$< 10^{-8}$	Bassa permeabilità
K2	da 10^{-8} a 10^{-6}	Moderatamente permeabile
K3	da 10^{-6} a 10^{-4}	Elevata permeabilità
K4	$> 10^{-4}$	Molto permeabile
K5	Praticamente infinita	Permeabilità tipici di rocce carsiche (presenza di cavità)

Per quanto concerne, infine, le caratteristiche di permeabilità dei calcescisti (CS), metagabbri (MG) e metabasiti (MB), che interessano le gallerie ed opere in sotterraneo realizzate in tradizionale in prossimità di Voltri, si rimanda al capitolo 2 del Codice di Scavo relativo alle gallerie realizzate con TBM.

2.3.2 Profilo idrogeologico e carico piezometrico agente sul rivestimento definitivo

Lo studio idrogeologico ha definito, lungo l'intero tracciato delle gallerie in oggetto, un profilo idrogeologico longitudinale che riporta le seguenti indicazioni (elaborati IDR-0310-1 e IDR-0311-1):

- le unità geologiche - idrogeologiche, in coerenza con il profilo geologico di progetto;
- la localizzazione e le tipologie dei piezometri;
- le quote piezometriche misurate;
- i risultati delle prove di permeabilità Lugeon, la localizzazione e il grado di fratturazione dell'ammasso roccioso nel tratto interessato dalle prove, espresso attraverso l'indice RQD;

Nella tabella alla base dei profili idrogeologici sono stati inoltre riportati i seguenti elementi di sintesi, e di supporto alla progettazione:

- conducibilità idraulica di riferimento dell'ammasso roccioso alla quota di scavo;
- stima orientativa della portata d'acqua drenata dallo scavo delle gallerie con il metodo di Heuer;
- tratti per cui si ritiene possibile l'attivazione di venute idriche improvvise in avanzamento, in riferimento alle seguenti distinte condizioni:
 - rapido svuotamento di fasce cataclastiche;
 - afflusso in corrispondenza di soglie o limiti di permeabilità;
 - necessità di cautele in fase di avanzamento (es. sondaggi al fronte) per condizioni idrogeologiche sfavorevoli o non compiutamente prevedibili;
 - indicazioni progettuali connesse a elementi di rilevanza o criticità idrogeologica.

Con riferimento alla relazione idrogeologica (elaborato IDR-301-2) e agli elaborati grafici che riportano i profili idrogeologici longitudinali (elaborati grafici IDR-0310-1 e IDR-0311-1), i sondaggi non hanno intercettato livelli d'acqua significativi così come i piezometri installati non hanno evidenziato la presenza di acquiferi a conferma del modesto grado di fratturazione e della presenza di formazioni poco permeabili.

Di seguito si riportano, per ciascuna galleria, le principali conclusioni concernenti le valutazioni indicate nella relazione idrogeologica del Progetto Definitivo, relativamente alle interferenze attese fra le gallerie e le acque sotterranee.

Galleria Voltri

Per la galleria Voltri, in assenza di un carico idraulico permanente, è prevedibile un drenaggio limitato a percolazioni dalla superficie. Non si prevedono criticità o particolari problematiche idrogeologiche.

Galleria Granarolo

La galleria si sviluppa interamente entro l'unità torbiditica di Ronco, costituita da areniti fini con frequenti livelli marnoso argillosi, nel complesso caratterizzata da una conducibilità idraulica molto bassa per fratturazione. Non sono prevedibili criticità idrogeologiche o anche significativi afflussi temporanei in corrispondenza di discontinuità strutturali.

Galleria Forte Diamante

Si tratta di una galleria con caratteristiche simili alla precedente, per litotipi interessati dagli scavi e altezze di copertura. La galleria interessa infatti per circa 2 km, fino alla Pk 3650 circa, la medesima unità di Ronco, debolmente acquifera, con bassi contributi di drenaggio. A progressive superiori la galleria interessa invece le Argilliti di Montanesi, pressoché impermeabili. La possibilità di drenaggi concentrati, peraltro di ordine di grandezza di alcuni l/s all'attivazione e rapido decremento, è prevedibile in prossimità del contatto tra l'unità di Ronco e le argilliti, che costituisce una soglia di permeabilità. Svuotamento di fasce fratturate potrà inoltre aver luogo all'intercettazione delle faglie con maggiore rigetto (intorno alla Pk 5300) e su cui si imposta la rete idrografica minore, come indicato sul profilo. L'entità degli afflussi è anche qui da ritenersi molto contenuta, dell'ordine di alcuni l/s in rapida riduzione ed esaurimento.

Galleria Bric du Vento

La galleria Bric du Vento interessa fino alla Pk 600 m circa l'unità delle argilliti di Montanesi, con contributi di drenaggio trascurabili. Nel tratto dalla Pk 600 m circa a fine galleria viene interessata l'unità

di Ronco, debolmente acquifera, con bassi contributi di drenaggio. Non sono prevedibili criticità o problematiche idrogeologiche particolari. Deboli venute concentrate in avanzamento, dell'ordine di alcuni l/s e con rapido decremento/esaurimento della portata potranno riguardare il contatto tra argilliti di Montanesi e unità di Ronco, che costituisce un limite di permeabilità, intorno alla Pk 600-650. Svuotamento di fasce fratturate potrà inoltre aver luogo all'intercettazione delle faglie con maggiore rigetto (intorno alla Pk 850), con entità degli afflussi anche in questo caso molto contenuto, dell'ordine di alcuni l/s in rapida riduzione ed esaurimento.

Galleria Monte Sperone

La galleria Monte Sperone interessa fino alla Pk 3300 circa l'unità di Ronco, debolmente acquifera, con basso contributo di drenaggio e in assenza di potenziali problematiche o criticità idrogeologiche. A partire dalla Pk 3300-3350 circa, verrà interessato il contatto con l'unità carbonatica del Monte Antola. Entro quest'ultima unità litologica, la conducibilità idraulica in frattura può risultare localmente aumentata da fenomeni chimico-dissolutivi. Pertanto il settore di contatto costituisce un limite di permeabilità relativo, in cui potranno essere riscontrati afflussi concentrati.

L'entità di tali afflussi concentrati è difficilmente prevedibile sulla base di modelli teorici, come in generale per i settori interessati da carsismo in cui non sono applicabili le relazioni valide per i moti di filtrazione. Tuttavia non sono attesi afflussi di particolare rilevanza anche in avanzamento, tenuto conto la pervasività dei fenomeni carsici nell'unità dell'Antola, limitata dai livelli e dalle intercalazioni marnose, sia per esperienza diretta dalla limitrofa galleria Monte Sperone esistente, che interessa il medesimo contatto. Anche per tale tratto non sono attesi pertanto afflussi concentrati in avanzamento superiori all'ordine di qualche decina di l/s, in rapido decremento sui valori di equilibrio valutati con il metodo di Heuer. Tuttavia, vista la non localizzabilità e caratterizzabilità dei vuoti carsici sulla base dei rilievi geologici di superficie o anche delle indagini geognostiche puntuali, è opportuna l'indagine in avanzamento a partire dal suddetto contatto, estesa almeno a tutto il tratto di maggiore copertura della galleria, come indicato nel profilo idrogeologico.

Gallerie Campursone, Polcevera, Morego, Campursone

Le gallerie Polcevera e Morego, caratterizzate da breve sviluppo e bassi spessori di copertura si sviluppano interamente entro l'unità delle argilliti di Montanesi, caratterizzata da contributi di drenaggio trascurabili. La galleria Campursone interessa un lembo limitato entro l'unità carbonatica di Monte Antola, in assenza di falda o saturazione permanente. Per le tre gallerie citate non sono previsti contributi di drenaggio significativi.

Galleria Forte Begato

La galleria Forte Begato presenta caratteristiche e problematiche idrogeologiche analoghe a quelle della galleria Monte Sperone. Fino alla Pk 1100 m circa il tracciato entro l'unità di Ronco sarà caratterizzato da deboli contributi di drenaggio e afflussi concentrati temporanei. A partire dalla Pk 1100 circa, verrà interessato il contatto con l'unità carbonatica del Monte Antola. Entro quest'ultima unità litologica, la conducibilità idraulica in frattura, come specificato, può risultare localmente aumentata da fenomeni chimico-dissolutivi. Pertanto il settore di contatto costituisce un limite di permeabilità relativo, in cui potranno essere riscontrati afflussi concentrati. A riguardo valgono le medesime considerazioni, da cui la necessità di cautele in fase di avanzamento riportate sul profilo idrogeologico, già precedentemente indicate per la galleria Monte Sperone (con riferimento al tratto dalla Pk 3350 circa a fine galleria).

Galleria Baccan

La galleria Baccan presenta caratteristiche idrogeologiche analoghe a quelle della limitrofa galleria Forte Diamante. La galleria interessa fino alla Pk 1300-1350 m circa l'unità di Ronco, debolmente acquifera, con bassi contributi di drenaggio. A progressive superiori la galleria interessa invece le Argilliti di Montanesi, pressoché impermeabili. La possibilità di drenaggi concentrati, peraltro di ordine di grandezza di alcuni l/s all'attivazione e rapido decremento, è prevedibile in prossimità del contatto tra l'unità di Ronco e le argilliti, che costituisce una soglia di permeabilità. Svuotamento di fasce fratturate potrà inoltre aver luogo all'intercettazione delle faglie con maggiore rigetto (intorno alle Pk 1100-1150) e su cui si imposta la rete idrografica minore, come indicato sul profilo. L'entità degli afflussi è anche qui da ritenersi molto contenuta, dell'ordine di alcuni l/s in rapida riduzione ed esaurimento.

Galleria San Rocco

La galleria San Rocco si sviluppa quasi interamente (fino alla Pk 1450 circa) entro l'unità delle argilliti di Montanesi, pressoché impermeabile. A progressive superiori (fino a fine tratta Pk 1992) viene interessata l'unità di Ronco, debolmente acquifera, con bassi contributi di drenaggio. Come per le gallerie Baccan e Forte Diamante, la possibilità di drenaggi concentrati, peraltro di ordine di grandezza di alcuni l/s all'attivazione e rapido decremento, è prevedibile in prossimità del contatto tra l'unità di Ronco e le argilliti, che costituisce una soglia di permeabilità. Svuotamento di fasce fratturate potrà inoltre aver luogo all'intercettazione delle faglie con maggiore rigetto (intorno alle Pk 1600-1700) e su cui si imposta la rete idrografica minore, come indicato sul profilo. L'entità degli afflussi è anche qui da ritenersi molto contenuta, dell'ordine di alcuni l/s in rapida riduzione ed esaurimento.

Gallerie Moro 1, Moro 2, Torbella Est e Torbella Ovest

Le gallerie Moro 1, Moro 2, e le gallerie Torbella Est, Torbella Ovest, si sviluppano entro l'unità di Ronco,

debolmente acquifera, con bassi contributi di drenaggio. Non si riscontrano problematiche o criticità idrogeologiche. Non sono previsti afflussi concentrati in fase di avanzamento.

3. TECNOLOGIA ESECUTIVA E RIVESTIMENTO DELLE GALLERIE

Per quanto concerne le gallerie realizzate in tradizionale, è generalmente previsto lo scavo a piena sezione con esclusione dei cameroni, della tratta a 4 corsie della galleria Forte Diamante e della galleria Voltri Est, per le quali il Progetto Definitivo prevede la preventiva realizzazione di due gallerie di piedritto con il successivo allargo per lo scavo dell'arco di calotta.

Di seguito si descrivono le sezioni tipo di scavo e avanzamento previste per le gallerie scavate a piena sezione.

3.1 Sezioni tipo A

Le sezioni tipo A vengono utilizzate in condizioni di fronte stabile, in condizioni di scavo in ammassi competenti, generalmente non in prossimità degli imbocchi.

Il sostegno in corrispondenza delle condizioni migliori risulta costituito principalmente da un sistema di bullonatura all'intorno dello scavo, con uno strato di calcestruzzo proiettato al contorno come cucitura delle barre al fine di limitare la possibilità di distacco di blocchi di dimensioni relativamente contenute.

Le sezioni tipo di scavo e avanzamento previste sono elencate nella tabella 3.1 con le loro caratteristiche medie dove, per quanto concerne la colonna relativa alla sagoma della galleria le sigle hanno il seguente significato: 1C = galleria ad una corsia; 2CE = galleria a due corsie + corsia di emergenza; 3C = galleria a tre corsie. Le sezioni, nel dettaglio, risultano presentare una certa variabilità negli interventi (passo centine, interasse bulloni, numero di elementi al fronte, ecc.) in modo da potersi adattare in maniera più flessibile alla variabilità insita nell'ammasso roccioso, che sarà verificata in maniera diretta ed oggettiva nel corso degli scavi, demandando tale attività a rilievi geomeccanici del fronte e a monitoraggi del comportamento deformativo del cavo; i valori acquisiti dai rilievi e dal monitoraggio saranno interpretati sulla base di un apposito documento che sarà predisposto per il progetto esecutivo denominato "Linee guida per l'applicazione delle sezioni tipo di scavo e avanzamento".

Tabella 3.1 – Riepilogo delle sezioni di scavo e avanzamento tipo A.

Sezione tipo di scavo	Sagoma	Sfondi e modalità di scavo	Sostegni, presostegni e consolidamenti	Rivestimento definitivo
Ab ₁	2CE	Esplosivo, sfondo max 3 m	Calcestruzzo proiettato 20 cm; 10 bulloni SSW L=5.5m i=1.5x1.8m	Non armato. 60 cm in calotta, 70 cm in a.r.
	1C	Esplosivo, sfondo max 4 m	Calcestruzzo proiettato 20 cm; 7 bulloni SSW L=4.5m i=2.0x2.0m	Non armato. 50 cm in calotta, 60 cm in a.r.
Ab ₂	2CE	Mezzi meccanici, sfondo max 1.8 m	Calcestruzzo proiettato 20 cm; 14 bulloni SSW L=5.5m i=1.5x1.8m	Non armato. 60 cm in calotta, 70 cm in a.r.

Sezione tipo di scavo	Sagoma	Sfondi e modalità di scavo	Sostegni, presostegni e consolidamenti	Rivestimento definitivo
	3C	Esplosivo, sfondo max 3m	Calcestruzzo proiettato 20 cm; 14 bulloni SSW L=5.5m i=1.5x1.8m	Non armato. 60 cm in calotta, 70 cm in a.r.
	1C	Mezzi meccanici, sfondo max 2.5 m	Calcestruzzo proiettato 20 cm; 7 bulloni SSW L=4.5m i=2.0x2.0m	Non armato. 50 cm in calotta, 60cm in a.r.
Ac	2CE	Mezzi meccanici, sfondo max 1.8m	Calcestruzzo proiettato 25 cm; centine 2IPN180/1.0m	Non armato. 60 cm in calotta, 70 cm in a.r.
	1C	Mezzi meccanici, sfondo max 1.8m	Calcestruzzo proiettato 25 cm; centine 2IPN160/1.5m	Non armato. 50 cm in calotta, 60 cm in a.r.

Le principali fasi esecutive risultano le seguenti:

- esecuzione dei drenaggi in avanzamento (eventuali);
- esecuzione scavo a piena sezione, secondo quanto riportato nella tabella 3.1 per metodologia di abbattimento e lunghezza di sfondo;
- messa in opera sostegno di prima fase;
- posa in opera del sistema di impermeabilizzazione nella zona di muretta ;
- getto delle murette a significativa distanza dal fronte (circa 9 diametri);
- getto dell’arco rovescio a significativa distanza dal fronte (circa 12 diametri);
- posa in opera del sistema di impermeabilizzazione e drenaggio nella zona dei piedritti e di calotta;
- getto del rivestimento definitivo di calotta (ad una distanza massima di circa 15 diametri dal fronte).

3.2 Sezioni tipo B

Le sezioni tipo B vengono utilizzate quando lo stato di sollecitazione nell’ammasso al fronte e al contorno del cavo, durante l’avanzamento, è tale da superare la capacità di resistenza in campo elastico del mezzo; è conseguentemente prevista la possibilità di realizzare un intervento di consolidamento in avanzamento. L’avanzamento è previsto con mezzi meccanici, la lunghezza media degli sfondi risulta limitata (1.0 m÷ 1.2 m).

Per la tipologia di comportamento atteso, sono previste sezioni di tipo cilindrico e tronco-conico, laddove risultasse necessaria una protezione in avanzamento (ombrello di infilaggi), tipicamente per le zone a limitata copertura o in corrispondenza di zone particolarmente fratturate, ma con consistenza dell’ammasso ancora lapidea. Le sezioni tipo di scavo sono descritte nella tabella 3.2 con le loro caratteristiche medie.

Le sezioni tipo, nel dettaglio, risultano presentare una certa variabilità negli interventi (passo centine, numero elementi al fronte, ecc.) in modo da potersi adattare in maniera più flessibile alla variabilità insita nell’ammasso roccioso, che sarà verificata in maniera diretta ed oggettiva nel corso degli scavi,

demandando tale attività a rilievi geomeccanici del fronte e monitoraggi del comportamento deformativo del cavo; i valori acquisiti dai rilievi e dal monitoraggio saranno interpretati sulla base di un apposito documento che sarà predisposto per il progetto esecutivo denominato “Linee guida per l’applicazione delle sezioni tipo di scavo e avanzamento”.

Le principali fasi esecutive sono le seguenti:

- esecuzione dei drenaggi in avanzamento (eventuali);
- realizzazione, dove previsto, di un consolidamento del fronte attraverso elementi in vetroresina (VTR);
- realizzazione intervento di protezione in calotta mediante ombrello di infilaggi metallici (dove previsto);
- scavo del campo di avanzamento, attraverso una sequenza ripetuta di fasi di scavo e messa in opera del sostegno di prima fase;
- posa in opera del sistema di impermeabilizzazione nella zona di muretta ;
- getto delle murette ed arco rovescio (accoppiati) ad una distanza variabile da 1.5 diametri (per sezioni tipo B2) a 6-12 diametri (sezioni tipo B0);
- posa in opera del sistema di impermeabilizzazione e drenaggio nella zona dei piedritti e di calotta;
- getto del rivestimento definitivo di calotta.

Tabella 3.2– Riepilogo delle sezioni di scavo e avanzamento tipo B.

Sezione tipo di scavo	Sagoma	Sfondi e modalità di scavo	Sostegni, presostegni e consolidamenti	Rivestimento definitivo
B0	2CE	Mezzi meccanici, sfondo max 1.2m	Calcestruzzo proiettato 25 cm; centine 2IPN180/1.2m	Non armato. 60 cm in calotta, 70 cm in a.r.
	3C	Mezzi meccanici, sfondo max 1.2m	Calcestruzzo proiettato 25 cm; centine 2IPN180/1.2m	Non armato. 60 cm in calotta, 70 cm in a.r.
	1C	Mezzi meccanici, sfondo max 1.2m	Calcestruzzo proiettato 25 cm; centine 2IPN160/1.2m	Non armato. 60 cm in calotta, 70 cm in a.r.
B0v	2CE	Mezzi meccanici, sfondo max 1.0m	Campo da 9m; Calcestruzzo proiettato 30 cm; centine 2IPN200/1.0m; ombrello di infilaggi metallici in calotta L=13m, Sovr.=4m,	Armato. 50/120 cm in calotta, 90 cm in a.r.
	3C	Mezzi meccanici, sfondo max 1.0m	Campo da 9m; Calcestruzzo proiettato 30 cm; centine 2IPN200/1.0m; ombrello di infilaggi metallici in calotta L=13m, Sovr.=4m,	Armato. 50/120 cm in calotta, 90cm in a.r.
	1C	Mezzi meccanici, sfondo max 1.0m	Campo da 9m, Calcestruzzo proiettato 25 cm; centine 2IPN160/1.0m; ombrello di infilaggi metallici in calotta L=13m, Sovr.=4m	Armato. 50/110 cm in calotta, 70cm in a.r.
B2	2CE	Mezzi meccanici, sfondo max 1.2m	Campo da 10m; s.b.30cm; centine 2IPN220/1.0m; preconsolidamento al fronte mediante VTR (50-70-90) L=18m, Sovr.=8m	Non armato. 80 cm in calotta, 90cm in a.r.

Sezione tipo di scavo	Sagoma	Sfondi e modalità di scavo	Sostegni, presostegni e consolidamenti	Rivestimento definitivo
	3C	Mezzi meccanici, sfondo max 1.2m	Campo da 10m; Calcestruzzo proiettato 30 cm; centine 2IPN220/1.0m; preconsolidamento al fronte mediante VTR (60-85-105) L=18m, Sovr.=8m	Non armato. 80 cm in calotta, 90cm in a.r.
	1C	Mezzi meccanici, sfondo max 1.2m	Campo da 9m; Calcestruzzo proiettato 25 cm; centine 2IPN180/1.0m; preconsolidamento al fronte mediante VTR (40-50-60) L=18m, Sovr.=9m	Non armato. 70 cm in calotta, 80 cm in a.r.
B2v	2CE	Mezzi meccanici, sfondo max 1.0m	Campo da 9m; Calcestruzzo proiettato 30 cm; centine 2IPN200/1.0m; ombrello di infilaggi metallici in calotta L=13m, Sovr.=4m; preconsolidamento al fronte mediante VTR (40-50-60) L=18m, Sovr.=9m	Armato. 50/120cm in calotta, 90cm in a.r.
	3C	Mezzi meccanici, sfondo max 1.0m	Campo da 9m; Calcestruzzo proiettato 30 cm; centine 2IPN220/1.0m; ombrello di infilaggi metallici in calotta L=13m, Sovr.=4m; preconsolidamento al fronte mediante VTR (50-60-70) L=18m, Sovr.=9m	Armato. 50/120cm in calotta, 90cm in a.r.
	1C	Mezzi meccanici, sfondo max 1.0m	Campo da 9m; Calcestruzzo proiettato 25 cm; centine 2IPN160/1.0m; ombrello di infilaggi metallici in calotta L=13m, Sovr.=4m; preconsolidamento al fronte mediante VTR (30-40-50) L=18m, Sovr.=9m	Armato. 50/110cm in calotta, 70cm in a.r.

3.3 Sezioni tipo C

Le sezioni tipo C vengono utilizzate quando lo stato di sollecitazione nel terreno supera sensibilmente la capacità di resistenza dello stesso anche nella zona del fronte d'avanzamento, laddove si renda necessario un intervento di particolare intensità al fronte e un trattamento di miglioramento delle caratteristiche del materiale anche al contorno, entrambi in avanzamento.

La tipologia di scavo prevede, inoltre, la chiusura della sezione di scavo attraverso il getto contemporaneo dell'arco rovescio e murette a limitata distanza dal fronte. L'avanzamento è previsto con mezzi meccanici, e gli sfondi medi risultano limitati (1.0 m).

Il trattamento al contorno è previsto attraverso iniezioni cementizie (per sezioni cilindriche) ovvero con realizzazione di colonne jet-grouting (per sezioni tronco coniche).

L'intervento di consolidamento al fronte di scavo viene realizzato attraverso le medesime metodologie delle soluzioni al contorno, prevedendo la messa in opera di elementi in VTR cementati oppure colonne di micro jet armate con VTR. Le sezioni di scavo sono descritte nella tabella 3.3 con le loro caratteristiche medie.

Le sezioni, nel dettaglio, risultano presentare una certa variabilità negli interventi (passo centine, numero elementi al fronte, ecc.) in modo da potersi adattare in maniera più flessibile alla variabilità insita nell'ammasso roccioso, che sarà verificata in maniera diretta e oggettiva nel corso degli scavi,

demandando tale attività a rilievi geomeccanici del fronte e monitoraggi del comportamento deformativo del cavo; i valori acquisiti dai rilievi e dal monitoraggio saranno interpretati sulla base di un apposito documento che sarà predisposto per il progetto esecutivo denominato “Linee guida per l’applicazione delle sezioni tipo di scavo e avanzamento”.

Le principali fasi esecutive risultano le seguenti:

- esecuzione dei drenaggi in avanzamento (eventuali);
- realizzazione consolidamento del fronte attraverso elementi in vetroresina (VTR) ovvero micro jet armati con VTR;
- realizzazione intervento al contorno del cavo e al piede delle centine;
- scavo del campo di avanzamento, attraverso una sequenza ripetuta di fasi di scavo e messa in opera del sostegno di prima fase;
- posa in opera del sistema di impermeabilizzazione nella zona di muretta ;
- getto delle murette ed arco rovescio (accoppiati) ad una distanza limitata dal fronte ($0.5 \div 1.5$ diametri);
- posa in opera del sistema di impermeabilizzazione e drenaggio nella zona di piedritti e calotta;
- getto del rivestimento definitivo di calotta.

Tabella 3.3– Riepilogo delle sezioni di scavo e avanzamento tipo C.

Sezione tipo di scavo	Sagoma	Sfondi e modalità di scavo	Sostegni, presostegni e consolidamenti	Rivestimento definitivo
C2	2CE	Mezzi meccanici, sfondo max 1.0m	Campo da 10m; Calcestruzzo proiettato 30 cm; centine 2IPN220/1.0 m; preconsolidamento al fronte mediante VTR (50-70-90) L=18m, Sovr.=8m; consolidamento al contorno del cavo e al piede centine mediante VTR iniettati	Non armato. 90 cm in calotta, 100cm in a.r.
	3C	Mezzi meccanici, sfondo max 1.0m	Campo da 10m; Calcestruzzo proiettato 30 cm; centine 2IPN220/1.0m; preconsolidamento al fronte mediante VTR (60-85-105) L=18m, Sovr.=8m; consolidamento al contorno del cavo e al piede centine mediante VTR iniettati	Non armato. 90 cm in calotta, 100cm in a.r.
	1C	Mezzi meccanici, sfondo max 1.0m	Campo da 10m; Calcestruzzo proiettato 30 cm; centine 2IPN200/1.0m; preconsolidamento al fronte mediante VTR (40-60-80) L=18m, Sovr.=8m; consolidamento al contorno del cavo e al piede centine mediante VTR iniettati	Non armato. 80 cm in calotta, 90cm in a.r.
C1	2CE	Mezzi meccanici, sfondo max 1.0m	Campo da 9m; s.b.30cm; centine 2IPN200/1.0m; ombrello di jet grouting armato con infilaggi metallici al contorno dello scavo ed al piede centine; preconsolidamento al fronte mediante	Armato. 50/135 cm in calotta, 90 cm in a.r.

Sezione tipo di scavo	Sagoma	Sfondi e modalità di scavo	Sostegni, presostegni e consolidamenti	Rivestimento definitivo
			VTR (50-60-70) L=18m, Sovr.=9m	
	3C	Mezzi meccanici, sfondo max 1.0m	Campo da 9m; s.b.30cm; centine 2IPN200/1.0m; ombrello di infilaggi metallici in calotta L=13m, Sovr.=4m; preconsolidamento al fronte mediante micro jet armati con VTR (60-70-80) L=18m, Sovr.=9m	Armato. 50/14 5cm in calotta, 90 cm in a.r.
	1C	Mezzi meccanici, sfondo max 1.0m	Campo da 9m; s.b.30cm; centine 2IPN200/1.0m; ombrello di jet grouting armato con infilaggi metallici al contorno dello scavo ed al piede centine; preconsolidamento al fronte mediante VTR (40-50-60) L=18m, Sovr.=9m	Armato. 50/135 cm in calotta, 90 cm in a.r.

3.4 Gallerie con scavo parzializzato mediante le due gallerie di piedritto

Per quanto concerne il tratto della galleria Forte Diamante a 4 corsie, la galleria Voltri Est e la piazzola di sosta prevista lungo la galleria Monte Sperone, essendo in presenza di sezioni di scavo particolarmente impegnative e comprese fra 280 e 295 metri quadrati, per il Progetto Definitivo, si è ipotizzato di adottare uno scavo parzializzato mediante la realizzazione delle due gallerie di piedritto e il successivo scavo e costruzione dell'arco di calotta, con le seguenti principali fasi esecutive:

- Fase 1: scavo delle due gallerie di piedritto;
- Fase 2: getto delle murette e dei piedritti della sezione finale, all'interno delle gallerie di piedritto;
- Fase 3: scavo e costruzione dell'arco di calotta della sezione finale;
- Fase 4: getto del rivestimento di calotta;
- Fase 5: scavo di ribasso fino al piano di imposta dell'arco rovescio e successivo getto dello stesso.

3.5 Cameroni

Nell'ambito del tracciato della Gronda di Ponente, della riqualficazione della A10 e del potenziamento della A7 e della A12, inoltre, per alcune gallerie naturali, sono previsti alcuni cameroni necessari alla realizzazione delle diramazioni fra le diverse gallerie (figura 1.6). Tali cameroni, in funzione del tracciato stradale, hanno una lunghezza compresa fra un minimo di 70 m ed un massimo di circa 270 m, con larghezze variabili, lungo lo sviluppo longitudinale, da un minimo di circa 18.5 m (nel caso di gallerie a 3 corsie) o di 23.5 m (nel caso di gallerie a 4 corsie), fino ad un massimo compreso fra 30 e 33 m. Le coperture in corrispondenza dei cameroni sono variabili fra 40 e 270m circa. Sette cameroni sono ubicati nelle gallerie naturali ad est del torrente Polcevera, di cui sei interessano la formazione flyschoidale

denominata Formazione di Ronco, comprendente areniti fini, siltiti marnose e argilliti, e uno interessa la Formazione del Monte Antola costituita da torbiditi marnose e marnoso – calcaree. L'ottavo camerone è situato nella interconnessione fra la galleria Delle Grazie e Ciocia nella zona ad ovest del torrente Polcevera in prossimità di Voltri, e lo scavo interessa la Formazione dei calcescisti.

Per la realizzazione dei camerone, si è messa a punto un'unica soluzione progettuale definendo poi, in funzione delle diverse condizioni geomeccaniche e delle differenti coperture che interessano ciascuno degli 8 camerone presenti, differenti interventi di consolidamento e di sostegno di prima fase della galleria di calotta, delle due gallerie di piedritto e degli scavi di ribasso, come indicato nei relativi elaborati grafici progettuali.

In sintesi, con riferimento alle figure 3.1 ÷ 3.7, le fasi costruttive principali si possono così riassumere:

- Fase 1: scavo di una galleria centrale (galleria di calotta);
- Fase 2: esecuzione dalla galleria di calotta di consolidamenti radiali in corrispondenza dell'arco di calotta del futuro camerone mediante bulloni comprendenti Swellex ad elevata resistenza (Pm24C) e barre in vetroresina ad aderenza migliorata del diametro di 24 mm;
- Fase 3: scavo delle due gallerie di piedritto con un eventuale intervento di consolidamento radiale in corrispondenza dei piedritti del camerone;
- Fase 4: armatura e getto delle murette e dei piedritti del futuro camerone, all'interno dei cunicoli di piedritto;
- Fase 5: scavo della calotta del camerone operando dall'interno dei cunicoli;
- Fase 6: armatura e getto calotta camerone;
- Fase 7: scavo di ribasso fino al piano di imposta dell'arco rovescio del camerone;
- Fase 8: getto arco rovescio del camerone.

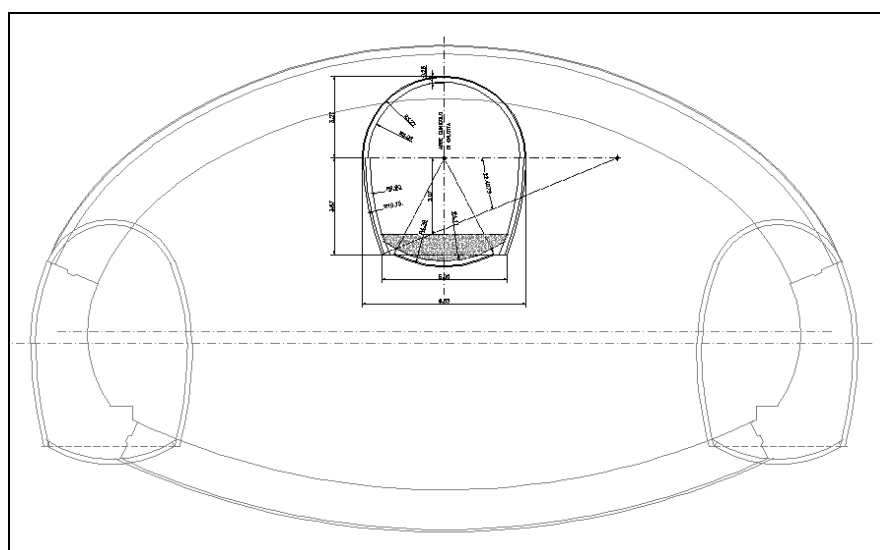
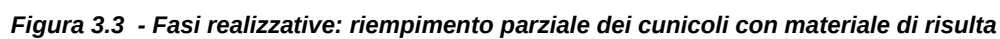
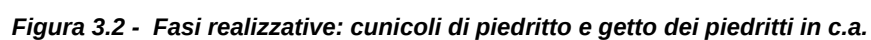


Figura 3.1 - Fasi realizzative: cunicolo di calotta



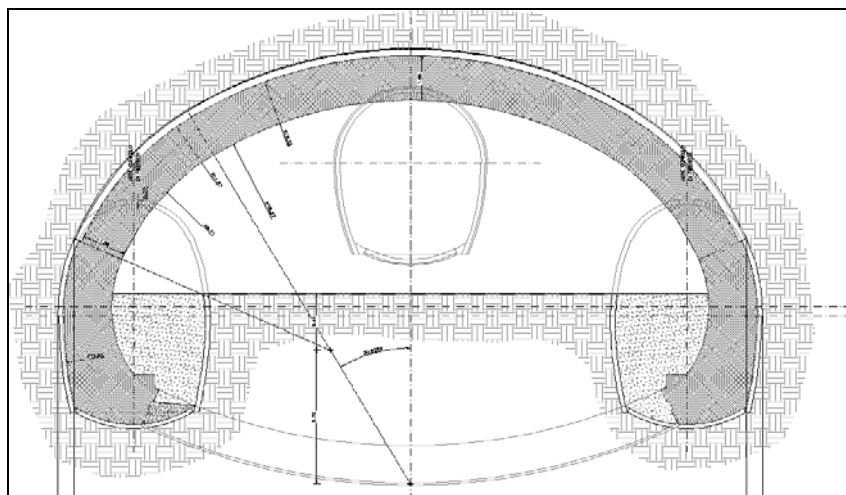


Figura 3.5 - Fasi realizzative: getto del rivestimento definitivo di calotta

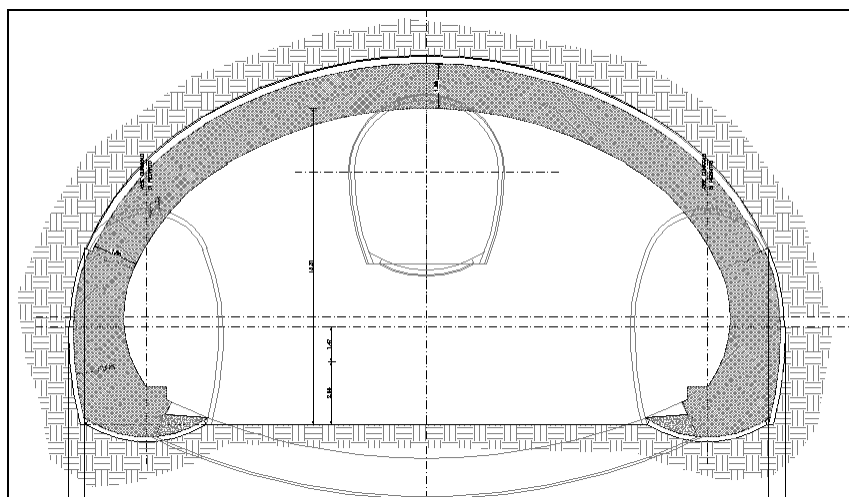


Figura 3.6 - Fasi realizzative: fasi di ribasso

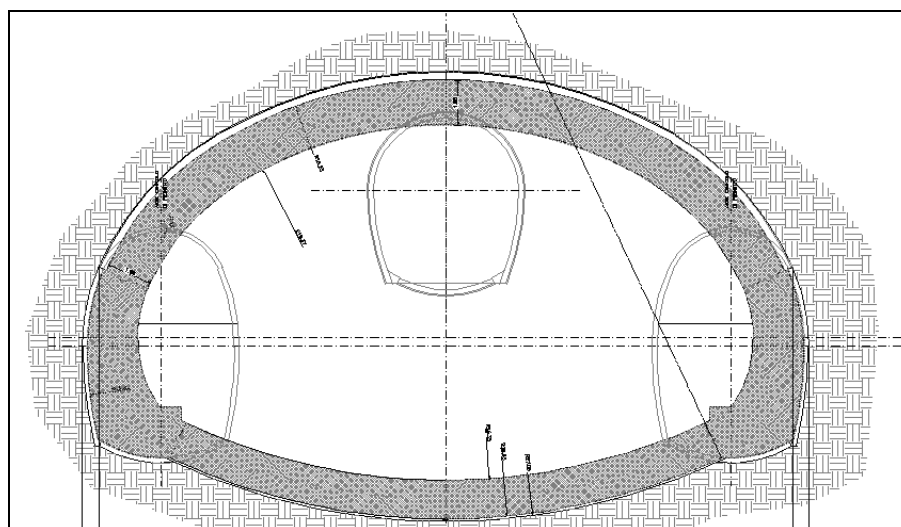


Figura 3.7 - Fasi realizzative: getto arco rovescio

3.6 Rivestimento definitivo e sistema di impermeabilizzazione e drenaggio

Il rivestimento interno della galleria sarà costituito da un getto in calcestruzzo C28/35 con resistenza caratteristica cubica $R_{ck} \geq 35$ MPa. Il rivestimento, eventualmente armato in funzione delle esigenze statiche, sarà di spessore variabile trasversalmente, a partire da un valore minimo in chiave fino ad un valore massimo sui piedritti, e, nel caso di sezioni di scavo tronco-coniche, variabile anche longitudinalmente per seguire la geometria del prerivestimento.

Il getto del rivestimento, per i campi di scavo a piena sezione viene eseguito nelle seguenti diverse fasi, nei tempi e con le modalità definite nei relativi elaborati grafici progettuali:

- murette;
- arco rovescio (eventualmente getto congiunto delle murette e dell'arco rovescio);
- piedritti e calotta.

Con riferimento alla figura 3.8, l'impermeabilizzazione viene disposta fra il rivestimento di 1° fase di calcestruzzo proiettato e il rivestimento definitivo di calcestruzzo. Tenendo conto comunque che le formazioni interessate dallo scavo delle gallerie realizzate in tradizionale interessano formazioni geologiche poco permeabili e con una modesta circolazione idrica, in assenza di veri e propri acquiferi, il sistema di impermeabilizzazione e drenaggio, posizionato all'estradosso del rivestimento definitivo, è costituito da uno strato di compensazione di tessuto non tessuto e da un foglio impermeabilizzante in PVC, di almeno 2 mm di spessore, parzialmente sovrapposti e saldati tra loro termicamente.

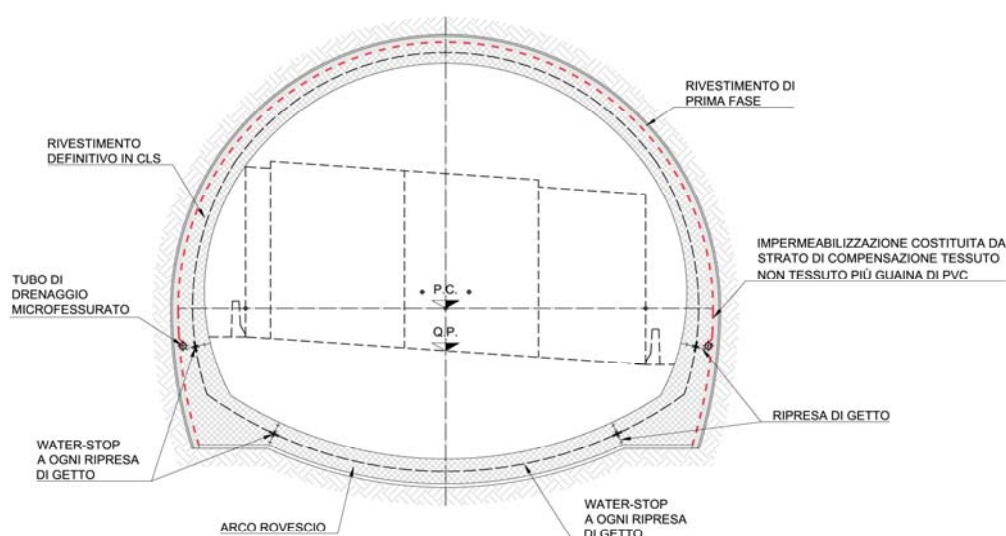
Tale sistema di drenaggio e impermeabilizzazione si estende sulla corona fino ai piedritti e scarica in una tubazione di raccolta longitudinale al piede dei piedritti; l'arco rovescio è gettato direttamente contro la roccia (figura 3.8a). Con riferimento alla figura 3.8b, le due tubazioni di raccolta longitudinale delle acque posizionate al piede dei piedritti, ogni 50 m scaricano le acque drenate, mediante un opportuno tubo di raccordo, in una tubazione di maggiore diametro posta al di sotto della piattaforma stradale.

La messa in opera del sistema di impermeabilizzazione e drenaggio è bene che avvenga poco prima del getto del rivestimento definitivo, quando le deformazioni di convergenza della cavità dovrebbero essersi per lo più esaurite (a questo riguardo nella figura 3.9 sono schematicamente illustrate le diverse fasi esecutive inclusa quella fondamentale, indicata in figura come fase n. 9, relativa alla posa in opera dell'impermeabilizzazione e al getto del rivestimento definitivo).

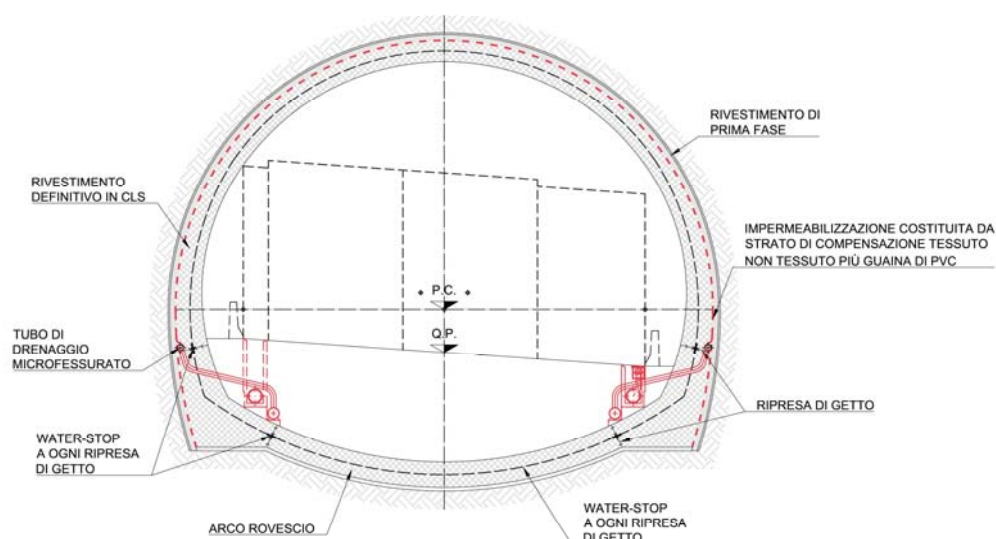
Per evitare il danneggiamento del manto geotessile e di quello in PVC, prima della loro messa in opera si procederà all'eliminazione di tutte le parti metalliche sporgenti, quali teste di ancoraggio dei bulloni, reti metalliche ecc. e alla regolarizzazione, con calcestruzzo proiettato fine non fibrorinforzato, del rivestimento esistente, per raccordare eventuali asperità e parti quali centine, catene ecc.

La posa dello strato di compensazione (costituito da tessuto non tessuto di polipropilene a filo continuo, coesionato preferibilmente mediante legamento per agugliatura e del peso di 500 g/m^2) è di grande

importanza, perché svolge una funzione antipunzonante e perché forma un sottile strato a elevata permeabilità che funge da via di scorrimento preferenziale per le acque che arrivano a contatto con il manto impermeabilizzante. Ciò facilita notevolmente il convogliamento dell'acqua verso il tubo di drenaggio microfessurato. Tale strato sarà steso procedendo trasversalmente rispetto all'asse della cavità (figura 3.10); i fogli di tessuto non tessuto, di circa 500 g/m^2 di grammatura, parzialmente sovrapposti, sono fissati al rivestimento di prima fase mediante chiodi a sparo da 2-4 cm muniti di rondelle di PVC semirigido. Le rondelle (di circa $8 \div 9 \text{ cm}$ di diametro) hanno il duplice scopo di sostenere il tessuto non tessuto e di fungere da punto di fissaggio del telo impermeabile di PVC. Quest'ultimo viene quindi saldato ad aria calda alle rondelle, partendo dalla chiave della calotta e proseguendo sui due lati così da essere mantenuto nella posizione corretta fino al getto del rivestimento definitivo. Ogni singolo telo viene poi saldato a quelli adiacenti mediante sovrapposizione dei lembi e successiva sigillatura per termofusione, in modo da realizzare un giunto formato da un doppio cordone di saldature; il vano risultante tra i due cordoni dev'essere testato a pressione per verificare la perfetta tenuta del giunto. Prima del loro impiego, tanto il manto di compensazione quanto quello d'impermeabilizzazione dovranno superare dei controlli di qualità per verificare che le loro caratteristiche (spessore, resistenza a compressione, a trazione e agli stress termici, imputrescibilità, ecc.) corrispondano esattamente a quelle previste dal progetto. Dopo la posa in opera sono inoltre previsti ulteriori controlli, essenzialmente visivi, per verificare che siano state osservate tutte le prescrizioni e le precauzioni indispensabili per ottenere il buon funzionamento, anche a lungo termine, dell'intervento.



(a) sezione corrente



(b) sezione in corrispondenza della raccolta delle acque in una apposita tubazione situata al di sotto della piattaforma stradale

Figura 3.8 – Gronda di Genova, gallerie realizzate in tradizionale, sezione tipo corrente di impermeabilizzazione e drenaggio.

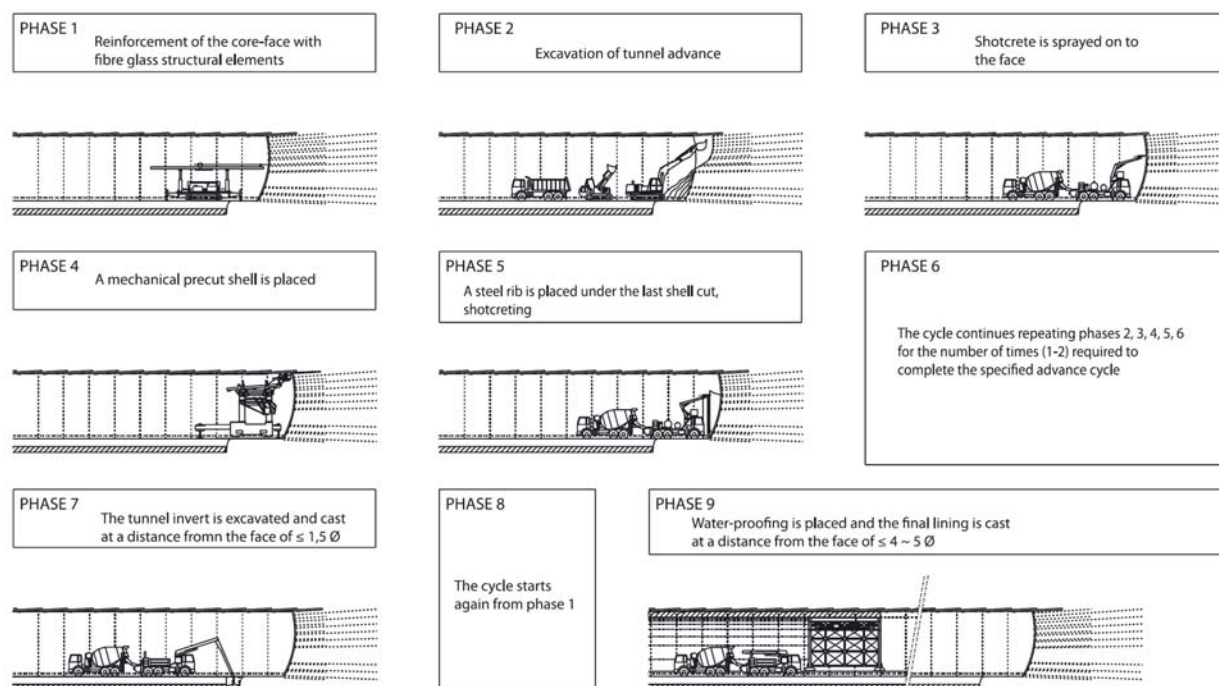


Figura 3.9 – Gallerie realizzate in tradizionale, tipiche fasi esecutive con particolare riferimento alla posa in opera dell'impermeabilizzazione e del getto del rivestimento (indicata come fase n. 9) per le sezioni tipo che prevedono il preconsolidamento del nucleo d'avanzamento.

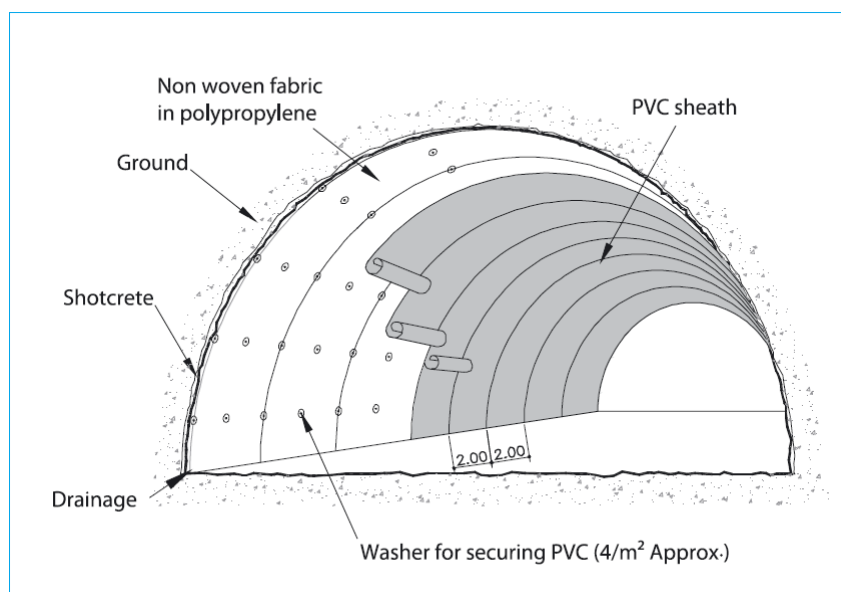


Figura 3.10 – Schema illustrativo della posa in opera del manto impermeabilizzante.

Occorre, inoltre, evidenziare come il sistema di impermeabilizzazione verrà garantito, per quanto concerne la continuità dei getti in calcestruzzo da opportuni water – stop a ogni ripresa di getto come mostrato nella figura 3.8.

Infine, con riferimento ai criteri di interpretazione delle osservazioni geologiche ed idrogeologiche e indagini geotecniche previste durante l'avanzamento degli scavi, che saranno illustrati nel capitolo 7, in alcune tratte potrà essere adottato un sistema di impermeabilizzazione del rivestimento senza drenaggi, in quanto, come riportato nella relazione di calcolo, gli eventuali carichi idrostatici agenti sul rivestimento definitivo possono essere sostenuti, con adeguati coefficienti di sicurezza, dagli spessori del rivestimento definitivo.

In questo caso, con riferimento alla figura 3.11, il rivestimento definitivo viene realizzato estendendo l'impermeabilizzazione anche nella zona dell'arco rovescio (il foglio di impermeabilizzazione, protetto con tessuto non tessuto, è poggiato direttamente sulla roccia). Il foglio di impermeabilizzazione in calotta e quello in arco rovescio sono generalmente collegati con saldatura all'altezza del giunto di costruzione tra calotta e muretta.

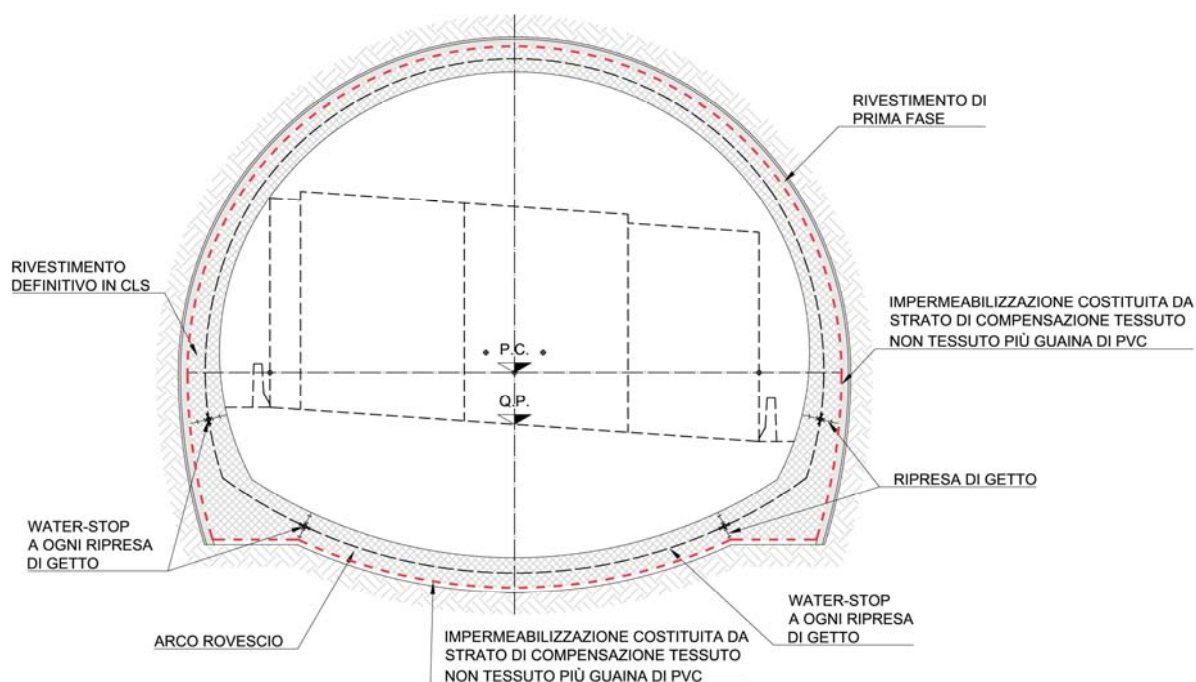


Figura 3.11 – Gronda di Genova, gallerie realizzate in tradizionale, sezione tipo di sola impermeabilizzazione e senza sistema di drenaggio per condizioni idrogeologiche critiche.

La figura 3.12 mostra alcuni esempi di interventi di impermeabilizzazione del tutto simili a quelli che saranno adottati per le gallerie realizzate in tradizionale della Gronda di Genova.

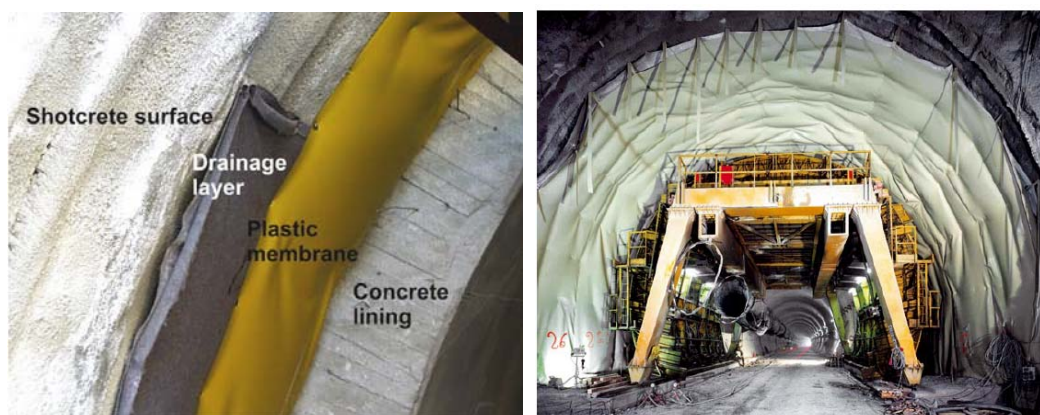


Figura 3.12 – Esempi di interventi di impermeabilizzazione.

4. INTERAZIONE FRA LE CONDIZIONI IDROGEOLOGICHE E L'AVANZAMENTO DELLE GALLERIE

4.1 Drenaggio operato dallo scavo delle gallerie

Sulla base dei valori del coefficiente di permeabilità equivalente ottenuti dall'interpretazione delle prove di permeabilità Lugeon, i cui risultati sono stati riportati nel capitolo 2 (desunti dal profilo idrogeologico longitudinale IDR-310-1), per ciascuna galleria sono stati calcolati i valori delle portate drenate dallo scavo lungo il loro sviluppo.

La portata in condizioni stazionarie è data dalla seguente espressione (Goodman et al., 1965):

$$q_s = F_s \cdot k \cdot H$$

dove F_s è, come mostrato in figura 4.1, una funzione che dipende dalle condizioni al contorno. Sempre con riferimento alla figura 4.1, il caso A è relativo ad una ricarica verticale in corrispondenza della quale il livello piezometrico può considerarsi costante a poca distanza dalla galleria, ad esempio al di sotto di un lago o in un acquifero molto permeabile. Il caso B è relativo ad un flusso radiale e la relativa equazione si riferisce ad un pozzo situato in un acquifero confinato, tale soluzione si applica ai casi di gallerie nelle quali la sorgente di ricarica è molto distante. Nel nostro caso si è fatto riferimento, cautelativamente, al caso A (vertical recharge).

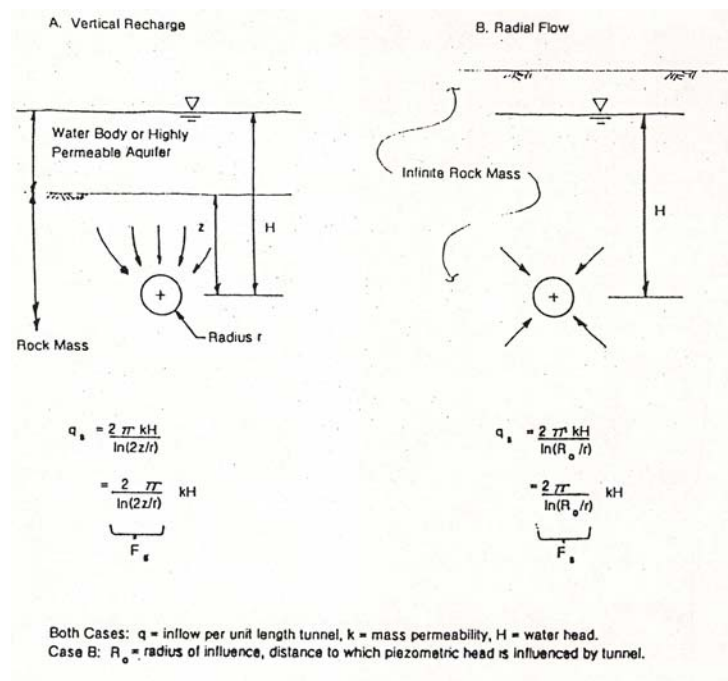


Figura 4.1 – Schemi e soluzioni analitiche per la determinazione della portata drenata da una galleria.

Nelle seguenti figure 4.2÷4.8, riprese dalla relazione idrogeologica, per ciascuna galleria, è riportata la portata drenata cumulata totale in funzione della lunghezza delle stesse.

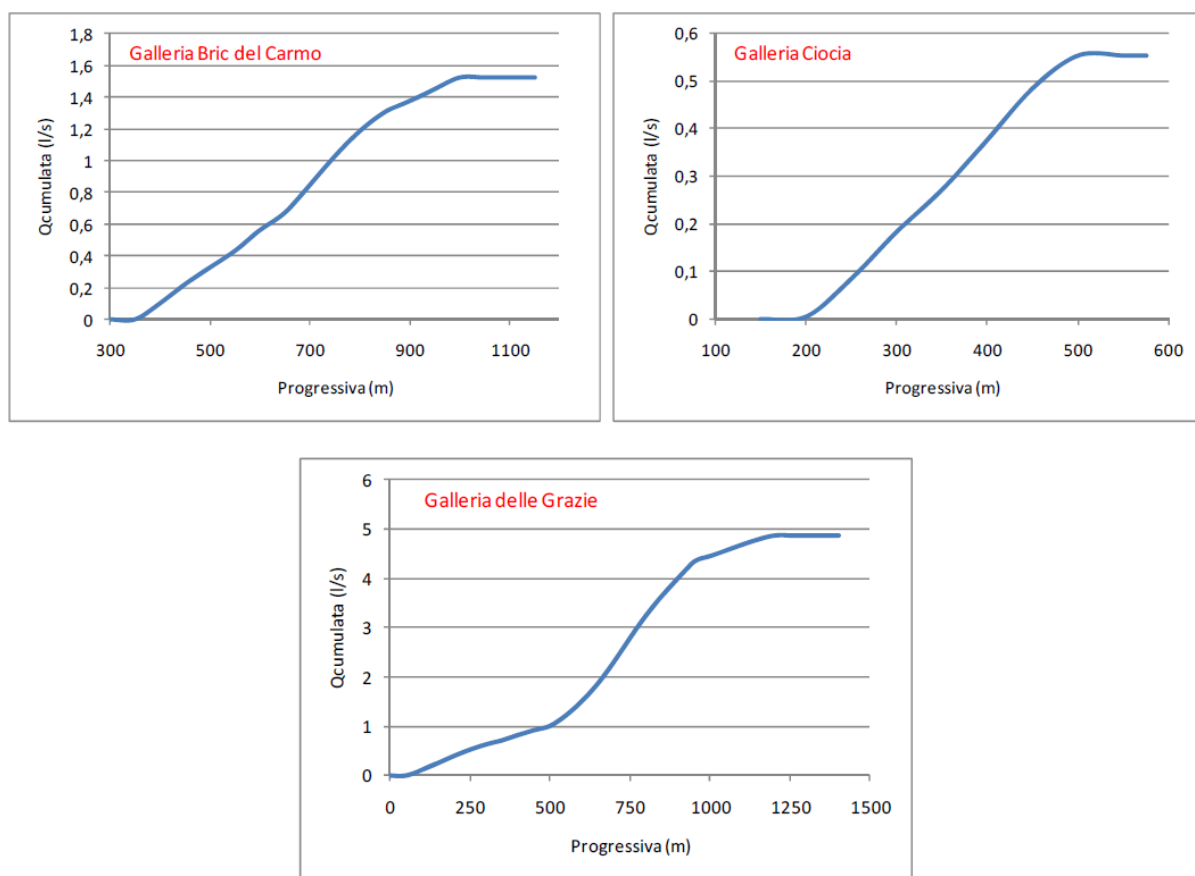


Figura 4.2 - Gallerie Bric del Carmo, Ciocia, Delle Grazie: stima delle portate di drenaggio cumulate.

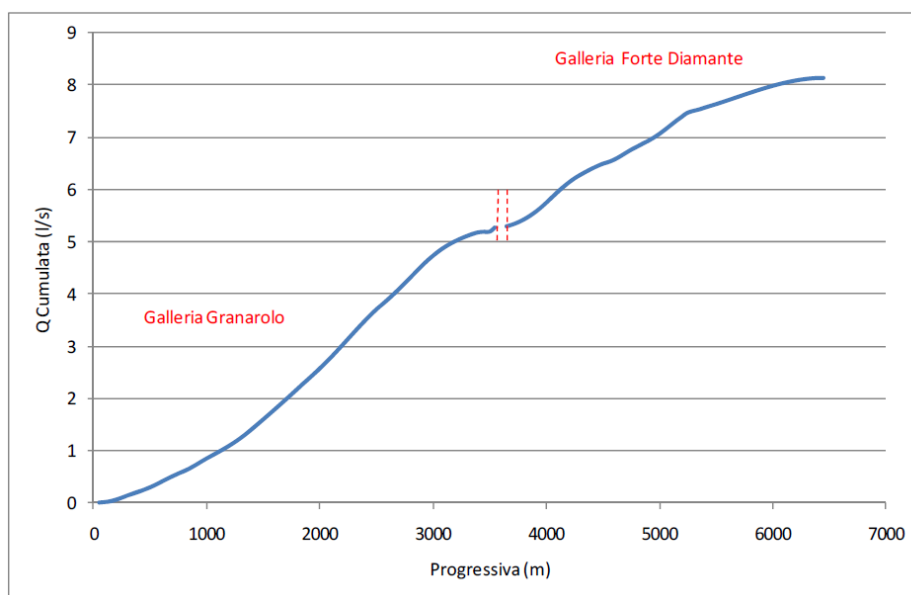


Figura 4.3 - Gallerie Granarolo e Forte Diamante: stima delle portate di drenaggio cumulate.

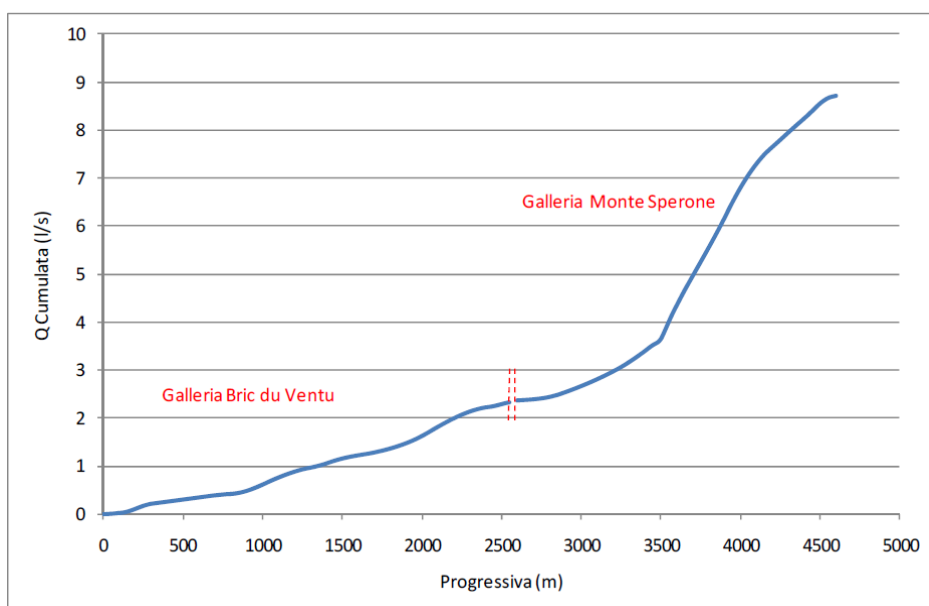


Figura 4.4 - Gallerie Bric du Ventu e Monte Sperone: stima delle portate di drenaggio cumulate.

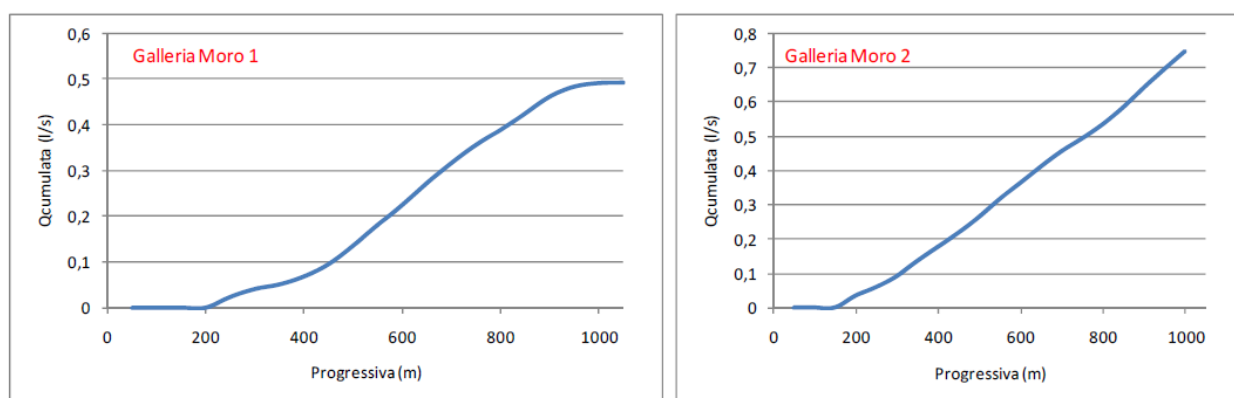


Figura 4.5 - Gallerie Moro 1 e Moro 2.

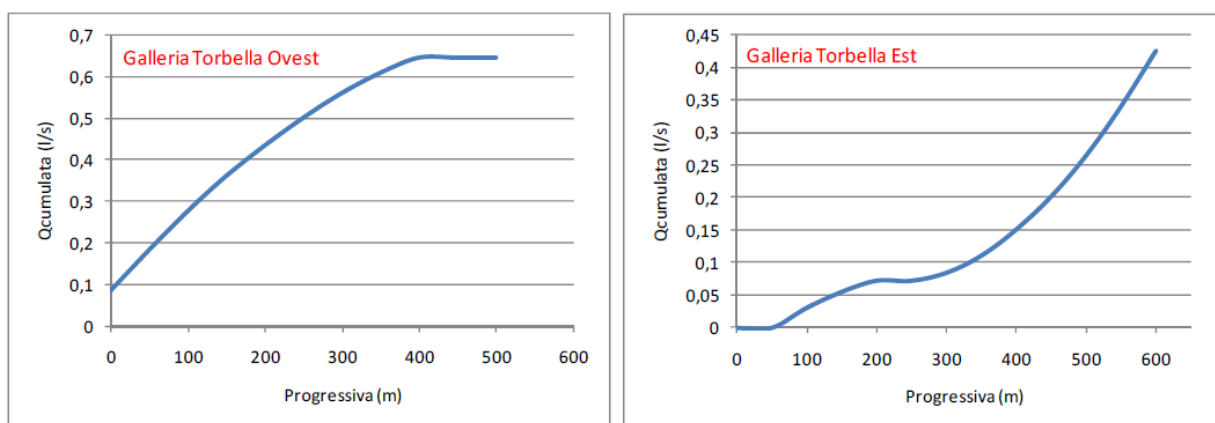


Figura 4.6 - Gallerie Torbella Ovest e Torbella Est: stima delle portate di drenaggio cumulate.

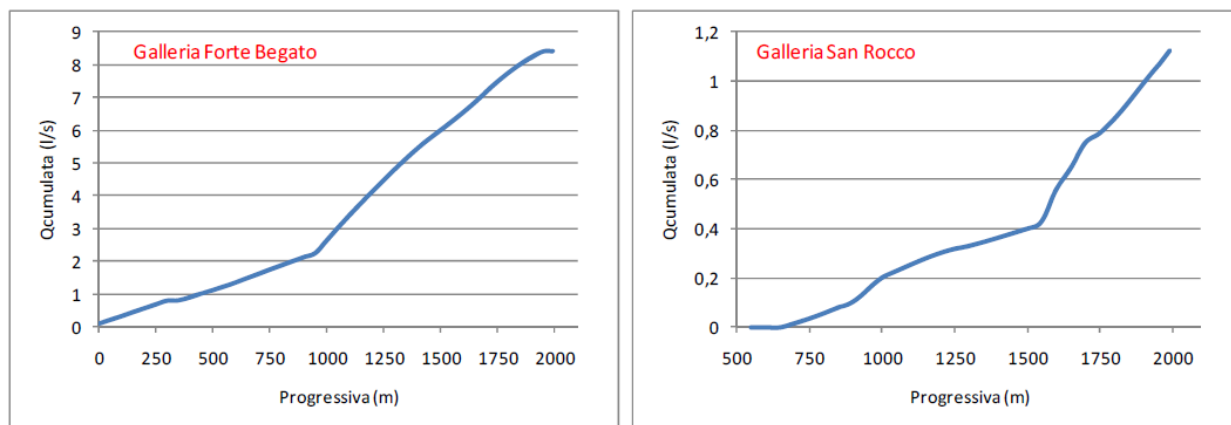


Figura 4.7 – Gallerie Forte Begato e San Rocco: stima delle portate di drenaggio cumulate.

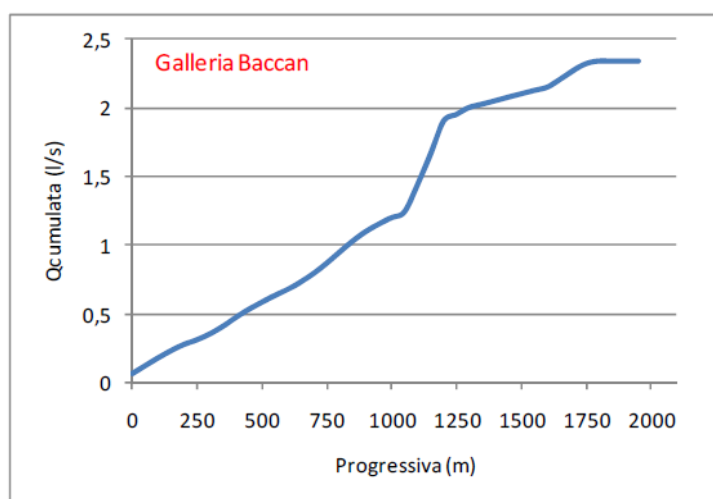


Figura 4.8 – Galleria Baccan: stima delle portate di drenaggio cumulate.

Per le gallerie Polcevera, Morego, Campursone, Voltri Ovest e Voltri Est non sono riportati i valori della portata drenata in quanto sono praticamente valori del tutto trascurabili.

Nelle seguenti figure 4.9 e 4.10, sono riepilogate le portate drenate previste a seguito dello scavo di ciascuna galleria e in particolare, nella figura 4.9 la portata totale e nella figura 4.10 la portata relativa ad una lunghezza di 10 m di galleria.

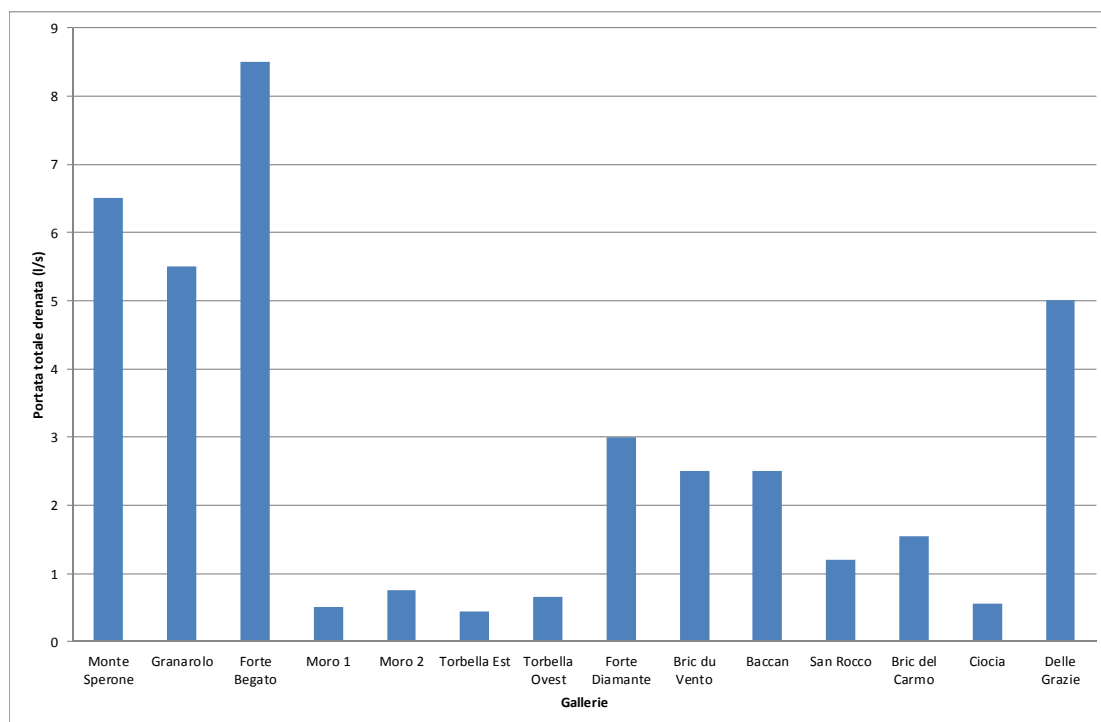


Figura 4.9 – Riepilogo dei valori totali della portata dell'acqua drenata dalle diverse gallerie realizzate in tradizionale (valori ripresi dalla relazione idrogeologica del Progetto Definitivo n. IDR301-2).

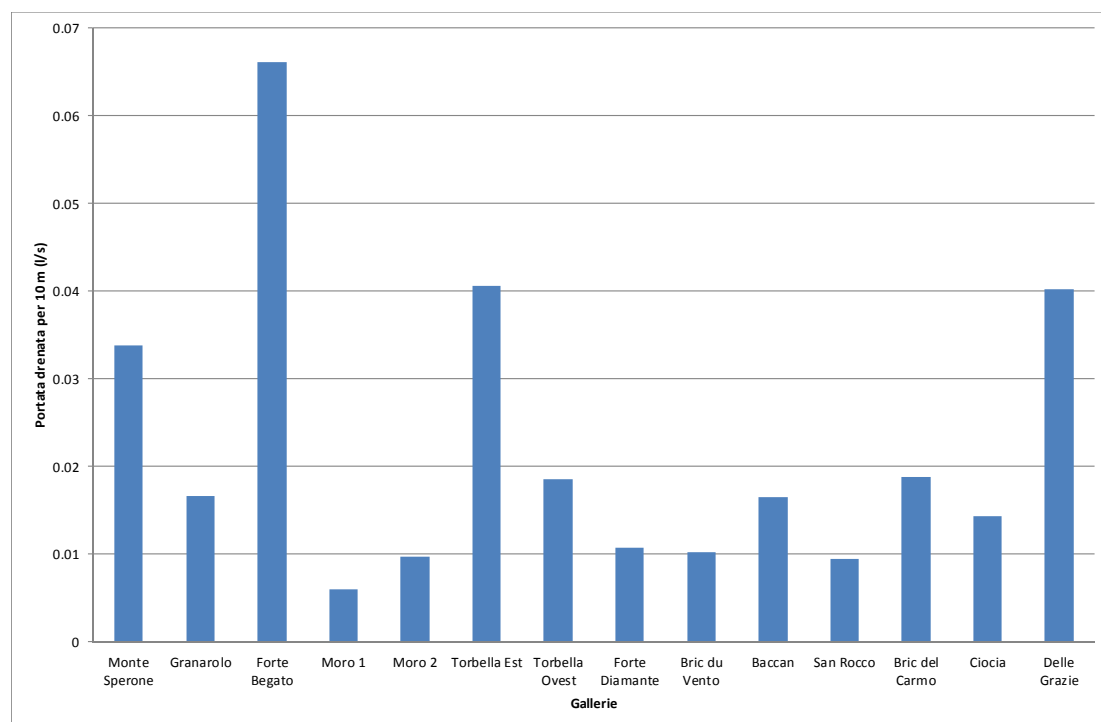


Figura 4.10 – Riepilogo dei valori della portata dell'acqua drenata, per 10 m di lunghezza di galleria, dalle diverse gallerie realizzate in tradizionale.

Dalla figura 4.10, si nota come i valori di portata drenata relativi a 10 m di galleria confermano la presenza di ammassi rocciosi poco permeabili in quanto tali valori, se correlati a quelli indicati dal

sistema di classificazione di Bieniawski per le condizioni idrauliche (tabella 4.1), sono indicativi di ammassi rocciosi con prevalente presenza di umidità essendo inferiori a 0.17 l/s (seconda colonna della tabella 4.1 relativa a condizioni di umidità).

Tabella 4.1 – Sistema di classificazione degli ammassi rocciosi di Bieniawski, condizioni idrauliche.

	Completamente asciutto	Umido	Molto umido	Stillicidio	Venute d'acqua
Afflusso per 10 m di lunghezza della galleria (l/min)	0	< 10	10-25	25-125	> 125
Afflusso per 10 m di lunghezza della galleria (l/s)	0	< 0.17	0.17 - 0.41	0.41 - 2.0	> 2.0

4.2 Carichi idrostatici agenti sul rivestimento

Con riferimento agli studi idrogeologici effettuati per il Progetto Definitivo (relazione idrogeologica IDR0301-2), le formazioni interessate dallo scavo delle gallerie sono caratterizzate da una bassa permeabilità secondaria per fratturazione con una conseguente modesta circolazione idrica, tipica di ammassi rocciosi parzialmente saturi. Conseguentemente l'entità sia del drenaggio che della pressione dell'acqua è da ipotizzare come estremamente modesta, anche nelle tratte indicate nei profili geologici ed idrogeologici con possibile presenza di roccia fratturata o di attraversamento di limitate fasce di roccia cataclastica.

Tuttavia, come sarà illustrato nel capitolo 6, nel caso in cui durante gli scavi dovessero essere intercettate tratte caratterizzate da roccia fratturata con venute d'acqua significative, verrà adottata una sezione tipo completamente impermeabile. In tal caso gli spessori del rivestimento definitivo saranno comunque in grado di sostenere, con adeguati coefficienti di sicurezza, carichi idrostatici fino ad un massimo di 30 m di battente equivalente avendo ipotizzando, cautelativamente, che l'ammasso roccioso sia caratterizzato da una permeabilità per porosità tipica dei terreni.

5. SCELTA DELLE SEZIONI TIPO E MONITORAGGIO DURANTE L'AVANZAMENTO DEL FRONTE DI SCAVO

5.1 Procedura per la gestione delle sezioni tipo di scavo e avanzamento

Per il progetto esecutivo verrà predisposto un apposito documento progettuale denominato “Linee Guida per l'applicazione delle sezioni tipo di scavo e avanzamento”, allo scopo di consentire la gestione in corso d'opera delle diverse sezioni tipo previste, con particolare riferimento alle variabilità degli interventi e delle fasi esecutive; di seguito si riepilogano gli aspetti principali che verranno trattati nel citato documento del Progetto Esecutivo.

5.1.1 Fasi esecutive e cadenze di avanzamento

- Il progetto definisce per ogni sezione tipo, le fasi esecutive e le cadenze di avanzamento, fornendo in particolare le distanze massime dal fronte di avanzamento entro cui porre in opera gli interventi di contenimento di prima e seconda fase (rivestimenti di prima fase, arco rovescio e rivestimento definitivo).
- Nel corso dei lavori il rilievo delle fasi esecutive e delle cadenze di avanzamento viene condotto secondo apposite schede.
- Le risultanze di tali rilievi hanno lo scopo di fornire gli elementi necessari per valutare l'influenza delle fasi e delle cadenze di avanzamento sulla risposta deformativa del fronte e del cavo; ad esempio una più efficace regimazione dei fenomeni deformativi può essere ottenuta rinforzando gli interventi di preconsolidamento al fronte o avvicinando al fronte gli interventi di contenimento quali il getto delle murette e dell'arco rovescio.

5.1.2 Applicazione delle sezioni tipo e delle relative variabilità

- Il progetto, attraverso la caratterizzazione degli ammassi presenti lungo il tracciato e la successiva fase di previsione di comportamento dell'ammasso allo scavo in assenza di interventi, ha definito le tratte a comportamento geomeccanico omogeneo.
- All'interno di ciascuna tratta, in sede di progetto, sono state definite nel profilo geomeccanico le sezioni tipo e le relative percentuali di applicazione, in funzione delle caratteristiche geologiche dell'ammasso in esame e del grado di instabilità del fronte di avanzamento.
- In corso d'opera lo schema operativo seguito è riportato nella figura 5.1.
- Una volta verificata la rispondenza con le ipotesi di progetto, riguardo la situazione geologico-geomeccanica e gli stati tensionali con i criteri descritti precedentemente, si procede alla scelta e all'applicazione della sezione tipo prevista per la tratta in esame.
- Durante gli avanzamenti vengono raccolti i dati, secondo i criteri più avanti indicati, riguardo le condizioni geologiche e geomeccaniche al fronte di avanzamento (figura 5.2), la risposta

deformativa del fronte e del cavo, le fasi e le cadenze di avanzamento (figura 5.3). La loro elaborazione consente di confrontare la situazione così riscontrata con quella di progetto e procedere di conseguenza alla gestione del progetto secondo i punti di seguito indicati.

- Se le condizioni geologiche e geomeccaniche rilevabili al fronte e la risposta deformativa si mantengono all'interno dei valori previsti che descrivono tutte le formazioni rocciose previste lungo il tracciato, si prosegue con l'applicazione della sezione in corso di esecuzione.
- Se la risposta deformativa manifesta la tendenza al raggiungimento del limite inferiore o superiore del campo ipotizzato, confermata dall'evidenza dei precedenti rilievi geologici/geotecnici/geomeccanici, il progettista valuta se procedere alla modifica della distanza dal fronte entro cui eseguire il getto dell'arco rovescio, delle murette, del rivestimento definitivo (fermo restando le massime convergenze previste in progetto) e/o alla modifica dell'intensità degli interventi, nell'ambito dei campi di variabilità previsti per la sezione adottata.
- Se le condizioni geologiche e geomeccaniche rilevate al fronte di avanzamento manifestano un miglioramento ovvero un peggioramento rispetto al rilievo precedente (pur rimanendo nell'ambito dei parametri caratterizzanti la tratta) il progettista valuta la possibilità di procedere alla modifica dell'intensità degli interventi nell'ambito dei campi di variabilità previsti per quella sezione.
- Nell'ambito di una stessa tratta a comportamento geomeccanico omogeneo possono essere presenti diverse sezioni tipo, oltre a quella prevalente la cui percentuale di applicazione è definita in progetto in funzione di: (1) caratteristiche geologiche e geostutturali dell'ammasso, (2) caratteristiche geomeccaniche e idrogeologiche dell'ammasso, (3) stato tensionale agente, (4) possibili disturbi di natura tettonica. Quando le situazioni geomeccaniche osservate risultano sensibilmente differenti da quelle ipotizzate e le deformazioni sono al di fuori dei campi previsti, si procede al passaggio ad una diversa sezione tipo, tra quelle previste in progetto per quella tratta. Qualora la situazione riscontrata non corrisponda a nessuna di quelle ipotizzate nella tratta in esame, e di conseguenza nessuna delle sezioni tipo previste può essere adottata, ma tuttavia tale situazione è analoga ad altre ipotizzate lungo il tracciato, si procede all'adozione di una diversa sezione tipo, non prevista in quella tratta, ma prevista in progetto in altre tratte in contesti analoghi.

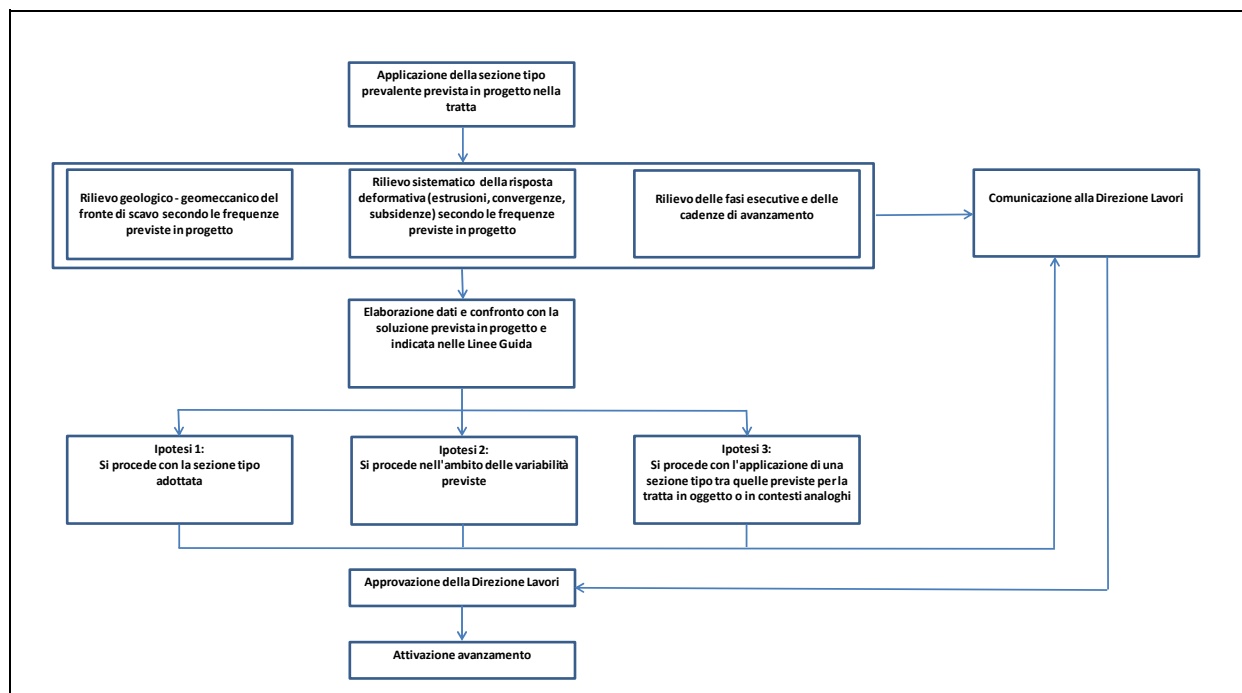


Figura 5.1 – Fase operativa e di verifica in corso d'opera.

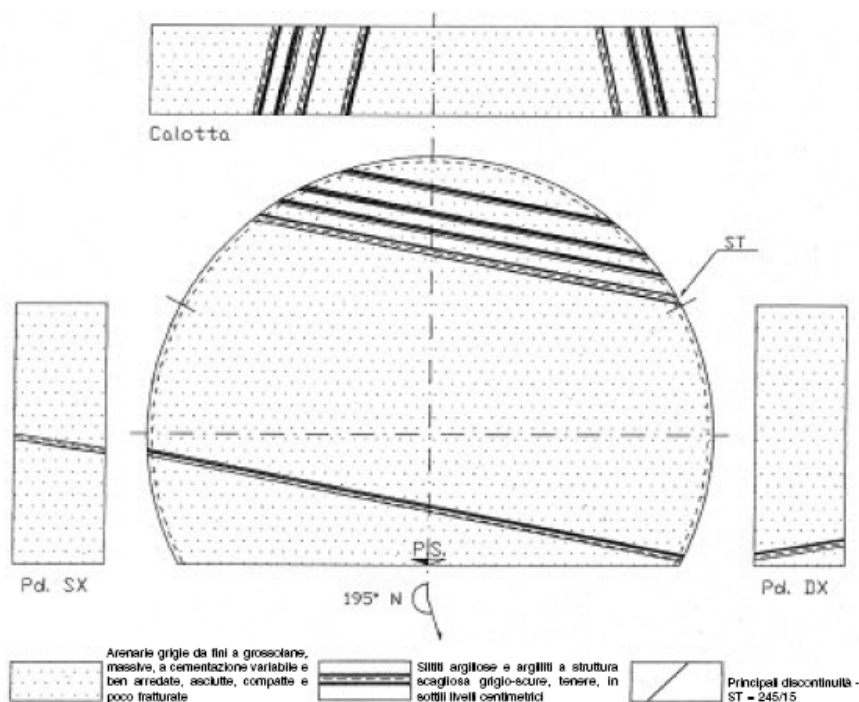




Figura 5.3 - Esempio di modello per il rilievo delle fasi esecutive.

5.2 Piano di monitoraggio

5.2.1 Stazioni di monitoraggio

Il monitoraggio in galleria comprende le seguenti attività e stazioni di monitoraggio:

- Rilievo sistematico del fronte di scavo con indicazione delle formazioni interferenti con il fronte di scavo ed in generale di tutte le informazioni sull'ammasso visivamente rilevabili in galleria (da effettuarsi ogni 10 m d'avanzamento per comportamento allo scavo di tipo C, ogni 20 m per tipo B e ogni 40 m per il tipo A);
- Rilievo sistematico delle fasi lavorative in galleria (da effettuarsi ogni 10 m per comportamento allo scavo di tipo C, ogni 20 m per tipo B e ogni 40 m per il tipo A);
- N° 5 mire ottiche posizionate sul pririvestimento da installare in prossimità del fronte di scavo, per le misure di convergenza (da prevedersi ogni 10 m per comportamento allo scavo di tipo C, ogni 20 m per tipo B e ogni 40 m per tipo A);
- N° 9 mire ottiche per il fronte di scavo, nel caso di fermo lavori;
- N° 5 coppie di barrette estensimetriche sulle centine, applicate a coppie sulle ali della centina, una verso l'intradosso, l'altra verso l'estradosso, ubicate in calotta, sui reni e sui piedritti (da applicare ogni 100 m per comportamento allo scavo di tipo C, ogni 200 m per tipo B e ogni 400 m per tipo A e comunque almeno in 2 sezioni per ogni galleria);
- N° 8 barrette estensimetriche ubicate nel rivestimento definitivo (da prevedersi ogni 100 m per comportamento allo scavo di tipo C, ogni 200 m per tipo B e ogni 400 m per tipo A);
- N° 2 celle di carico alla base delle centine; (da installare ogni 100 m per comportamento allo scavo di tipo C, ogni 200 m per tipo B e ogni 400 m per tipo A);
- Misure di estrusione mediante estrusometro sul fronte di scavo (strumento installato a completa sovrapposizione per il comportamento tipo C, secondo necessità per il tipo B).

Le frequenze delle misure indicativamente saranno le seguenti:

- misure di convergenza: oltre la misura di zero, 1 misura al giorno fino ad una distanza dal fronte di 15 m, 2 misure alla settimana con il fronte fino a 30 m, quindi 1 misura alla settimana fino al getto del rivestimento definitivo. Per le categorie di scavo di tipo A e B tali frequenze potranno essere opportunamente diradate;
- per le letture di barrette estensimetriche e celle di pressione si prevedono indicativamente: 1 misura ogni tre giorni con il fronte distante fino a 30 m, 1 misura alla settimana con il fronte distante da 30 a 60 m, 1 lettura al mese con il fronte distante più di 60 m a getto del rivestimento definitivo avvenuto, solo nel caso di celle di pressione poste in opera all'interno di esso;
- le misure di estrusione andranno effettuate almeno ad inizio e fine di ogni campo di scavo (fermo per esecuzione consolidamento, posa arco rovescio ecc.).

In alcune tratte, come indicato nei profili geomeccanici e di monitoraggio, è stata anche inserita la possibilità di realizzare delle indagini in avanzamento costituite da sondaggi con l'acquisizione dei parametri di perforazione (tecnologia Dac test).

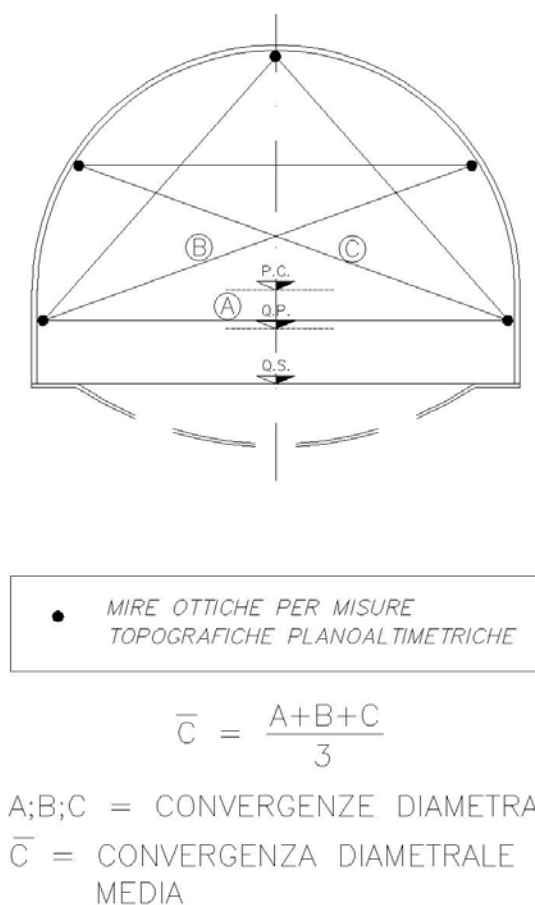


Figura 5.4 – Stazioni di controllo topografico del cavo (stazioni di convergenza).

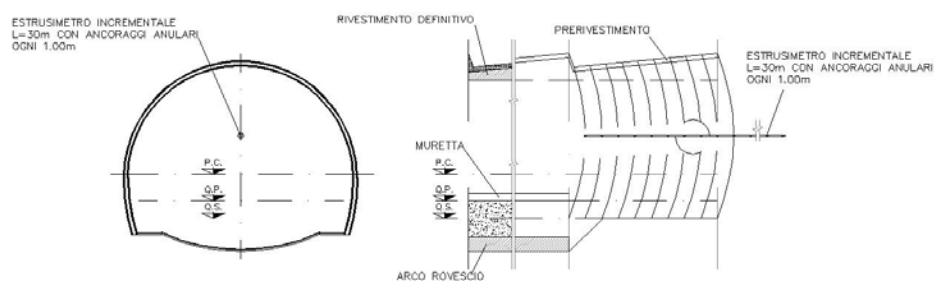


Figura 5.5 – Misure di estrusione del nucleo d'avanzamento.

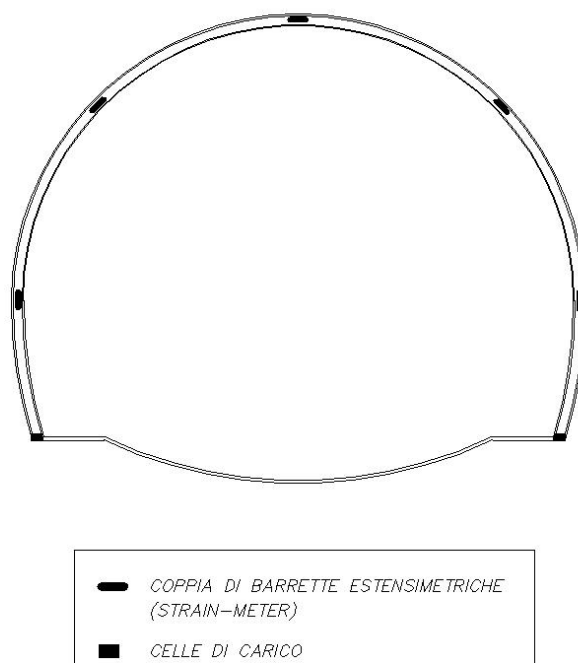


Figura 5.6 – Stazione di misura dello stato tensionale del prerivestimento.

5.2.2 Sondaggi in avanzamento a distruzione di nucleo

Tali sondaggi attrezzati con Dac test permetteranno di riconoscere anticipatamente la presenza di eventuali zone di disturbo tettonico o di venute di acqua. Dovrà essere eseguita una perforazione a distruzione di nucleo in avanzamento della lunghezza da 24 a 30 m, nelle sole tratte critiche indicate sui profili geologici, idrogeologici e geomeccanici o in corrispondenza di zone che verranno individuate in corso d'opera sulla base dei rilievi geologico – strutturali del fronte di scavo. La perforazione dovrà avere un'inclinazione rispetto all'orizzontale di + 5°. In caso di rinvenimento di venute d'acqua dovranno essere eseguite ulteriori perforazioni dello stesso tipo.

Le sonde di perforazione dovranno essere attrezzate con un sistema di registrazione automatica computerizzata per il rilievo, la registrazione, l'elaborazione e la restituzione in continuo dei seguenti parametri:

- profondità di perforazione;
- velocità di perforazione;
- velocità di rotazione in fase di perforazione;
- spinta in fase di perforazione;
- portata del fluido di perforazione;
- pressione del fluido di perforazione.

5.2.3 Rilievi geomeccanici del fronte di scavo

Permetterà di acquisire gli elementi relativi alle caratteristiche geostrutturali e geomeccaniche dell'ammasso roccioso, inteso come complesso costituito dalla matrice roccia e dai piani di discontinuità, principalmente per uso di classificazione mediante l'indice RMR e GSI, quest'ultimo indice è stato adottato per l'interpretazione delle indagini effettuate e per la definizione dei criteri di applicazione delle sezioni tipo e di variabilità dei interventi, come illustrato nelle relazioni geomeccaniche del Progetto Definitivo.

In base ai risultati dei rilievi del fronte di scavo 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, e comunque ogni campo di avanzamento nel caso di sezioni tipo che prevedono interventi di consolidamento e/o presostegno, in questo caso al termine dell'ultimo sfondo del campo per verificare l'adeguatezza dell'entità dell'intervento di consolidamento/presostegno;
- rilievi di tipo speditivo nelle restanti condizioni geologico - geomeccaniche.

I rilievi geostruttrali stessi dovranno essere materialmente eseguiti da un geologo o ingegnere geomeccanico dotato di specifico addestramento ed esperienza. 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 tipo L);
- profilatore di rugosità a pettine (pettine di Barton);
- disco (diametro 30 cm) per l'appoggio della bussola;
- point load strength tester.

5.2.3.1 Rilievi di dettaglio

5.2.3.1.1 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 realisticamente 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 azimuth 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 JRC (Joint Roughness Coefficient), ondulazione, resistenza della parete del giunto JCS (Joint Compressive Wall Strength), 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 ed eventuali venute d'acqua valutate sugli ultimi 8÷10 m di scavo, distacchi gravitativi (ubicazione e geometria dei volumi), interventi di consolidamento e/o presostegno e di contenimento presenti. Proprio con riferimento al presente Codice di Scavo a fini idrogeologici il rilievo dovrà essere particolarmente accurato per quanto concerne le condizioni idrogeologiche, adottando per la descrizione delle condizioni idrogeologiche sia quanto indicato da Bieniawski e Barton (tabelle 5.1 e 5.2) relativamente ai loro due sistemi di classificazione sia le raccomandazioni ISRM (tabella 5.3 e 5.4).

Tali sistemi di classificazione prevedono infatti delle precise indicazioni sulle condizioni idrauliche dei giunti che possono fornire una prima indicazione sulle effettive condizioni idrogeologiche.

Tabella 5.1 - Classificazione di Bieniawski, condizioni idrauliche delle fratture

Afflusso per dieci metri di galleria	Condizioni generali	Indice per la definizione del valore di RMR
Assente	Completamente asciutto	15
Inferiore a 10 litri/min (0.1667 litri/sec)	Modesta umidità	10
Compreso fra 10 e 25 litri/min (compreso fra 0.1667 e 0.4167 litri/sec)	Solo umidità	7
Compreso fra 25 e 125 litri/min (fra 0.4167 e 2.0833 litri/sec)	Modesti stillicidi	4
Superiore a 125 litri/min (2.0833 litri/sec)	Venute d'acqua significative	0

Tabella 5.2 - Classificazione di Barton, condizioni idrauliche delle fratture

Condizioni	J_w	Pressione dell'acqua (MPa)
Scavo asciutto o afflusso minimo d'acqua	1	0.1
Afflusso medio o pressioni medie, occasionalmente trasporto di materiali di riempimento del giunto	0.66	0.1 – 0.25
Flussi discreti o alte pressioni in rocce compatte con giunti non riempiti	0.5	0.25 – 1
Flussi discreti o alte pressioni, discreto trasporto di materiale di riempimento	0.33	0.25 – 1
Flussi discretamente elevati o pressioni molto elevate subito dopo lo scavo, decrescenti nel tempo	0.2 – 0.1	> 1
Flussi elevati o pressioni molto elevate, continue nel tempo	0.1 – 0.05	> 1

Tabella 5.3 - Classificazione dell'ammasso roccioso interessato dallo scavo di una galleria, sulla base delle condizioni idrogeologiche (ISRM, 1978).

Classe	Descrizione
I	Pareti di scavo asciutte, nessuna osservazione di venute d'acqua localizzate
II	Umidità o modeste venute localizzare in corrispondenza di discontinuità
III	Venute di acqua di media intensità con flusso continuo attraverso specifiche discontinuità con possibilità di stimare gli afflussi in l/min per 10 m di lunghezza di scavo della galleria
IV	Venute di acqua importanti attraverso specifiche discontinuità con possibilità di stimare degli afflussi in l/min per 10 m della lunghezza di scavo della galleria
V	Venute di acqua di entità eccezionale attraverso zone specifiche molto fratturate con possibilità di stimare gli afflussi in l/min per 10 m della lunghezza di scavo della galleria

Tabella 5.4 - Classificazione delle discontinuità presenti nell'ammasso roccioso interessato dallo scavo di una galleria, sulla base delle condizioni idrogeologiche (ISRM, 1978)

Classe	Descrizione
I	Discontinuità molto chiuse ed eventualmente con riempimento di materiali fini impermeabili attraverso le quali non si manifesta alcuna infiltrazione di acqua
II	Discontinuità asciutte senza alcuna evidenza di flusso di acqua. Se è presente del materiale di riempimento si presenta umido ma non è presente acqua libera
III	Discontinuità asciutte ma con evidenza di essere state interessate in passato da flussi di acqua. Se si ha presenza di riempimento esso è umido con occasionali gocce di acqua
IV	La discontinuità è umida ma non è presente acqua libera. Se è presente del riempimento possono essere osservati segni di dilavamento con flusso di acqua costante (stimabile in l/min)
V	La discontinuità mostra infiltrazioni, occasionalmente gocce di acqua, ma non un flusso continuo. Se è presente del riempimento localmente può risultare dilavato con venute di acqua (è possibile misurare la portata in l/min e descrivere la pressione: bassa, media, alta)
VI	La discontinuità mostra un flusso di acqua costante (è possibile stimare la portata in l/min e descrivere la pressione: bassa, media, alta). Se la discontinuità presenta un riempimento può essere completamente dilavato dall'acqua in pressione.

5.2.3.1.2 Documentazione

La documentazione comprenderà:

- fotografia del fronte;

- progressiva del fronte in corrispondenza del quale è stato eseguito il rilievo, con rappresentazione grafica ed indicazione degli stendimenti di misura;
- tabelle con i dati di campagna;
- descrizione geologica strutturale del fronte, 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 ogni caso oltre a quanto sopra richiesto dovranno essere compilati, in ogni parte, apposite schede di rilievo. In particolare si dovrà procedere al calcolo del parametro RMR sulla base del rilievo dei sei parametri:

- resistenza a compressione monoassiale
- RQD
- spaziatura delle discontinuità
- condizioni delle discontinuità
- condizioni idrauliche
- orientamento delle discontinuità

Infine anche sulla base dell'indice RMR dovrà essere definito l'indice GSI.

Nella seguente figura 5.7 è mostrato un esempio di scheda relativa al rilievo geologico strutturale del fronte di scavo di una galleria.

Figura 5.7 - Esempio di scheda relativa al rilievo geologico – strutturale del fronte di scavo.

5.2.3.2 Rilievi di tipo speditivo

5.2.3.2.1 Modalità esecutive

Le modalità esecutive saranno come precedentemente descritto per i rilievi di dettaglio con l'eccezione che l'assetto generale, le spaziatura delle discontinuità, i parametri JRC e JCS potranno essere valutati qualitativamente.

5.2.3.2.2 Documentazione

La documentazione sarà come precedentemente descritto per i rilievi di dettaglio, ad esclusione dei dati quantitativi su assetto, spaziatura delle discontinuità e misure della valutazione dei parametri JRC e JCS.

6. CRITERI DI INTERPRETAZIONE DELLE INDAGINI IN CORSO D'OPERA E DEL MONITORAGGIO

L'adozione delle Linee Guida per la gestione delle sezioni tipo di scavo e avanzamento, insieme ai risultati dei rilievi geologico - strutturali del fronte di scavo e, nelle tratte più critiche, dei sondaggi in avanzamento rispetto al fronte di scavo, permetteranno di verificare le effettive condizioni idrogeologiche presenti lungo il tracciato delle gallerie; condizioni che sulla base degli studi condotti per il Progetto Definitivo e dell'esperienza finora acquisita nell'esercizio delle gallerie autostradali esistenti, più prossime all'area del progetto, non presentano problemi particolari trattandosi di formazioni caratterizzate da una bassa permeabilità e con un bacino superficiale di alimentazione modesto.

Tuttavia, nelle tratte nelle quali si dovessero registrare delle venute d'acqua concentrate significative con valori costanti di afflusso superiori a 2 l/s (valore indicato nell'ultima colonna della tabella 4.1 relativa alle condizioni idrauliche nel sistema di classificazione proposto da Bieniawski) o delle venute d'acqua diffuse con valori costanti di afflusso superiori a 2 l/s ogni 10 metri di galleria (0.2 l/s per metro), verrà effettuato un sondaggio in avanzamento, misurando a foro chiuso mediante "preventer" la pressione dell'acqua e, qualora la pressione risultasse non superiore a 3 bar (valore massimo per il quale il rivestimento definitivo è in grado di sostenere, con adeguati coefficienti di sicurezza, il carico idrostatico), si adotterà la soluzione che prevede l'impermeabilizzazione anche dell'arco rovescio, eliminando i tubi di raccolta delle acque in corrispondenza dei piedritti.

Tale approccio progettuale in corso d'opera è schematizzato nella figura 6.1.

Inoltre, per l'integrità e la qualità del sistema di drenaggio e impermeabilizzazione il getto del rivestimento definitivo di calotta dovrà avvenire quando le stazioni di convergenza mostreranno il completo esaurimento delle convergenze.

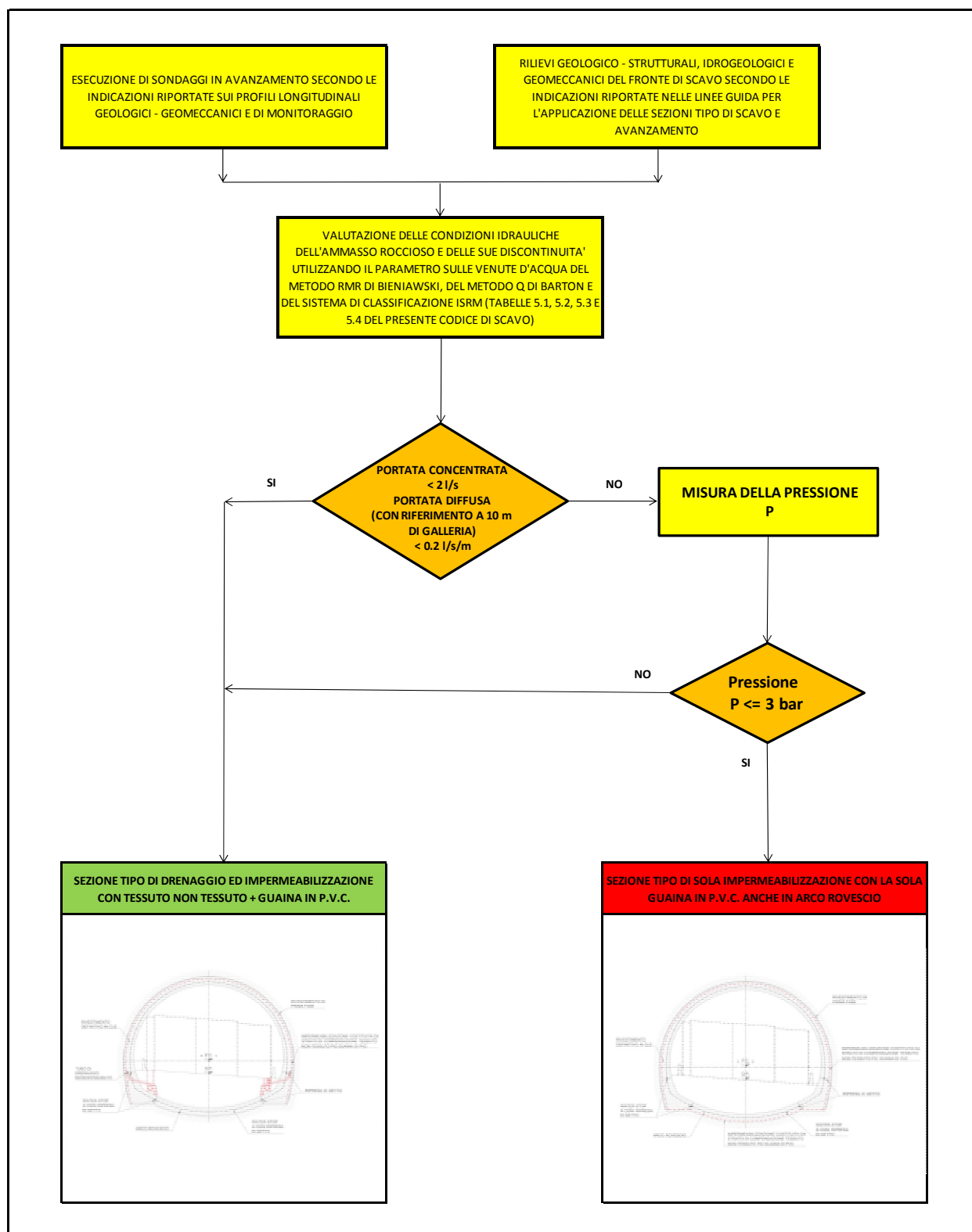


Figura 6.1 – Approccio progettuale in corso d'opera per la valutazione delle condizioni idrogeologiche durante l'avanzamento degli scavi e la definizione della sezione tipo di impermeabilizzazione e drenaggio.

7. GALLERIA DI SICUREZZA

Il progetto delle gallerie realizzate in tradizionale contempla una galleria di sicurezza di piccole dimensioni, che si sviluppa da Genova ovest e Genova Est. Tale galleria avrà una sezione circolare con un diametro interno di 3.50 m.

Con riferimento alla figura 7.1, considerato lo spessore del concio prefabbricato, pari a 0.20 m, il diametro di estradosso risulta pari a 3.90 m. Quale lunghezza del concio si ipotizza 1.20 m. L'anello è costituito da 4 conci + il concio di chiave. Le connessioni tra i conci sono previste mediante 3 connettori meccanici del tipo Biblock system, sul giunto trasversale. Sul giunto radiale si è prevista la messa in opera della barra guida. Da ultimo si evidenzia la presenza di una guarnizione in EPDM per la tenuta all'acqua.

Tenendo conto delle modeste dimensioni di scavo e delle discrete proprietà geomeccaniche delle formazioni interessate dallo scavo, potrà essere adottata una TBM aperta da roccia monoscudata, che permetterà di montare nella coda il rivestimento prefabbricato reso impermeabile da apposite guarnizioni di tenuta ripristinando immediatamente le condizioni idrogeologiche pre-esistenti allo scavo della galleria.

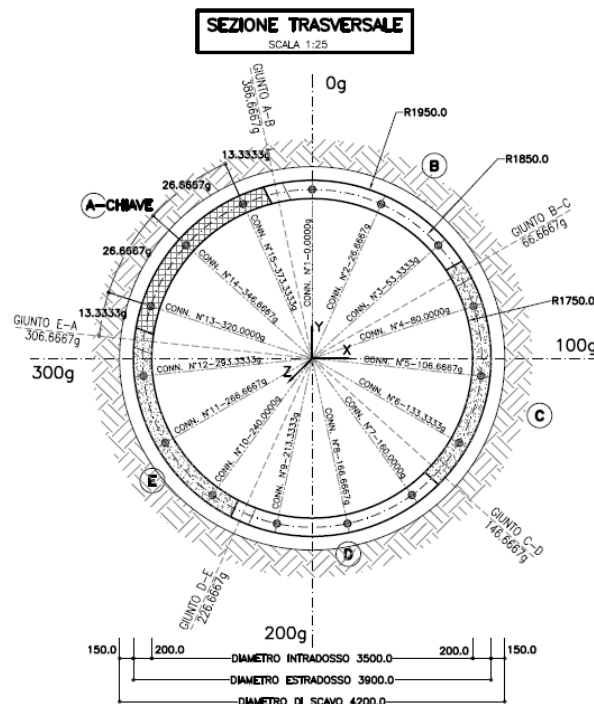


Figura 7.1 – Cunicolo di servizio - Anello in conci prefabbricati – Sezione trasversale

8. CONCLUSIONI

Nel capitolo 2 sono state riepilogate le principali condizioni geologiche, idrogeologiche e geomeccaniche presenti lungo il tracciato delle gallerie e cameroni che saranno realizzati in tradizionale inclusa la galleria di sicurezza, del diametro di scavo di 4.2 m, che sarà invece realizzata con una TBM aperta da roccia monoscudata.

Nel capitolo 3 sono state illustrate le sezioni tipo di scavo e avanzamento previste per le gallerie da realizzarsi in tradizionale e, per quanto concerne le problematiche idrogeologiche, le due sezioni tipo di drenaggio e impermeabilizzazione previste dal progetto (paragrafo 3.6 e figure 3.8 e 3.11).

Nel capitolo 4, sulla base degli studi idrogeologici è riportata, per ciascuna galleria, la previsione delle portate d'acqua drenate per effetto dello scavo delle gallerie.

I valori totali, delle portate d'acqua drenata, risultano compresi fra un minimo di 0.45 l/s per la galleria Torbella Est ed un massimo di 8.5 l/s per la galleria Forte Begato, o meglio, tenendo conto della lunghezza delle gallerie, fra un minimo di circa 0.02 l/s per 10 m di galleria (galleria Bric del Carmo) e un massimo di circa 0.07 l/m per 10 m di galleria (galleria Forte Begato); tali valori risultano estremamente modesti, in accordo con le caratteristiche idrogeologiche delle formazioni geologiche interessate dallo scavo delle gallerie, caratterizzate da una bassa permeabilità secondaria per fratturazione con una conseguente circolazione idrica modesta.

Tuttavia, in accordo alle Linee Guida per l'applicazione delle sezioni tipo di scavo e avanzamento, mediante le indagini e il monitoraggio in corso d'opera previsto (sondaggi in avanzamento rispetto al fronte di scavo, sistematici rilievi geologico – strutturali, idrogeologici e geomeccanici del fronte di scavo, monitoraggio per misurare la risposta tensio – deformativa, del fronte e del cavo, per effetto dello scavo della galleria), sarà possibile verificare la validità delle previsioni progettuali, incluse quelle relative alle condizioni idrogeologiche, secondo i criteri di interpretazione riportati nel capitolo 6.

Con riferimento ai criteri esposti nel capitolo 6, nelle tratte nelle quali si avrà conferma della previsione progettuale per quanto concerne gli afflussi d'acqua con condizioni generali di assenza d'acqua, o di umidità o di modesti stillicidi, con conseguente portata inferiore a 0.2 l/s per metro di galleria, si adotterà la sezione tipo di drenaggio e impermeabilizzazione che comprende uno strato di compensazione di tessuto non tessuto e un foglio impermeabilizzante in PVC, da almeno 2 mm di spessore, parzialmente sovrapposti e saldati tra loro termicamente, posizionato all'estradosso del rivestimento definitivo. Tale sistema di drenaggio e impermeabilizzazione si estende sulla corona e i piedritti e scarica in una tubazione di raccolta longitudinale al piede dei piedritti; l'arco rovescio è gettato direttamente contro la roccia.

Infine, qualora nell'attraversamento di tratte di roccia fratturata e/o fasce di roccia cataclastica, verranno misurati valori di portata d'acqua drenata dal cavo superiori a 0.2 l/s per metro, verrà adottata

una sezione tipo completamente impermeabile estendendo l'impermeabilizzazione anche nella zona dell'arco rovescio (con il foglio di impermeabilizzazione, protetto con tessuto non tessuto, appoggiato direttamente sulla roccia) ed eliminando i tubi di drenaggio microfessurato.

In tale caso, di sezione completamente impermeabile, occorre evidenziare, come riportato nella relativa relazione di calcolo, che gli eventuali carichi idrostatici agenti sul rivestimento definitivo, stimati pari ad un battente equivalente massimo di 30 m, possono essere sostenuti, con adeguati coefficienti di sicurezza, dagli spessori del rivestimento definitivo.

Infine, come discusso nel precedente capitolo 3, le stazioni di convergenza saranno utili non solamente per valutare il comportamento tensio - deformativo dell'ammasso roccioso durante lo scavo e l'avanzamento del fronte di scavo ma permetteranno di appurare la stabilizzazione delle convergenze in galleria, condizione indispensabile per poter procedere con il getto del rivestimento definitivo garantendo la perfetta funzionalità ed efficienza del sistema di drenaggio e impermeabilizzazione stesso, in accordo con le fasi esecutive di avanzamento previste per ciascuna sezione tipo.