

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01

LINEA A.V. /A.C. TORINO – VENEZIA Tratta MILANO – VERONA
Lotto funzionale Brescia-Verona

PROGETTO ESECUTIVO

GALLERIA SAN GIORGIO IN SALICI (GA16 – GI08 – GN04 – GI09 – GA17)

Da Pk 140+181.85 a Pk 143+575.24

Condizioni idrogeologiche e sistema di abbassamento della falda

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE LAVORI
Consorzio Cepav due Consorzio Cepav due Il Direttore del Consorzio (Ing. T. Taranta) Data: <u>23 OTT 2019</u>	 Data: _____

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA/DISCIPLINA	PROGR	REV
I N O R	1 1	E	E 2	R I	G N 0 4 0 0	0 0 1	B

PROGETTAZIONE						IL PROGETTISTA	
Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Data	
A	Emissione	REGE	12/11/18	MERLINI	12/11/18	12/11/18	 ing. Davide... Data: 08/05/2019
B	Revisione interna	REGE	08/05/19	MERLINI	08/05/19	08/05/19	
C							

CIG. 751447334A File: INOR11EE2RIGN0400001B_05.docx

INDICE

1.	INTRODUZIONE.....	3
1.1.	OGGETTO SPECIFICO DEL DOCUMENTO	3
1.2.	ELABORATI PRINCIPALI DI RIFERIMENTO	5
2.	NORMATIVE E SPECIFICHE DI RIFERIMENTO.....	8
2.1.	NORMATIVE	8
2.2.	SPECIFICHE TECNICHE DI RIFERIMENTO	8
3.	MODELLO IDROGEOLOGICO DI DETTAGLIO PER LA PROGETTAZIONE ESECUTIVA DEL SISTEMA DI ABBASSAMENTO DELLA FALDA.....	9
3.1.	UNITÀ IDROGEOLOGICA 1	11
3.2.	UNITÀ IDROGEOLOGICA 2	12
3.3.	UNITÀ IDROGEOLOGICA 3	12
3.4.	UNITÀ IDROGEOLOGICA 4	13
3.5.	UNITÀ IDROGEOLOGICA 5	13
4.	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST GA16.....	15
4.1.	SISTEMA DI ABBASSAMENTO DELLA FALDA CON POZZI DRENANTI.....	15
4.1.1.	<i>Calcolo delle portate di falda.....</i>	19
5.	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST GA17	20
5.1.	SISTEMA DI ABBASSAMENTO DELLA FALDA CON POZZI DRENANTI.....	20
5.1.1.	<i>Calcolo delle portate di falda.....</i>	28
6.	INTERFERENZE CON IL RETICOLO IDROGRAFICO ESISTENTE E IMPATTO DELL'OPERA SULLA FALDA ESISTENTE.....	29
6.1.	INTERFERENZE CON IL RETICOLO IDROGRAFICO ESISTENTE	29
6.2.	IMPATTO DELL'OPERA CON LA FALDA ESISTENTE	35
7.	CONCLUSIONI.....	38

1. INTRODUZIONE

Nell'ambito della progettazione esecutiva della linea ferroviaria Alta Velocità / Alta Capacità Milano-Verona la galleria San Giorgio in Salici è suddivisa in tre opere distinte (WBS):

- GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST, corrispondente ad una galleria artificiale monocanna, a doppio binario, con sezione policentrica (GA16);
- GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI, corrispondente ad una galleria naturale monocanna, a doppio binario (GN04);
- GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST, corrispondente ad una galleria artificiale monocanna, a doppio binario, con sezione policentrica (GA17).

Il presente documento riguarda l'intera galleria San Giorgio in Salici, corrispondente alle WBS GA16, GN04, e GA17. In questo tratto la linea ferroviaria, a doppio binario, è caratterizzata da una velocità di progetto di 300 km/h e da un interasse dei binari di 4.50 m.

Relativamente agli imbocchi GI08 (imbocco galleria naturale lato Milano) e GI09 (imbocco galleria naturale lato Verona) sono stati predisposti elaborati specifici.

La galleria San Giorgio in Salici è ubicata poco a sud dell'omonimo abitato, posto nel Comune di Sona, in provincia di Verona tra le località di Castelnuovo del Garda e Sommacampagna; il tracciato ferroviario interferisce nel suo primo tratto (nel verso delle progressive crescenti) con l'Autostrada A4 Milano – Venezia, per poi svilupparsi leggermente a nord della stessa.

La sezione libera interna del sistema di gallerie risulta di circa 89 m², mentre la sezione di scavo della galleria naturale, ad esclusione dei fuori scavo, risulta variabile tra circa 142 m² e 168 m², in funzione dei rivestimenti di prima fase e definitivi.

Dal punto di vista geologico la galleria attraversa tratte costituite prevalentemente da depositi glaciali e/o fluvioglaciali, materiali aventi litologia prevalente di limi-sabbiosi e ghiaie-limose, le cui caratteristiche meccaniche sono riportate nella Relazione Geotecnica, doc. INOR11EE2RBGN0400001.

Il modello idrogeologico presentato nella citata relazione è stato affinato in modo funzionale alla progettazione esecutiva del sistema di abbassamento della falda ed è stato ripreso da quanto riportato nella citata relazione geotecnica del Progetto Esecutivo.

1.1. Oggetto specifico del documento

Nella presente relazione viene riportato il dimensionamento del sistema di abbattimento della falda relativo ai tratti artificiali della galleria San Giorgio, GA16 e GA17.

Per queste due tratte si rende infatti necessario l'abbassamento della falda freatica superficiale prima dell'inizio dei lavori di scavo con opportuni dispositivi di abbassamento della falda.

Per la parte relativa alla galleria naturale GN04 durante la fase di costruzione, visto l'andamento in avanzamento in salita della livelletta dal lato Milano verso Verona, il drenaggio dei terreni sarà effettuato a gravità prima del passaggio del fronte di scavo con l'uso di perforazioni di drenaggio in avanzamento, con immissione dell'acqua nelle canalette laterali a paramento; l'eterogeneità dei terreni e la variabilità delle permeabilità ad essi correlabili lascia

intuire la possibilità di venute localizzate nei livelli più permeabili la cui portata iniziale potrà essere nell'ordine di grandezza al massimo di pochi l/s.

In fase di esercizio, grazie all'adozione di un profilo ad impermeabilizzazione totale (full-round), il drenaggio di galleria si riduce al solo drenaggio relativo a sversamenti accidentali su marciapiedi e ballast, poiché la quota parte del drenaggio esterno proveniente dalla piattaforma ad est della Pk 143+575.24 sarà intercettata da una stazione di sollevamento posta prima dell'imbocco della galleria artificiale GA17.

L'andamento altimetrico del tracciato della galleria San Giorgio in Salici risulta essere a pendenza sempre negativa nella direzione da Verona a Milano, senza formazioni di corde molle al suo interno ma con andamento nella sua parte centrale e finale a pendenza ridotta e così costituito:

- dalla PK 143+575.24 alla Pk 141+930.24 con pendenza media pari a 0.52 % (GA17);
- dalla PK 141+930.24 alla Pk 140+502.85 con pendenza media pari a 0.06 % (GN04);
- dalla PK 140+502.85 alla Pk 140+181.85 con pendenza media pari a 0.06 % (GA16).

Tali pendenze ridotte permettono comunque, con taluni accorgimenti, lo smaltimento degli eventuali sversamenti accidentali all'interno della galleria.

Le reti idrauliche progettate risultano essere vincolate nella loro architettura dalla morfologia locale del territorio non garantendo ovunque un funzionamento a gravità, nella fase di scavo, mentre nella fase di esercizio, grazie al fatto che il drenaggio di piattaforma delle opere a est della GA17 non viene convogliato all'interno della galleria grazie ad un sistema di sollevamento (non trattato in questa sede), il funzionamento risulta essere a gravità, con tutti i benefici in termini di gestione che tale sistema comporta.

Per l'abbattimento della falda viene introdotto un sistema di pozzi drenanti al fine di ridurre la quota della falda a circa un metro al sotto della quota di fondo scavo. Inoltre le livellette di progetto non consentono in fase di costruzione (scavi e realizzazione dell'opera) lo scarico delle acque sia di drenaggio che di emungimento dei pozzi a gravità se non per brevi tratti.

A fondo scavo al piede delle scarpate sono realizzate delle trincee drenanti lateralmente all'impronta delle gallerie. Tali trincee sono utilizzate per convogliare l'acqua di emungimento dei pozzi ed intercettare le acque meteoriche all'interno degli scavi. Le trincee convogliano quindi l'acqua verso il punto a quota più bassa degli scavi in cui verrà posizionato un sistema di pompaggio per il rilancio verso il recettore naturale.

Nella fase di scavo la rete risulta così articolata:

- rete di drenaggio dei canali di guardia delle dimensioni di 0.50-1.50x0.50 m posti in sommità dello scavo e localmente lungo le berme intermedie;
- rete di pozzi drenanti di profondità di 28 m e in un tratto di 30 m e passo di 15 m posti su entrambi i lati al piede delle scarpate degli scavi, al di fuori dell'impronta della galleria;
- rete di drenaggio di fondo scavo costituita da due trincee drenanti con tubo microfessurato di diametro 350 mm e riempite con materiale arido. Le trincee sono poste al piede destro e sinistro dello scavo.

Nella fase di esercizio la rete risulta così composta:

- sistema di drenaggio di piattaforma costituito da una canaletta centrale delle dimensioni di 0.41-0.46 × 0.25 m per la raccolta delle acque di sversamento accidentale in galleria;

Per la trattazione generale dell'idraulica di piattaforma esterna alla galleria si rimanda agli elaborati della WBS di idraulica di linea, così come per la parte della stazione di sollevamento alla PK 143+575.

Lungo il tracciato sono inoltre presenti delle interferenze con il reticolo idrografico esistente. La risoluzione di tali interferenze è descritta negli appositi elaborati specifici.

1.2. Elaborati principali di riferimento

GA16 - GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85												
CODICE										DESCRIZIONE		
INOR	11	E	E2	F	6	GA	16	0	0	001	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Profilo geologico e geotecnico	
INOR	11	E	E2	R	O	GA	16	0	0	002	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Relazione Generale	
INOR	11	E	E2	R	O	GA	16	0	0	003	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Relazione sul monitoraggio	
INOR	11	E	E2	C	L	GA	16	0	1	001	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Relazione di calcolo opere provvisionali	
INOR	11	E	E2	C	L	GA	16	0	0	001	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Relazione di calcolo	
INOR	11	E	E2	P	8	GA	16	0	0	001	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Sistemazione definitiva - Planimetria Generale	
INOR	11	E	E2	B	Z	GA	16	0	0	001	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Sezione tipo corrente - carpenteria e particolari costruttivi	
INOR	11	E	E2	B	Z	GA	16	0	0	002	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Sezione tipo con nicchie - carpenteria e particolari costruttivi	
INOR	11	E	E2	B	Z	GA	16	0	9	001	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Sistema di impermeabilizzazione - Sezione tipo e particolari costruttivi	
INOR	11	E	E2	P	8	GA	16	0	1	001	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Scavi - Planimetria generale	
INOR	11	E	E2	F	Z	GA	16	0	1	001	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Scavi - Profilo longitudinale, sezione tipo e particolari	
INOR	11	E	E2	W	9	GA	16	0	1	001	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Scavi - Sezioni trasversali (Tav. 1/3)	
INOR	11	E	E2	W	9	GA	16	0	1	002	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Scavi - Sezioni trasversali (Tav. 2/3)	
INOR	11	E	E2	W	9	GA	16	0	1	003	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Scavi - Sezioni trasversali (Tav. 3/3)	
INOR	11	E	E2	F	Z	GA	16	0	0	001	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Sistemazione definitiva - Profilo longitudinale e sezione tipo	
INOR	11	E	E2	P	9	GA	16	0	1	001	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Opere provvisionali - Paratia pk 140+462.85 - Pianta	
INOR	11	E	E2	P	9	GA	16	0	1	003	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Opere provvisionali - Paratia pk 140+462.85 - Prospetto e sezioni	
INOR	11	E	E2	B	Z	GA	16	0	1	001	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Opere provvisionali - Paratia pk 140+462.85 - Sezioni tipo e particolari	
INOR	11	E	E2	P	Z	GA	16	0	0	001	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Monitoraggio - Planimetria e sezioni	
INOR	11	E	E2	4	T	GA	16	0	0	001	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Tabella materiali	
INOR	11	E	E2	P	9	GA	16	0	1	002	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Opere provvisionali - Paratia per salvaguardia edificio pk 140+180 - Pianta	
INOR	11	E	E2	P	9	GA	16	0	1	004	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Opere provvisionali - Paratia per salvaguardia edificio pk 140+180 - Prospetto e sezioni	
INOR	11	E	E2	B	Z	GA	16	0	1	002	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST (GA16) - Da Pk 140+181.85 a Pk 140+502.85 - Opere provvisionali - Paratia per salvaguardia edificio pk 140+180 - Sezioni tipo e particolari	
GN04 - GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24												
CODICE										DESCRIZIONE		
INOR	11	E	E2	P	6	GN	04	0	0	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Planimetria di inquadramento con ubicazione nicchie e uscite di sicurezza	
INOR	11	E	E2	F	6	GN	04	0	0	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Profilo longitudinale	
INOR	11	E	E2	W	9	GN	04	0	0	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezioni trasversali tav. 1/2	
INOR	11	E	E2	W	9	GN	04	0	0	002	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezioni trasversali tav. 2/2	
INOR	11	E	E2	W	Z	GN	04	0	0	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezione tipo galleria corrente e tipologici nicchie	
INOR	11	E	E2	B	Z	GN	04	0	4	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Impermeabilizzazione e opere di drenaggio - Particolari costruttivi	
INOR	11	E	E2	P	9	GN	04	0	0	001	GALLERIA SAN GIORGIO IN SALICI (GA16 - GI08 - GN04 - GI09 - GA17) - Da Pk 140+181.85 a Pk 143+575.33 - Planimetria opere di drenaggio acque di piattaforma	
INOR	11	E	E2	4	T	GN	04	0	0	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Tabella materiali	
INOR	11	E	E2	R	O	GN	04	0	0	002	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Relazione generale	
INOR	11	E	E2	C	L	GN	04	0	0	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Relazione di calcolo dei sostegni e dei rivestimenti	
INOR	11	E	E2	R	O	GN	04	0	0	003	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Relazione di monitoraggio	
INOR	11	E	E2	R	O	GN	04	0	0	004	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Linee guida per l'applicazione delle sezioni tipo	

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

Doc. N.

Progetto
INORLotto
11Codifica Documento
E E2 RI GN 040 0 001Rev.
BFoglio
6 di 39

GA17 - GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST - Da Pk 141+930.24 a Pk 143+575.24

CODICE										DESCRIZIONE	
INOR	11	E	E2	F	6	GA	17	0	0	001	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST (GA17) - Da Pk 141+930.24 a Pk 143+575.24 - Profilo geologico e geotecnico
INOR	11	E	E2	R	O	GA	17	0	0	002	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST (GA17) - Da Pk 141+930.24 a Pk 143+575.24 - Relazione generale
INOR	11	E	E2	R	O	GA	17	0	0	003	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST (GA17) - Da Pk 141+930.24 a Pk 143+575.24 - Relazione sul monitoraggio
INOR	11	E	E2	C	L	GA	17	0	1	001	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST (GA17) - Da Pk 141+930.24 a Pk 143+575.24 - Relazione di calcolo opere provvisionali
INOR	11	E	E2	C	L	GA	17	0	0	001	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST (GA17) - Da Pk 141+930.24 a Pk 143+575.24 - Relazione di calcolo
INOR	11	E	E2	P	8	GA	17	0	1	001	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST (GA17) - Da Pk 141+930.24 a Pk 143+575.24 - Scavi - Planimetria generale (Tav. 1/4)
INOR	11	E	E2	P	8	GA	17	0	1	002	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST (GA17) - Da Pk 141+930.24 a Pk 143+575.24 - Scavi - Planimetria generale (Tav. 2/4)
INOR	11	E	E2	P	8	GA	17	0	1	003	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST (GA17) - Da Pk 141+930.24 a Pk 143+575.24 - Scavi - Planimetria generale (Tav. 3/4)
INOR	11	E	E2	P	8	GA	17	0	1	004	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST (GA17) - Da Pk 141+930.24 a Pk 143+575.24 - Scavi - Planimetria generale (Tav. 4/4)
INOR	11	E	E2	F	Z	GA	17	0	1	001	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST (GA17) - Da Pk 141+930.24 a Pk 143+575.24 - Scavi - Profilo longitudinale, sezione tipo e particolari (Tav. 1/2)
INOR	11	E	E2	F	Z	GA	17	0	1	002	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST (GA17) - Da Pk 141+930.24 a Pk 143+575.24 - Scavi - Profilo longitudinale, sezione tipo e particolari (Tav. 2/2)
INOR	11	E	E2	W	9	GA	17	0	1	001	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST (GA17) - Da Pk 141+930.24 a Pk 143+575.24 - Scavi - Sezioni trasversali (Tav. 1/14)
INOR	11	E	E2	W	9	GA	17	0	1	002	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST (GA17) - Da Pk 141+930.24 a Pk 143+575.24 - Scavi - Sezioni trasversali (Tav. 2/14)
INOR	11	E	E2	W	9	GA	17	0	1	003	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST (GA17) - Da Pk 141+930.24 a Pk 143+575.24 - Scavi - Sezioni trasversali (Tav. 3/14)
INOR	11	E	E2	W	9	GA	17	0	1	004	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST (GA17) - Da Pk 141+930.24 a Pk 143+575.24 - Scavi - Sezioni trasversali (Tav. 4/14)
INOR	11	E	E2	W	9	GA	17	0	1	005	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST (GA17) - Da Pk 141+930.24 a Pk 143+575.24 - Scavi - Sezioni trasversali (Tav. 5/14)
INOR	11	E	E2	W	9	GA	17	0	1	006	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST (GA17) - Da Pk 141+930.24 a Pk 143+575.24 - Scavi - Sezioni trasversali (Tav. 6/14)
INOR	11	E	E2	W	9	GA	17	0	1	007	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST (GA17) - Da Pk 141+930.24 a Pk 143+575.24 - Scavi - Sezioni trasversali (Tav. 7/14)
INOR	11	E	E2	W	9	GA	17	0	1	008	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST (GA17) - Da Pk 141+930.24 a Pk 143+575.24 - Scavi - Sezioni trasversali (Tav. 8/14)
INOR	11	E	E2	W	9	GA	17	0	1	009	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST (GA17) - Da Pk 141+930.24 a Pk 143+575.24 - Scavi - Sezioni trasversali (Tav. 9/14)
INOR	11	E	E2	W	9	GA	17	0	1	010	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST (GA17) - Da Pk 141+930.24 a Pk 143+575.24 - Scavi - Sezioni trasversali (Tav. 10/14)
INOR	11	E	E2	W	9	GA	17	0	1	011	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST (GA17) - Da Pk 141+930.24 a Pk 143+575.24 - Scavi - Sezioni trasversali (Tav. 11/14)
INOR	11	E	E2	W	9	GA	17	0	1	012	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST (GA17) - Da Pk 141+930.24 a Pk 143+575.24 - Scavi - Sezioni trasversali (Tav. 12/14)
INOR	11	E	E2	W	9	GA	17	0	1	013	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST (GA17) - Da Pk 141+930.24 a Pk 143+575.24 - Scavi - Sezioni trasversali (Tav. 13/14)
INOR	11	E	E2	W	9	GA	17	0	1	014	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST (GA17) - Da Pk 141+930.24 a Pk 143+575.24 - Scavi - Sezioni trasversali (Tav. 14/14)
INOR	11	E	E2	P	9	GA	17	0	1	001	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST (GA17) - Da Pk 141+930.24 a Pk 143+575.24 - Opere provvisionali - Paratia Pk 142+946.20÷Pk 143+104.23 - Pianta
INOR	11	E	E2	F	9	GA	17	0	1	001	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST (GA17) - Da Pk 141+930.24 a Pk 143+575.24 - Opere provvisionali - Paratia Pk 142+946.20÷Pk 143+104.23 - Profilo
INOR	11	E	E2	W	Z	GA	17	0	1	001	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST (GA17) - Da Pk 141+930.24 a Pk 143+575.24 - Opere provvisionali - Paratia Pk 142+946.20÷Pk 143+104.23 - Sezioni
INOR	11	E	E2	W	Z	GA	17	0	1	002	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST (GA17) - Da Pk 141+930.24 a Pk 143+575.24 - Opere provvisionali - Paratia Pk 142+946.20÷Pk 143+104.23 - Sezioni tipo e particolari
INOR	11	E	E2	B	Z	GA	17	0	0	001	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST (GA17) - Da Pk 141+930.24 a Pk 143+575.24 - Sezione tipo corrente - carpenteria e particolari costruttivi (Tav. 1/2)
INOR	11	E	E2	B	B	GA	17	0	0	002	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST (GA17) - Da Pk 141+930.24 a Pk 143+575.24 - Sezione tipo corrente - carpenteria e particolari costruttivi (Tav. 2/2)
INOR	11	E	E2	B	Z	GA	17	0	0	002	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST (GA17) - Da Pk 141+930.24 a Pk 143+575.24 - Sezione tipo con nicchie - Carpenteria e particolari costruttivi (Tav. 1/2)
INOR	11	E	E2	B	Z	GA	17	0	0	004	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST (GA17) - Da Pk 141+930.24 a Pk 143+575.24 - Sezione tipo con nicchie - Carpenteria e particolari costruttivi (Tav. 2/2)
INOR	11	E	E2	B	Z	GA	17	0	9	001	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST (GA17) - Da Pk 141+930.24 a Pk 143+575.24 - Sistema di impermeabilizzazione - Sezione tipo e particolari costruttivi
INOR	11	E	E2	P	Z	GA	17	0	0	002	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST (GA17) - Da Pk 141+930.24 a Pk 143+575.24 - Uscita di sicurezza Pk 142+847.88 - Planimetria, sezioni e particolari
INOR	11	E	E2	B	A	GA	17	0	0	018	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST (GA17) - Da Pk 141+930.24 a Pk 143+575.24 - Uscita di sicurezza Pk 142+847.88 - Carpenteria - Pianta, sezioni e dettagli (Tav. 1/2)
INOR	11	E	E2	B	Z	GA	17	0	0	003	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST (GA17) - Da Pk 141+930.24 a Pk 143+575.24 - Uscita di sicurezza Pk 142+847.88 - Carpenteria - Pianta, sezioni e dettagli (Tav. 2/2)
INOR	11	E	E2	B	B	GA	17	0	0	001	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST (GA17) - Da Pk 141+930.24 a Pk 143+575.24 - Uscita di sicurezza Pk 142+847.88 - Carpenteria - Prospetti

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto
INORLotto
11Codifica Documento
E E2 RI GN 040 0 001Rev.
BFoglio
7 di 39

INOR	11	E	E2	P	Z	GA	17	0	1	001	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST (GA17) - Da Pk 141+930.24 a Pk 143+575.24 - Fasi esecutive - Planimetria (Tav. 1/2)
INOR	11	E	E2	P	Z	GA	17	0	1	002	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST (GA17) - Da Pk 141+930.24 a Pk 143+575.24 - Fasi esecutive - Planimetria (Tav. 2/2)
INOR	11	E	E2	P	Z	GA	17	0	0	003	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST (GA17) - Da Pk 141+930.24 a Pk 143+575.24 - Monitoraggio - Planimetria e sezioni
INOR	11	E	E2	4	T	GA	17	0	0	001	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST (GA17) - Da Pk 141+930.24 a Pk 143+575.24 - Tabella materiali
INOR	11	E	E2	P	9	GA	17	0	1	002	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST (GA17) - Da Pk 141+930.24 a Pk 143+575.24 - Opere provvisionali - Paratia per salvaguardia edificio Pk 142+200 - Pianta
INOR	11	E	E2	F	9	GA	17	0	1	002	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST (GA17) - Da Pk 141+930.24 a Pk 143+575.24 - Opere provvisionali - Paratia per salvaguardia edificio Pk 142+200 - Profilo e Sezioni
INOR	11	E	E2	W	Z	GA	17	0	1	003	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST (GA17) - Da Pk 141+930.24 a Pk 143+575.24 - Opere provvisionali - Paratia per salvaguardia edificio Pk 142+200 - Sezioni tipo e particolari

GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST USCITA DI SICUREZZA (GA55) - Pk 141+982.97

CODICE											DESCRIZIONE
INOR	11	E	E2	P	Z	GA	55	0	0	001	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST USCITA DI SICUREZZA (GA55) - Pk 141+982.97 - Planimetria, sezioni e particolari
INOR	11	E	E2	B	A	GA	55	0	0	001	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST USCITA DI SICUREZZA (GA55) - Pk 141+982.97 - Carpenteria - Pianta, sezioni e dettagli (Tav. 1/2)
INOR	11	E	E2	B	Z	GA	55	0	0	001	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST USCITA DI SICUREZZA (GA55) - Pk 141+982.97 - Carpenteria - Pianta, sezioni e dettagli (Tav. 2/2)
INOR	11	E	E2	B	B	GA	55	0	0	001	GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST USCITA DI SICUREZZA (GA55) - Pk 141+982.97 - Carpenteria - Prospetti

INOR	11	E	E2	R	I	GI	08	0	0	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI IMBOCCO LATO MILANO (GI08) - Pk 140+502.85 - Relazione sul sistema di aggettamento delle acque di falda
------	----	---	----	---	---	----	----	---	---	-----	---

INOR	11	E	E2	R	I	GI	09	0	0	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI IMBOCCO LATO MILANO (GI09) - Pk 141+930.24 - Relazione sul sistema di aggettamento delle acque di falda
------	----	---	----	---	---	----	----	---	---	-----	---



2. NORMATIVE E SPECIFICHE DI RIFERIMENTO

2.1. Normative

Il quadro normativo alla base della presente revisione progettuale viene nel seguito riportato:

- Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008 (NTC 2008): "Norme tecniche per le costruzioni"
- Legge 05.11.1971 n. 1086: "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica";
- Raccomandazioni A.I.C.A.P. del Maggio 1993: "Ancoraggi nei terreni e nelle rocce".
- Regolamento U.E. nr. 1299/2014 della commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «infrastruttura» del sistema ferroviario dell'Unione europea. Pubblicato su Gazzetta Ufficiale anno 156° n°10 del 5 febbraio 2015.

2.2. Specifiche Tecniche di Riferimento

La presente revisione progettuale, fa riferimento al nuovo Manuale di Progettazione RFI.

- Manuale di Progettazione delle Opere Civili. Parte II – Sezione 4 – Gallerie (RFI DTC SI GA MA IFS 001 A). Emissione 30/12/2016;
- Manuale di Progettazione delle Opere Civili. Parte II – Sezione 3 – Corpo Stradale (RFI DTC SI CS MA IFS 001 A). Emissione 30/12/2016;
- Manuale di Progettazione delle Opere Civili. Parte II – Sezione 6 – Sagome e Profilo minimo degli ostacoli (RFI DTC SI CS MA IFS 003 A). Emissione 30/12/2016;
- Manuale di Progettazione delle Opere Civili. Parte II – Sezione 2 – Ponti e strutture (RFI DTC SI PS MA IFS 001 A). Emissione 30/12/2016;
- Specifica funzionale per il sistema di protezione e controllo accessi delle Gallerie Ferroviarie (RFI DPO PA LG A). Emissione 5/5/2008;

3. MODELLO IDROGEOLOGICO DI DETTAGLIO PER LA PROGETTAZIONE ESECUTIVA DEL SISTEMA DI ABBASSAMENTO DELLA FALDA

Il modello idrogeologico contenuto nel Progetto Definitivo è stato dettagliato e affinato nel tratto in esame per poter ottenere i parametri necessari alla Progettazione Esecutiva del sistema di abbassamento della falda. Con questo scopo sono stati rielaborati tutti i dati progettuali disponibili quali i log dei sondaggi carotati, le analisi granulometriche, le prove Lefranc in foro, le prove geofisiche e le campagne di misurazioni piezometriche.

La porzione di territorio in sinistra orografica del Fiume Tione, si configura come una successione di unità fluvioglaciali e glaciali con differenti caratteristiche di permeabilità a scala metrica, sia orizzontale che verticale. La variazione di permeabilità verticale, non riscontrabile con le prove Lefranc a carico variabile estensivamente condotte nei sondaggi, è ipotizzabile in base alla frequenza di intercalazioni di lenti di terreni più fini, limi in particolare. Inoltre, a supporto di questa deduzione, le letture piezometriche evidenziano in questo settore la presenza di due falde idriche distinte, una profonda ed una superficiale. I terreni fluvioglaciali e glaciali sono stati suddivisi in 7 Unità Idrogeologiche omogenee per genesi e caratteristiche idrogeologiche:

- Unità idrogeologica 1 acquifero superficiale S. Giorgio
- Unità idrogeologica 2 acquitardo S. Giorgio
- Unità idrogeologica 3 acquifero profondo S. Giorgio (fluvioglaciale)
- Unità idrogeologica 4 acquifero superficiale S. Giorgio (fluvioglaciale)
- Unità idrogeologica 5 acquifero superficiale (glaciale) Sona
- Unità idrogeologica 6 acquifero superficiale (fluvioglaciale) Sona
- Unità idrogeologica 7 acquifero superficiale (alluvioni recenti) Fiume Tione

Le unità idrogeologiche 6 e 7 non sono interessate dalla realizzazione delle gallerie.

I valori di permeabilità orizzontale delle unità idrogeologiche sono stati ricavati dalle prove Lefranc in foro eseguite nelle diverse campagne geognostiche. I dati di 53 prove Lefranc a carico variabile e di 7 prove Lefranc a carico costante sono state rielaborate in modo univoco in accordo alle "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche emesse" (AGI, 1977) per meglio caratterizzare la distribuzione dei valori di permeabilità orizzontale all'interno delle diverse unità idrogeologiche. E' possibile notare una sistematica distribuzione dei valori che individua come meno permeabili le unità idrogeologiche 2 (acquitardo di S. Giorgio) e 5 (acquifero superficiale glaciale di Sona), e più permeabili le Unità 1, 3 e soprattutto 4. In fig. 6.1 e 6.2 sono riportati i box-plot di confronto tra le diverse unità idrogeologiche.

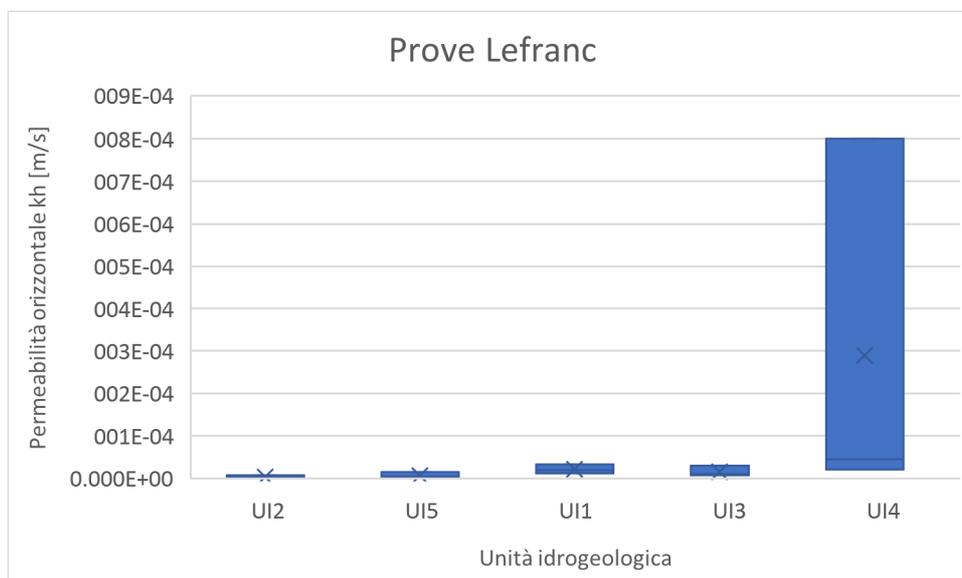


Figura 5-1: Confronto della distribuzione delle permeabilità orizzontali puntuali ricavate da prove di assorbimento Lefranc effettuate nelle diverse unità idrogeologiche UI 1-UI 5

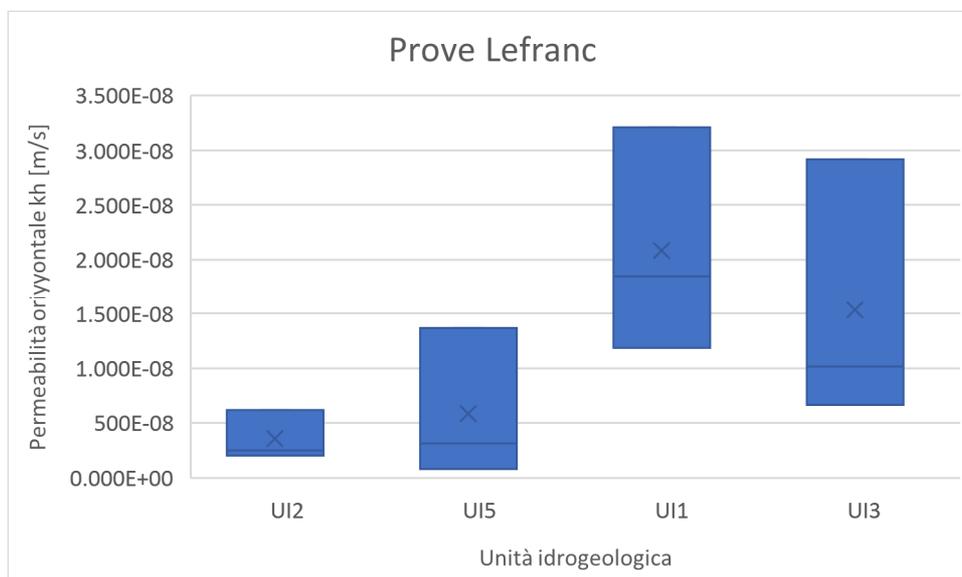


Figura 5-2: Confronto della distribuzione delle permeabilità orizzontali puntuali ricavate da prove di assorbimento Lefranc. Dettaglio relativo alle unità idrogeologiche UI 1, 2, 3, 5

Si fa notare però, che, per sua natura, questo tipo di test fornisce valori di permeabilità puntuali e validi a scala locale. Inoltre, la struttura lentiforme di gran parte dei depositi, in particolare di quelli fluvioglaciali, determina una forte anisotropia della permeabilità con valori di permeabilità verticale variabili da 1/5 a 1/10 di quella orizzontale.



3.1. Unità idrogeologica 1

L'unità idrogeologica 1 è costituita dall'acquifero di S. Giorgio e contiene la falda superficiale. Si estende dalla valle fluviale del fiume Tione fino al rilievo di cordone morenico sul cui proseguito settentrionale sorge l'abitato di San Giorgio in Salici. L'unità si caratterizza per la presenza di ghiaie sub-arrotondate che indicherebbero un breve trasporto fluviale, caratteristico dell'ambiente periglaciale. Si tratta di terreni mediamente addensati come testimonia la prova geofisica di cross-hole realizzata nei fori 4SS034-A/B (Vs 200-250 m/s).

Grazie alle descrizioni dei log di sondaggio ed ai risultati delle frequenti analisi granulometriche effettuate, è stato possibile correlare stratigraficamente questa unità sul territorio.

Lo spessore dell'unità 1 è di 10-12 m e tende a diminuire verso est, fino a chiudersi in corrispondenza dell'alto morfologico del cordone morenico di San Giorgio in Salici, in corrispondenza della progressiva 141+125 circa; secondo la correlazione stratigrafica, il letto presenta un andamento a gradini che potrebbero essere interpretabili come scarpate di erosione fluviale sepolte, analoghe all'attuale scarpata del Fiume Tione.

La falda superficiale è così delimitata:

- ad ovest il F. Tione costituisce un limite drenante sia nella stagione di piena che di magra della falda (evidente dalle letture piezometriche, per quanto discontinue nel tempo);
- a nord la sezione di afflusso appare limitata in estensione laterale dalla presenza di un vasto deposito lacustre di terreni molto fini (argille) evidenti nel sondaggio S31-XA202G171. L'alimentazione può arrivare dalla zona dell'abitato di San Giorgio con deflusso verso NE-SW;
- ad est l'acquifero si assottiglia e si chiude contro la sottostante unità idrogeologica meno permeabile;
- a sud dell'opera in progetto l'acquifero presenta sezione libera.

L'alimentazione di tale falda superficiale appare, allo stato attuale delle conoscenze, essere esclusivamente per infiltrazione delle acque piovane sul corrispondente areale sotteso all'opera da realizzare; l'areale di infiltrazione a cui è sottesa la sezione di scavo della GA16 è stimabile in circa 1.3 km² in base alle considerazioni sui limiti dell'unità idrogeologica 1 sopra argomentati.

L'interpretazione delle linee isopieze di tale falda indicano deflusso con verso ENE-OSO, dunque da direzione Nord a basso angolo rispetto all'asse del tracciato.

La permeabilità dell'unità è stata ricavata dall'interpretazione delle prove Lefranc effettuate a meno di 10 m di profondità nei sondaggi 4SN033, 14PZ27, 4SN035 ed indicano i valori riportati in tabella.

Unità idrogeologica 1	K orizzontale (m/s)		
	Percentile 0.25	Mediana	Percentile 0.75
	1.19E-05	1.85E-05	3.21E-05

Questi valori corrispondono alle lenti maggiormente permeabili e comunque idraulicamente interconnesse tra di loro, come dimostra l'organicità dei livelli piezometrici misurati da piezometri sicuramente fenestrati in falda superficiale.

3.2. Unità idrogeologica 2

L'unità idrogeologica 2 è costituita sempre da depositi fluvioglaciali ma con una maggiore presenza di lenti di terreni fini che ne diminuiscono la permeabilità verticale a scala dell'unità idrogeologica. I terreni sono anche maggiormente addensati rispetto all'unità 1 (la prova di cross-hole realizzata nei fori 4SS034-A/B indica Vs 250-500 m/s). All'interno di questa unità è stata riconosciuta la presenza di un acquitardo, l'aquitardo di S. Giorgio.

Anche in questo caso la permeabilità è stata ricavata dall'interpretazione delle prove Lefranc in foro.

Unità Idrogeologica 2	K orizzontale (m/s)		
	Percentile 0.25	Mediana	Percentile 0.75
	2.03E-06	2.47E-06	6.19E-06

I valori di permeabilità più alti sono stati riscontrati nel sondaggio 4SS034 e sono probabilmente relativi a lenti più permeabili ma evidentemente poco connesse tra loro. I dati di perforazione confermano questa ipotesi: le misurazioni della falda giornaliera durante l'esecuzione dei sondaggi non segnalano la presenza di acqua nell'intervallo di profondità dell'aquitardo ma, con un ulteriore approfondimento della perforazione e a distanza di alcune ore, l'acqua di falda risaliva fin quasi a bocca foro. Questo fenomeno può essere interpretato come risalita dell'acqua della falda profonda intercettata dalla perforazione.

Per quanto riguarda la permeabilità a scala dell'intera unità idrogeologica, possiamo ipotizzare che i valori più alti siano relativi a sacche locali poco connesse e che la presenza di lenti di terreni fini riduca sensibilmente la permeabilità verticale, portandola a valori di 1 ordine di grandezza inferiore, 1E-7m/s.

3.3. Unità idrogeologica 3

L'unità idrogeologica 3 è costituita da sedimenti fluvioglaciali digradanti in quota per terrazzamenti successivi verso Ovest, verso l'attuale valle del Fiume Tione. E' sede dell'aquifero profondo San Giorgio, acquifero in pressione.

Anche in questo caso sono stati misurati valori di permeabilità orizzontali a due mode in cui però i valori più bassi sono decisamente meno frequenti (sondaggio SIGS). I valori più elevati sono stati riscontrati nei sondaggi SS034 ed SN035.

Unità Idrogeologica 3	K orizzontale (m/s)		
	Percentile 0.25	Mediana	Percentile 0.75
	6.66E-06	1.05E-05	2.92E-05

Lo spessore dell'unità è di circa 10-12 m.

3.4. Unità idrogeologica 4

L'unità idrogeologica 4 è costituita da sedimenti fluvioglaciali di spessore variabile tra 10 e 30 m, in corrispondenza del portale est della galleria naturale ed è sede di un acquifero superficiale, l'acquifero superficiale di S. Giorgio.

L'acquifero è in continuità idraulica con l'acquifero 3 da cui si differenzia perché la falda libera va in pressione: verso Ovest l'acquifero immerge sotto l'unità Idrogeologica 2 e la falda idrica in esso contenuta da libera va in pressione per limite di permeabilità sovrainposta dell'unità idrogeologica 2 (acquitardo di San Giorgio).

A sud le due unità immergono verso SSE e sono aperte sino a qualche centinaio di metri a sud dell'autostrada, dove il paleoalveo subisce una brusca deviazione verso Est, verso l'abitato di Sommacampagna, a causa della presenza di un rilievo morenico, presumibilmente meno permeabile; per quanto concerne questo progetto, le due unità a Sud sono intercettate dallo sviluppo della galleria naturale e dalla galleria artificiale GA17.

L'unità idrogeologica 4 presenta le permeabilità orizzontali più alte del settore studiato.

Unità Idrogeologica 4	K orizzontale (m/s)		
	Percentile 0.25	Mediana	Percentile 0.75
	2.06E-06	4.47E-05	7.99E-04

3.5. Unità idrogeologica 5

L'unità idrogeologica 5 è costituita da sedimenti di probabile genesi glaciale e costituisce l'acquifero superficiale di Sona. Verso Est, tampona per limite di permeabilità l'Unità idrogeologica 4. La permeabilità orizzontale di questa unità è riportata nella tabella seguente ed è la più bassa dell'area studiata.

GENERAL CONTRACTOR

Cepav due



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto
INORLotto
11Codifica Documento
E E2 RI GN 040 0 001Rev.
BFoglio
14 di 39

Unità Idrogeologica 5	K orizzontale (m/s)		
	Percentile 0.25	Mediana	Percentile 0.75
	8.11E-07	3.13E-06	1.37E-05

L'areale di infiltrazione è esteso verso NNE almeno fino agli abitati di Palazzolo-Barbarago e la falda superficiale, vincolata da tali limiti laterali, non può che defluire lungo la valle interglaciale in direzione SSO verso la pianura.

In tutte le unità idrogeologiche, risultati delle prove Lefranc indicano che non possiamo dunque prescindere dall'anisotropia e disomogeneità di tali acquiferi e che le differenze che leggiamo a grande scala dai dati piezometrici nella distribuzione e dinamica delle falde acquifere indicano la variazione nella frequenza dei corpi più permeabili, di genesi fluvioglaciale a maggiore energia, rispetto alle lenti meno permeabili sempre di genesi fluvioglaciale, ma di minore energia.

4. GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI OVEST GA16

4.1. Sistema di abbassamento della falda con pozzi drenanti

Per la galleria San Giorgio in Salici Ovest (GA16) la soluzione prevista è quella dello scavo libero mentre il drenaggio avviene tramite due file di pozzi del diametro di 800 mm posti esternamente all'ingombro dei piedritti, con una lunghezza di 28 m ed un interasse longitudinale di 15 m.

I pozzi di aggotamento sono stati dimensionati per consentire, su tutta l'area di scavo, un abbassamento della falda dalla posizione di soggiacenza massima di progetto ad una quota massima di fondo scavo con un minimo franco di sicurezza pari ad 1 m sotto la quota di fondo scavo. In tal modo si definisce l'abbattimento s di progetto.

La portata totale Q da emungere in ciascuna zona è calcolata secondo la formula seguente valida per un sistema di multi pozzi di uguale diametro D in un acquifero di tipo freatico (Figura 4-1):

$$Q = \pi k \frac{H^2 - h^2}{\ln R - \frac{1}{n} \sum \ln R_i}$$

dove:

- k è la permeabilità del terreno;
- H è il livello della falda stazionaria;
- h è il livello della falda abbassata;
- n è il numero di pozzi;
- R è il raggio di influenza del singolo pozzo;
- R_i è la distanza dal pozzo i -esimo del punto in cui si desidera abbattere la falda al livello h .

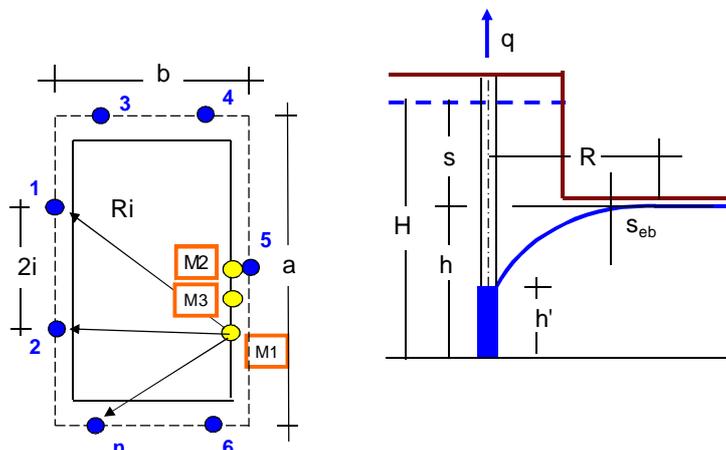


Figura 4-1: Schema di calcolo

Il raggio di influenza R del singolo pozzo è calcolato noto l'abbattimento di falda s pari a (H-h):

$$R = 3000 \cdot (H - h) \cdot \sqrt{k} = 3000 \cdot s \cdot \sqrt{k}$$

Fissato il numero dei pozzi e la disposizione planimetrica si calcola il $(1/n) \cdot \sum \ln R_i$ con riferimento ad almeno 3 punti ubicati lungo il perimetro di scavo (M1,M2,M3), modificandone la posizione fino a massimizzare il termine sopraindicato. In tal modo è possibile calcolare la massima portata totale da emungere Q_{max} .

Noti Q_{max} e il numero di pozzi n si trova immediatamente la portata da emungere dal singolo pozzo q.

L'altezza del filtro h' deve essere scelta in modo che la portata emungibile dal singolo pozzo q pari a $q = \pi D k h' / 15$ sia inferiore alla portata richiesta q_{req} (criterio di Herth e Arndts, 1973).

L'abbassamento del livello dell'acqua nel pozzo rispetto al livello di falda abbattuto S_{eb} è dato da:

$$s_{eb} = h - \left[h^2 - \frac{1.5q(\ln i - \ln D/2)}{\pi k} \right]^{0.5}$$

Nel seguito si riportano i dettagli della verifica per i singoli casi analizzati.

La permeabilità considerata è pari a 3×10^{-6} m/s.

Per la determinazione della quota di falda si è fatto riferimento all'andamento della falda di progetto riportato nella sezione idrogeologica allegata alla presente relazione.

Per il calcolo del sistema di aggettamento si è confermata la quota 117.40 mslm.

La disposizione spaziale planimetrica per la verifica è la seguente riportata sotto (Figura 4-2) con i pozzi disposti con passo pari a 15 m e distanti 16.6 m tra una fila e l'altra e una volta fissato il numero dei pozzi e la disposizione planimetrica si calcola il termine $(1/n) \cdot \sum \ln R_i$ con riferimento ad almeno 3 punti ubicati lungo il perimetro di scavo (M1,M2,M3), modificandone la posizione fino a massimizzare il termine sopraindicato. Il numero di pozzi risulta essere pari a 14 che insistono su un'area di modulo pari a 16.6x90 m.

Le caratteristiche geometriche del caso in oggetto, che sono state determinate per mezzo dalla verifica analitica sopra descritta vengono di seguito riportate, con riferimento alla Figura 4-3.

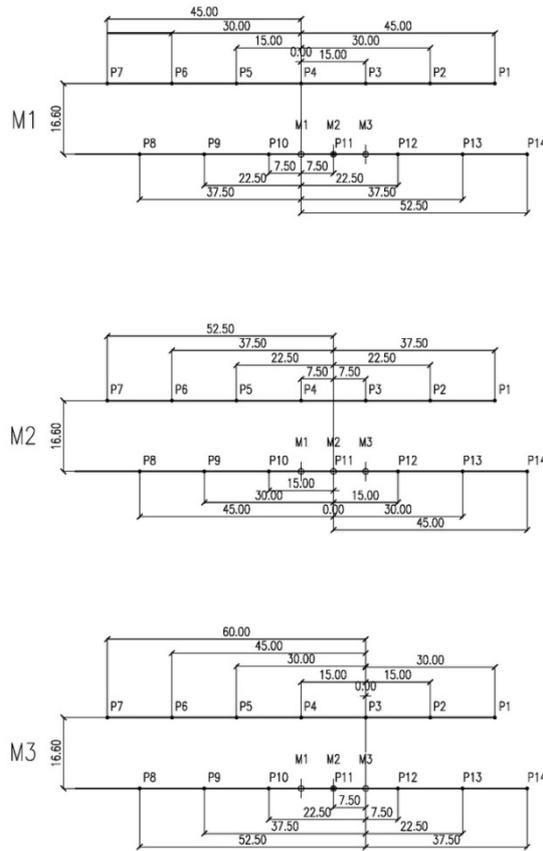


Figura 4-2: Schema planimetrico della distribuzione dei pozzi per il calcolo del termine $(1/n) \cdot \sum \ln R_i$.

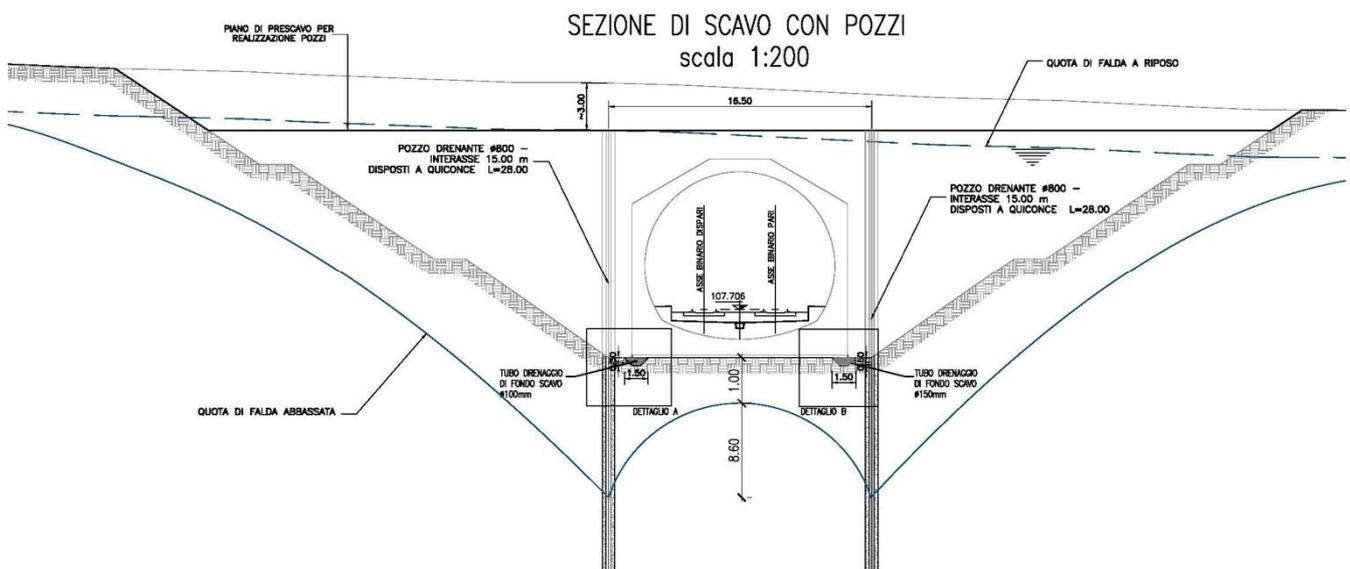


Figura 4-3: Schema dewatering – GA16 (sezione scavo libero).

Si riporta in seguito i dati di input per la verifica del sistema di aggottamento (Figura 4-4) e i risultati ottenuti (Figura 4-5).

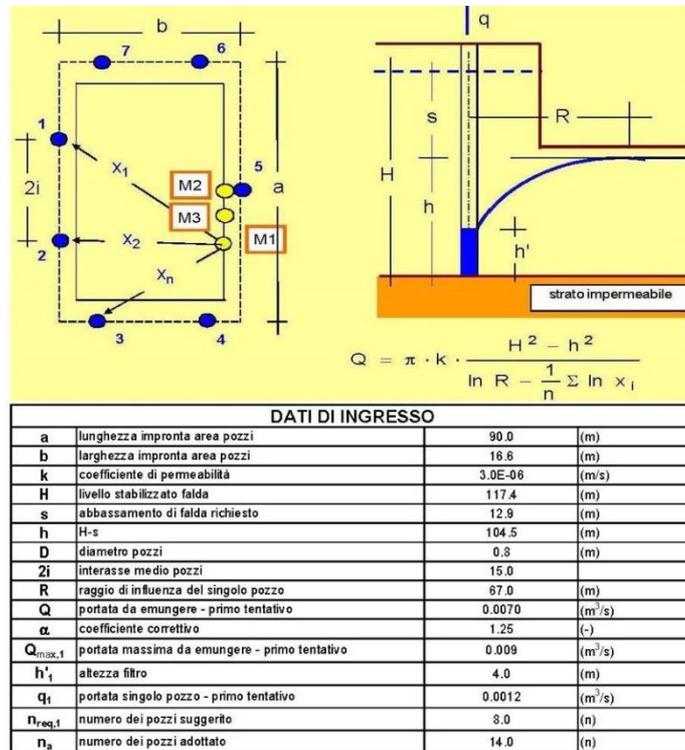


Figura 4-4: Dati di input per il calcolo del sistema di aggottamento per la galleria artificiale GA16.

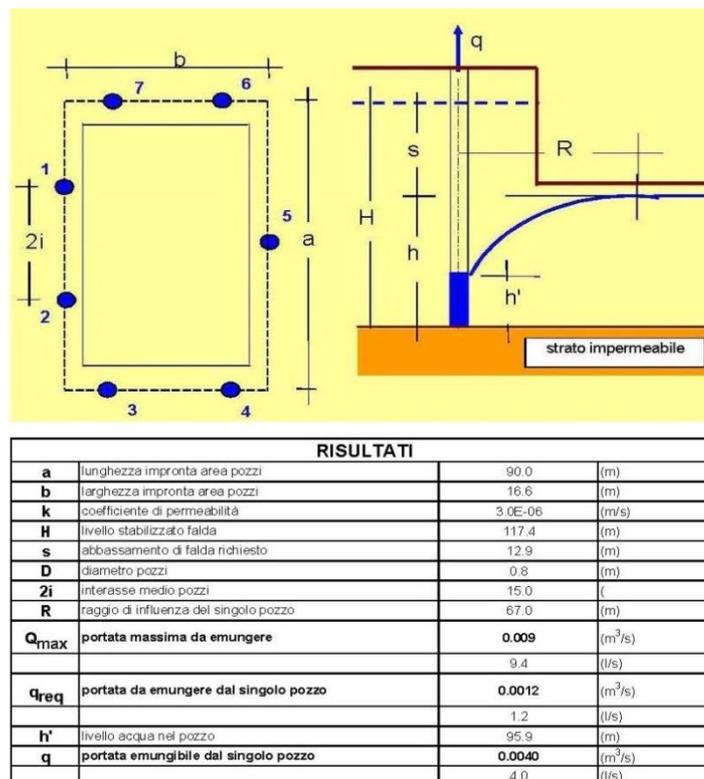


Figura 4-5: Dati di output per il calcolo del sistema di aggottamento per la galleria artificiale GA16.



Le caratteristiche geometriche di progetto del caso in oggetto, che sono state determinate per mezzo dalla verifica analitica sopra descritta vengono di seguito riportate:

- portata di aggotamento di ogni singolo pozzo pari a 1.2 l/s;
- diametro pozzo 800 mm;
- lunghezza pozzo 28 m;
- lunghezza filtro 4 m;
- interasse pozzi 15 m;
- abbassamento falda 12.9 m;
- raggio influenza singolo pozzo 67 m.

Ne consegue che il cono di depressione generato dal pompaggio, assume la forma riportata in Figura 4-3 con un raggio di circa 67 m, ed un approfondimento della quota idrica all'interno del pozzo rispetto alla quota iniziale della falda pari a 21.5 m, necessario a garantire il fondo scavo asciutto a cui vanno aggiunti i 4 m del filtro per un totale dell'opera di 25.5 m.

La scelta di porre la lunghezza del pozzo a 28 m è dettata dal fatto di garantire un certo franco per la quota idraulica da ottenere all'interno del pozzo (circa 2.5 m) per il corretto funzionamento delle pompe ad immersione.

4.1.1. Calcolo delle portate di falda

Per il calcolo delle portate di emungimento si rimanda al paragrafo precedente 7.1.

Le portate da emungere dai pozzi di aggotamento risultano essere pari a 1.2-1.5 l/s per ogni pozzo con valore massimo emungibile pari a 4 l/s.

La verifica per il dimensionamento dei canali è stata fatta inserendo come valore cautelativo la massima portata emungibile di 4 l/s. Il valore totale di portata di emungimento dell'intero tratto risulta essere per i rispettivi 40 pozzi pari a 160 l/s di cui 80 l/s sul lato sud e 80 l/s su quello nord.

5. GALLERIA ARTIFICIALE SAN GIORGIO IN SALICI EST GA17

5.1. Sistema di abbassamento della falda con pozzi drenanti

Per gran parte la galleria artificiale San Giorgio in Salici Est (GA17) la soluzione prevista è quella dello scavo libero mentre il drenaggio avviene tramite due file di pozzi del diametro di 800 mm posti esternamente all'ingombro dei piedritti, con una lunghezza di 28 m nel tratto iniziale tra le Pk 141+937.60 e Pk 142+958.58 e di 30 m tra le Pk 143+103.60 e Pk 143+338.58 ed interasse longitudinale di 15 m ad esclusione del tratto tra le Pk 142+958.58 e Pk 143+103.60 dove lo scavo è confinato da diaframmi e l'interasse longitudinale tra i pozzi è di 20 m.

Nella zona tra le Pk 143+338.58 e Pk 143+573.60 lo scavo è a sezione aperta e senza l'ausilio di pozzi di aggotamento. I pozzi di aggotamento sono stati dimensionati per consentire, su tutta l'area di scavo, un abbassamento della falda dalla posizione di soggiacenza massima di progetto ad una quota massima di fondo scavo con un minimo franco di sicurezza pari ad 1 m sotto la quota di fondo scavo; in tal modo si definisce l'abbattimento s di progetto

La portata totale Q da emungere in ciascuna zona è calcolata secondo la formula seguente valida per un sistema di multipozzi di uguale diametro D in un acquifero di tipo freatico (*Figura 5-1*):

$$Q = \pi k \frac{H^2 - h^2}{\ln R - \frac{1}{n} \sum \ln R_i}$$

dove:

- k è la permeabilità del terreno;
- H è il livello della falda stazionaria;
- h è il livello della falda abbassata;
- n è il numero di pozzi;
- R è il raggio di influenza del singolo pozzo;
- R_i è la distanza dal pozzo i -esimo del punto in cui si desidera abbattere la falda al livello h .

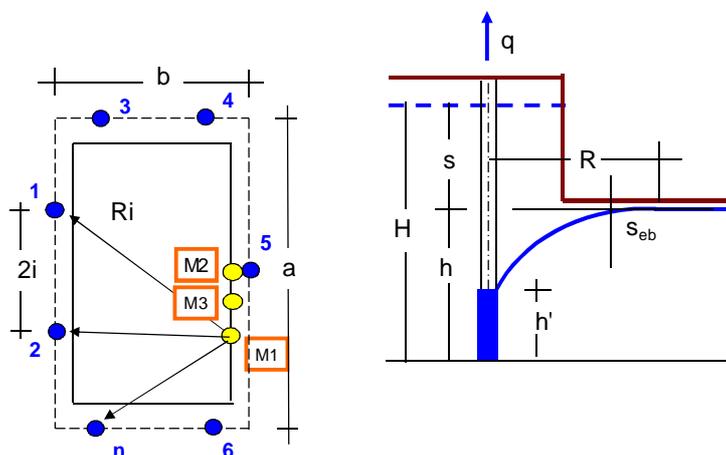


Figura 5-1: Schema di calcolo



Il raggio di influenza R del singolo pozzo è calcolato noto l'abbattimento di falda s pari a (H-h):

$$R = 3000 \cdot (H - h) \cdot \sqrt{k} = 3000 \cdot s \cdot \sqrt{k}$$

Fissato il numero dei pozzi e la disposizione planimetrica si calcola il termine $(1/n) \cdot \sum \ln R_i$ con riferimento ad almeno 3 punti ubicati lungo il perimetro di scavo (M1,M2,M3), modificandone la posizione fino a massimizzare il termine sopraindicato. In tal modo è possibile calcolare la massima portata totale da emungere Q_{max} .

Noti Q_{max} e il numero di pozzi n si trova immediatamente la portata da emungere dal singolo pozzo q_{req} .

L'altezza del filtro h' deve essere scelta in modo che la portata emungibile dal singolo pozzo q pari a $q = \pi D k h' / 15$ sia inferiore alla portata richiesta q_{req} (criterio di Herth e Arndts, 1973).

L'abbassamento del livello dell'acqua nel pozzo rispetto al livello di falda abbattuto S_{eb} è dato da:

$$s_{eb} = h - \left[h^2 - \frac{1.5q(\ln i - \ln D/2)}{\pi k} \right]^{0.5}$$

Nel seguito si riportano i dettagli della verifica per i singoli casi analizzati.

La permeabilità considerata è pari a 3×10^{-6} m/s per lo scavo aperto.

Per il calcolo del sistema di aggotamento si sono confermate le quote massime corrispondenti ad un valore pari a 117.20 m slm (PK 142+268.36) e 127.55 m slm (Pk 143+279.21).

La disposizione spaziale planimetrica per la verifica si è basata su pozzi disposti con passo pari a 15 m e distanti 16.6 m tra una fila e l'altra e una volta fissato il numero dei pozzi e la disposizione planimetrica si calcola il termine $((1/n) \cdot \sum \ln R_i)$ con riferimento ad almeno 3 punti ubicati lungo il perimetro di scavo (M1,M2,M3), modificandone la posizione fino a massimizzare il termine sopraindicato. Il numero di pozzi risulta essere pari a 14 che insistono su un'area di modulo pari a 16.6x90 m.

Le caratteristiche geometriche del caso in oggetto, che sono state determinate per mezzo dalla verifica analitica sopra descritta vengono di seguito riportate, con riferimento alla Figura 5-3

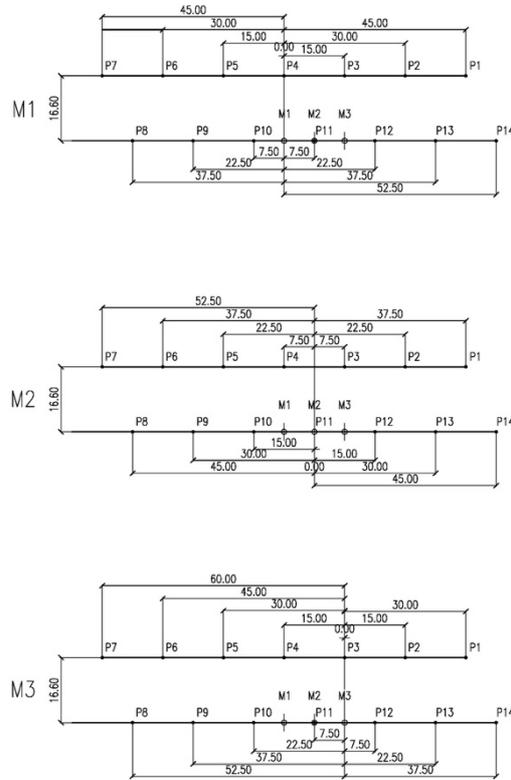


Figura 5-2: Schema planimetrico della distribuzione dei pozzi per il calcolo del termine $(1/n) \cdot \sum \ln Ri$.

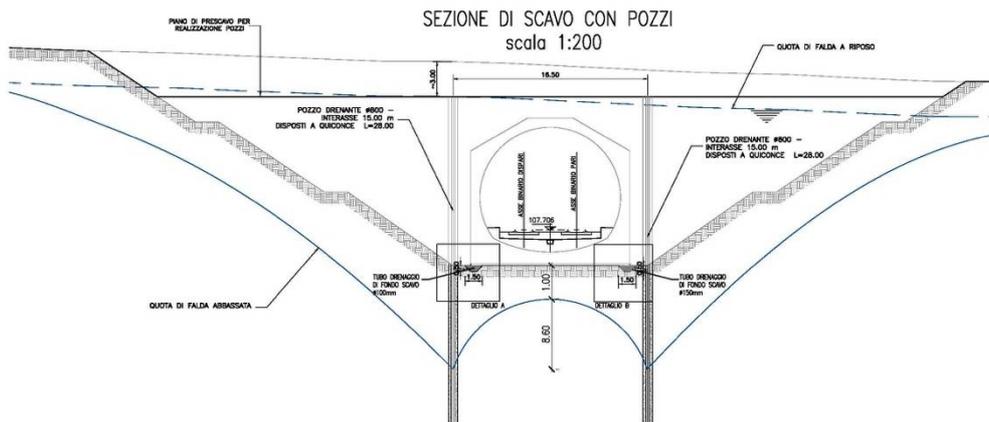


Figura 5-3: Schema dewatering – GA17 (sezione scavo libero).

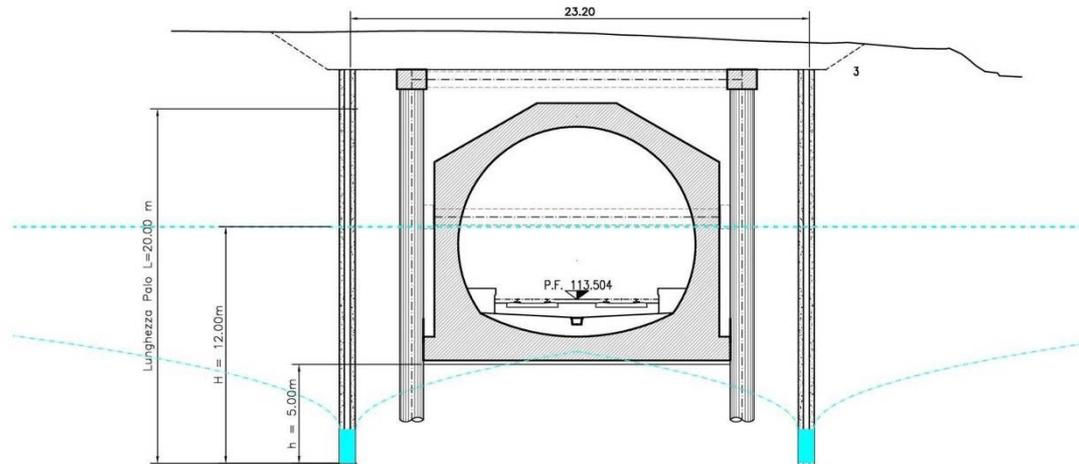


Figura 5-4: Schema dewatering – GA17 (sezione berlinese).

Si riporta di seguito i dati di input per la verifica del sistema di aggotamento (Figura 5-5) e i risultati ottenuti (Figura 5-6).

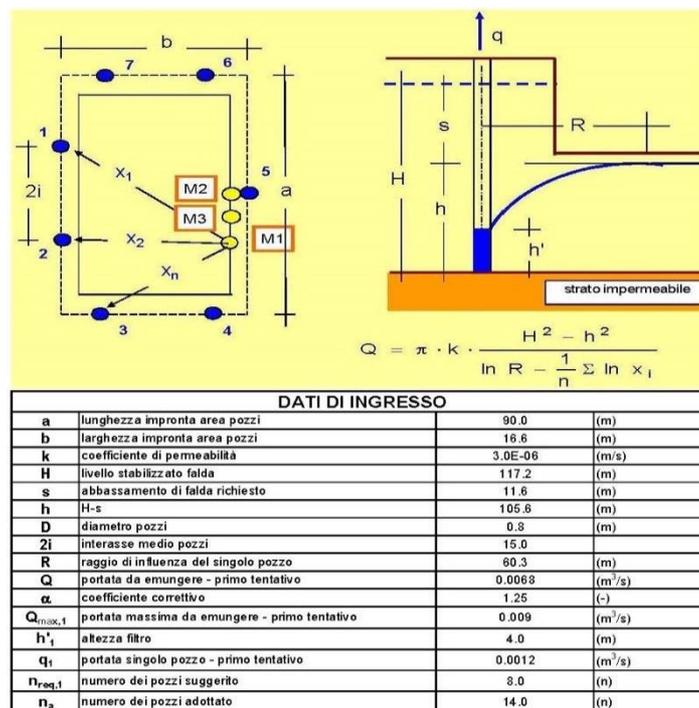
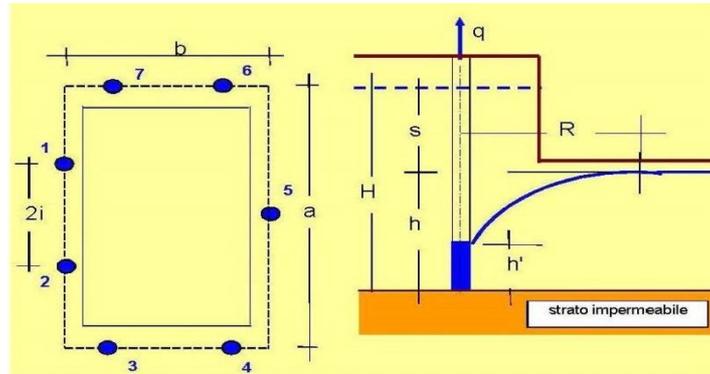


Figura 5-5: Dati di input per il calcolo del sistema di aggotamento per la galleria artificiale GA17 (Pk141+937.60 e Pk 142+958.58).



RISULTATI			
a	lunghezza impronta area pozzi	90.0	(m)
b	larghezza impronta area pozzi	16.6	(m)
k	coefficiente di permeabilità	3.0E-06	(m/s)
H	livello stabilizzato falda	117.2	(m)
s	abbassamento di falda richiesto	11.6	(m)
D	diámetro pozzi	0.8	(m)
2i	interasse medio pozzi	15.0	(m)
R	raggio di influenza del singolo pozzo	60.3	(m)
Q_{max}	portata massima da emungere	0.010	(m ³ /s)
		9.7	(l/s)
q_{req}	portata da emungere dal singolo pozzo	0.0012	(m ³ /s)
		1.2	(l/s)
h'	livello acqua nel pozzo	97.3	(m)
q	portata emungibile dal singolo pozzo	0.0044	(m ³ /s)
		4.4	(l/s)

Figura 5-6: Dati di output per il calcolo del sistema di aggotamento per la galleria artificiale GA17 (Pk141+937.60 e Pk 142+958.58).

Q=	12,21	l/sec
q=	1,22	l/sec
k=	0,000050	m/s
H=	12	m
h=	5	m
$H^2 - h^2 =$	119	m ²
n=	10	
R=	148,49	m
lnR =	5,00	
$\sum Ri =$	34,70	

Figura 5-7: Dati di output per il calcolo del sistema di aggotamento per la galleria artificiale GA17 sezione berlinese (Pk142+958.580 e Pk 143+103.60).

Le caratteristiche geometriche di progetto per la sezione libera, che sono state determinate per mezzo della verifica analitica sopra descritta vengono di seguito riportate:

- portata di aggotamento di ogni singolo pozzo pari a 1.2 l/s;
- diametro pozzo 800 mm;
- lunghezza pozzo 28 m;
- lunghezza filtro 4 m;
- interasse pozzi 15 m;
- abbassamento falda 11.6 m;
- raggio influenza singolo pozzo 60.3 m.

Ne consegue che il cono di depressione generato dal pompaggio, assume la forma riportata in Figura 5-3 con un raggio di circa 60.3 m, ed un approfondimento della quota idrica all'interno del pozzo rispetto alla quota iniziale della falda pari a 19.9 m, necessario a garantire il fondo scavo asciutto a cui vanno aggiunti i 4 m del filtro per un totale dell'opera di 23.9 m.

La scelta di porre la lunghezza del pozzo a 28 m è dettata dal fatto di garantire un certo franco per la quota idraulica da ottenere all'interno del pozzo (circa 4.1 m), franco peraltro abbastanza importante ma visto l'andamento regolare della falda sulla tratta considerata risulta coerente e per il corretto funzionamento delle pompe ad immersione.

Nel caso della sezione tipo berlinese il cono di depressione generato dal pompaggio, assume la forma riportata in Figura 5-8 con un raggio di circa 148.5 m, ed un approfondimento del pozzo necessario a garantire il fondo scavo asciutto pari a 20 m rispetto alla quota di testa delle paratie di scavo (compresi circa 1.75 m di fondo pozzo riempito con materiale drenante). Nel seguito si riportano le quote di riferimento del calcolo.

QUOTA FALDA	117	m sm
Quota testa pozzo =	125	m sm
Quota fondo scavo =	110	m sm
Quota abbassata nel pozzo =	106.7	m sm
Quota fondo pozzo =	105	m sm
Lunghezza Pozzi 20 m		

L'abbattimento complessivo della quota di falda all'interno del pozzo risulta essere pari a 10.25 m complessivi.

Il numero di pozzi considerato è tale per cui è necessaria una distribuzione a quinconce sui due lati dello scavo, con interasse longitudinale pari a 20 m.

Risulta pertanto che l'interasse longitudinale dei pozzi dovrà essere non superiore a 20 m.

Le profondità dei pozzi dovranno essere pari a 25 m, rispetto al piano di imposta delle opere di presidio (palificata).

I dati di input per la verifica del sistema di aggotamento per il tratto comprensivo tra le Pk 143+103.60 e Pk 143+338.58 (Figura 5-9) e i risultati ottenuti (Figura 5-10).

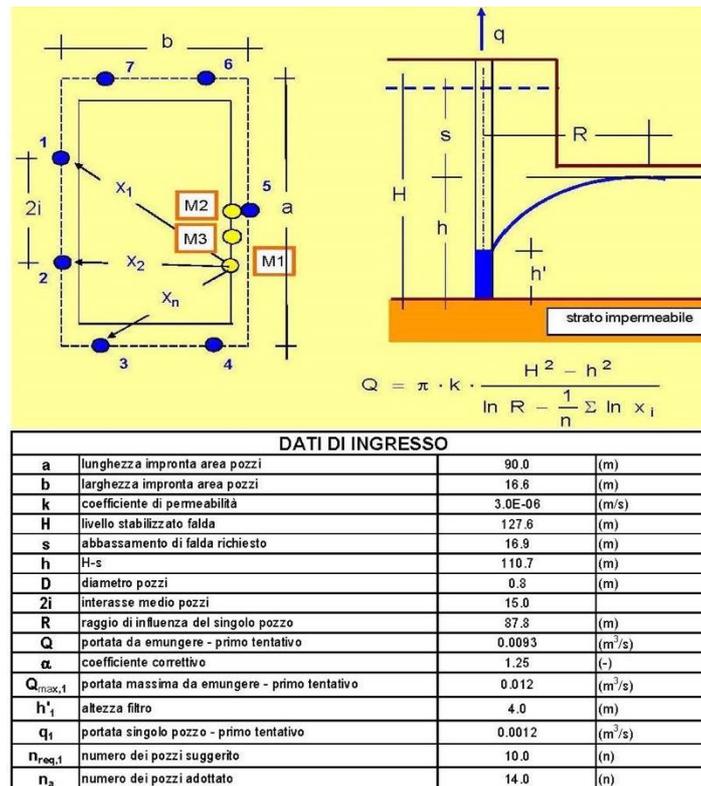
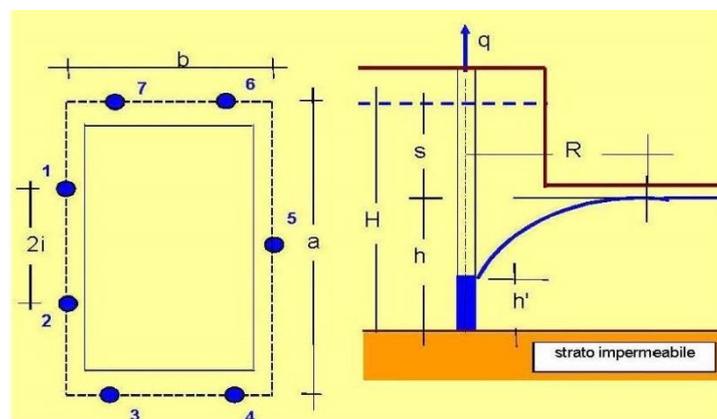


Figura 5-9: Dati di input per il calcolo del sistema di aggotamento per la galleria artificiale GA17 (Pk 143+103.60 e Pk 143+338.58).



RISULTATI		
a	lunghezza impronta area pozzi	90.0 (m)
b	larghezza impronta area pozzi	16.6 (m)
k	coefficiente di permeabilità	3.0E-06 (m/s)
H	livello stabilizzato falda	127.6 (m)
s	abbassamento di falda richiesto	16.9 (m)
D	diametro pozzi	0.8 (m)
2i	interasse medio pozzi	15.0 (m)
R	raggio di influenza del singolo pozzo	87.8 (m)
Q_{max}	portata massima da emungere	0.012 (m ³ /s)
		12.3 (l/s)
q_{req}	portata da emungere dal singolo pozzo	0.0012 (m ³ /s)
		1.2 (l/s)
h'	livello acqua nel pozzo	102.4 (m)
q	portata emungibile dal singolo pozzo	0.0069 (m ³ /s)
		5.9 (l/s)

Figura 5-10: Dati di output per il calcolo del sistema di aggotamento per la galleria artificiale GA17 (Pk 143+103.60 e Pk 143+338.58).

Per il tratto con lunghezza dei pozzi pari a 30 m abbiamo che le caratteristiche geometriche di progetto sono state determinate per mezzo dalla verifica analitica sopra descritta e di seguito riportate:

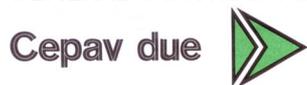
- portata di aggotamento di ogni singolo pozzo pari a 1.2 l/s;
- diametro pozzo 800 mm;
- lunghezza pozzo 30 m;
- lunghezza filtro 4 m;
- interasse pozzi 15 m;
- abbassamento falda 16.9 m;
- raggio influenza singolo pozzo 87.8 m.

Ne consegue che il cono di depressione generato dal pompaggio, assume la forma riportata in Figura 5-3 con un raggio di circa 87.8 m, ed un approfondimento della quota idrica all'interno del pozzo rispetto alla quota iniziale della falda pari a 25.2 m, necessario a garantire il fondo scavo asciutto a cui vanno aggiunti i 4 m del filtro per un totale dell'opera di 29.2 m.

La scelta di porre la lunghezza del pozzo a 30 m è dettata dal fatto di garantire un certo franco per la quota idraulica da ottenere all'interno del pozzo (circa 0.8 m) per il corretto funzionamento delle pompe ad immersione.

In questo caso non si è ritenuto approfondire ulteriormente il pozzo in quanto il valore massimo della falda risulta locale e non continuo su tutta la tratta.

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto
INOR

Lotto
11

Codifica Documento
E E2 RI GN 040 0 001

Rev.
B

Foglio
28 di 39

5.1.1. Calcolo delle portate di falda

Per il calcolo delle portate di emungimento si rimanda al paragrafo precedente 7.1.

Le portate da emungere dai pozzi di aggotamento risultano essere pari a 1.2-1.5 l/s per ogni pozzo con valore massimo emungibile pari a 4.4-5.9 l/s.

La verifica per il dimensionamento dei canali è stata fatta inserendo come valore cautelativo la massima portata emungibile di 5 l/s valore intermedio. Il valore totale di portata massima di emungimento dell'intero tratto risulta essere per i rispettivi 154 pozzi pari a 770 l/s di cui 385 l/s sul lato sud e 385 l/s su quello nord, mentre in condizioni ordinarie pari a 224 l/s di cui 111 l/s sul lato nord e 111 l/s su quello sud.



6. INTERFERENZE CON IL RETICOLO IDROGRAFICO ESISTENTE E IMPATTO DELL'OPERA SULLA FALDA ESISTENTE

6.1. Interferenze con il reticolo idrografico esistente

L'area interessata dal sistema di gallerie di San Giorgio in Salici è interessata dal reticolo idrografico dello scolo Bulgarella e dal sistema di canali irrigui per utilizzo agricolo della zona.

Si riscontrano delle interferenze alle seguenti Pk:

- Pk 140+465 (interferenza IN10308), canale irriguo consortile, con scorrimento da sud a nord. Nel punto di intersezione con la linea AV è costituito da una tubazione interrata e non rilevabile a vista. Per la risoluzione sarà sufficiente ripristinare la tubazione come da quote rilevate, con lo stesso diametro.
- Pk 141+908 con il canale trapezio di Proгна di Giacomone;
- Pk 142+169 (interferenza IN10309) canale irriguo agricolo;
- Pk 142+267 canale in terra IN10310. L'interferenza sarà ripristinata con un sifone;
- Pk 142+397 canale in terra IN40114;
- Pk 143+155 (interferenza IN10311), condotta consortile interrata ϕ 1500 che corre ad una profondità di circa 2-4 m sotto il p.c. Data la condizione è stato possibile rilevare solo i pozzetti a monte e valle (Figura 6-2), che consentono comunque di ricavare le quote di scorrimento anche nel punto di intersezione con l'AV. L'interferenza sarà ripristinata con un sifone di diametro analogo all'esistente.

Per l'interferenza con il canale trapezio di Proгна di Giacomone è prevista in fase di scavo la realizzazione un rivestimento provvisorio con manto impermeabile in PVC al fine di garantire l'impermeabilizzazione alle possibili formazioni di fessurazioni in fase di scavo ed esecuzione della linea ferroviaria. Una volta ultimata l'opera, si procederà alla verifica dello stato del manufatto e qualora si rendesse necessario, alla sua sistemazione e/o rifacimento per un tratto di lunghezza di circa 50 m (vedi Figura 6-3).

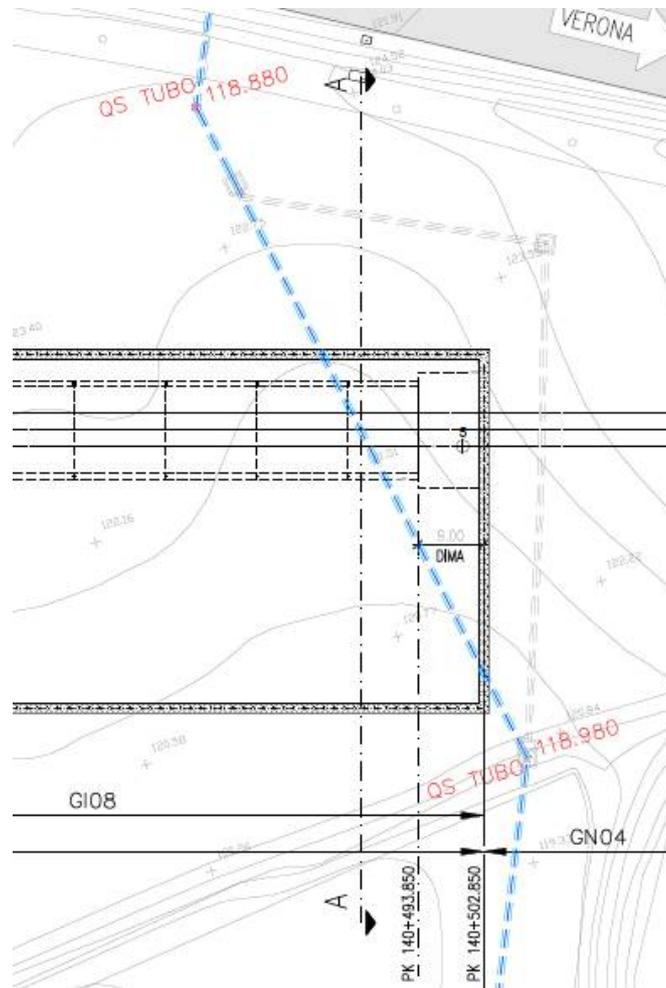


Figura 6-1 - Rilievo e stralcio interferenza IN10308.

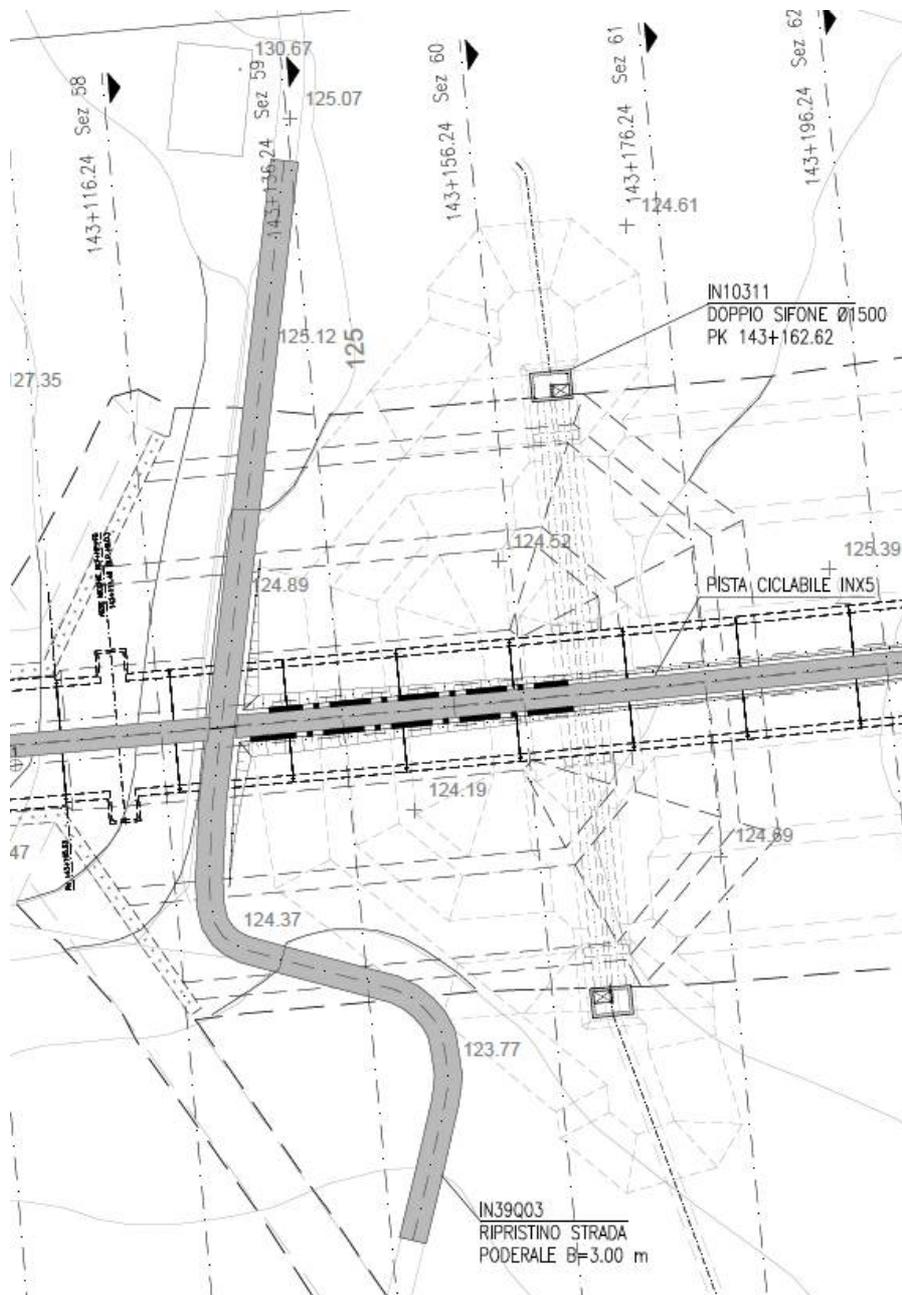


Figura 6-2 - Rilievo e stralcio interferenza IN10311.

Doc. N.

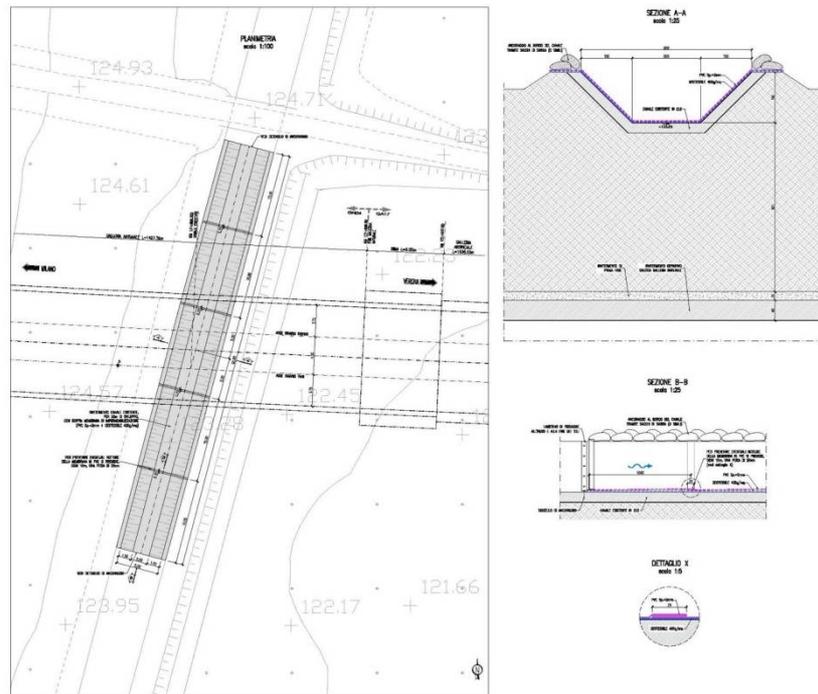
Progetto
INORLotto
11Codifica Documento
E E2 RI GN 040 0 001Rev.
BFoglio
32 di 39

Figura 6-3: Interferenza alla Pk 141+908 Proгна di Giacomona.

Per i canali irrigui alle Pk 142+087 e Pk 142+169 (IN10309) si prevede lo smantellamento in fase di scavo e realizzazione dell'opera ed il loro rifacimento una volta ultimata. Non si rende necessario prevedere deviazioni o altri interventi per garantire la continuità funzionale dei canali, poiché il tratto interrotto riguarda la parte terminale dei rami che servono le aree agricole interessate dagli scavi (vedi Figura 6-4).

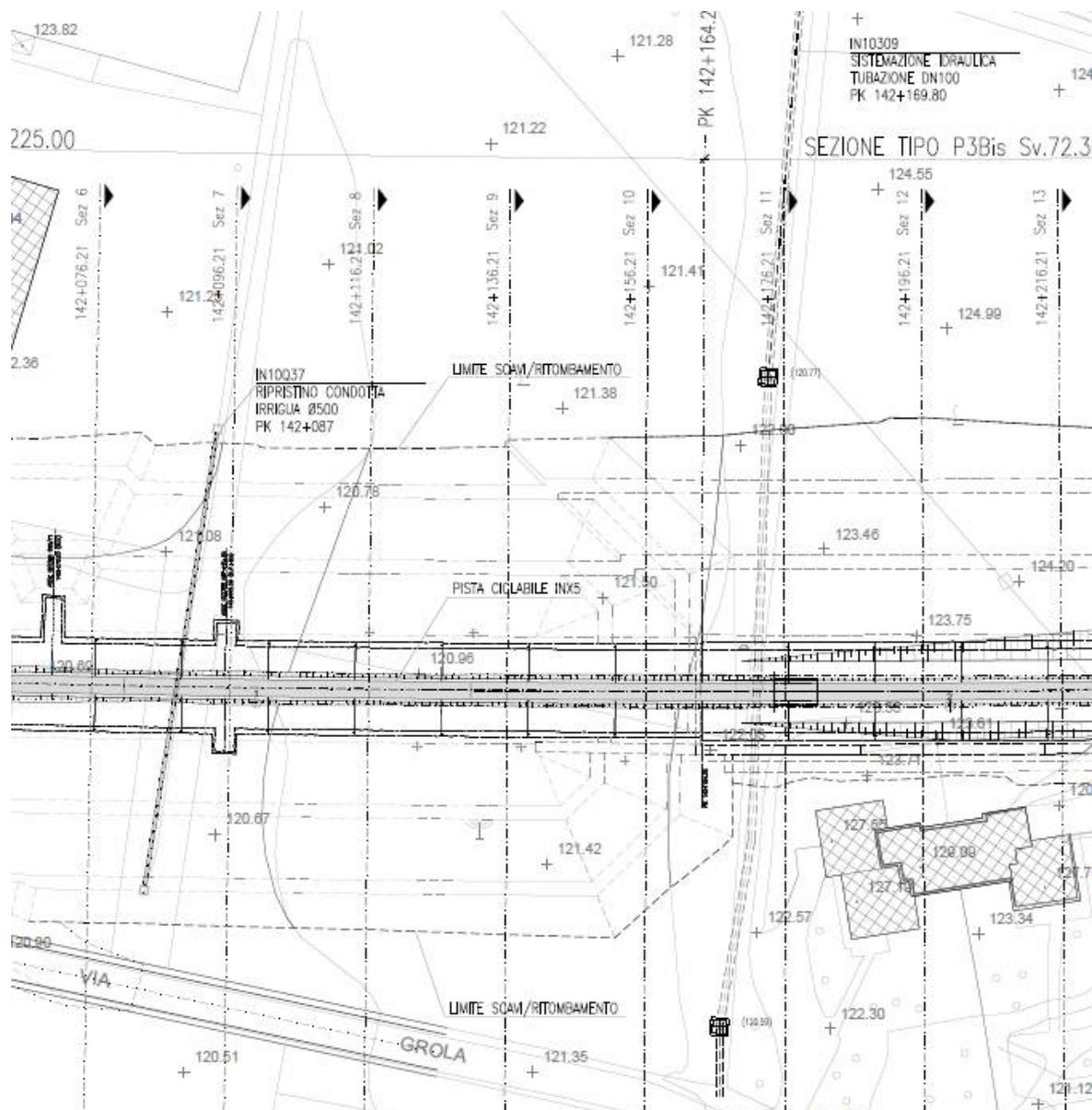


Figura 6-4: Interferenze alle Pk 142+087 e Pk Pk 142+169 con i canali irrigui agricoli.

Per il canale in terra alla pk 142+267 (IN10310) si prevede la realizzazione di un sifone costituito da due condotte in acciaio Ø1400. Il raccordo a monte ed a valle tra il canale esistente ed il sifone viene realizzato tramite canale trapezoidale in terra (vedi Figura 6-5).

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto
INOR

Lotto
11

Codifica Documento
E E2 RI GN 040 0 001

Rev.
B

Foglio
34 di 39

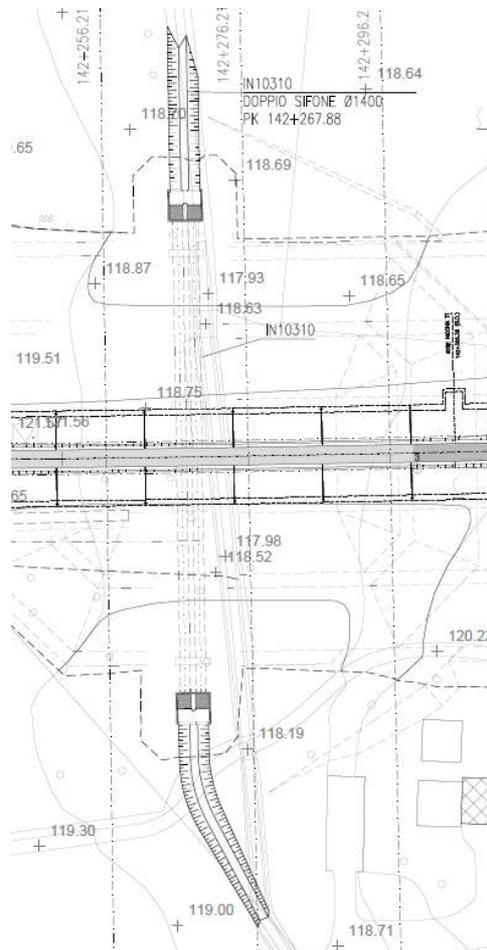


Figura 6-5: Interferenza IN10310 alla Pk 142+267 ca.

Infine il canale irriguo alla Pk 142+399 verrà ripristinato in seguito alla realizzazione della galleria artificiale, garantendone l'operatività per mezzo della realizzazione per fasi della stessa galleria. Sul lato a sud della linea ferroviaria si realizzerà un nodo di smistamento delle portate e il ripristino dei raccordi con i canali irrigui esistenti, nonché un nuovo canale che si andrà a raccordare con i successivi canali in terra alle pk 142+820 e pk 142+940.

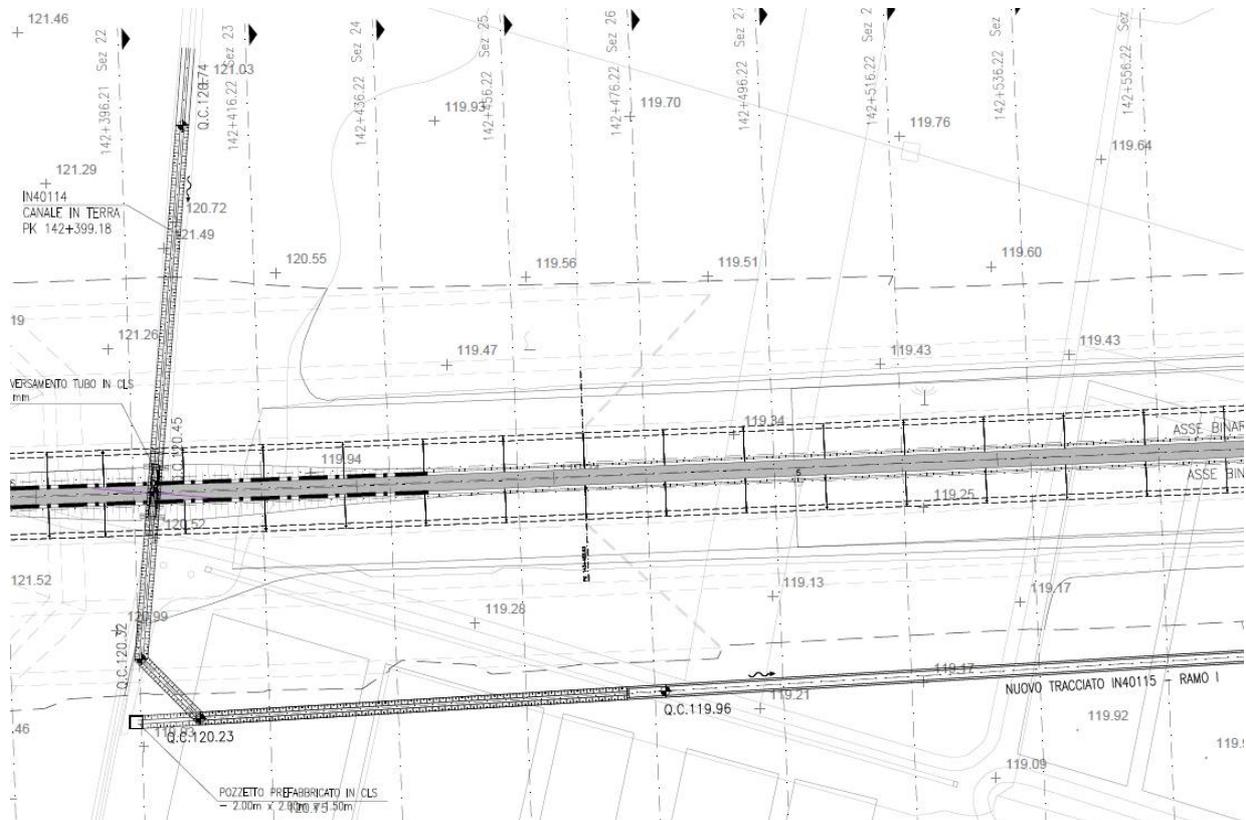


Figura 6-6: Interferenza IN40114 alla Pk 142+399 ca.

6.2. Impatto dell'opera con la falda esistente

L'area interessata dal sistema di gallerie di San Giorgio in Salici insiste su una zona con presenza di falde freatiche.

Lo scopo di questo paragrafo è quello di analizzare l'influenza delle opere da realizzare sulla falda freatica esistente al fine di valutare le conseguenze che queste comportano sullo stato attuale e futuro della stessa.

Di principio gli scavi produrranno drenaggio con abbassamento della falda durante la fase costruttiva, ma l'adozione di profili di impermeabilizzazione completi (full-round) consentiranno a lungo termine il riequilibrio dei livelli di falda naturali analoghi a quelli ante-operam.

Il problema risulta essere di non facile soluzione per le innumerevoli variabili che definiscono il problema quali:

- la definizione di dettaglio del coefficiente di permeabilità locale del terreno;
- la definizione spaziale di dettaglio della tipologia del terreno;
- la definizione planimetrica di dettaglio della quota idrometrica;
- la variabilità stagionale di dettaglio della falda stessa;
- eventuali interventi locali che possono variare le condizioni al contorno intercorsi dopo la realizzazione dei sondaggi.

Da quanto sopra si comprende immediatamente che una ricerca della soluzione analitica sia in termini temporali che spaziali risulta essere praticamente impossibile.

Per tale motivo si utilizza un modello semplificato monodimensionale in cui si introducono delle ipotesi che semplificano il problema quali;

- il campo di moto della falda è stazionario;
- la permeabilità del terreno si considera costante;
- l'andamento del flusso della falda è ortogonale al tracciamento della linea ferroviaria;
- il gradiente idraulico usato è costante per i tratti analizzati.

Sulla base di tali ipotesi si è calcolato il gradiente idraulico partendo dalle quote misurate durante i sondaggi.

Noto il gradiente idraulico si è calcolata la portata per unità di lunghezza della falda alle condizioni delle ipotesi di cui sopra.

Nota la portata, sulla base della conservazione della massa della portata d'acqua della falda, si è calcolata la variazione di quota tra monte e valle della linea ferroviaria che la falda subisce.

Per il calcolo dell'abbassamento della falda si è considerato la condizione più gravosa con la quota di monte della falda coincidente con l'estradosso della galleria. Lo schema di calcolo dei moti di filtrazione utilizzato considera quattro tubi di flusso ($M=4$) suddivisi con 8 intervalli ($N=8$). Nella Figura 6-7 si riportano tali ipotesi.

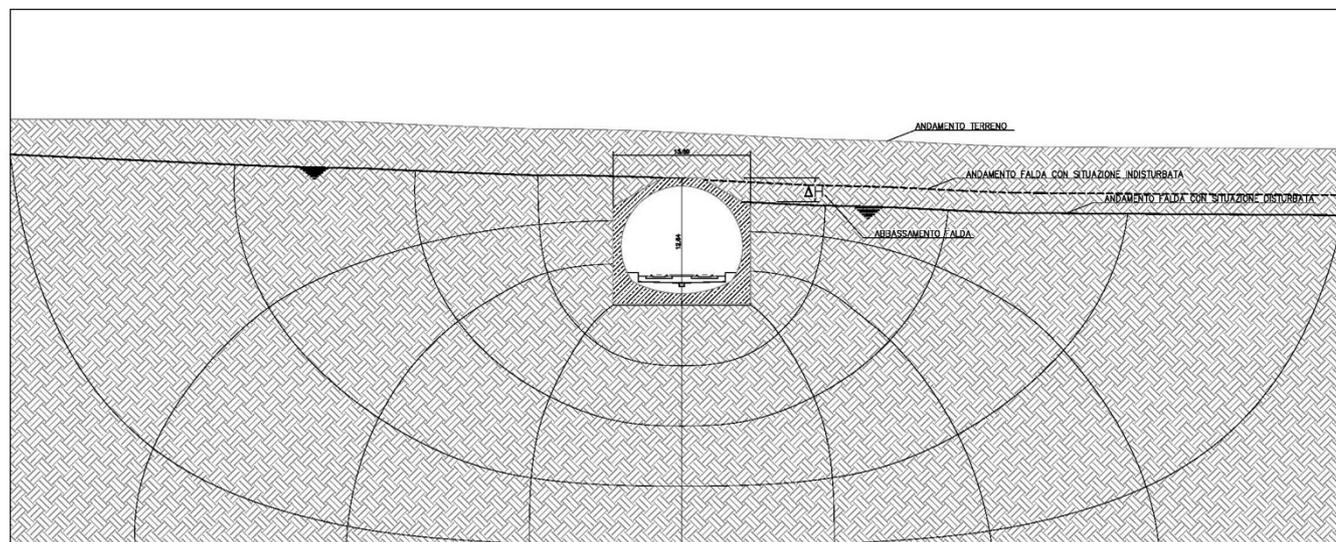


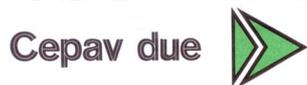
Figura 6-7: Rappresentazione dello schema utilizzato per la determinazione dell'abbassamento della falda tra monte e valle delle opere per la realizzazione della linea ferroviaria nel tratto interessato dal sistema San Giorgio in Salici.

Le verifiche effettuate sono eseguite nelle zone dove si sono fatte le verifiche per il dimensionamento dei pozzi di aggettamento in cui si hanno i valori massimi della quota della falda.

I risultati ottenuti presentano valori di variazione della quota di falda che variano dai due ai quattro metri.

Nella tabella seguente sono riportati i risultati ottenuti sulla base delle ipotesi fatte ed espone sopra.

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

Doc. N.

Progetto
INORLotto
11Codifica Documento
E E2 RI GN 040 0 001Rev.
BFoglio
37 di 39**Lato Ovest-Galleria artificiale GA16**

Pk	Sondaggio	Dh [m]	L [m]	i [-]	H sbarramento [m]	K [m/s]	Q [mc/s]	M [-]	N [-]	DH [m]
130+252.5	ES009	16.53	193	0.085648	12.65	3.00E-06	3.25E-06	4	8	2.17
130+477.58	ES120									

Lato Est-Galleria artificiale GA17

Pk	Sondaggio	Dh [m]	L [m]	i [-]	H sbarramento [m]	K [m/s]	Q [mc/s]	M [-]	N [-]	DH [m]
131+359.98	4SS036	6.21	210	0.029571	12.65	3.00E-06	1.12E-06	4	8	0.75
131+523.39	S34-XA202G174									

Lato Est-Galleria artificiale GA17

Pk	Sondaggio	Dh [m]	L [m]	i [-]	H sbarramento [m]	K [m/s]	Q [mc/s]	M [-]	N [-]	DH [m]
132+061.68	4SC038	3.85	317	0.012145	12.65	3.00E-06	4.61E-07	4	8	0.31
132+150.2	S4GS									

Lato Est-Galleria artificiale GA17

Pk	Sondaggio	Dh [m]	L [m]	i [-]	H sbarramento [m]	K [m/s]	Q [mc/s]	M [-]	N [-]	DH [m]
133+122.04	S8GS	23.41	145.62	0.160761	12.65	3.00E-06	6.10E-06	4	8	4.07
133+279.22	4SS041									

Lato Est-Galleria artificiale GA17

Pk	Sondaggio	Dh [m]	L [m]	i [-]	H sbarramento [m]	K [m/s]	Q [mc/s]	M [-]	N [-]	DH [m]
132+967.43	S5GS	11.98	182	0.065824	12.65	3.00E-06	2.50E-06	4	8	1.67
133+086.42	4SS040									

7. CONCLUSIONI

Gli studi idrogeologici, condotti nelle diverse fasi progettuali, evidenziano la complessa situazione idrogeologica che caratterizza le opere in oggetto, con particolare riferimento agli scavi provvisori che si rendono necessari per la realizzazione delle gallerie artificiali GA16 e GA17.

La porzione di territorio in sinistra orografica del Fiume Tione, si configura come una successione di unità fluvio-glaciali e glaciali con differenti caratteristiche di permeabilità a scala metrica, sia orizzontale che verticale. La variazione di permeabilità verticale, non riscontrabile con le prove Lefranc a carico variabile estensivamente condotte nei sondaggi, è ipotizzabile in base alla frequenza di intercalazioni di lenti di terreni più fini, limi in particolare. Inoltre, a supporto di questa deduzione, le letture piezometriche evidenziano in questo settore la presenza di due falde idriche distinte, una profonda ed una superficiale.

Inoltre, i valori di permeabilità orizzontale delle unità idrogeologiche, ricavati dalle prove Lefranc in foro eseguite nelle diverse campagne geognostiche, hanno mostrato una complessa distribuzione dei valori di permeabilità orizzontale all'interno delle diverse unità idrogeologiche, come ampiamente discusso nel capitolo 5 della presente relazione. A questo riguardo, è stato possibile notare una sistematica distribuzione dei valori di permeabilità che hanno individuato come meno permeabili le unità idrogeologiche 2 (acquifero di S. Giorgio) e 5 (acquifero superficiale glaciale di Sona), e più permeabili le Unità 1, 3 e soprattutto 4.

L'andamento altimetrico del tracciato della galleria San Giorgio in Salici risulta essere a pendenza sempre negativa nella direzione da Verona a Milano, senza formazioni di corde molle al suo interno ma con andamento nella sua parte centrale e finale a pendenza ridotta e così costituito:

- dalla PK 143+575.24 alla Pk 141+930.24 con pendenza media pari a 0.52 % (GA17);
- dalla PK 141+930.24 alla Pk 140+502.85 con pendenza media pari a 0.06 % (GN04);
- dalla PK 140+502.85 alla Pk 140+181.85 con pendenza media pari a 0.06 % (GA16).

Tali pendenze ridotte permettono comunque, con taluni accorgimenti, lo smaltimento degli eventuali sversamenti accidentali all'interno della galleria.

Le reti idrauliche progettate risultano essere vincolate nella loro architettura dalla morfologia locale del territorio non garantendo ovunque un funzionamento a gravità, nella fase di scavo, mentre nella fase di esercizio, grazie al fatto che il drenaggio di piattaforma delle opere a est della GA17 non viene convogliato all'interno della galleria grazie ad un sistema di sollevamento (non trattato in questa sede), il funzionamento risulta essere a gravità, con tutti i benefici in termini di gestione che tale sistema comporta.

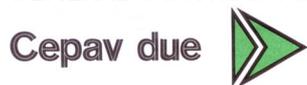
La morfologia del territorio e le condizioni idrogeologiche condizionano pesantemente il sistema di drenaggio in quanto su gran parte del tracciato insiste una falda freatica da abbattere durante la fase di scavo e costruttiva delle opere.

Questo implica l'introduzione di un sistema di pozzi drenanti di abbassamento della falda al fine di ridurre la quota della falda a circa un metro al sotto della quota di fondo scavo. Inoltre le livellette di progetto non consentono in fase di costruzione (scavi e realizzazione dell'opera) lo scarico delle acque sia di drenaggio che di emungimento dei pozzi a gravità.

Le acque di drenaggio emunte dai pozzi e le acque meteoriche interferenti con lo scavo sono convogliate per mezzo di due trincee drenanti verso un sistema di pompaggio posizionato nel punto più basso degli scavi per il rilancio delle acque raccolte verso il recettore naturale.

Nella fase di scavo la rete risulta così articolata:

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto
INOR

Lotto
11

Codifica Documento
E E2 RI GN 040 0 001

Rev.
B

Foglio
39 di 39

- rete di drenaggio dei canali di guardia delle dimensioni di 0.50-1.50x0.50 m posti in sommità dello scavo e localmente lungo le berme;
- rete di pozzi drenanti di profondità di 28 m e in un tratto di 30 m e passo di 15 m posti su entrambi i lati al piede delle scarpate degli scavi, al di fuori dell'impronta della galleria;
- rete di drenaggio di fondo scavo costituita da due trincee drenanti con tubo microfessurato di diametro 350 mm e riempite con materiale arido. Le trincee sono poste al piede destro e sinistro dello scavo.

Nella fase di esercizio la rete risulta così composta:

- sistema di drenaggio di piattaforma costituito da una canaletta centrale delle dimensioni di 0.41-0.46 × 0.25 m per la raccolta delle acque di sversamento accidentale in galleria;