

## AUTOSTRADA (A1): MILANO-NAPOLI

AMPLIAMENTO ALLA TERZA CORSIA  
NEL TRATTO INCISA - VALDARNO

LOTTO 1

### PROGETTO ESECUTIVO



AU - AUTOSTRADA A1

GALLERIA BRUSCHETO  
PARTE GENERALE

ASSE VARIANTE NORD - GALLERIA CORRENTE  
CODICE DI SCAVO AI FINI IDROGEOLOGICI

IL PROGETTISTA SPECIALISTICO  Ing. Simona Comi Ord. Ingg. Milano n.A18014  Responsabile Opere in Sotterraneo	IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE  Ing. Paola Castiglioni Ord. Ingg. Varese N. 2725	IL DIRETTORE TECNICO  Ing. Orlando Mazza Ord. Ingg. Pavia N. 1496  Progettazione Nuove Opere Autostradali
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

CODICE IDENTIFICATIVO											ORDINATORE
RIFERIMENTO PROGETTO			RIFERIMENTO DIRETTORIO				RIFERIMENTO ELABORATO				
Codice Commessa	Lotto, Sub-Prog. Cod. Appalto	Fase	Capitolo	Paragrafo	W B S	Parte d'opera	Tip.	Disciplina	Progressivo	Rev.	-
119941	LL01	PE	AU	G02	GE000	00000	R	TUN	1952	-1	SCALA -

 	PROJECT MANAGER:  Ing. Paola Castiglioni Ord. Ingg. Varese N. 2725	SUPPORTO SPECIALISTICO:	REVISIONE	
			n.	data
			0	FEBBRAIO 2020
			1	OTTOBRE 2020
REDATTO:		VERIFICATO:		

	VISTO DEL COMMITTENTE    IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Ing. Furio Cruciani	VISTO DEL CONCEDENTE    <b>Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti</b> DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, GLI AFFARI GENERALI ED IL PERSONALE STRUTTURA DI VIGILANZA SULLE CONCESSIONARIE AUTOSTRADALI
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## Sommario

<b>1. INTRODUZIONE</b> .....	<b>4</b>
<b>2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>5</b>
2.1    NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	5
2.2    DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO.....	5
2.3    BIBLIOGRAFIA.....	5
<b>3. PREMESSA SULLA METODOLOGIA PROGETTUALE</b> .....	<b>6</b>
<b>4. INQUADRAMENTO DELLA PROBLEMATICA RELATIVA ALLA PRESENZA D'ACQUA</b> .....	<b>7</b>
4.1    INQUADRAMENTO PROGETTUALE .....	7
4.2    INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO .....	9
4.3    INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	9
4.3.1 <i>La circolazione idrica in sottterraneo</i> .....	10
4.3.2 <i>Prove di permeabilità disponibili</i> .....	10
4.3.3 <i>Censimento delle risorse idriche</i> .....	11
4.3.4 <i>Assetto piezometrico di riferimento</i> .....	12
4.3.5 <i>Galleria Bruschetto esistente: analisi dei dati "as built" e rilievi in sito</i> .....	13
4.3.6 <i>Risultati degli studi idrologici e idrogeologici</i> .....	16
4.4    SEZIONI DI SCAVO E RIVESTIMENTO .....	19
4.4.1 <i>Metodo di scavo</i> .....	20
4.4.2 <i>Sezioni di scavo</i> .....	20
4.4.3 <i>Rivestimento definitivo</i> .....	22
4.5    SISTEMA DI IMPERMEABILIZZAZIONE E DRENAGGIO .....	23
<b>5. DEFINIZIONE DELLE POSSIBILI ZONE D'INTERFERENZA CON LO SCAVO ED IMPATTO SUGLI ACQUIFERI</b> .....	<b>27</b>
5.1    GENERALITA' .....	27
5.2    PROBLEMATICHE INDIVIDUATE DALLO STUDIO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO .....	27
5.3    INTERFERENZE CON LE RISORSE IDRICHE E SISTEMI DI MITIGAZIONE .....	27
5.3.1 <i>Valutazione delle interferenze potenziali sulle risorse idriche</i> .....	27
<b>6. INTERVENTI PREVISTI IN FASE DI SCAVO</b> .....	<b>30</b>
6.1    RILIEVO GEOMECCANICO DEL FRONTE DI SCAVO .....	30
6.2    CONTROLLI IDROGEOLOGICI DURANTE LO SCAVO .....	33
<b>7. LINEE GUIDA DI GESTIONE DEGLI ASPETTI IDROGEOLOGICI</b> .....	<b>35</b>
<b>1. CONCLUSIONI</b> .....	<b>37</b>

## Indice delle Figure

FIGURA 4-1. VISTA DALL'ALTO DELLA GALLERIA BRUSCHETO ESISTENTE E DELLA COLLINA DEL CANNICCO .....	7
FIGURA 4-2. ARCHITETTONICO NUOVO ASSE NORD GALLERIA BRUSCHETO .....	8
FIGURA 4-3 – UBICAZIONE DEI PIEZOMETRI IN ASSE ALLA GALLERIA.....	13
FIGURA 4-4 – UBICAZIONE SONDAGGI ORIZZONTALI NELLA GALLERIA BRUSCHETO ESISTENTE E CARATTERISTICHE.....	14
FIGURA 4-5 – CENTINATURA E ALONI DI UMIDITÀ IN CORRISPONDENZA DEI PIEDRITTI DELLA CANNA NORD A CIRCA 280 M DALL'IMBOCCO LATO ROMA. ....	15
FIGURA 4-6 – CENTINATURA E ALONI DI UMIDITÀ IN CORRISPONDENZA DEI PIEDRITTI DELLA CANNA NORD A CIRCA 60 M DALL'IMBOCCO LATO ROMA. ....	15
FIGURA 4-7 – INDICAZIONE SU PLANIMETRIA DEI PUNTI IN CUI SI SONO RISCOSE TRACCE DI INFILTRAZIONE NELLA GALLERIA BRUSCHETO ESISTENTE.....	15
FIGURA 4-8 – FERITOIE RELATIVE A PROBABILI SCARICHI DI SISTEMI DRENANTI PERIMETRALI. ....	15
FIGURA 4-9 – SCHEMA GEOLOGICO DELLA RELAZIONE DEL 1962. LE FRECCHE INTERPRETANO I POSSIBILI CIRCUITI IDRICI PROFONDI (FRECCHE BLU) E QUELLI PIÙ SUPERFICIALI (FRECCHE AZZURRE). ....	16
FIGURA 4-10 – GALLERIA BRUSCHETO: STIMA DELLE PORTATE DI DRENAGGIO CUMULATE, IN REGIME STABILIZZATO, MEDIANTE IL METODO EMPIRICO DI HEUER (2005). ....	18
FIGURA 4-11. – DIFFERENZA (M) TRA QUOTA PIEZOMETRICA NELLA CONDIZIONE ANTE-OPERAM DI CALIBRAZIONE E POST-OPERAM.....	19
FIGURA 4-12. COMPARTIMENTAZIONE DELLA GALLERIA: VISTA ASSONOMETRICA .....	24
FIGURA 4-13. PARTICOLARE IMPERMEABILIZZAZIONE .....	24
FIGURA 4-14. SISTEMA DI IMPERMEABILIZZAZIONE BY-PASS E PARTICOLARE POSA DEL TELO DI IMPERMEABILIZZAZIONE IN ARCO ROVESCIO ....	26
FIGURA 5-1 – PROBABILITÀ DI INTERFERENZA DEI POZZI CENSITI OPERE DI MITIGAZIONE.....	29
FIGURA 6-1. TIPOLOGICO SCHEDA PER IL RILIEVO DEL FRONTE .....	31

## Indice delle Tabelle

TABELLA 4-1. PROVE DI PERMEABILITÀ LUGEON ESEGUITE IN FORO LUNGO IL TRACCIATO DELLA GALLERIA .....	11
TABELLA 4-2 - QUADRO DELLE INTERFERENZE POTENZIALI CON LE RISORSE IDRICHE.....	12
TABELLA 4-3. DATI IDROMETRICI MISURATI IN CORRISPONDENZA DEI PIEZOMETRI IN ASSE AL TRACCIATO.....	12
TABELLA 4-4. GALLERIA BRUSCHETO, SEZIONI TIPO: INTERVENTI DI PRESOSTEGNO, PRECONSOLIDAMENTO E RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE. ...	20
TABELLA 4-5. GALLERIA BRUSCHETO, CAMPI DI APPLICAZIONE DELLE SEZIONI TIPO. ....	21
TABELLA 4-6. GALLERIA BRUSCHETO, SEZIONI TIPO: RIVESTIMENTO DEFINITIVO. ....	22
TABELLA 5-1 - QUADRO DEL RISCHIO PER LE RISORSE IDRICHE LOCALI. ....	28
TABELLA 5-2 – CARATTERISTICHE DELLE CAPTAZIONI IN RELAZIONE AL VALORE ESPOSTO. ....	28
TABELLA 6-1. CLASSIFICAZIONE DI BIENIAWSKI, CONDIZIONI IDRAULICHE DELLE FRATTURE. ....	32
TABELLA 6-2. CLASSIFICAZIONE DI BARTON, CONDIZIONI IDRAULICHE DELLE FRATTURE. ....	32
TABELLA 6-3. CLASSIFICAZIONE DELL'AMMASSO ROCCIOSO INTERESSATO DALLO SCAVO DI UNA GALLERIA, SULLA BASE DELLE CONDIZIONI IDROGEOLOGICHE (ISRM, 1978). ....	33
TABELLA 6-4. CLASSIFICAZIONE DELLE DISCONTINUITÀ PRESENTI NELL'AMMASSO ROCCIOSO INTERESSATO DALLO SCAVO DI UNA GALLERIA, SULLA BASE DELLE CONDIZIONI IDROGEOLOGICHE (ISRM, 1978) .....	33

## 1. INTRODUZIONE

Il presente documento ha lo scopo di presentare le condizioni e le modalità di scavo previste per la galleria naturale Bruschetto relativo al progetto di adeguamento dell'autostrada A1 nella tratta Incisa – Valdarno, con particolare riferimento all'ambito idrogeologico, riportando quindi una sintesi degli studi effettuati, le relative evidenze emerse e le soluzioni progettuali di scavo adottate in funzione delle problematiche riconosciute.

Il percorso progettuale seguito è partito da un'indagine geologica e geostrutturale a larga scala, al fine di riconoscere la natura dei terreni e delle rocce interessate dalle opere in progetto per proseguire con l'analisi delle problematiche idrogeologiche in funzione della scala di osservazione propria di ogni tematica:

- studio idrogeologico orientato alla definizione delle potenziali portate drenate dalle gallerie durante le fasi di scavo e a lungo termine;
- definizione del grado di impatto delle opere in progetto sulle risorse idriche presenti nelle aree interessate dai lavori;
- definizione e quantificazione delle opere di compensazione mirate a mitigare gli impatti sui punti d'acqua potenzialmente interferiti dal tracciato in progetto, ad una scala di dettaglio riferita alla singola utenza.

In relazione alla fase di progettazione delle gallerie, lo studio delle sezioni tipo di scavo, sostegno e rivestimento è stato condotto per tratte di tracciato a comportamento geologico-geomeccanico omogeneo.

In aggiunta, è da sottolineare come il progetto preveda altresì una serie di interventi di natura conoscitiva da effettuarsi durante l'avanzamento degli scavi, che dovranno essere condotti allo scopo di verificare le ipotesi effettuate in sede di progetto (geometria delle principali strutture in sottoterraneo, stato di fratturazione, presenza d'acqua e gas, ecc.) e costituire un elemento informativo in grado di fornire un maggiore grado di dettaglio in anticipo rispetto alle operazioni di scavo, in modo da poter programmare le eventuali necessarie contromisure nel caso di sorprese o variazioni rispetto alla condizioni geologiche-idrogeologiche ipotizzate.

## 2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- [1] Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008: "Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni", G.U. n.29 del 04.2.2008, Supplemento Ordinario n.30.
- [2] Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008.
- [3] CNR-DT 203/2006 "Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e il controllo di Strutture di calcestruzzo armato con barre di materiale composito fibrorinforzato".

### 2.2 DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO

- [4] Geologia, parte generale - Relazione geologica-geomorfologica
- [5] Idrogeologia, parte generale – Relazione d'inquadramento idrogeologico
- [6] Idrologia e idraulica, Idrologia sotterranea in località Bruschetto – Studio idrogeologico
- [7] Idrologia e idraulica, Idrologia sotterranea in località Bruschetto – Relazione generale
- [8] Planimetria e profili idrogeologici
- [9] Relazione geomeccanica
- [10] Profilo geomeccanico progettuale di previsione e monitoraggio
- [11] Relazione di calcolo dei sostegni e dei rivestimenti
- [12] Sezione corrente – Dettagli impermeabilizzazione
- [13] Innesto e sezione corrente by-pass– Dettagli impermeabilizzazione
- [14] Linee guida per l'applicazione delle sezioni tipo
- [15] Piano di monitoraggio e gestione delle specifiche di progetto secondo il metodo osservazionale

### 2.3 BIBLIOGRAFIA

- [16] Heuer, R. E. (2005). Estimating rock tunnel water inflow-II. In *Proceedings of rapid excavation and tunnelling conference* (pp. 394-407).
- [17] ISRM, I. (1978). Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. *Commission on the standardization of Laboratory and Field Tests in Rock Mechanics, ISRM*.

### 3. PREMESSA SULLA METODOLOGIA PROGETTUALE

Lo sviluppo progettuale della tratta, con particolare riferimento alle opere in sottterraneo, ha avuto avvio dallo studio geologico dell'area che, attraverso la sequenza di affinamento propria di ogni fase progettuale, ha permesso di definire le condizioni lito-stratigrafiche, i rapporti relativi fra le formazioni geologiche e le principali strutture presenti.

La campagna d'indagine (comprendente sondaggi geognostici, rilievi geostrutturali, misure piezometriche, stese sismiche a rifrazione e riflessione, prove di laboratorio sui materiali, ecc.) ha permesso la validazione ed il completamento di dettaglio delle osservazioni effettuate a scala geologica, completando le informazioni sullo stato di fratturazione, sulla presenza di lineamenti secondari e della condizione idrica ed idrogeologica e permettendo dunque lo sviluppo progettuale lungo il tracciato in sottterraneo con un buon grado di dettaglio.

Lo studio idrogeologico è stato sviluppato parallelamente alla definizione del contesto geologico e strutturale, utilizzando altresì una serie di informazioni relative agli scavi in materiali simili per opere già completate, osservazioni effettuate in corso d'opera su gallerie similari (tratta autostrade Firenze Nord-Firenze Sud) e da prove di permeabilità in foro o prove di emungimento (sia nell'area in esame che in aree in cui risultano presenti litotipi a comportamento comparabile).

La campagna geognostica svolta ai fini del presente progetto, ad integrazione delle indagini già in precedenza disponibili, ha rilevato che, pur mantenendosi la galleria all'interno della medesima formazione lungo il suo sviluppo, fasce maggiormente fratturate possono presentarsi a carattere anche molto localizzato lungo l'intero tracciato, benché sia possibile, come indicato nel profilo geomeccanico, individuare tratte omogenee caratterizzate mediamente da differenti gradi di fratturazione. Il progetto prevede, pertanto, la presa in conto di una certa "alea" relativa sia alla posizione di eventuali strutture tettoniche sia alla natura dei materiali, in relazione ai diversi gradi di fratturazione dell'ammasso. Per tale ragione, in accordo ai principi del "metodo osservazionale", il progetto prevede un piano di monitoraggio in corso d'opera finalizzato all'identificazione quanto più possibile puntuale della natura dei materiali, delle loro caratteristiche e dell'eventuale presenza d'acqua, in maniera da poter adeguare la sezione d'avanzamento alle reali condizioni locali in sottterraneo, modificando la tipologia e intensità degli interventi di consolidamento e sostegno all'interno del campo di variabilità previsto in progetto. L'impianto del sistema di monitoraggio, infatti, prevede una serie di misure in sottterraneo (deformative, di sollecitazione sugli elementi strutturali, di portata drenata, di carico idraulico) che permettono di valutare l'efficienza della sezione di scavo adottata e, nel caso, procedere tramite lo studio dei valori misurati e dei gradienti deformativi e tensionali alla modifica della sezione tipo o di passare ad altra sezione tipo, oltre alla rispondenza con le condizioni idriche ipotizzate. Questa trattazione è ampiamente discussa all'interno dell'elaborato "Linee guida per l'applicazione delle sezioni tipo". Nei capitoli che seguono verrà affrontato il problema dal punto di vista della gestione degli aspetti idrogeologici.

## 4. INQUADRAMENTO DELLA PROBLEMATICHE RELATIVA ALLA PRESENZA D'ACQUA

Viene di seguito sinteticamente descritta l'opera in progetto e sono riassunte le caratteristiche dei siti in cui si imposta tale opera dal punto di vista geologico ed idrogeologico, per poi illustrare le metodologie di scavo e rivestimento adottate in funzione delle necessità statiche e della preservazione delle preesistenze e dei sistemi ambientali.

### 4.1 INQUADRAMENTO PROGETTUALE

Nell'ambito del progetto di ampliamento a tre corsie del tratto autostradale dell' A1 Milano – Napoli compreso fra il fiume Arno e lo svincolo di S. Giovanni Valdarno, rientra l'attraversamento collinare del cosiddetto "Colle di Canniccio", che si innalza a ridosso della sponda destra del fiume in corrispondenza di una stretta ansa che il fiume percorre tra la confluenza del fosso Cetina ed il mulino Bruschetto (Figura 4-1).

Quest'attraversamento collinare avviene attualmente in entrambe le direzioni di marcia tramite una galleria naturale denominata "Bruschetto", di lunghezza complessiva pari a circa 313 m, costituita da due fornici paralleli aventi ognuno una sede viaria costituita da due corsie per una larghezza complessiva di 9.2 m.



Figura 4-1. Vista dall'alto della galleria Bruschetto esistente e della collina del Canniccio





Infine, per quanto riguarda le indicazioni e le specifiche della strumentazione geotecnica prevista nelle gallerie, sia per la gestione degli scavi in corso d'opera sia per valutare il comportamento delle opere in esercizio, si rimanda alla relazione "Piano di monitoraggio e gestione delle specifiche di progetto secondo il Metodo Osservazionale.

## 4.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

L'area in esame è ubicata all'interno del Bacino del Valdarno superiore, che costituisce una fascia orientata NW-SE, di lunghezza pari a circa 45 km e larghezza di 10-12 km, limitata lateralmente dalla Dorsale del Pratomagno a NE e dai Monti del Chianti a SW; solo in corrispondenza della Galleria Bruschetto si rinvencono rocce appartenenti alla catena vera e propria e qui rappresentata dalla Formazione di Monte Morello.

L'evoluzione tettonico - sedimentaria che ha portato alla formazione della Catena Appenninica toscana è suddivisibile in varie fasi; inizialmente compressive - che hanno portato alla costruzione di un edificio a falde sovrapposte - e successivamente distensive, che hanno portato al parziale smembramento della catena attraverso una serie di importanti faglie normali, con il conseguente sviluppo di depressioni tettoniche (sistema ad Horst e Graben) orientate NW-SE (Bacini intramontani).

Dopo l'orogenesi appenninica (Oligocene superiore - Miocene inferiore) si instaura nella zona una fase tettonica distensiva che genera un sistema di horst e graben il cui riempimento – che raggiunge spessori di 500 m - avviene in tre fasi separate da discordanze angolari e superfici di erosione estese a tutto il bacino.

Dal punto di vista geomorfologico, l'area in cui si inserisce il tracciato autostradale del nuovo asse Nord ha una morfologia di tipo collinare, con quote che variano tra circa 110 a N e circa 200 m s.l.m. sui rilievi collinari.

Da inizio intervento, in riva sinistra del Fiume Arno che in questo tratto scorre da S a N, fino allo svincolo di Incisa, la morfologia è controllata principalmente dalla struttura e litologia. In questo tratto, infatti, è presente una zona di alto morfologico – che interseca il tracciato in corrispondenza dell'altura denominata Il Canniccio q. 190 m circa – che costituiva un Horst e divideva i due paleo-bacini di Palazzolo e del Valdarno superiore. In questo tratto, l'Arno scorre incassato, con un andamento a meandri scavati nei calcari della Formazione di Monte Morello, affiorante lungo le scarpate.

L'Unità direttamente incontrata lungo il tracciato del nuovo Asse Nord della galleria Bruschetto è pertanto quella del Monte Morello (MML). I primi 20 m circa presenti in sommità del colle sono invece ascrivibili all'unità geologica dei Limi del Torrente Oreno (LSO).

Tali Unità sono di seguito descritte:

Limi del Torrente Oreno (LSO) - Età: Pliocene superiore - Pleistocene inferiore:

Limi grigi e grigio-azzurrognoli, limi argillosi e limi sabbiosi. Frequenti le intercalazioni di argille grigio azzurrognole. Presenti intercalazioni di sabbie e sabbie limose, grigie o giallastre. Locali lenti di ciottoli. Sono presenti al di sopra della Galleria Bruschetto, sull'altura del Canniccio e sono state rinvenute nel sondaggio SB49.

Unità di Monte Morello - Età: Eocene inf.-medio:

interessa il tracciato nella zona a N dello svincolo di Incisa, dove si approfondisce rapidamente al di sotto dei depositi del Bacino.

Alternanza di calcari marnosi nocciola e grigio chiari da compatti a granulosi, talora con base calcarenitica, marne da avana a grigie talvolta scure, calcilutiti e calcari grigi in strati da spessi a molto spessi e banchi. Localmente presenti livelli di calcareniti da sottili a medi più frequenti verso la base della formazione e livelli e liste centimetriche di selce nera. Talora possono essere presenti spessori plurimetri di marne molto foliate ed argilliti di colore scuro intercalati nella sequenza calcareo marnosa.

## 4.3 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

In relazione allo scavo della galleria in esame, le condizioni idrogeologiche alla quota di scavo dipendono dalle caratteristiche di permeabilità dei materiali impegnati, dal loro assetto stratigrafico e tettonico rispetto alla superficie esterna, dal regime e dall'entità delle precipitazioni atmosferiche e dall'idrologia superficiale.

La permeabilità dei materiali può essere dovuta ad una porosità diffusa uniformemente in tutta la massa, con vuoti più o meno grandi intercomunicanti fra loro, quale si riscontra per esempio nelle ghiaie, nelle sabbie e nelle rocce lapidee porose integre, oppure a discontinuità localizzate quali giunti di strato e le fratture nelle rocce lapidee compatte.

I materiali permeabili sono sede di circolazione idrica soltanto se il loro assetto stratigrafico e tettonico è tale da consentire la penetrazione delle acque superficiali o la comunicazione con altri acquiferi contigui.

#### **4.3.1 La circolazione idrica in sottoterraneo**

Allorquando esista un gradiente piezometrico, viene ad instaurarsi un moto di flusso all'interno del mezzo. La velocità del flusso risulta correlata (attraverso la legge di Darcy) con il gradiente attraverso un coefficiente di proporzionalità, definito "conduttività idraulica" o, più semplicemente "permeabilità", che rappresenta in estrema sintesi una misura della facilità di movimento del fluido attraverso i vuoti interconnessi della matrice solida, quando essi sono completamente saturati.

Il prodotto di tale coefficiente, normalizzato sulla viscosità e densità del liquido, con lo spessore della zona permeabile è chiamato "trasmissività".

##### **4.3.1.1 Materiali con permeabilità primaria (per porosità)**

Nel caso dei materiali permeabili per porosità, la variabilità della permeabilità dipende prevalentemente dalla diversa granulometria.

Sulla base della classificazione granulometrica effettuata tramite prove di laboratorio e la verifica in sito delle condizioni di infiltrazione, è definita la permeabilità di tali materiali.

Il flusso attraverso il mezzo poroso è generalmente schematizzato come omogeneo.

Tali materiali, come detto, costituiscono normalmente l'orizzonte più superficiale del terreno, con potenze variabili da zona a zona, con valori di riferimento pari a 5m, ovvero le zone di dissesto, caratterizzate talvolta da potenze anche superiori.

Tali mezzi risultano caratterizzati da una permeabilità superiore rispetto ai mezzi lapidei sottostanti (Monte Morello), da cui la possibilità che questi risultino sede di acquiferi ad estensione limitata e a bassa capacità di immagazzinamento, ma pur sempre in grado di favorire l'infiltrazione verso il mezzo sottostante.

##### **4.3.1.2 Materiali con permeabilità secondaria (per fratturazione)**

Le rocce permeabili per fratture presentano una permeabilità in relazione alla densità e all'apertura delle fratture, nonché al loro rapporto di interconnessione.

La Formazione di Monte Morello è un flysch calcareo-marnoso e, subordinatamente, calcarenitico, con intercalazioni di arenarie calcaree, marne ed argilliti. La componente calcarea è in media alta, ma sono presenti intervalli stratigrafici con prevalenza di marne ed anche intervalli nettamente argillitici. Questo, insieme al diverso grado di fratturazione, fa sì che la permeabilità sia molto diversa da zona a zona.

#### **4.3.2 Prove di permeabilità disponibili**

La definizione dei parametri idrodinamici di riferimento per gli acquiferi interessati dalla galleria è supportata dalle prove in foro eseguite nell'ambito delle indagini geognostiche di progetto.

In particolare, sono disponibili le prove Lugeon realizzate nei sondaggi in asse alla galleria in progetto, tutte effettuate all'interno dei calcari marnosi dell'unità di Monte Morello.

Le prove in foro hanno una valenza locale, in quanto i risultati sono fortemente influenzati dalle condizioni di fratturazione "puntuale" dei livelli testati. In conseguenza i dati non sempre sono adeguatamente rappresentativi delle condizioni complessive di permeabilità dei litotipi, in un ambito più ampio di settore testato. In particolare, nelle specifiche condizioni locali, le prove in foro possono fornire risultati non sempre rappresentativi delle condizioni globali dell'ammasso roccioso.

Le suddette prove consentono di stimare permeabilità relativa ai singoli tratti di prova, da cui estendere la valutazione all'intero "ammasso" litoide.

Nel seguito sono riportati i risultati delle prove di permeabilità in foro eseguite nell'ambito delle indagini geognostiche di progetto. Come più volte segnalato, l'intero tratto in naturale della galleria ricade all'interno della Formazione di Monte Morello, pertanto le indagini disponibili si riferiscono a tale unità.

Tabella 4-1. Prove di permeabilità Lugeon eseguite in foro lungo il tracciato della galleria

Sondaggio	unità litologica	RQD	profondità (m-m da p.c.)	K (m/s)
SA32	MML	30 - 40%	26.70 - 28.70	4.50E-07
SA33	MML	70 - 80 %	16.7 - 19.7	2.42E-07
SB43	MML		13.0 - 15.6	1.30E-06
SB49	MML	50 -70 %	49.1 - 52.1	4.93E-07
SB49	MML (parte tettonizzata)	0	56.0 - 59.0	3.97E-06
SSB10	MML	50 - 60 %	19.0 - 23.0	7.13E-07
SSB10	MML	40 - 50 %	28.0 - 31.0	8.22E-07
SSB11	MML	50 - 60 %	32.0 - 35.0	2.86E-07
SSB11	MML	40 - 50 %	41.0 - 44.0	1.18E-06
SV2B	MML (parte tettonizzata)	10 - 40 %	14.5 - 15.5	8.46E-06
SV25B	MML (parte tettonizzata)	25 - 35 %	29.0 - 30.0	2.12E-06

#### 4.3.3 Censimento delle risorse idriche

Nell'ambito della zona in esame, sulla base della documentazione resa disponibile dagli Enti di competenza e dei sopralluoghi effettuati, sono stati censite le risorse idriche presenti, al fine di valutarne il potenziale impatto della costruzione della galleria.

Il quadro delle interferenze potenziali con la galleria in progetto è riportato nella Tabella 4.2.

Tabella 4-2 - Quadro delle interferenze potenziali con le risorse idriche

Codice	Denominazione località	Quota (m s.l.m.)	Profondità (m)	Diametro (m)	Livello idrometrico (m da p.c.)
PP-12206	Cortazzi	150	7	1.3	3-3.1
PP-18227	Fosso di Cetina	133		0.2	
PP-19302	borro del Castellano	177	17	0.3	3.6-3.2
PP-21281	Fosso di Cetina	136	6	1.2	
PP-21282	Fosso di Cetina	131	5	0.5	0.8-1
PP-24521	I Pratacci	139	10	1	
PP-24967	Cortazzi	160	45	0.2	20.1-21.0
PP-28973	Fosso di Cetina	130		0.2	
PP-35270	Cortazzi	149	12	1	
PP-37472	Cortazzi	152		1	
PP-39523	Cortazzi	142		1	
PP-3943	Via Piana	194.96	86	0.2	37-45.71
PP-39727	Fosso di Cetina	128	4.5	1.5	0-0.45
PP-39027	Capraia	192			
PP-24341	Cabotino	205			
PP-39883	Torre del Castellano	164.11	60	0.2	
PP-39884	Torre del Castellano	222	12	1.5	
PP-39885	Torre del Castellano	210		1	
PP-39886	Torre del Castellano	205		1	
PP-39887	Torre del Castellano	190.58	12	1.5	1.47 - 1.6
PP-42104	borro del Castellano	170			
PP-4949	Fosso di Cetina	128	4.5	1.5	
PP-51466	Fosso di Cetina	115	10.5	1.5	4.6-4.7

Per quanto riguarda i corsi d'acqua superficiali, la maggior parte sono risultati asciutti con l'eccezione del fosso di Cetina, risultato perenne in quanto caratterizzato da ridotti deflusso di base anche in periodi non caratterizzati da apporti pluviometrici.

#### 4.3.4 Assetto piezometrico di riferimento

L'andamento piezometrico di riferimento è desunto dai dati misurati nei tubi piezometrici installati lungo il tracciato di progetto.

Nella tabella seguente vengono riepilogati i dati caratteristici dei piezometri e l'intervallo di oscillazione delle misure idrometriche eseguite, indicando anche la quota di progetto della galleria per i piezometri installati in asse al tracciato. Nella Figura 4-3 viene riportata l'ubicazione dei punti.

Tabella 4-3. Dati idrometrici misurati in corrispondenza dei piezometri in asse al tracciato



Codice	Est	Nord	Profondità (m)	Quota (m s.l.m.)	filtri sup (m)	filtri inf (m)	q. sup filtri (m s.l.m.)	q. inf filtri (m s.l.m.)	Oscillazioni della soggiacenza (m)		Oscillazioni del livello piezometrico (m s.l.m.)		Quota progetto galleria (m s.l.m.)
									min	max	min	max	
SE2	1697840.0	4838899.8	40	106.94	7	40	100	67	1.9	1.9	105	105	
SA33	1697899.9	4838836.5	35	114.90	12	28	103	87	6.5	10.2	108	105	
SV2B/bis	1697968.4	4838757.6	35	157.03	3	35	154	122	15.7	17.5	141	140	136.8
SSB10	1697958.8	4838692.0	40	167.33	14	40	153	127	19.4	23.1	148	144	136.8
PZ1	1698017.1	4838590.0	75	187.35	40	75	147	112	28.3	38.9	159	149	136
PZ2	1698003.1	4838601.5	75	185.10	40	75	145	110	26.3	32.5	159	153	136
POZZO 1	1698006.9	4838586.5	75	187.63	40	75	148	113	28.7	38.7	159	149	136
SB49	1698013.0	4838535.5	75	197.42	41	75	156	122	38.8	49.9	159	148	135.7
SV3B	1698040.1	4838482.2	65	191.96	9	65	183	127	54.3	55.3	138	137	135.2
SSB11	1698050.9	4838357.7	55	175.94	24	55	152	121	33.6	51.6	142	124	134.4
SV25ter	1698175.7	4838325.3	30	161.48	3	30	158	131	12.1	16.0	149	145	133.8
SE4	1698089.4	4838279.1	40	151.20	10	40	141	111	20.1	24.0	131	127	133.7
SE5	1698038.6	4838100.8	15	125.20	3	15	122	110	8.9	11.3	116	114	
SE6	1698181.3	4838071.0	15	122.95	3	15	120	108	4.0	4.5	119	118	
SE6 Casagrande	1698181.3	4838071.0	25	122.95					5.2	6.2	118	117	
SV4A	1698173.3	4838014.2	35	126.86	3	35	124	92	6.9	14.4	120	113	
SE7	1698185.1	4837824.9	40	138.36	3	35	135	103	19.4	21.0	119	117	

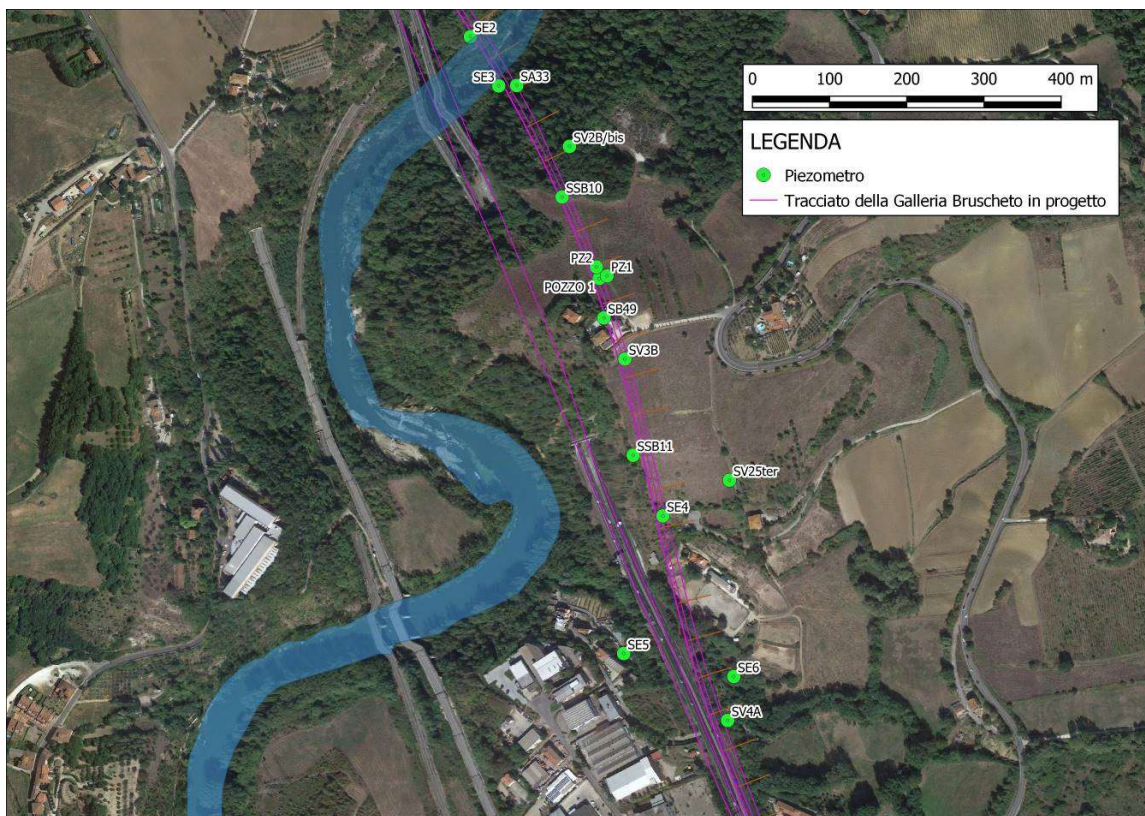


Figura 4-3 – Ubicazione dei piezometri in asse alla galleria.

In generale i piezometri situati nei pressi del fosso di Cetina a Sud del portale lato Roma evidenziano una falda poco profonda in equilibrio con i livelli del fosso. Sul versante Sud del rilievo interessato dalla galleria le piezometriche risultano abbastanza profonde, a livello o poco sopra della quota di scavo.

Risultano accentuate le escursioni, dovute alle variazioni degli apporti pluviometrici. Sul versante Nord del rilievo tali escursioni risultano sensibilmente meno accentuate verosimilmente per la presenza di circuiti idrici più profondi e meno condizionati da apporti più superficiali.

#### 4.3.5 Galleria Bruschetto esistente: analisi dei dati “as built” e rilievi in sito

Al fine di valutare eventuali elementi di interesse idrogeologico in corrispondenza della galleria Bruschetto esistente è stata esaminata la seguente documentazione di contabilità definitiva disponibile:

- Lotto n.10a, Manufatto n. 169; impresa Astaldi; Galleria di Bruschetto – Portali;
- Lotto n.10a, Manufatto n. 169; impresa Astaldi; Galleria di Bruschetto a foro cieco;
- Lotto n.10a, Manufatto n. 169; impresa Astaldi; Galleria di Bruschetto – Pavimentazioni;

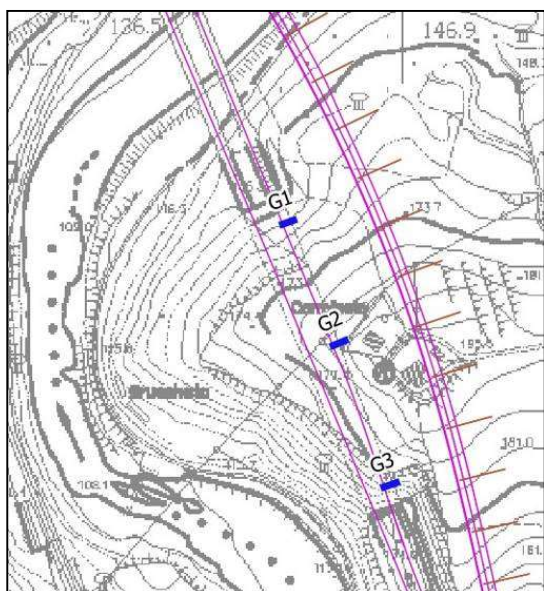
E' inoltre disponibile lo schema geologico riportato nella relazione del 1962 e relativo ad una sezione interpretativa sul versante del Colle impegnato dalle gallerie dell'Autostrada.

Dall'esame della contabilità definitiva emerge che lo sviluppo dello scavo per la canna destra e quella sinistra è risultato di circa 313 m; la livelletta del piano stradale è rivolta verso Sud, la quota in corrispondenza del portale lato Firenze è 135.9 m s.l.m., mentre quella sul portale lato Roma è 133.9 m s.l.m..

Sulla documentazione di "as built" disponibile non si riscontra traccia di strutture di regimazione idrica di eventuali acque di drenaggio, sia in corrispondenza dei piedritti, che in arco rovescio. Inoltre, non si riscontra la presenza di strutture di raccolta ed allontanamento di eventuali acque di galleria in corrispondenza dei portali. La documentazione è priva di qualsiasi riferimento a criticità ricollegabili alla presenza di acqua in galleria. Sono riportate altre annotazioni, ma relative a un problema derivante da un evento franoso avvenuto il 26/04/1961 che ostruì l'imbocco lato Roma della canna destra e che comportò l'esecuzione di un cunicolo perpendicolare allo scavo per poter proseguire le operazioni di rivestimento definitivo della calotta.

All'interno della galleria esistente si osservano diffuse centinature con ondulato (Figura 4-5 e Figura 4-6) forse posizionate per prevenire venute idriche dalla calotta. In canna Nord si sono osservati alcuni punti caratterizzati da presenza di evidenti aloni e residui di umidità in corrispondenza della parete e dei piedritti della galleria approssimativamente a 60 m, 160 e 290 m dall'imbocco lato Roma (Figura 4-7). Da osservazioni dirette eseguite a settembre 2018 e aprile 2019 la galleria non è risultata interessata da presenza di acque in calotta oppure presso i piedritti, neanche nelle zone dove sono stati osservati gli aloni più evidenti di umidità.

Nei mesi di giugno e luglio 2018 all'interno della canna Nord della galleria esistente sono state realizzate 3 perforazioni perpendicolari ai piedritti dirette verso Est con lunghezze variabili da 11 a 15 m (Figura 4-4). Tutti i sondaggi realizzati non hanno comunque evidenziato la presenza di acque di falda.



Sondaggio orizzontale in canna Nord	Progr. Km	lunghezza perforazione (m)
G1	318+715	11.4
G2	318+840	14.4
G3	318+980	14

Figura 4-4 – Ubicazione sondaggi orizzontali nella galleria Bruschetto esistente e caratteristiche.

Sulla base di quanto osservato si ritiene che la galleria non sia interessata da venute idriche continuative e che non sia soggetta ad un carico piezometrico costante ma che possa essere interessata da flussi idrici solamente in particolari condizioni idrologiche. E' probabile l'esistenza di un drenaggio perimetrale che,



tramite delle feritoie (Figura 4-8), scarica su una cunetta tipo francese alla base dei piedritti della galleria che a sua volta, seguendo la livelletta, scarica sul portale lato Roma. Tale sistema funziona a seguito di periodi caratterizzati da eventi particolarmente significativi, mentre in condizioni ordinarie, come osservato, risultano prevalentemente asciutti.



Figura 4-5 – Centinatura e aloni di umidità in corrispondenza dei piedritti della canna Nord a circa 280 m dall'imbocco lato Roma.



Figura 4-6 – Centinatura e aloni di umidità in corrispondenza dei piedritti della canna Nord a circa 60 m dall'imbocco lato Roma.

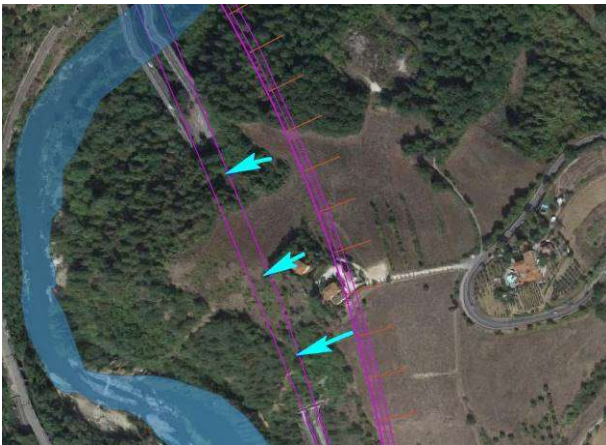


Figura 4-7 – Indicazione su planimetria dei punti in cui si sono riscontrate tracce di infiltrazione nella galleria Bruschetto esistente.



Figura 4-8 – Feritoie relative a probabili scarichi di sistemi drenanti perimetrali.

Lo schema geologico contenuto nella relazione del 1962 evidenzia la presenza di una coltre superficiale costituita da accumulo di frane riattivate, da una zona intermedia in roccia profondamente alterata e dalla roccia in sede comunque fratturata e degradata (Figura 4-9). Dal punto di vista idrogeologico tale ricostruzione schematica potrebbe essere abbinata a circuiti idrici entro la coltre superficiale e da circuiti più profondi localizzati entro i settori fratturati della roccia in sede. Su versante non si osservano tuttavia venute idriche da sorgente derivante da circolazione idrica superficiale, per cui tale modello può essere valido limitatamente ai periodi più piovosi. La circolazione più profonda avviene sicuramente nelle zone maggiormente fratturate, che, tuttavia, non sembrano interessare la galleria con continuità.



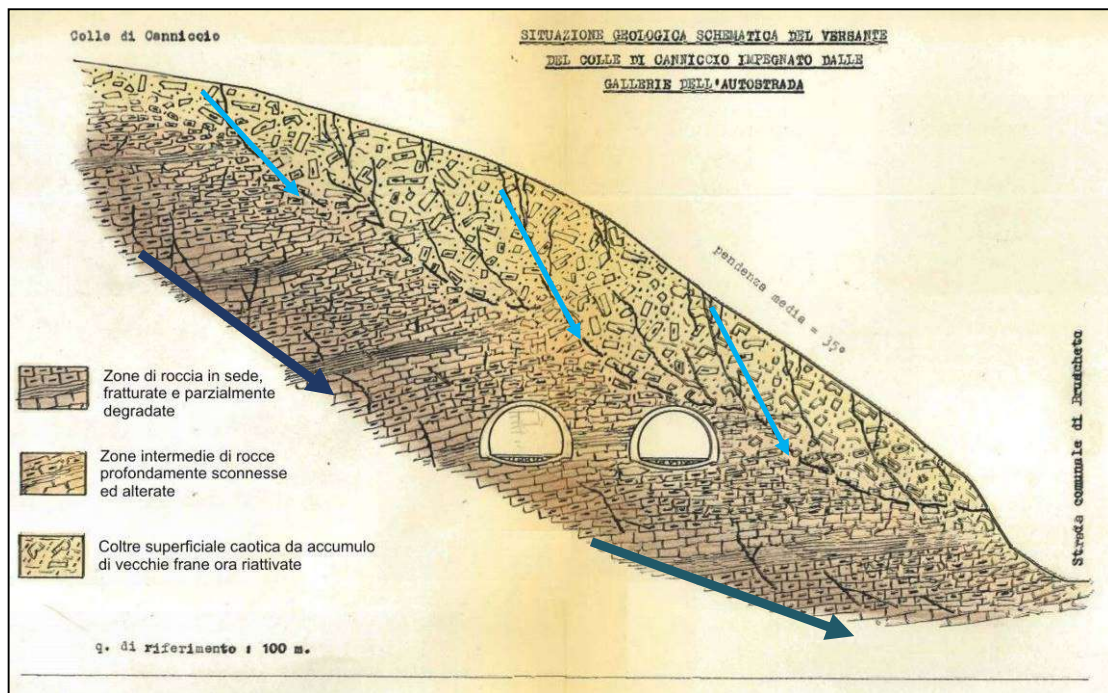


Figura 4-9 – Schema geologico della relazione del 1962. Le frecce interpretano i possibili circuiti idrici profondi (frecce blu) e quelli più superficiali (frecce azzurre).

### 4.3.6 Risultati degli studi idrologici e idrogeologici

#### 4.3.6.1 Caratteristiche e comportamento delle formazioni interessate

La caratterizzazione idrodinamica, di unità litologiche, quali quella in esame, permeabile per fratturazione e fortemente eterogenea, risulta molto complessa. In particolare per l'Unità di Monte Morello, i valori di conducibilità idraulica, calcolati sulla base delle prove Lugeon in foro, appaiono variabili in un ampio intervallo di valori a conferma dell'eterogeneità del sistema.

Il valore di permeabilità medio rappresentativo dell'ammasso roccioso interessato dal progetto è stimato nell'ordine di  $10^{-07}$ - $10^{-06}$  m/s. Tali valori risultano in linea con i risultati ottenuti da apposite prove di emungimento eseguite nella stessa formazione di Monte Morello nell'ambito della progettazione della galleria San Donato facente parte del progetto di adeguamento del tracciato dell'adiacente tratta dell'A1 Firenze Sud – Incisa, sulla base delle quali si sono stimati valori di conducibilità idraulica medi dell'ordine di  $1 \cdot 10^{-6}$  –  $5 \cdot 10^{-6}$  m/s.

Lo studio idrogeologico ha evidenziato come lo scavo interessi materiali a permeabilità medio-bassa.

#### 4.3.6.2 Modello idrogeologico concettuale e valutazione del drenaggio della galleria

Il bacino idrogeologico di riferimento interessa per una parte rilevante la formazione MML, che interessa l'intero scavo della galleria in progetto, ed è limitato ad Ovest dal fiume Arno ad una quota ampiamente più bassa rispetto alla quota di progetto.

Considerata la modesta estensione del bacino e la zona di alimentazione ristretta quasi esclusivamente al versante Ovest, è ragionevole ipotizzare una circolazione ipogea distinta in fenomeni locali più o meno confinati nei depositi corticali ed una circolazione ipogea intermedia legata al serbatoio acquifero fratturato sviluppato nella formazione MML. Per quanto si è potuto osservare il contatto tra i depositi corticali e l'ammasso roccioso costituente la formazione litoide MML non origina, almeno nel ristretto areale interessato dal progetto, emersioni rilevanti neanche di piccola entità che potevano evidenziare la presenza di un contatto impermeabile al tetto dell'ammasso litoide.

La situazione in corrispondenza dell'asse galleria sembra evidenziare l'assenza di una vera e propria circolazione corticale a favore dell'alimentazione diretta del serbatoio acquifero fratturato. Tale evidenza è confermata dai livelli piezometrici ampiamente soggiacenti alla quote della MML. A sostegno di tale ipotesi risultano anche i dati, se pur parziali, dell'opera di captazione PP 3943 che mostra livelli idrici compatibili con la piezometria misurata nella formazione MML.

La situazione si differenzia nella parte più alta del bacino ove i sedimenti delle coperture hanno spessori maggiori e livelli piezometrici superficiali che si possono accordare con la presenza di una circolazione idrica locale caratterizzata da modesti serbatoi acquiferi indipendenti dalle circolazioni più profonde; in quest'area infatti si ritrovano pozzi con profondità nell'ordine di 10-30 metri con ricariche fortemente influenzate dalle precipitazioni.

#### **4.3.6.3 Valutazione comportamento in fase di scavo**

Considerate le caratteristiche idrogeologiche della formazione di Monte Morello e il contesto idrogeologico del bacino è attesa, in avanzamento, la presenza di venute idriche seguite dalla tendenza al regime di equilibrio. In particolare, si può immaginare che le venute idriche siano limitate a gocciolii e stillicidi nei tratti più compatti, mentre nei tratti che presentano fratturazione più intensa è prevedibile che si verifichino anche venute d'acqua puntuali.

L'approccio proposto per stimare gli afflussi idrici in fase di scavo vede l'applicazione di un metodo semiempirico (Heuer 1995, 2005) che, partendo da un'analisi statistica dei risultati delle prove di permeabilità in foro eseguite sui vari complessi rocciosi propone una valutazione delle venute d'acqua, in funzione del carico idraulico a cui è soggetta la galleria.

La correlazione tra permeabilità Lugeon dell'ammasso e venute idriche è basata su una relazione diretta, supportata da numerose casistiche studiate relative a tunnel in ammassi rocciosi fratturati, suddivisi in opere superficiali e profonde sulla base del rapporto tra l'altezza di copertura  $H$  e il diametro  $D$  della galleria stessa.

Le portate stimate con il metodo di Heuer si riferiscono ai valori stabilizzati, ovvero alle portate che si misurano successivamente alla fase transitoria di maggior afflusso registrate in avanzamento al fronte di scavo.

Il metodo di Heuer trova la migliore applicazione per la stima delle venute idriche da circolazione in rete di fratture entro un ammasso in prima approssimazione omogeneo dal punto di vista idraulico. La metodologia presenta invece maggiori limiti per quanto riguarda la valutazione dei contributi dalle zone di faglia, ovvero da settori lineari localizzati di drenaggio, per i quali il contributo, difficilmente valutabile a priori, può risultare sottostimato.

La portata calcolata con il metodo di Heuer descritto per la galleria Bruschetto ammonta a 2.8 l/s. Nella Figura 4-10 – Galleria Bruschetto: stima delle portate di drenaggio cumulate, in regime stabilizzato, mediante il metodo empirico di Heuer (2005). è riportato il grafico delle portate cumulate entro la galleria.

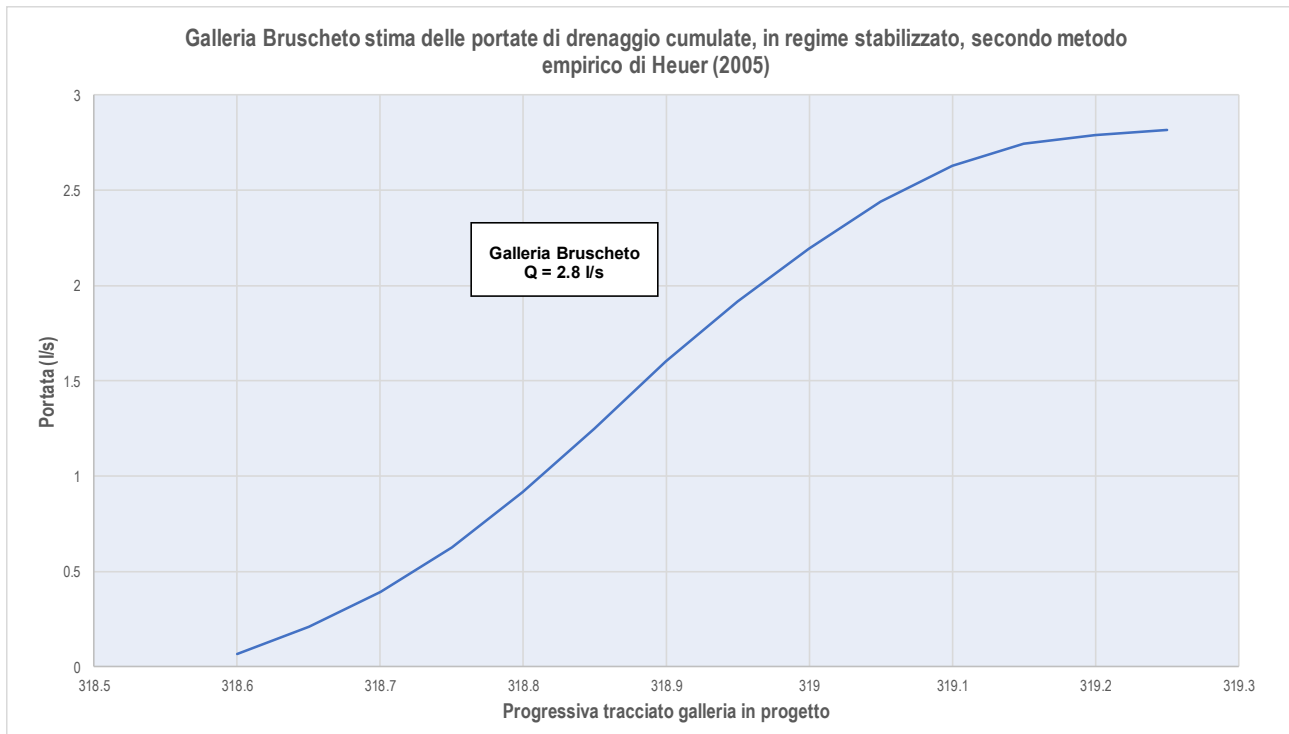


Figura 4-10 – Galleria Bruschetto: stima delle portate di drenaggio cumulate, in regime stabilizzato, mediante il metodo empirico di Heuer (2005).

#### 4.3.6.4 Valutazione comportamento post-operam

Al fine di valutare il possibile effetto del drenaggio della galleria sulla circolazione idrica sotterranea globale del bacino, sono stati realizzati modelli di flusso attraverso apposito codice di calcolo agli elementi finiti. I dettagli della modellazione sono riportati nella relativa relazione sullo studio idrogeologico a corredo della documentazione di Progetto Esecutivo. Nel presente ambito ci si limita a descrivere sinteticamente le analisi svolte e i risultati ottenuti.

Le modellazioni effettuate hanno consentito di stimare l'estensione dell'area soggetta ad abbassamento piezometrico dovuto all'effetto drenante della galleria (Figura 4-11). In particolare, si osserva un abbassamento della piezometria in corrispondenza della parte centrale del tracciato, che interessa un'area piuttosto limitata al contorno della galleria. L'abbattimento massimo della piezometrica è dell'ordine di 9 m in asse galleria, nel settore centrale a massima copertura.

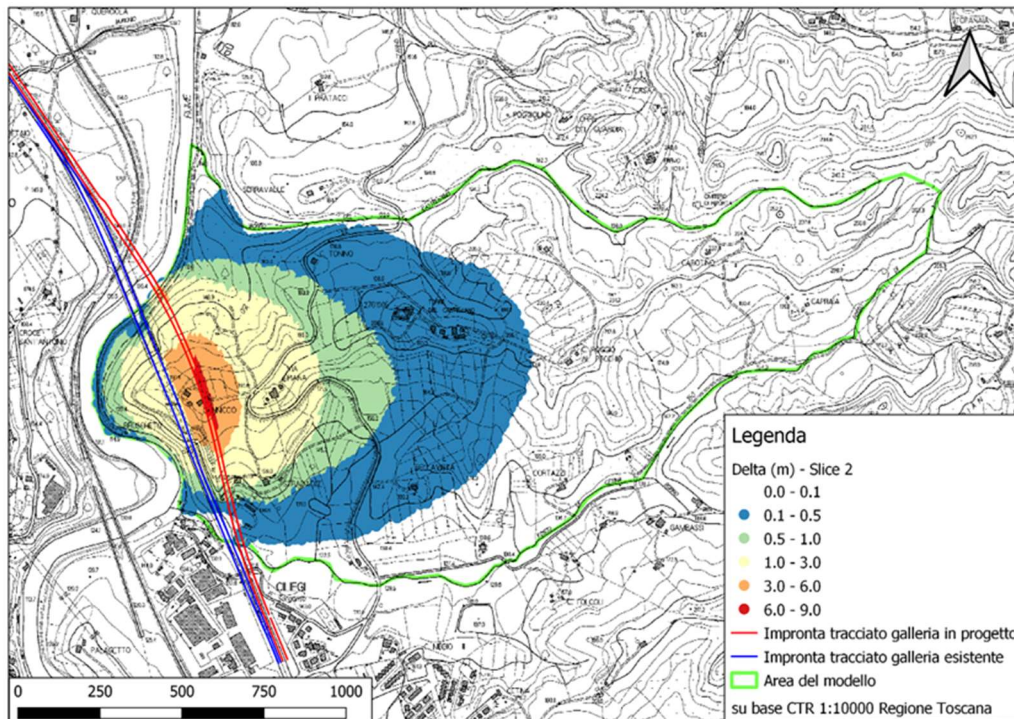


Figura 4-11. – Differenza (m) tra quota piezometrica nella condizione ante-operam di calibrazione e post-operam

La distanza massima di influenza sulla falda ante-operam è di circa 1 km verso monte idrogeologico.

Si sottolinea come, in particolare nel caso di un acquifero fratturato, la valutazione in dettaglio delle portate di drenaggio rappresenti, al netto dell'utilizzo esperto delle migliori tecnologie disponibili, un elemento con significativi margini di aleatorietà correlate alla necessità di utilizzare semplificazioni della realtà fisica, e in particolare il modello concettuale omogeneo / poroso equivalente ed a campo piezometrico continuo. Peraltro, la valutazione da modello del drenaggio in galleria risulta congruente con quella effettuata sulla base del metodo semplificato di Heuer, di norma cautelativo in quanto dipendente dal solo carico idraulico e dalla permeabilità in galleria, non vincolato cioè a effettiva disponibilità (regime di ricarica) da bilancio idrogeologico. Si sottolinea peraltro come non possano essere esclusi picchi temporanei, in funzione di condizioni di deflusso localizzate entro sistemi beanti di fratture, non segnalate dalle indagini di superficie ma eventualmente rinvenibili in fase di avanzamento.

E' pertanto necessario e opportuno verificare, in fase di avanzamento dello scavo, la reale rispondenza delle valutazioni con le condizioni locali, ovvero l'intercettazione dell'unità acquifera di Monte Morello, l'estensione del tratto intercettato, il drenaggio attivato e la curva di stabilizzazione delle portate, al fine di valutare l'adeguatezza del dimensionamento degli interventi di mitigazione previsti sia in fase di scavo sia in fase definitiva.

#### 4.4 SEZIONI DI SCAVO E RIVESTIMENTO

Vengono di seguito presentate le sezioni di scavo e le tipologie di rivestimento previste lungo il tracciato delle gallerie naturali lungo la tratta in variante in progetto.

La fase di progettazione basa la scelta e la distribuzione delle sezioni tipo di scavo ed avanzamento sulla base delle problematiche geotecniche, geomeccaniche ed idrogeologiche, nonché in funzione delle interferenze presenti nelle aree in esame.

La valutazione delle condizioni idrauliche cui è soggetto lo scavo delle gallerie, oltre alle condizioni naturali dell'ammasso e al rapporto geometrico fra l'ammasso e la geometria di scavo e la sua posizione spaziale, risulta anche funzione dei seguenti elementi:



- la realizzazione dello scavo genera comunque un disturbo all'ammasso circostante, da cui la creazione di una zona a differente permeabilità;
- in fase transitoria di scavo, è previsto il drenaggio delle acque, in quanto una condizione di fronte non drenato genera un incremento delle spinte sui sostegni e rivestimenti a tergo della zona del fronte di scavo e una condizione di sicurezza per le lavorazioni inferiore, che può anche degenerare in collassi improvvisi in luogo di fenomeni più lenti in cui la manodopera ed i mezzi hanno il tempo sufficiente per mettersi al sicuro;
- interventi di consolidamento (trattamenti di cementazione ed iniezioni cementizie all'interno dell'ammasso, in avanzamento ed in corrispondenza del fronte e del contorno di scavo) possono ridurre la permeabilità al contorno in avanzamento allo scavo;
- la galleria in progetto risulta completamente rivestita nella sua fase definitiva.

Verranno di seguito descritte le scelte progettuali adottate al fine di permettere la realizzazione degli scavi e la minimizzazione degli effetti sulle preesistenze e l'ambiente circostante.

#### 4.4.1 Metodo di scavo

Per la galleria in esame è previsto, in generale, l'avanzamento con metodi tradizionali. L'utilizzo dell'esplosivo, in ragione dei materiali presenti nella tratta in scavo, non risulta previsto.

#### 4.4.2 Sezioni di scavo

Lo scavo della galleria è interessato lungo il suo sviluppo da diversi gradi di fratturazione dell'ammasso roccioso e da differenti coperture, da cui la necessità di adattare lo scavo alle varie situazioni in modo da rendere fattibile il mantenimento dell'apertura del cavo sino al getto del rivestimento definitivo.

Per le formazioni complesse come quelle presenti nella zona in esame, è stata prevista l'adozione del metodo di scavo a "piena sezione", con interventi di sostegno, presostegno e consolidamento.

Le sezioni adottate lungo il tracciato di tutta la galleria prevedono un intervento di presostegno con tubi metallici (sezione tronco-conica) e, per la maggior parte, un intervento di preconsolidamento del nucleo in avanzamento con tubi in vetroresina di numero e lunghezza di sovrapposizione minima variabile in funzione delle diverse condizioni geomeccaniche attese. L'effettiva entità degli interventi di consolidamento sarà definita in corso d'opera sulla base delle caratteristiche locali dell'ammasso attraversato e del suo comportamento deformativo, rilevati dal sistema di monitoraggio in corso d'opera previsto.

Di seguito un prospetto riassuntivo delle sezioni tipo adottate e della variabilità degli interventi di consolidamento e presostegno adottati

*Tabella 4-4. Galleria Bruschetto, sezioni tipo: interventi di presostegno, preconsolidamento e rivestimento di prima fase.*

SEZIONE TIPO	SFONDI E MODALITA' DI SCAVO	PRESOSTEGNI CON INFILAGGI				PRECONSOLIDAMENTO AL FRONTE CON TUBI IN VTR CEMENTATI			RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE			
		n°	Caratteristiche dei tubi in acciaio	Lunghezza (m)	Sovrapposizione (m)	n°	Lunghezza (m)	Sovrapposizione (m)	Centine	Calcestruzzo proiettato		
										Prestrato fibrorinforzato prima della posa della centina (cm)	Strato fibrorinforzato sostegno di prima fase (cm)	Strato di regolarizzazione (cm)
B2V	Scavo con mezzi meccanici con sfondi di 1 m	52	tubi in acciaio $\phi = 127$ mm, sp. = 10 mm, valvolati (1 v/v/m) disposti ad interasse di 0.4 m	15	6	70 - 90 - 110	18	9	2 IPN 220 /1.0 m	5	25 (10 + 15)	5
B2V-bis	Scavo con mezzi meccanici con sfondi di 1 m	52	tubi in acciaio $\phi = 127$ mm, sp. = 10 mm, valvolati (1 v/v/m) disposti ad interasse di 0.4 m	15	9	70 - 90 - 110	18	12	2 IPN 220 /1.0 m	5	25 (10 + 15)	5
B0V	Scavo con mezzi meccanici con sfondi di 1 m	42	tubi in acciaio $\phi = 127$ mm, sp. = 10 mm, valvolati (1 v/v/m) disposti ad interasse di 0.5 m	15	6				2 IPN 180 /1.0 m	5	20	5
B2	Scavo con mezzi meccanici con sfondi al massimo di 1.2 m					70 - 90 - 110	18	12	2 IPN 220 /1.0 m (var. da 0.8 m a 1.2 m)	5	25	5

Vengono brevemente riepilogate in Tabella 4-5 e sezioni tipo applicate lungo il tracciato ed il rispettivo campo di applicazione.

Tabella 4-5. Galleria Bruschetto, campi di applicazione delle sezioni tipo.

Sezione tipo	Campo di applicazione			
	Gruppo geomeccanico omogeneo	GSI	Copertura	Comportamento fronte
B0V	MML-I	> 45	> 25 m	stabile a breve termine"
B2	MML-II	40 ÷ 45	> 15 m	"stabile a breve termine"
	MML-tett	35 ÷ 40	Fino a 52 m	"stabile a breve termine"
B2V	MML-II	35 ÷ 45	< 25 m	"stabile a breve termine"
	MML-tett	30 ÷ 40	Fino a 52 m	"stabile a breve termine"
B2V-BIS	MML-II	35 ÷ 40	< 15 m	"stabile a breve termine"
	MML-tett	< 35	Fino a 52 m	"stabile a breve termine"

In generale, le sezioni prevedono il controllo delle eventuali pressioni interstiziali al fronte mediante l'esecuzione (in presenza di venute d'acqua) di 3+3 drenaggi sub orizzontali in avanzamento, di lunghezza

L=30 m finestrati per un tratto di 20 m e ciechi per il restante tratto verso bocca foro, da eseguirsi ogni 1+2 campi d'avanzamento.

Una condizione di fronte non drenato, infatti, genera una minore sicurezza delle lavorazioni, in quanto gli eventuali fenomeni di superamento delle resistenze dei materiali avviene in modo rapido e talvolta senza avvisaglie tali da poter mettere in sicurezza le maestranze.

#### 4.4.3 Rivestimento definitivo

Il rivestimento interno della galleria è costituito da un getto in calcestruzzo  $R_{ck} \geq 37 \text{MPa}$ .

Il rivestimento, costituito da sezioni armate, sarà di spessore variabile trasversalmente, a partire da un valore minimo in calotta fino ad un valore massimo sui piedritti, e, nel caso di sezioni di scavo tronco-coniche, variabile anche longitudinalmente per seguire la geometria del prerinvestimento. Gli spessori sono riassunti in Tabella 4-6.

Il getto del rivestimento armato, per i campi di scavo a piena sezione viene eseguito in due fasi, nei tempi e con le modalità definite negli elaborati grafici:

- arco rovescio e murette;
- piedritti e calotta.

Tabella 4-6. Galleria Bruschetto, sezioni tipo: rivestimento definitivo.

SEZIONE TIPO	RIVESTIMENTO DEFINITIVO				
	Spessore cls in chiave calotta (cm)	Spessore cls in arco rovescio (cm)	Armato	Distanza massima getto murette e arco rovescio dal fronte di scavo (m)	Distanza massima getto rivestimento definitivo dal fronte di scavo (m)
B2V	Var. da 50 a 130 cm	100	SI	12	45
B2V-bis	Var. da 50 a 130 cm	100	SI	10	45
B0V	Var. da 50 a 130 cm	80	SI	25	65
B2	90	100	SI	25	65

#### 4.5 SISTEMA DI IMPERMEABILIZZAZIONE E DRENAGGIO

Il sistema di impermeabilizzazione e drenaggio per la galleria naturale in fase di esercizio è studiato sulla base delle seguenti necessità:

- limitare i carichi idraulici sul rivestimento definitivo, che vanno ad aggiungersi ai carichi geostatici;
- drenare eventuali zone di accumulo e ristagno che si possono formare a tergo del rivestimento.

Per tali motivi, il sistema drenante previsto è costituito da uno strato di tessuto non tessuto accoppiato internamente con un foglio impermeabilizzante, posizionato a contatto con il rivestimento di prima fase in calcestruzzo proiettato, all'estradosso del rivestimento definitivo in calcestruzzo. Lungo la galleria corrente, il drenaggio è disposto in corrispondenza della calotta e dei piedritti e scarica in una coppia di tubazioni di raccolta longitudinali collocate a tergo dei piedritti, in corrispondenza della ripresa di getto tra piedritto e muretta; l'arco rovescio è gettato direttamente contro la roccia.

Tale elemento risulta necessario per limitare le eventuali sovrappressioni neutre al contorno e, in ragione della permeabilità dell'ammasso, il suo effetto risulta locale.

Nel dettaglio, il sistema di impermeabilizzazione e drenaggio (Figura 4-12).si compone di:

- uno strato di compensazione in tessuto non tessuto a filo continuo, di spessore minimo 4 mm e peso di almeno 500 g/m<sup>2</sup>;
- un manto d'impermeabilizzazione in PVC in due strati coestrusi, di almeno 2mm di spessore (escluso lo strato di segnalazione), a contatto con il rivestimento definitivo di calcestruzzo; i teli sono parzialmente sovrapposti e saldati tra loro termicamente.

Tale sistema si estende dalla calotta ai piedritti fino a 50cm al di sotto della ripresa di getto della muretta.

Al piede dell'impermeabilizzazione, è disposto sui due lati un sistema drenante composto da:

- un tubo di drenaggio microfessurato di diametro  $\Phi 160$ , parzialmente contornato dallo strato impermeabile, disposto in corrispondenza della ripresa di getto tra calotta e murette, che corre longitudinalmente alla galleria, a raccogliere le acque provenienti dalla calotta (Figura 4-13);
- un tubo collettore  $\Phi 400$  posto sotto la piattaforma stradale, a lato delle murette, dove convergono le acque provenienti dai raccordi a T realizzati ogni 25m sul tubo di drenaggio microfessurato.



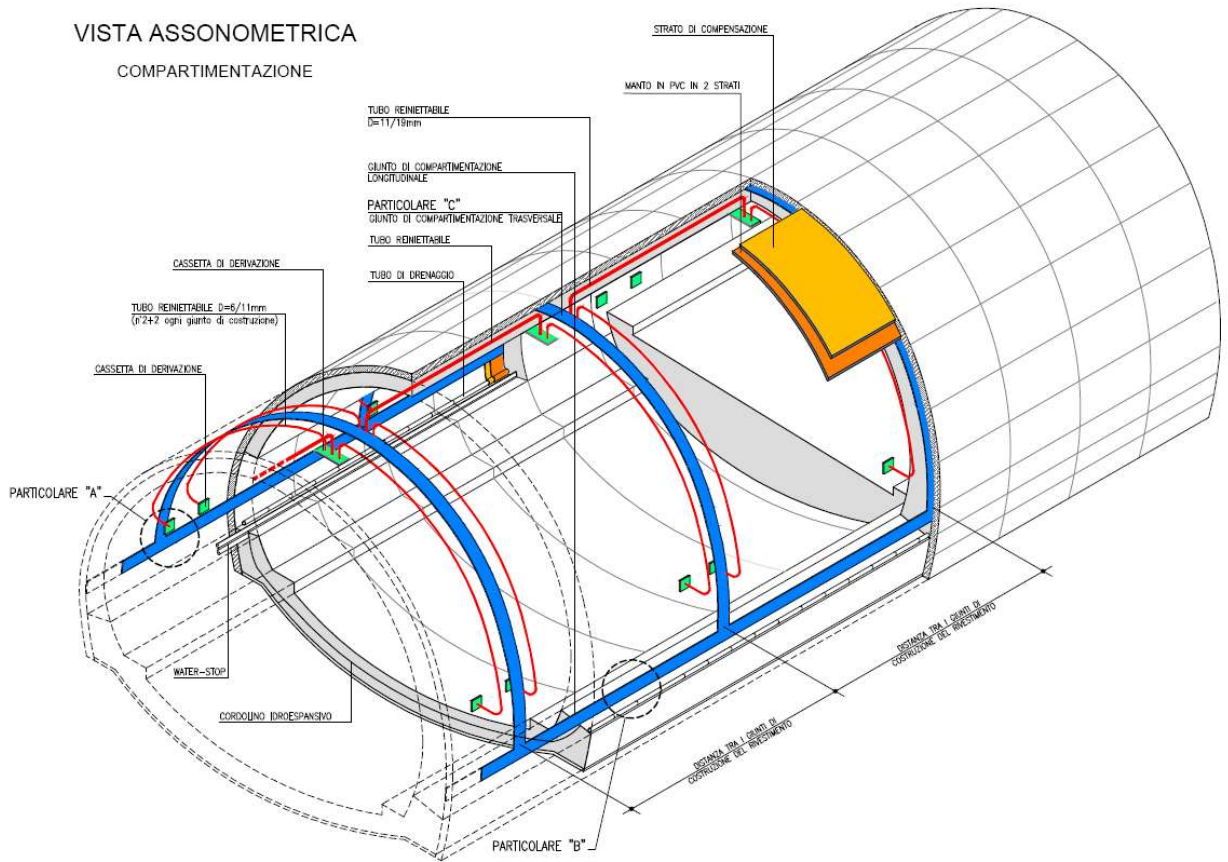


Figura 4-12. Compartimentazione della galleria: vista assometrica

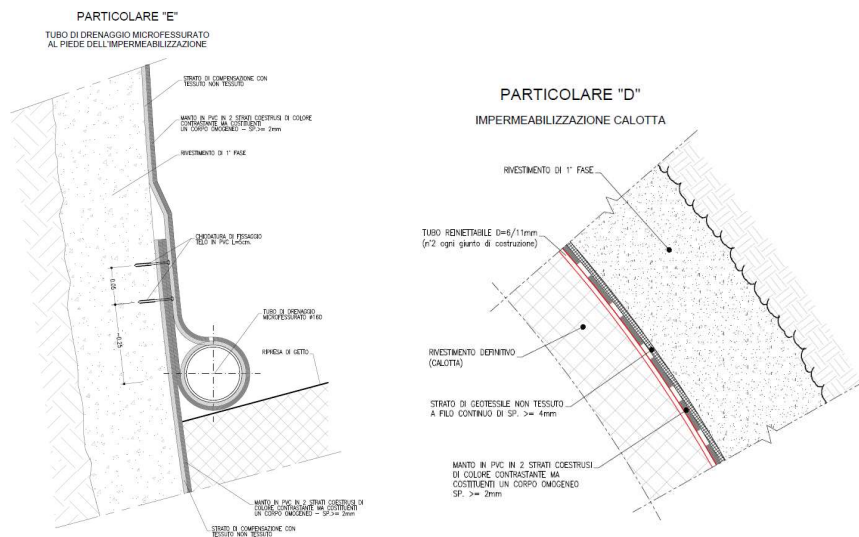


Figura 4-13. Particolare impermeabilizzazione

La posa dello strato di compensazione in TNT è in grado di formare 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, con fogli di TNT parzialmente sovrapposti (almeno 20cm), fissati al rivestimento di prima fase mediante rondelle in PVC a rottura controllata nel numero minimo di 4 rondelle al metro quadrato, fissate con chiodi a sparo; le rondelle 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 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, decomposizione, ecc.) corrispondano a quelle previste dal progetto e dal Capitolato Speciale di Appalto.

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

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. La membrana impermeabile dovrà infatti essere composta da due strati coestrusi, ma costituenti un corpo omogeneo. Lo strato a vista dovrà essere di colore contrastante con quello dello strato sottostante, al fine di consentire una più agevole individuazione di eventuali strappi o danni arrecati alla membrana.

Nelle tratte in cui si riscontrassero in fase di scavo venute d'acqua in galleria, il sistema di impermeabilizzazione sarà inoltre dotato di appositi giunti di compartimentazione (Figura 4-12), posizionati lungo le riprese di getto e saldati al telo in PVC. Tali giunti saranno provvisti di tubi microfessurati reiniettabili con resine acquareattive, al fine di risolvere eventuali difetti di impermeabilizzazione che potrebbero manifestarsi nonostante tutte le cautele adottate in fase di preparazione ed esecuzione del getto.

In chiave calotta saranno invece presenti dei tubi longitudinali microfessurati per l'iniezione di apposita boiaccia cementizia, per confinare ulteriormente la porzione di rivestimento oggetto di intervento.

Gli elementi di compartimentazione sono costituiti da waterstop di larghezza maggiore di 300 mm, del tipo a nastro in PVC, saldati al telo per termofusione ed i cui elementi di ancoraggio vengono annegati nel getto del rivestimento definitivo della galleria. Questo accorgimento permette di isolare, le une dalle altre, singole zone della galleria, mediante una maglia di cordoni impermeabili, trasversali e longitudinali, a delimitazione delle possibili venute d'acqua.

La predisposizione dei tubi microfessurati, realizzati nello stesso materiale del telo di impermeabilizzazione e termosaldati ad esso, consentirà di iniettare particolari resine in grado di ripristinare l'impermeabilità dell'opera.

Questo sistema garantisce il controllo in fase post-operam di eventuali venute d'acqua, consentendo un intervento puntuale di manutenzione ed evitando invasive demolizioni altrimenti necessarie al ripristino della struttura.

Lungo l'intero by-pass pedonale e le zone di innesto di questo con la nuova gallerie Bruschetto e con la galleria Bruschetto esistente, viene adottato un sistema di impermeabilizzazione "full round".

L'assenza di un sistemi di impermeabilizzazione e drenaggio nella galleria Bruschetto esistente e il modesto dislivello tra le due gallerie esistente e di nuova realizzazione, rendono infatti inefficace l'utilizzo di tubi di raccolta e convogliamento delle acque di drenaggio.

Lungo tutto il by-pass e nelle zone di innesto, si prevede pertanto la posa in opera dello strato di tessuto non tessuto e della membrana in PVC anche in arco rovescio; i tubi di drenaggio a tergo delle murette non saranno presenti nel by pass e nella tratta di innesto con la galleria Bruschetto esistente, mentre in quella di nuova realizzazione i tubi drenanti proseguiranno a tergo dell'impermeabilizzazione, a raccordare quelli installati nelle tratte contigue.

La posa del telo di impermeabilizzazione in arco rovescio deve avvenire avvedendosi di realizzare un primo strato di cls magro di 10 cm, posando prima lo strato di tessuto non tessuto e poi il telo in PVC e, infine, ricoprendo il telo con uno strato di cls magro di circa 5 cm che preservi il manto impermeabile da eventuali danni legati alle lavorazioni per la posa dell'armatura dell'arco rovescio, che vanificherebbero l'azione impermeabilizzante del telo. Quanto esposto è illustrato in dettaglio negli elaborati grafici di progetto e rappresentato schematicamente in Figura 4-14.

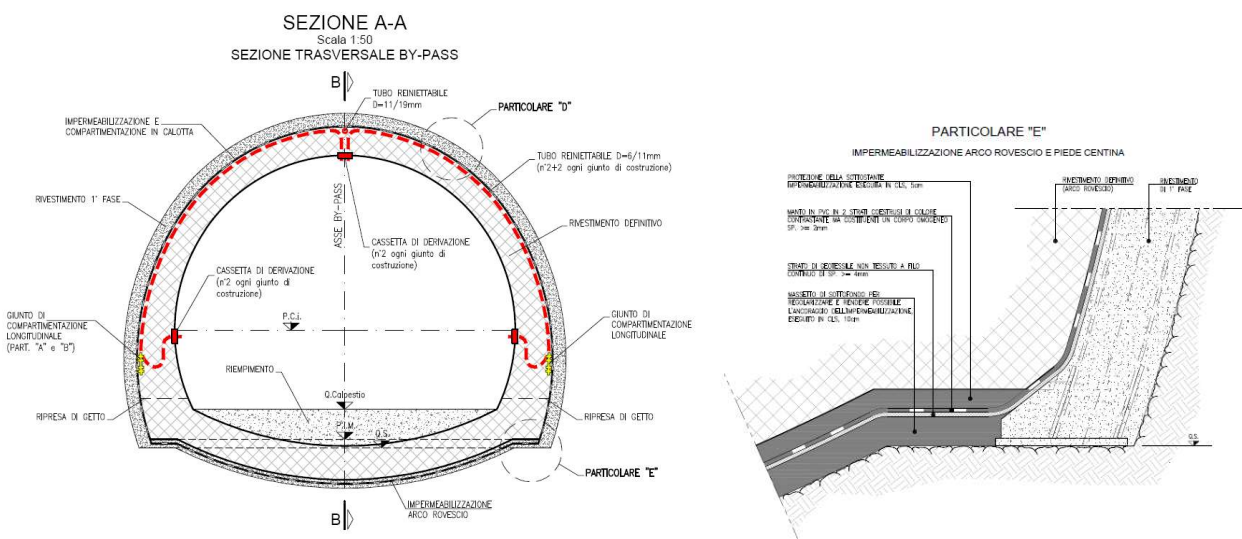


Figura 4-14. Sistema di impermeabilizzazione by-pass e particolare posa del telo di impermeabilizzazione in arco rovescio

## 5. DEFINIZIONE DELLE POSSIBILI ZONE D'INTERFERENZA CON LO SCAVO ED IMPATTO SUGLI ACQUIFERI

### 5.1 GENERALITA'

In generale, lo studio dell'interrelazione ed interazione fra scavo e sistemi acquiferi deve essere condotto per i suoi aspetti duali:

- impatto dello scavo sull'ambiente, con ripercussioni sulle eventuali risorse idriche;
- impatto sulla struttura in progetto e sulle lavorazioni, derivante dallo scavo in presenza di pressioni interstiziali o di significativo flusso idrico e dal carico idrostatico eventualmente agenti sui rivestimenti.

Nonostante agli ammassi rocciosi d'interesse vengano attribuite permeabilità medio basse sulla base delle prove effettuate in sito, il grado di fratturazione può consentire percolazioni e stillicidi che, in corrispondenza delle porzioni d'ammasso particolarmente fratturate, possono innescare venute idriche. Questi fenomeni assumono particolare importanza soprattutto se si fa riferimento alla stabilità del cavo, infatti in questi termini non risulta significativa solamente la portata delle venute idriche, ma soprattutto la pressione dell'acqua.

### 5.2 PROBLEMATICHE INDIVIDUATE DALLO STUDIO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO

Lo studio idrogeologico ha evidenziato la presenza di un battente idraulico lungo buona parte della galleria, con livelli massimi di falda sino ad una decina di metri sopra la chiave calotta in corrispondenza della tratta centrale.

Considerate le caratteristiche idrogeologiche della formazione di Monte Morello e il contesto idrogeologico del bacino nel quale si inserisce l'opera, in fase di avanzamento dello scavo nelle tratte interessate da un ammasso più fratturato, è attesa la presenza di venute idriche con portate di attivazione più o meno consistenti, seguite dalla tendenza al regime di equilibrio; è questo il caso, in primo luogo, della tratta centrale della galleria, ma anche delle tratte a bassa copertura in prossimità degli imbocchi dove, tuttavia, è previsto un minor carico idraulico.

Inoltre, dato l'elevato grado di fratturazione dell'ammasso nella tratta centrale, è previsto che si generi un locale abbassamento del livello piezometrico, per effetto dell'azione drenante della galleria, quantificabile in alcuni metri su di un'area di estensione limitata, con possibili effetti su alcuni pozzi ad uso irriguo aziendale, come meglio descritto nel seguito.

### 5.3 INTERFERENZE CON LE RISORSE IDRICHE E SISTEMI DI MITIGAZIONE

#### 5.3.1 Valutazione delle interferenze potenziali sulle risorse idriche

Come precedentemente accennato, sono stati censite le risorse idriche presenti nell'ambito della zona in esame, al fine di valutarne il potenziale impatto della costruzione della galleria.

Il quadro delle interferenze potenziali con la galleria in progetto, dell'utilizzo/rilevanza strategica della risorsa e le caratteristiche delle captazioni in relazione al potenziale socioeconomico esposto sono riassunte nelle tabelle seguenti. Nella Figura 5-1 è riportata la planimetria con le utenze censite ed il relativo grado di rischio di interferenza con lo scavo della galleria.

Dei 23 pozzi censiti nell'area di possibile interferenza la maggioranza ricade nella categoria a rischio nullo o molto basso (12). La condizione di rischio "elevato" riguarda un pozzo (PP-3943) situato in prossimità dell'asse galleria, mentre un altro pozzo (PP-39883) viene cautelativamente considerato a moderato rischio di interferenza sia per l'importante rilevanza locale per soddisfare il fabbisogno irriguo agricolo sia per la carenza di dati per una completa caratterizzazione. Le restanti captazioni (6) hanno bassa probabilità di interferenza.

Il rischio effettivo è complessivamente basso, in quanto non esistono probabilità di impatto per captazioni acquedottistiche; l'unica situazione di probabilità elevata è relativa a un pozzo al servizio domestico e irriguo di alcune abitazioni, in area già servita da acquedotto pubblico.

Tabella 5-1 - Quadro del rischio per le risorse idriche locali.

Codice	Denominazione località	Quota (m s.l.m.)	Profondità (m)	Diametro (m)	Livello idrometrico (m da p.c.)	Probabilità interferenza	COD uso (*)	Note utilizzo
PP-12206	Cortazzi	150	7	1.3	3-3.1	nulla	6	domestico
PP-18227	Fosso di Cetina	133		0.2		nulla	5	Industriale antincendio
PP-19302	borro del Castellano	177	17	0.3	3.6-3.2	bassa	6	Domestico irriguo, orti e giardini
PP-21281	Fosso di Cetina	136	6	1.2		nulla	6	Domestico irriguo, orti e giardini
PP-21282	Fosso di Cetina	131	5	0.5	0.8-1	nulla	6	Domestico irriguo, orti e giardini
PP-24521	I Pratacci	139	10	1		nulla	7	inattivo, pozzo crollato
PP-24967	Cortazzi	160	45	0.2	20.1-21.0	bassa	4	irriguo agricolo
PP-28973	Fosso di Cetina	130		0.2		nulla	5	Industriale
PP-35270	Cortazzi	149	12	1		nulla	6	Domestico irriguo, orti e giardini
PP-37472	Cortazzi	152		1		nulla	6	Domestico irriguo, orti e giardini
PP-39523	Cortazzi	142		1		nulla	7	Domestico irriguo, orti e giardini
PP-3943	Via Piana	194.96	86	0.2	37-45.71	elevata	6	Domestico, irriguo, orti e giardini
PP-39727	Fosso di Cetina	128	4.5	1.5	0-0.45	nulla	6	Domestico irriguo (utilizzo non noto con precisione)
PP-39027	Capraia	192					5	industriale
PP-24341	Cabotino	205					6	Domestico irriguo, orti e giardini
PP-39883	Torre del Castellano	164.11	60	0.2		moderata	4	irriguo agricolo (antiparassitario); molto importante per l'utilizzo agricolo
PP-39884	Torre del Castellano	222	12	1.5		bassa	7	inattivo, (antiparassitario)
PP-39885	Torre del Castellano	210		1		bassa	7	inattivo, (antiparassitario)
PP-39886	Torre del Castellano	205		1		nulla	7	inattivo, (antiparassitario)
PP-39887	Torre del Castellano	190.58	12	1.5	1.47-1.6	bassa	6	inattivo, (antiparassitario), domestico, irriguo agricolo; importante in quanto utilizzato per riempire la piscina
PP-42104	borro del Castellano	170				bassa	4	Domestico irriguo, orti e giardini
PP-4949	Fosso di Cetina	128	4.5	1.5		nulla	6	Domestico irriguo, orti e giardini
PP-51466	Fosso di Cetina	115	10.5	1.5	4.6-4.7	nulla	6	Domestico irriguo (utilizzo non noto con precisione)

(\*) cfr. Tabella 5-2

Tabella 5-2 – Caratteristiche delle captazioni in relazione al valore esposto.

codice	Descrizione
1	Pozzi utilizzati da acquedotti pubblici, o con previsione/progetto di utilizzo per la medesima finalità
2	Pozzi utilizzati da acquedotti privati consortili, o ad uso privato domestico, in aree non raggiunte dalla rete di pubblico acquedotto
3	Pozzi utilizzati da acquedotti privati consortili, in aree servite dalla rete di pubblico acquedotto o agevolmente allacciabili a partire dalla rete esistente
4	Pozzi privati ad uso agricolo
5	Pozzi ad uso industriale antincendio
6	Pozzi privati ad uso domestico in aree servite da pubblico acquedotto
7	Pozzi inattivi

La maggior parte dei corsi d'acqua superficiali sono risultati asciutti con l'eccezione del fosso di Cetina, caratterizzato da ridotti deflusso di base anche in periodi non caratterizzati da apporti pluviometrici. Le indagini idrogeochimiche, condotte in periodo di magra, hanno messo in evidenza che il fosso è caratterizzato da un deflusso di base, ovvero un'alimentazione da falda, con evidente componente di origine profonda. Non si può escludere, pertanto, che tale componente possa essere interessata dallo scavo della



galleria, limitatamente al tratto prossimo alla confluenza del fosso con l'Arno e a quote superiori di almeno 10 m rispetto al fondo alveo rendendo quindi bassa la probabilità di interferenza.

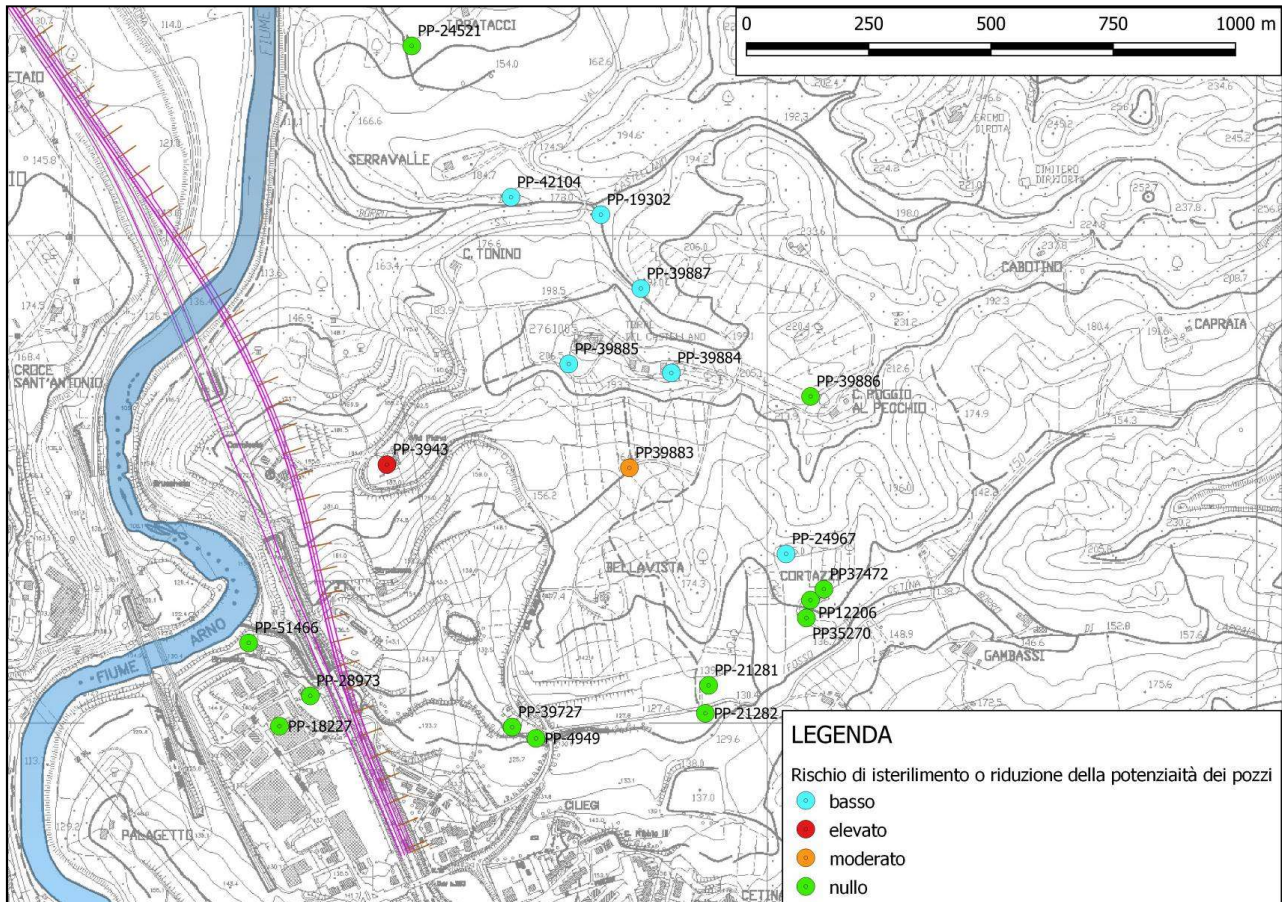


Figura 5-1 – Probabilità di interferenza dei pozzi censiti Opere di mitigazione

Sulla base degli studi condotti, si ritiene estremamente improbabile una compromissione estesa anche delle captazioni di Torre del Castellano (dove sono ubicati i pozzi PP-39884, PP39885 e PP-39887), ma più verosimilmente, la locale riduzione o perdita di funzionalità del pozzo più profondo in località Canniccio.

Il monitoraggio costituirà pertanto l'unico strumento per dimensionare l'integrazione in funzione degli effetti attesi, certamente inferiori all'ipotesi cautelativa di progetto in cui si assume di dover sopperire all'isterilimento di tutti i pozzi associati a rischio alto o moderato riportati nella tabella precedente.

Le opere di mitigazione per la fase transitoria e per la fase definitiva, consistono principalmente nell'installazione di vasche provvisorie (serbatoi), nella realizzazione di pozzi e di modeste reti di adduzione. Tali opere, cautelativamente, già considerano la possibilità di una contemporanea perdita di funzionalità di tutti i pozzi a elevato e modesto rischio di depauperamento, seppur tale condizione è considerata molto improbabile.

## 6. INTERVENTI PREVISTI IN FASE DI SCAVO

Il progetto della galleria in esame comprende lo studio del comportamento dell'ammasso allo scavo, la definizione di sezioni tipo di scavo e rivestimento e l'analisi della risposta di interazione fra ammasso e struttura.

In applicazione del metodo osservazionale, le sezioni tipo di scavo sono caratterizzate da una possibile variabilità di interventi, in modo da potersi adattare alla (sempre presente) variabilità locale delle caratteristiche d'ammasso, e da una loro prevista tratta di applicazione lungo le tratte in sotterraneo. La gestione di tali interventi viene demandata all'applicazione di un idoneo piano di controllo e monitoraggio, facente parte integrante del progetto.

Al fine dell'individuazione e caratterizzazione delle problematiche di natura idrogeologica in fase di scavo, con particolare riferimento alle tratte precedentemente identificate come potenzialmente problematiche, è prevista l'esecuzione sistematica di rilievi geomeccanici del fronte di scavo e l'esecuzione di controlli idrogeologici, come descritto nei due paragrafi seguenti.

Per le frequenze di lettura della strumentazione si faccia riferimento al "Piano di monitoraggio e gestione delle specifiche di progetto secondo il metodo osservazionale".

### 6.1 RILIEVO GEOMECCANICO DEL FRONTE DI SCAVO

I rilievi geomeccanici del fronte di scavo permetteranno di acquisire gli elementi relativi alle caratteristiche geostrutturali e geomeccaniche dell'ammasso roccioso, inteso come complesso costituito dalla matrice rocciosa e dai piani di discontinuità, principalmente per uso di classificazione mediante l'indice RMR e GSI, ma anche al fine di documentare le condizioni idrauliche rilevate al fronte di scavo. 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 ad 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 da eseguire nelle restanti condizioni geologico - geomeccaniche.

Dovranno essere redatte delle schede di rilievo ed eventuali rapporti di accompagnamento così come mostrato in Figura 6-1. Questa attività ed i rilievi geostrutturali stessi dovranno essere materialmente eseguiti da uno o più geologi o ingegneri geomeccanici dotati di specifico addestramento ed esperienza.





I rilievi geologico strutturali permettono la classificazione dell'ammasso roccioso secondo i metodi di Bieniawski, Barton, ed anche le raccomandazioni ISRM risultano fornire una classificazione ai fini idrogeologici delle evidenze in corso.

Tali sistemi di classificazione prevedono delle indicazioni sulle condizioni idrauliche dei giunti (così come mostrato nelle tabelle sottostanti) che possono fornire una prima indicazione sull'entità delle venute d'acqua.

Tabella 6-1. 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 (0.17 litri/sec)	Modesta umidità	10
Compreso fra 10 e 25 litri/min (compreso fra 0.17 e 0.40 litri/sec)	Solo umidità	7
Compreso fra 25 e 125 litri/min (fra 0.40 e 2.1 litri/sec)	Modesti stillicidi	4
Superiore a 125 litri/min (2.1 litri/sec)	Venute d'acqua significative	0

Tabella 6-2. 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 6-3. 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 6-4. 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.

In avvicinamento alle tratte caratterizzate da possibili problematiche di natura geologica o idrogeologica (zone di faglia o comunque zone identificate come potenzialmente critiche), è prevista la seguente sequenza operativa:

- verranno intensificati i rilievi geologico-strutturali che sono di fondamentale importanza, tra l'altro, per l'applicazione delle sezioni tipo di scavo e consolidamento;
- verranno eseguiti dei sondaggi in avanzamento per valutare le caratteristiche litologiche e strutturali della faglia o fascia di roccia fratturata, attraverso recupero di carota.

## 6.2 CONTROLLI IDROGEOLOGICI DURANTE LO SCAVO

Durante lo scavo delle gallerie, in presenza di venute d'acqua, sono previsti (3+3) drenaggi in avanzamento di lunghezza L=30 m finestate per un tratto di 20 m e ciechi per il restante tratto verso bocca foro.

Le fasi di scavo saranno seguite, dal punto di vista idrogeologico, attraverso il monitoraggio dei piezometri esistenti e dei punti esterni significativi, quali sorgenti o pozzi.

Allo stesso tempo, il rilievo diretto della geologia consentirà di verificare il modello di filtrazione ipotizzato, tanto in termini di roccia in posto quanto del suo coefficiente di permeabilità.

Infine, è prevista l'installazione di piezometri radiali, al fine di acquisire un'informazione puntuale in merito al carico idraulico al contorno della galleria, sia durante le fasi di scavo sia una volta che il rivestimento definitivo è stato gettato.

Tali strumenti saranno in grado di fornire indicazioni precise circa:

- l'efficienza del sistema di drenaggio del rivestimento o del suo grado di impermeabilizzazione;
- il tempo necessario al ritorno della falda dalla posizione depressa, durante lo scavo, a quella di equilibrio, relativa alla fase di esercizio (a lungo termine);
- verificare le previsioni di stabilità degli acquiferi in termini di bilancio idrogeologico.

Relativamente al drenaggio della galleria, verranno effettuate, dove possibile (in quanto le quantità attese risultano estremamente esigue):

- misure di portata delle acque in fase di scavo all'uscita della galleria, attraverso il passaggio in vasca di raccolta;
- misura di portata emunta tramite i tubi di drenaggio siti in corrispondenza delle murette (allorquando previsti), prima della reimmissione delle acque nel reticolo idrografico.

I valori di portata misurati ed interpretati verranno utilizzati per controllare i coefficienti di permeabilità degli ammassi rocciosi e dei rivestimenti assunti in sede di progetto, le portate emunte previste e la rispondenza con le ipotesi poste a base della valutazione degli impatti.

## 7. LINEE GUIDA DI GESTIONE DEGLI ASPETTI IDROGEOLOGICI

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 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.

Nel presente capitolo si individuano le procedure da intraprendere nel caso in cui si rilevino portate o pressioni d'acqua più significativi.

Nelle tratte nelle quali si dovessero registrare delle venute d'acqua concentrate con valori costanti di afflusso (stimati seguendo le modalità indicate nel paragrafo precedente) superiori a 0.4 l/s per 10 m di galleria (Tabella 6-1), oppure pressioni dell'acqua (stimate seguendo le modalità indicate nel paragrafo precedente) superiori a 0.1 MPa (Tabella 6-2), verranno eseguite delle misure strumentali delle stesse quantità (portate e pressioni). Le misurazioni delle portate potranno essere eseguite utilizzando una traversa da applicare a circa 10 m dal fronte per intercettare le acque drenate, tale traversa sarà munita da uno stramazzo triangolare per le misure delle portate. Le misure delle pressioni potranno essere eseguite in apposita perforazione, misurando a foro chiuso mediante "preventer" le pressioni dell'acqua, oppure mediante l'installazione di piezometri in perforazioni appositamente eseguite e sigillate. L'eventuale piezometro dovrà essere realizzato in posizione radiale in prossimità del fronte, e dovrà essere utilizzato per le misure di pressione idraulica anche nel lungo periodo. Le esatte modalità di misura e di installazione degli strumenti verranno stabilite di volta in volta dalla DL (congiuntamente al responsabile dell'assistenza specialistica in corso d'opera). Qualora ancora una di tali misure eccedesse i valori indicati precedentemente, si provvederà all'istallazione dei drenaggi (come descritto al paragrafo 4.4.2 e negli elaborati progettuali); in tale zona, si provvederà successivamente all'istallazione dell'impermeabilizzazione compartimentata (come descritto al paragrafo 4.5 e negli elaborati progettuali).

Se la portata drenata fosse comunque inferiore al valore di 2 l/s per 10 m di galleria, ma la pressione idrostatica nell'ammasso si mantenesse al di sopra di 0.1MPa (1 Bar), la DL congiuntamente con il responsabile dell'assistenza specialistica in corso d'opera valuterà l'adeguatezza dei rivestimenti a sostenere le reali condizioni idrauliche riscontrate e, se necessario, valuterà le contromisure da intraprendere (ad esempio il potenziamento del drenaggio a tergo del rivestimento definitivo o la modifica delle caratteristiche dei rivestimenti).

Se la portata drenata fosse invece superiore al valore di 2 l/s per 10 m di galleria, la DL congiuntamente con il responsabile dell'assistenza specialistica in corso d'opera valuterà l'impatto della portata emunta sulle condizioni idrogeologiche al contorno, anche in funzione dell'eventuale variazione della portata nel tempo. Se l'impatto dovesse essere considerato non accettabile, la DL congiuntamente al responsabile dell'assistenza specialistica in corso d'opera individuerà le contromisure da intraprendere (ad esempio l'adozione di impermeabilizzazione full-round eliminando il drenaggio sulla muretta o l'esecuzione di iniezioni per ridurre la permeabilità dell'ammasso), al fine di ridurre le portate drenate ad un valore accettabile, garantendo comunque l'adeguatezza dei rivestimenti alle pressioni idrauliche agenti.

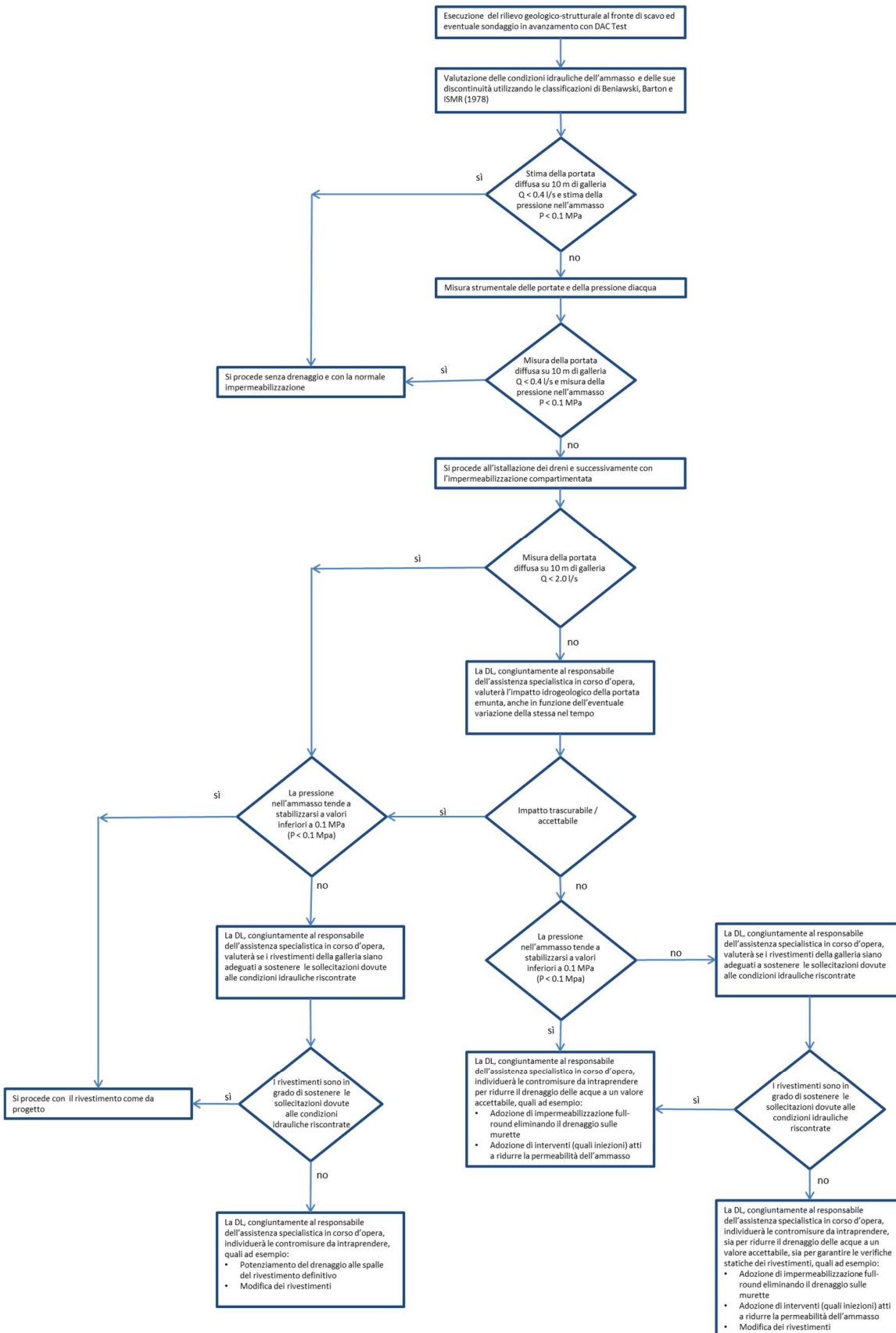
Tale approccio è schematizzato nel diagramma di flusso riportato nella figura seguente.

Per quanto riguarda la scelta dei limiti per i valori delle pressioni, questi fanno riferimento alle verifiche del rivestimento definitivo.

Per quanto riguarda la scelta dei limiti per valori di portata, il limite di 0.4 e 2 l/s (ogni 10 m di galleria) riprende la classificazione di Beniawski per cui:

- tra 0.4 l/s e 2 l/s, sussistono condizioni di modesto stillicidio;
- al di sopra di 2 l/s, si attendono venute d'acqua significative.

Sebbene dalle valutazioni effettuate si ritenga che i fenomeni di venute d'acqua durante lo scavo siano a carattere di stillicidio o comunque di piccola entità, si ritiene che tali indicazioni permettano di far fronte a singoli fenomeni di venute d'acqua più significative.



## 8. CONCLUSIONI

Sulla scorta dell'esperienza maturata in ambienti simili nell'area toscana, è stato condotto uno studio idrogeologico orientato alla definizione delle potenziali interferenze, derivanti dallo scavo della galleria Bruschetto, con i sistemi acquiferi presenti nelle zone di interesse.

Gli studi effettuati, in generale, hanno mostrato come l'opera in progetto vada ad impegnare complessi idrogeologici che risultano caratterizzati da permeabilità medio-bassa.

Le indagini e gli studi condotti hanno permesso di:

- identificare la geologia e stratigrafia dell'ammasso roccioso;
- identificare le principali strutture che interessano la zona;
- valutare l'effetto dello scavo in termini di portate drenate e dell'interferenza idrica.

Lo scavo della galleria Bruschetto è previsto all'interno della formazione di Monte Morello, caratterizzata da un grado di fratturazione variabile lungo il tracciato della galleria. Mentre nelle porzioni di galleria interessata da ammasso più competente si prevedono esclusivamente stillicidi e gocciolamenti, nelle tratte ove l'ammasso risulta maggiormente fratturato sono previste durante gli scavi venute d'acqua diffuse. Sempre con riferimento a tali tratte, si ritiene possibile che a lungo termine l'azione drenante della galleria possa comportare un locale abbassamento del livello piezometrico di alcuni metri, con possibile impatto su un numero limitato (n.5) di pozzi ad uso irriguo aziendale; pertanto sono state previste opere di mitigazione atte a garantire la reintegrazione completa, sia in fase transitoria sia in fase definitiva, delle opere di captazione impattate. Si esclude, invece, qualsiasi rischio per captazioni pubbliche che approvvigionano la rete "Publiacqua", non essendo presenti nella zona d'interesse.

Sulla base delle indicazioni fornite dallo studio idrogeologico, la progettazione delle opere in sotterraneo è stata effettuata mirando alla minimizzazione degli effetti dello scavo sulle preesistenze.

Il progetto prevede inoltre una serie di interventi di natura conoscitiva da effettuarsi durante l'avanzamento degli scavi, che dovranno essere condotti allo scopo di verificare le ipotesi effettuate in sede di progetto (geometria delle principali strutture in sotterraneo, dello stato di fratturazione, della presenza d'acqua e gas, ecc.) e costituire un elemento informativo in grado di fornire un maggiore grado di dettaglio in anticipo rispetto alle operazioni di scavo, in modo da poter programmare le eventuali necessarie contromisure nel caso di sorprese o variazioni rispetto alle condizioni geologiche-idrogeologiche ipotizzate.

L'elaborato relativo al codice di scavo si propone l'obiettivo di costituire un documento previsionale da utilizzare come base nel corso di esecuzione degli scavi, al fine di individuare i fenomeni di impatto prevedibili sull'assetto idrogeologico locale esercitati dallo scavo della galleria, fornendo un supporto tecnico-scientifico alla predisposizione degli interventi di mitigazione necessari.

In considerazione del possibile effetto drenante della galleria in esame, stante la possibile variabilità delle condizioni in sotterraneo, si rende necessario adottare opportune specifiche operative che, sulla base della documentazione redatta in progetto, consentano di valutare l'aderenza delle condizioni puntuali e medie lungo determinate tratte alle ipotesi progettuali, al fine di poter adattare le soluzioni ipotizzate e cercare di prevenire, dove possibile, eventuali fenomeni di interferenza fra le opere previste e le preesistenze, compresi i sistemi acquiferi.