

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:

Cepav due



PE PER COSTRUZIONE

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

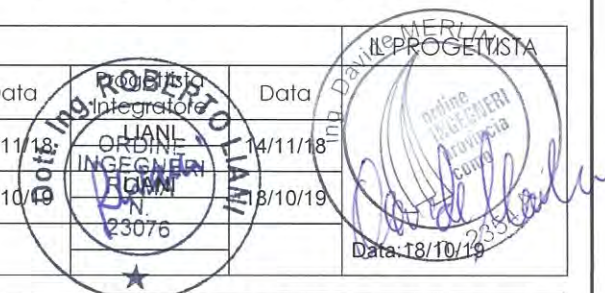
OV30 – STUDI AMBIENTALI PRESCRIZIONI CIPE

Studio idrogeologico inerente la realizzazione della galleria San Giorgio

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE LAVORI
<p>Consorzio Cepav due</p> <p>Consorzio Cepav due Il Direttore del Consorzio (Ing. T. Taranta)</p> <p>Data: <u>20 DIC 2019</u></p>	<p>Data: _____</p>

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENIE	TIPODOC	OPERA/DISCIPLINA	PROGR	REV
I N O R	1 1	E	E 2	R I	O V 3 0 M 0	0 0 2	B

PROGETTAZIONE						
Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Data
A	Emissione	MORANDI	14/11/18	MERLINI	14/11/18	14/11/18
B	Revisione interna	MORANDI	18/10/19	MERLINI	18/10/19	18/10/19
C						



CIG. 751447334A

File: INOR11EE2RIOV30M0002B_04.docx



Progetto cofinanziato dalla Unione Europea

Stampato dal Service
di plottaggio ITALFERR S.p.A.
ALBA S.r.l.

CUP: F81H91000000008

GENERAL CONTRACTOR

Cepav due



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto
IN0R

Lotto
11

Codifica Documento
E E2 RI OV 30M0 002

Rev.
B

Foglio
2 di 38

INDICE

1	INTRODUZIONE	3
1.1	OGGETTO E SCOPO	3
2	ELABORATI DI RIFERIMENTO	4
3	MODELLO IDROGEOLOGICO DI DETTAGLIO	7
3.1	UNITÀ IDROGEOLOGICA 1	10
3.2	UNITÀ IDROGEOLOGICA 2	11
3.3	UNITÀ IDROGEOLOGICA 3	13
3.4	UNITÀ IDROGEOLOGICA 4	14
3.5	UNITÀ IDROGEOLOGICA 5	14
4	TECNOLOGIA ESECUTIVA E RIVESTIMENTO DELLA GALLERIA.....	15
4.1	SEZIONI TIPO DI SCAVO E AVANZAMENTO DELLA GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI... 15	
4.2	RIVESTIMENTO DEFINITIVO E SISTEMA DI IMPERMEABILIZZAZIONE	17
5	POSSIBILI INTERFERENZE CON IL SISTEMA IDROGEOLOGICO: BILANCIO AFFLUSSI- DEFLUSSI DEL BACINO IDROGEOLOGICO ATTRAVERSATO DALLA GALLERIA.....	19
5.1	RISERVA DELL'ACQUIFERO	20
5.2	AFFLUSSI ANNUI PER PRECIPITAZIONI PIOVOSE	21
5.2.1	<i>Alimentazione della falda superficiale e areale di infiltrazione</i>	<i>21</i>
5.3	DEFLUSSI DELLA GALLERIA NATURALE GN04.....	23
5.4	BILANCIO IDROGEOLOGICO AFFLUSSI/DEFLUSSI PROFONDI	29
6	CONCLUSIONI.....	34
7	ALLEGATO1 – SEZIONE IDROGEOLOGICA.....	35
8	ALLEGATO 2 – SCHEMA IDROGEOLOGICO	36
9	ALLEGATO 3 – TABELLE DI CALCOLO AFFLUSSI IN GALLERIA PER GLI SCENARI OTTIMISTICO, REALISTICO E PESSIMISTICO	37
10	ALLEGATO 4 – RISULTATI ED ELABORAZIONI DELLE PROVE LEFRANC	38



1 INTRODUZIONE

La presente relazione si riferisce alla prescrizione n. 245 del CIPE che richiedeva un approfondimento, in fase di Progettazione Esecutiva, di ogni aspetto riguardante le possibili interferenze con il sistema idrogeologico e con il sottosuolo in relazione alla realizzazione della galleria naturale di San Giorgio (Comune di Sona).

A questo riguardo la galleria San Giorgio in Salici, a partire da Ovest verso Est, comprende: (1) dalla progressiva chilometrica 140+181.85 alla progressiva km 140+502.85, per una lunghezza di 321 m, una galleria artificiale policentrica (WBS: GA16); (2) dalla progressiva km 140+502.85 alla progressiva km 141+930.24, per una lunghezza di 1427.39 m, una galleria naturale (WBS GN04); (3) dalla progressiva km 141+930.24 alla progressiva km 143+575.24, per una lunghezza di 1645 m, una galleria artificiale policentrica (WBS GA17).

Come da indicazioni della menzionata prescrizione CIPE, la presente relazione riguarda la galleria naturale San Giorgio in Salici, corrispondente alla WBS GN04.

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 galleria naturale in oggetto verrà realizzata in tradizionale con sezione tipo mono-canna a doppio binario, in accordo agli standard geometrici previsti dal Manuale di Progettazione RFI 2016. Le coperture della galleria risultano estremamente modeste, comprese fra un minimo di 7 m, nel primo tratto, a partire dall'imbocco lato Milano, e al di sotto dell'Autostrada A4, fino ad un massimo di circa 20 m poco prima dell'imbocco lato Verona. La superficie dell'area di scavo è di circa 156 m² con un conseguente diametro equivalente di circa 14 m; conseguentemente si tratta di una galleria estremamente superficiale avendosi un rapporto massimo fra copertura e diametro di gran lunga inferiore ai 3 diametri equivalenti assunto come valore di separazione fra gallerie superficiali e profonde. Il tracciato si sviluppa in un tratto curvilineo su tutta la galleria, con una pendenza longitudinale molto bassa, pari del 0,023 % verso l'imbocco lato Milano. Per la realizzazione delle gallerie artificiali GA16 e GA17 e degli imbocchi della galleria naturale, GI08 e GI09, è presente un sistema di pozzi di aggotamento per l'abbassamento della falda fino a fondo scavo durante il periodo di esecuzione dei lavori. L'operatività dei pozzi e la relativa perturbazione della falda risultano di carattere temporaneo per la sola durata di esecuzione delle opere. In seguito al completamento dei lavori verranno ripristinate le condizioni iniziali presenti senza impatti a lungo termine legati al sistema di aggotamento previsto. Per i dettagli si rimanda al documento "Condizioni idrogeologiche e sistema di aggotamento per l'abbassamento della falda" (INOR11EERIGN0400001).

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. Il modello idrogeologico presentato nella relazione è stato affinato per valutare ogni aspetto riguardante le possibili interferenze con il sistema idrogeologico e con il sottosuolo in relazione alla realizzazione della galleria naturale di San Giorgio (GN04).

1.1 Oggetto e scopo

Oggetto del presente documento sono le problematiche di tipo idrogeologico relative alla realizzazione della galleria naturale San Giorgio in Salici, lo scopo è quello, con riferimento alla prescrizione n. 245 del CIPE, di riportare gli approfondimenti geologici e idrogeologici che sono stati condotti per la Progettazione Esecutiva dell'opera.

La progettazione esecutiva dell'opera in oggetto si è svolta nel corso degli ultimi mesi del 2017 e nell'anno 2018, con particolare riferimento: (1) alla valutazione condotta durante la progettazione esecutiva delle possibili interferenze con il sistema idrogeologico e con il sottosuolo; (2) alle soluzioni progettuali adottate per consentire, sia durante lo scavo della galleria sia in esercizio a lungo termine, che la galleria non arrechi impatti significativi agli acquiferi presenti nell'area dell'opera. Le analisi idrogeologiche, condotte durante la progettazione esecutiva e riportate nella presente relazione, hanno utilizzato come dati di ingresso i dati geologici, idrogeologici e geotecnici acquisiti sia per il progetto esecutivo sia per le precedenti fasi progettuali elencati nel paragrafo 2.

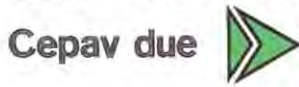
Doc. N.

Progetto
INORLotto
11Codifica Documento
E E2 RI OV 30M 0 002Rev.
BFoglio
4 di 38**2 ELABORATI DI RIFERIMENTO**

Nel seguito si riporta l'elenco elaborati di riferimento.

CODICE										DESCRIZIONE	
INOR	11	E	E2	P	5	GN	04	0	0	001	GALLERIA SAN GIORGIO IN SALICI (GA16 - G108 - GN04 - G109 - GA17) - Da Pk 140+181.85 a Pk 143+575.33 - Planimetria indagini geognostiche
INOR	11	E	E2	Z	5	GN	04	0	0	002	GALLERIA SAN GIORGIO IN SALICI (GA16 - G108 - GN04 - G109 - GA17) - Da Pk 140+181.85 a Pk 143+575.33 - Modello idrogeologico - Sezione longitudinale
INOR	11	E	E2	R	B	GN	04	0	0	001	GALLERIA SAN GIORGIO IN SALICI (GA16 - G108 - GN04 - G109 - GA17) - Da Pk 140+181.85 a Pk 143+575.33 - Relazione geotecnica
INOR	11	E	E2	R	I	GN	04	0	0	001	GALLERIA SAN GIORGIO IN SALICI (GA16 - G108 - GN04 - G109 - GA17) - Da Pk 140+181.85 a Pk 143+575.33 - Condizioni idrogeologiche e sistema di abbassamento della falda
INOR	11	E	E2	R	I	GN	04	0	0	002	GALLERIA SAN GIORGIO IN SALICI (GA16 - G108 - GN04 - G109 - GA17) - Da Pk 140+181.85 a Pk 143+575.33 - Relazione idraulica per lo smaltimento delle acque meteoriche
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 - G108 - GN04 - G109 - 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	C	L	GN	04	0	0	002	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 - allegati numerici
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
INOR	11	E	E2	S	R	GN	04	0	0	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Analisi di rischio estesa
INOR	11	E	E2	B	B	GN	04	0	1	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezione tipo C1A - Scavo e consolidamento
INOR	11	E	E2	B	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 C1A - Carpenteria centina e dettagli costruttivi
INOR	11	E	E2	B	B	GN	04	0	5	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezione tipo C1A - Carpenteria rivestimento definitivo
INOR	11	E	E2	B	B	GN	04	0	5	002	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezione tipo C1A - Armatura
INOR	11	E	E2	B	B	GN	04	0	1	002	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezione tipo C1B - Scavo e consolidamento
INOR	11	E	E2	B	Z	GN	04	0	0	002	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezione tipo C1B - Carpenteria centina e dettagli costruttivi
INOR	11	E	E2	B	B	GN	04	0	5	003	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezione tipo C1B - Carpenteria rivestimento definitivo
INOR	11	E	E2	B	B	GN	04	0	5	004	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezione tipo C1B - Armatura
INOR	11	E	E2	B	B	GN	04	0	1	003	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezione tipo C1Arid - Scavo e consolidamento
INOR	11	E	E2	B	Z	GN	04	0	0	003	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezione tipo C1Arid - Carpenteria centina e dettagli costruttivi
INOR	11	E	E2	B	B	GN	04	0	5	005	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezione tipo C1Arid - Carpenteria rivestimento definitivo
INOR	11	E	E2	B	B	GN	04	0	5	006	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezione tipo C1Arid - Armatura
INOR	11	E	E2	B	B	GN	04	0	1	004	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezione tipo C1Brid - Scavo e consolidamento
INOR	11	E	E2	B	Z	GN	04	0	0	004	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezione tipo C1Brid - Carpenteria centina e dettagli costruttivi
INOR	11	E	E2	B	B	GN	04	0	5	007	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezione tipo C1Brid - Carpenteria rivestimento definitivo
INOR	11	E	E2	B	B	GN	04	0	5	008	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezione tipo C1Brid - Armatura
INOR	11	E	E2	B	B	GN	04	0	1	005	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Tratta di avanzamento in assenza di traffico - Sezione tipo C1Bbis - Scavo e consolidamento
INOR	11	E	E2	B	Z	GN	04	0	0	005	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezione tipo C1Bbis - Carpenteria centina e dettagli costruttivi
INOR	11	E	E2	B	B	GN	04	0	5	009	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezione tipo C1Bbis - Carpenteria rivestimento definitivo
INOR	11	E	E2	B	B	GN	04	0	5	010	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezione tipo C1Bbis - Armatura
INOR	11	E	E2	F	6	GN	04	0	0	002	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Profilo longitudinale geotecnico di previsione e di monitoraggio
INOR	11	E	E2	P	8	GN	04	A	0	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Piano di monitoraggio

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto
INORLotto
11Codifica Documento
E E2 RI OV 30M 0 002Rev.
BFoglio
5 di 38

CODICE										DESCRIZIONE	
INOR	11	E	E2	W	B	GN	04	A	0	001	
INOR	11	E	E2	B	Z	GN	04	A	0	002	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Monitoraggio esterno - Sezioni e particolari tav. 1/2
INOR	11	E	E2	B	Z	GN	04	A	0	003	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Monitoraggio esterno - Sezioni e particolari tav. 2/2
INOR	11	E	E2	P	8	GN	04	A	0	002	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Monitoraggio in corrispondenza del sottoattraversamento autostrada A4
INOR	11	E	E2	L	5	GN	04	A	0	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Plano-profilo infrastruttura esistente su foto aerea con dati di tracciamento
INOR	11	E	E2	P	5	GN	04	A	0	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Planimetria di progetto su foto aerea con dati di tracciamento
INOR	11	E	E2	L	7	GN	04	A	0	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Planimetria e profilo di progetto su cartografia
INOR	11	E	E2	W	9	GN	04	A	0	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezioni trasversali ampliamento provvisorio - Tav.1
INOR	11	E	E2	W	9	GN	04	A	0	002	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezioni trasversali ampliamento provvisorio - Tav.2
INOR	11	E	E2	W	9	GN	04	A	0	003	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezioni trasversali ampliamento provvisorio - Tav.3
INOR	11	E	E2	W	9	GN	04	A	0	004	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezioni trasversali ampliamento provvisorio - Tav.4
INOR	11	E	E2	W	9	GN	04	A	0	005	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezioni trasversali ampliamento provvisorio - Tav.5
INOR	11	E	E2	W	9	GN	04	A	0	006	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezioni trasversali ampliamento provvisorio - Tav.6
INOR	11	E	E2	W	A	GN	04	A	0	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sezioni tipologiche ampliamento provvisorio
INOR	11	E	E2	B	Z	GN	04	A	0	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Dettagli costruttivi ampliamento provvisorio
INOR	11	E	E2	R	O	GN	04	A	0	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Relazione descrittiva opere stradali
INOR	11	E	E2	L	8	GN	04	A	0	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Intervento di consolidamento in jet - grouting - planimetria e profilo longitudinale
INOR	11	E	E2	W	Z	GN	04	A	0	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Intervento di consolidamento in jet - grouting - sezioni trasversali
INOR	11	E	E2	B	X	GN	04	0	8	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - COLLEGAMENTI EQUIPOTENZIALI MASSE METALLICHE
INOR	11	E	E2	P	Z	GN	04	0	0	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Interferenza idraulica Progna Giacomona - Planimetria, sezioni, fasi esecutive e dettagli costruttivi
INOR	11	E	E2	W	A	GN	04	A	0	002	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Intervento di consolidamento in jet - grouting in corrispondenza dell'elettrodotto alla pk140+608.03 - sezioni trasversali
INOR	11	E	E2	P	7	GN	04	0	7	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Deviazioni sottoservizi sul cavalcavia alla pk 140+791 - Tav 1/2
INOR	11	E	E2	P	Z	GN	04	0	7	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Deviazioni sottoservizi sul cavalcavia alla pk 140+791 - Tav 2/2
INOR	11	E	E2	P	6	GN	04	A	0	002	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Fasi esecutive realizzazione sottoattraversamento A4 - Tav.1
INOR	11	E	E2	P	6	GN	04	A	0	003	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Fasi esecutive realizzazione sottoattraversamento A4 - Tav.2
INOR	11	E	E2	P	6	GN	04	A	0	004	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Fasi esecutive realizzazione sottoattraversamento A4 - Tav.3
INOR	11	E	E2	P	6	GN	04	A	0	005	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Fasi esecutive realizzazione sottoattraversamento A4 - Tav.4
INOR	11	E	E2	P	6	GN	04	A	0	006	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Fasi esecutive realizzazione sottoattraversamento A4 - Tav.5
INOR	11	E	E2	P	6	GN	04	A	0	007	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Fasi esecutive realizzazione sottoattraversamento A4 - Tav.6
INOR	11	E	E2	P	6	GN	04	A	0	008	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Fasi esecutive realizzazione sottoattraversamento A4 - Tav.7
INOR	11	E	E2	P	6	GN	04	A	0	009	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Fasi esecutive realizzazione sottoattraversamento A4 - Tav.8
INOR	11	E	E2	P	6	GN	04	A	0	010	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Fasi esecutive realizzazione sottoattraversamento A4 - Tav.9
INOR	11	E	E2	P	6	GN	04	A	0	011	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Fasi esecutive realizzazione sottoattraversamento A4 - Tav.10
INOR	11	E	E2	P	6	GN	04	A	0	012	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Fasi esecutive realizzazione sottoattraversamento A4 - Tav.11
INOR	11	E	E2	B	Z	GN	04	0	7	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Sottopasso pedonale temporaneo della deviazione autostradale
INOR	11	E	E2	B	Z	GN	04	0	8	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Tracciamento marciapiede - Sezioni tipo e campi di applicazione
INOR	11	E	E2	B	Z	GN	04	0	8	002	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI (GN04) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Pozzetti ispezione polifore - Carpenteria ed armatura

GENERAL CONTRACTOR

Cepav due



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto
INORLotto
11Codifica Documento
E E2 RI OV 30M 0 002Rev.
BFoglio
6 di 38

CODICE										DESCRIZIONE	
INOR	11	E	E2	P	6	CM	02	0	0	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI NICCHIE (CM02) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Planimetria di inquadramento con ubicazione nicchie e uscite di sicurezza
INOR	11	E	E2	B	B	CM	02	0	0	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI NICCHIE (CM02) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Nicchie LFM - Scavo e consolidamento
INOR	11	E	E2	B	Z	CM	02	0	0	001	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI NICCHIE (CM02) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Nicchie LFM - Carpenteria centina e dettagli costruttivi
INOR	11	E	E2	B	B	CM	02	0	0	002	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI NICCHIE (CM02) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Nicchie LFM - Carpenteria rivestimento definitivo
INOR	11	E	E2	B	B	CM	02	0	0	003	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI NICCHIE (CM02) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Nicchie LFM - Armatura
INOR	11	E	E2	B	B	CM	02	0	0	004	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI NICCHIE (CM02) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Nicchie TT - Scavo e consolidamento
INOR	11	E	E2	B	Z	CM	02	0	0	002	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI NICCHIE (CM02) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Nicchie TT - Carpenteria centina e dettagli costruttivi
INOR	11	E	E2	B	B	CM	02	0	0	005	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI NICCHIE (CM02) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Nicchie TT - Carpenteria rivestimento definitivo
INOR	11	E	E2	B	B	CM	02	0	0	006	GALLERIA NATURALE SAN GIORGIO IN SALICI NICCHIE (CM02) - Da Pk 140+502.85 a Pk 141+930.24 - Nicchie TT - Armatura



3 MODELLO IDROGEOLOGICO DI DETTAGLIO

Il modello idrogeologico di dettaglio è contenuto nel documento "Galleria S. Giorgio in Salici: (GA16-GI08-GN04-GI09-GA17) da pK 140+181.85 a Pk 143+575.33 – Condizioni idrogeologiche e sistema di aggotamento per l'abbassamento della falda" (INOR11EE2RIGN0400001).

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 superficiale, con valori delle soggiacenze massime prossime alla quota campagna ed una profonda, con livelli piezometrici vicini a quelli della falda superficiale. L'andamento dei livelli piezometrici di progetto è riportata nella **sezione idrogeologica galleria San Giorgio in Salici** (si confronti Allegato 1).

I terreni fluvioglaciali e glaciali sono stati suddivisi secondo criterio di facies litologica, suffragato dalla distribuzione dei valori di permeabilità orizzontale ricavato dalle numerose prove di assorbimento di tipo Lefranc eseguite in foro; sono state individuate 7 Unità Idrogeologiche (abbreviato UI) omogenee per genesi e caratteristiche idrogeologiche:

- Unità idrogeologica 1 acquifero superficiale S. Giorgio, di spessore 9-10m, che contiene la falda superficiale
- Unità idrogeologica 2 costituita dall'acquitaro San Giorgio, di spessore 4-7m, caratterizzato da una maggiore presenza di lenti di terreni fini che diminuiscono la permeabilità verticale a scala dell'unità idrogeologica
- Unità idrogeologica 3 costituita dall'acquifero profondo S. Giorgio, di spessore 5-8m, che contiene la falda profonda, presumibilmente costituito da sedimenti fluvioglaciali digradanti in quota per terrazzamenti successivi verso ovest, verso l'attuale valle del Fiume Tione
- Unità idrogeologica 4 acquifero superficiale S. Giorgio (fluvioglaciale), di spessore 10-11.5m, in continuità con l'unità idrogeologica 3 che invece contiene una falda profonda.
- Unità idrogeologica 5 acquifero profondo (glaciale) Sona, di spessore 6-9m
- Unità idrogeologica 6 acquifero superficiale (fluvioglaciale) Sona
- Unità idrogeologica 7 acquifero superficiale (alluvioni recenti) Fiume Tione

Delle 7 unità sopra elencate le unità idrogeologiche 6 e 7 non sono interessate dalla realizzazione della galleria, l'unità idrogeologica 5 seppur intercettata, è di scarso interesse per la minima quantità d'acqua in essa contenuta.

Le UI citate sono individuate nell'allegato 1- **Sezione idrogeologica galleria San Giorgio in Salici** allegata alla presente relazione.

Con criterio geomorfologico sono stati individuati i due bacini idrologici (si veda Allegato 2) ai quali corrispondono in profondità i due bacini idrogeologici afferenti alla galleria S. Giorgio in Salici, dei quali il primo costituisce l'areale di infiltrazione delle UI 1 e 2 (costituenti l'acquifero superficiale e l'acquitaro San Giorgio), mentre il secondo costituisce l'areale di infiltrazione dei due acquiferi contenuti nella UI 3 (acquifero profondo San Giorgio) e nella UI 4 (acquifero superficiale Palazzolo-San Giorgio). I due bacini idrogeologici sono prevalentemente coincidenti con i relativi bacini superficiali ad eccezione del margine Est, dove sono leggermente più estesi a raggiungere i relativi spartiacque sotterranei, fattore che amplifica leggermente l'estensione dell'acquifero ed il volume della riserva sotterranea.

Se il primo bacino idrogeologico interessa solo marginalmente la GN04, il bacino idrogeologico delle UI 3 e 4 definisce il volume dell'acquifero interessato dallo scavo della GN04. In particolare la GN04 attraversa l'acquifero superficiale, freatico, contenuto nella UI 4 che alimenta anche la falda artesianica costituita dalla UI 3. L'individuazione dei bacini idrogeologici è riportata nell'allegato 2- **Schema idrogeologico della galleria San Giorgio in Salici** in allegato alla presente relazione.

Origine dei dati utilizzati per la ricostruzione del modello idrogeologico

I dati stratigrafici dei sondaggi carotati delle diverse campagne di indagine sono stati rielaborati in combinazione ad una nuova analisi dei dati delle prove idrogeologiche in sito (prove in foro di sondaggio tipo Lefranc a carico variabile e carico costante) ed in combinazione all'interpretazione delle letture dei livelli piezometrici, recentemente aggiornati.

Sono state considerate le stratigrafie di 22 sondaggi, di seguito elencati:

4SN033
14PZ27
4SS034
4SN035
S1GS
ES122
S32-XA202G172
4SS036
S34-XA202G174
4SC037
S35-XA202G175
S36-EA202B176
S37-XA202B177
S38-XA202B178
S39-XA202B179
S40-XA202B180
S5GS
4SS040
S8GS
S32-XA202G172
4SC038
S38-XA202B178

In questi sondaggi sono stati effettuate 51 prove Lefranc a carico variabile e 6 a carico costante. Le misurazioni sono state rielaborate in modo univoco in accordo alle "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche emesse" (AGI, 1977) per caratterizzare la distribuzione dei valori di permeabilità orizzontale all'interno delle diverse unità idrogeologiche ed utilizzarle come criterio per individuare unità idrogeologiche a comportamento omogeneo. In Figura 3-1 sono riportati i valori di permeabilità calcolati per tutte le Unità Idrologiche.

E' possibile notare una sistematica distribuzione dei valori di permeabilità che individua come meno permeabili le unità idrogeologiche 2 (acquitrando di S. Giorgio) e 5 (acquifero profondo glaciale di Sona), e più permeabili le Unità 1, 3 e soprattutto la UI 4.

L'elaborazione dei dati ha permesso di ottenere i parametri idrogeologici di ingresso per il calcolo delle portate di deflusso dalla galleria (si confronti paragrafo 5.3).

Nella figura 4.1 e 4.2 sono riportati i box-plot di confronto dei valori di permeabilità orizzontale tra le diverse unità idrogeologiche.

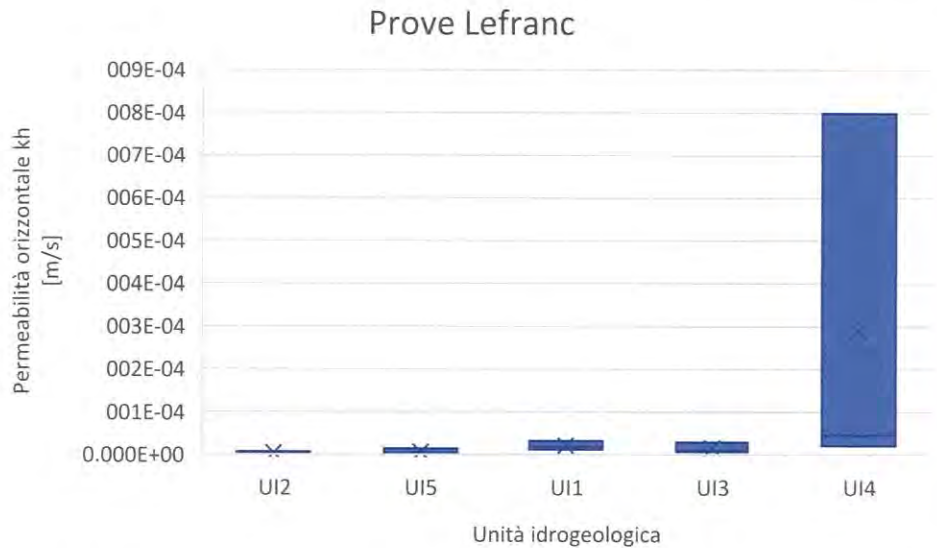


Figura 3-1: Confronto della distribuzione delle permeabilità orizzontali, k_h , ricavate da prove di assorbimento Lefranc effettuate nelle diverse unità idrogeologiche UI 1-UI 5. Si noti che la tendenza delle k_h di UI4 è di $8E-4$, dunque (almeno) un ordine di grandezza maggiore rispetto ad UI 1 ed UI3 (si confronti figura 3-2).

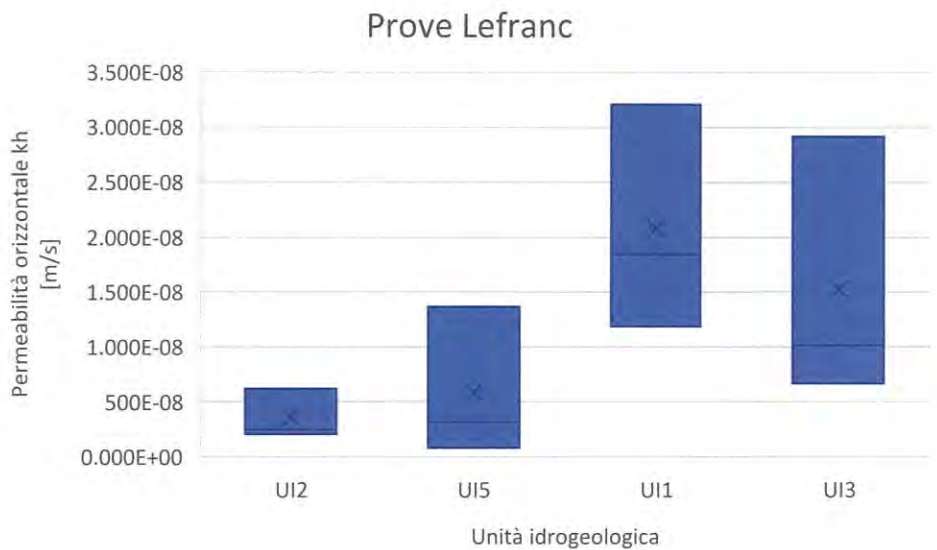


Figura 3-2: Confronto della distribuzione delle permeabilità orizzontali ricavate da prove di assorbimento Lefranc. Dettaglio relativo alle unità idrogeologiche UI 1, 2, 3 e 5. Indipendentemente dalla dispersione dei valori si noti che la mediana delle k_h di UI 1 e 3 è nell'ordine di grandezza di $1E-05$ m/s, le UI 2 e 5 nell'ordine di grandezza di $1E-6$ m/s, dunque un ordine di grandezza inferiore.

Variazione della permeabilità con la profondità



Figura 3-3: Confronto della distribuzione delle permeabilità orizzontali ricavate da prove di assorbimento Lefranc e loro variazione con la profondità.

Le prove Lefranc, per loro natura, forniscono valori di permeabilità validi a scala locale e, per la modalità di esecuzione delle prove, della permeabilità orizzontale. 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 tipicamente variabili da 1/5 a 1/10 di quella orizzontale, con grande influenza sui valori di calcolo della permeabilità rappresentativa degli acquiferi per il fenomeno di filtrazione in galleria: infatti per la particolarità costruttiva degli interventi di preconsolidamento al profilo di scavo ed al fronte, la filtrazione in galleria sarà possibile prevalentemente dalla sola platea dunque le direzione delle linee di flusso in ingresso sul fondo della galleria saranno a prevalente componente verticale. Nel seguito a favore di sicurezza, sarà utilizzato un rapporto di anisotropia pari a 1/5.

In tutte le unità idrogeologiche, la notevole variabilità nei risultati delle prove Lefranc, anche adiacenti, indicano che non è possibile prescindere dall'eterogeneità di tali acquiferi; 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. Le prove Lefranc sono riportate in Allegato 4 - **Risultati ed elaborazione prove Lefranc**, dove si trovano indicate le profondità di prova e l'identificazione del sondaggio, la cui sintesi è riportata nelle figure 3-1 e 3-2. Nell'**Allegato 1 - Sezione idrogeologica galleria San Giorgio in Salici** è riportata la posizione progressiva dei sondaggi interessati dall'esecuzione delle prove.

Nei paragrafi seguenti si descrivono nel dettaglio le unità idrogeologiche interessate dalla realizzazione della galleria GN04; il modello idrogeologico è riportato anche nella relazione "Condizioni idrogeologiche e sistema di aggotamento per l'abbassamento della falda" INOR11EERIGN0400001.

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 F. Tione fino al rilievo di cordone morenico sul cui proseguo 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 (V_s 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 9-10m 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 progr. 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 2, meno permeabile;
- a sud dell'opera in progetto l'acquifero presenta sezione libera.

La permeabilità dell'unità è stata ricavata dall'interpretazione delle prove Lefranc effettuate a meno di 10 m di profondità nei sondaggi sondaggi 4SN033, 14PZ27, 4SN035 ed indicano valori di permeabilità orizzontale associati al primo e terzo percentile compresi, rispettivamente, tra $1.2 \div 3.2E-5$ m/s (si veda la tabella sotto riportata). 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.

A favore di sicurezza e come riportato precedentemente, per la determinazione della conduttività verticale qui e in seguito viene utilizzato un rapporto di anisotropia pari a 1/5. Inoltre bisogna considerare che i terreni in corrispondenza della tratta di sottoattraversamento A4 saranno consolidati, con l'effetto di ridurre le permeabilità almeno di un ordine di grandezza.

Nelle seguenti tabelle i valori di calcolo considerati sono riportati in carattere grassetto blu.

Unità idrogeologica 1			
Valore	Percentile 0.25	Mediana/valore di calcolo	Percentile 0.75
k_h (m/s)	1.19E-05	1.85E-05	3.21E-05
k_v (m/s)	2.38E-06	3.70E-06	6.42E-06
$K_{h,v}$ di calcolo, ridotta (m/s)	2.38E-07	3.70E-07	6.42E-07

3.2 Unità idrogeologica 2

L'unità idrogeologica 2 è costituita da depositi fluvio-glaciali ma con una maggiore presenza di lenti di terreni fini rispetto alla UI 1, che ne diminuiscono la permeabilità 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 V_s 250-500 m/s). All'interno di questa unità è stata riconosciuta la presenza di un acquitardo, che abbiamo denominato di S. Giorgio.

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

GENERAL CONTRACTOR

Cepav due



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto
INOR

Lotto
11

Codifica Documento
E E2 RI OV 30M 0 002

Rev.
B

Foglio
12 di 38

I valori di permeabilità più alti sono stati riscontrati nel sondaggio 4SS034 e sono probabilmente relativi a lenti e livelli più permeabili ma evidentemente poco connessi 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'acquitrando ma, con un ulteriore approfondimento della perforazione e a distanza di alcune ore, l'acqua di falda risale fin quasi a bocca foro. Questo fenomeno può essere interpretato come risalita dell'acqua della falda profonda intercettata dalla perforazione, a dimostrazione dell'effetto di tamponamento esercitato dall'acquitrando. Lo spessore dell'unità 2 è variabile tra i 4 ed i 7m.

Verrà sempre stimato come rappresentativo per la permeabilità verticale media dell'acquifero il valore di 1/5 della permeabilità orizzontale media misurata.

Permeabilità Unita' Idrogeologica 2			
Valore	Percentile 0.25	Mediana	Percentile 0.75
kh [m/s]	2.03E-06	2.47E-06	6.19E-06
kv [m/s]	4.00E-07	4.94E-07	1.23E-06
kh di calcolo [m/s]	-	2.47E-06	-
kv di calcolo v [m/s]	4.00E-07	4.94E-07	1.23E-06

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'acquifero 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 S1GS). I valori più elevati sono stati riscontrati nei sondaggi SS034 e SN035.

Permeabilità Unita' Idrogeologica 3			
Valore	Percentile 0.25	Mediana	Percentile 0.75
kh [m/s]	6.66E-06	1.05E-05	2.92E-05
kv [m/s]	1.33E-06	2.10E-06	5.84E-06
kh di calcolo [m/s]	-	1.05E-05	-
kv di calcolo [m/s]	1.33E-06	2.10E-06	5.84E-06

Le prove di permeabilità Lefranc effettuate nei fori di sondaggio indicano valori di permeabilità compresi tra 6.6E-6 e 2.9E-5 m/s (intervallo tra percentile 0.25 e 0.75). Questi valori corrispondono alle lenti maggiormente permeabili e comunque idraulicamente interconnessi tra di loro, come dimostra l'organicità dei livelli piezometrici misurati da piezometri sicuramente fenestrati in falda profonda. L'elevata anisotropia dell'acquifero a causa della presenza di frequenti lenti e livelli meno permeabili ad andamento sub-orizzontale permettono di ipotizzare realisticamente la riduzione della k media di calcolo rispetto alla k orizzontale misurata tramite le prove di assorbimento; anche per questa unità idrogeologica viene stimato come rappresentativo per le permeabilità di calcolo dell'acquifero il valore di 1/5 della permeabilità orizzontale misurata.

Lo spessore medio dell'unità con falda in pressione è variabile tra 5 ed 8m.

3.4 Unità idrogeologica 4

L'unità idrogeologica 4 è costituita da sedimenti fluvioglaciali di spessore compreso tra 10 ed 11.5m ed è sede di un acquifero superficiale, l'acquifero superficiale di S. Giorgio.

L'acquifero è in continuità deposizionale e la falda in continuità idraulica con l'acquifero 3 da cui si differenzia perché la falda libera passa lateralmente a profonda ed in pressione (artesiana): infatti verso Ovest l'acquifero immerge sotto l'unità Idrogeologica 2 e la falda idrica in esso contenuta da libera va in pressione.

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.

I dati sono stati ricavati dalle prove effettuate nei sondaggi S37-XA202B177, S38-XA202B178 S39-XA202B179, consistenti in 6 prove Lefranc a carico variabile e due a carico costante, dai quali risulta che l'unità idrogeologica 4 presenta le permeabilità orizzontali più elevate del settore studiato (si confronti figura 3-1).

Permeabilità Unita' Idrogeologica 4			
Valore	Percentile 0.25	Mediana	Percentile 0.75
kh [m/s]	2.06E-05	4.47E-05	7.99E-04
kv [m/s]	4.12E-06	8.94E-06	1.60E-04
k_h di calcolo [m/s]	-	4.47E-05	-
k_v di calcolo [m/s]	4.12E-06	8.94E-06	1.60E-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.

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

I dati sono stati ricavati dalle prove effettuate nei sondaggi S40-XA202B180, S5GS, 4SS040

S8GS, S32-XA202G172, S38-XA202B178 consistenti in 14 prove Lefranc a carico variabile, dai quali risulta che l'Unità Idrogeologica 5 presenta le permeabilità orizzontali più basse del settore studiato, insieme all'UI2.

Questa unità idrogeologica è sede di un acquifero di volume limitato e trae il suo significato nella presente ricostruzione perché costituisce il confine est del bacino idrogeologico.

Permeabilità Unita' Idrogeologica 5			
Valore	Percentile 0.25	Mediana	Percentile 0.75
kh [m/s]	8.11E-07	3.13E-06	1.37E-05
kv [m/s]	1.62E-07	6.26E-07	2.74E-06
k_h di calcolo [m/s]	-	3.13E-06	-
k_v di calcolo [m/s]	1.62E-07	6.26E-07	2.74E-06

4 TECNOLOGIA ESECUTIVA E RIVESTIMENTO DELLA GALLERIA

4.1 Sezioni tipo di scavo e avanzamento della galleria naturale San Giorgio in Salici

La definizione delle sezioni tipo di scavo, avanzamento e rivestimento definitivo della galleria San Giorgio in Salici si è basata sia sulle condizioni geotecniche presenti, al fine di garantire la stabilità globale del cavo durante tutte le fasi esecutive e al tempo stesso di limitare i cedimenti a piano campagna, sia sulle condizioni idrogeologiche presenti, al fine di evitare, il più possibile, degli impatti sugli acquiferi presenti.

A questo riguardo le sezioni tipo adottate prevedono, principalmente, i seguenti tipi di interventi e di fasi esecutive, come mostrato nella Figura 4-1:

- intervento di consolidamento al fronte tramite n° 50 tubi in vetroresina, $\phi = 60$ mm, cementati aventi lunghezza $L = 18.00$ m e sovrapposizione 9.00 m;
- intervento di presostegno tramite 32 tubi in acciaio $\phi 88.9$ mm, sp. = 10 mm, passo 0.35 m, cementati, lunghezza $L = 14.00$ m e sovrapposizione di 5.00 m;
- un preconsolidamento al contorno della sezione di scavo realizzato mediante 61 colonne in jet – grouting del diametro di 600 mm della lunghezza di 14 m con sovrapposizione di 5 m;
- un preconsolidamento al piede delle centine costituito da 5 + 5 colonne in jet – grouting della lunghezza massima di 15.6 m eseguite ogni campo di avanzamento di 9 m;
- centine costituite da 2 IPN180 passo 1.00 m;
- calcestruzzo proiettato al contorno dello spessore di 25 cm;
- murette ed arco rovescio dello spessore di 0.8 m;
- rivestimento definitivo di calotta in c.a. avente spessore variabile da 0.5 a 1.50 m.

Le fasi esecutive principali sono le seguenti:

- esecuzione del preconsolidamento del fronte di scavo mediante tubi in VTR;
- posa in opera dei tubi metallici per il presostegno al contorno;
- esecuzione del preconsolidamento al contorno del cavo e al di sotto del piede delle centine;
- esecuzione dello scavo a piena sezione, per sfondi di massimo 1.0 m, sagomando il fronte a forma concava;
- posa in opera di centine, calcestruzzo proiettato e di uno spessore di magro di 10cm minimo in arco rovescio;
- posa in opera dell'impermeabilizzazione in corrispondenza delle murette e dell'arco rovescio;
- getto di murette ed arco rovescio in c.a., ad una distanza dal fronte ≤ 27 m;
- posa in opera dell'impermeabilizzazione di completamento in calotta;
- getto del rivestimento definitivo di calotta, ad una distanza massima dal fronte di scavo ≤ 36 m.

Doc. N.

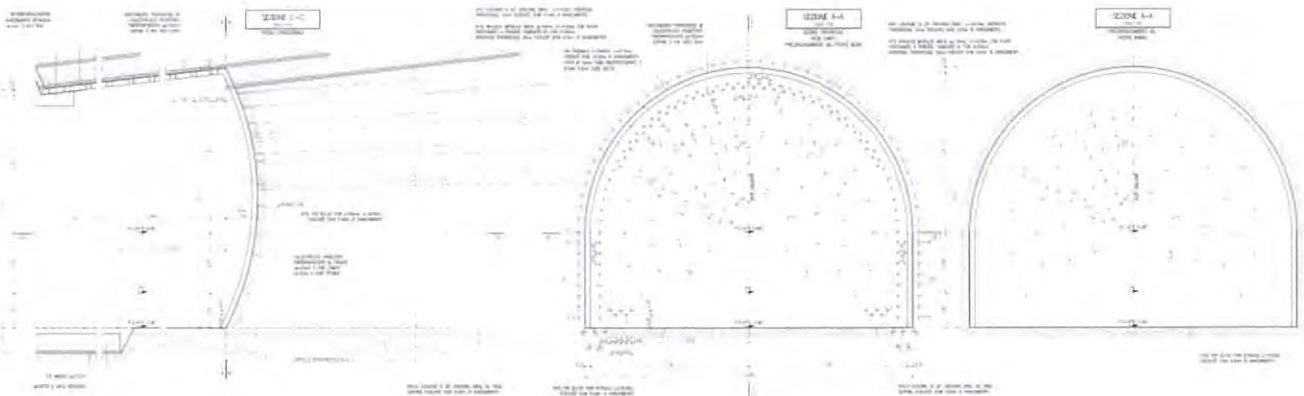
Progetto
INORLotto
11Codifica Documento
E E2 RI OV 30M 0 002Rev.
BFoglio
16 di 38

Figura 4-1 – Sezione longitudinale e trasversale relativa ad una tipica sezione di scavo e consolidamento adottata per lo scavo della galleria San Giorgio in Salici.

Come si può notare dalla Figura 4-1, tali interventi di consolidamento realizzati in avanzamento rispetto al fronte di scavo della galleria, oltre a garantire la stabilità del fronte di scavo e del nucleo di avanzamento consentono una notevole riduzione della permeabilità, al contorno del cavo, riducendo pertanto considerevolmente il drenaggio operato dallo scavo della galleria nella fase transitoria, prima della messa in opera dell'impermeabilizzazione e del getto del rivestimento definitivo descritto nel seguente paragrafo. Inoltre, nel tratto del sotto attraversamento dell'autostrada A4, allo scopo di limitare i cedimenti al di sotto della piattaforma autostradale e di evitare ogni possibile abbassamento della falda che indurrebbe dei cedimenti di subsidenza, inaccettabili per l'esercizio della piattaforma autostradale, è previsto, come mostrato nella seguente Figura 4.2, un consolidamento in jet - grouting lungo tutto l'intero sviluppo del cavo, incluso l'arco rovescio, nonché l'esecuzione di setti in jet - grouting al fine di isolare gli scavi di avanzamento in galleria dalla falda circostante, limitando conseguentemente l'interazione fra la galleria e la falda.

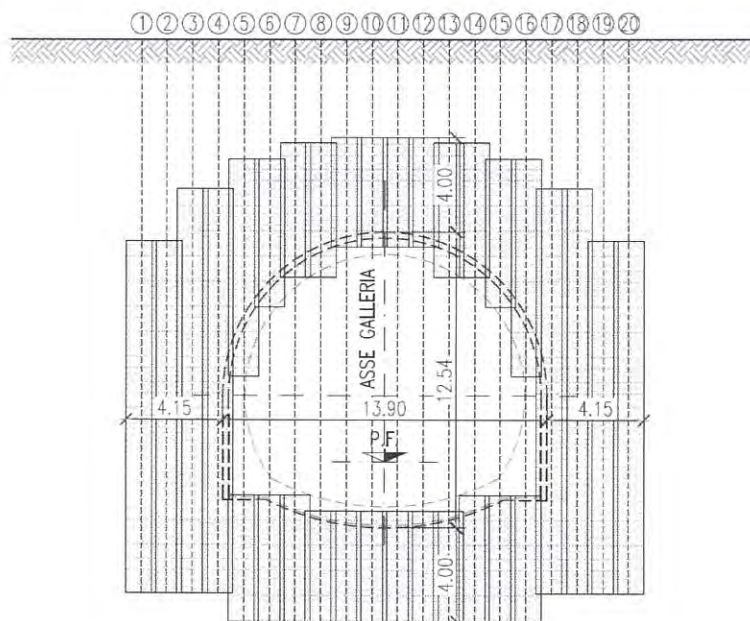


Figura 4-2 – Sezione trasversale con indicato l'intervento di consolidamento ed impermeabilizzazione, mediante la tecnologia del jet - grouting, previsto lungo tutto il profilo di scavo, per eliminare ogni possibile impatto sulla falda.

4.2 Rivestimento definitivo e sistema di impermeabilizzazione

Il rivestimento interno della galleria sarà costituito da un getto in calcestruzzo con resistenza caratteristica cubica $R_{ck} = 30$ MPa. Il rivestimento, armato in funzione delle esigenze statiche, sarà di spessore variabile trasversalmente, a partire da un valore minimo in chiave fino ad un valore massimo sui piedritti, e, trattandosi di sezioni di scavo tronco-coniche, variabile anche longitudinalmente per seguire la geometria del prerivestimento.

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

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

Con riferimento alla Figura 4.3, l'impermeabilizzazione viene disposta fra il rivestimento di 1° fase di calcestruzzo proiettato e il rivestimento definitivo di calcestruzzo. Allo scopo di limitare ogni possibile drenaggio durante l'esercizio della galleria, l'impermeabilizzazione della galleria, come mostrato nella Figura 4.3, è stato esteso anche all'arco rovescio, lungo tutto il profilo di scavo.

Il sistema di impermeabilizzazione adottato è costituito da uno strato di compensazione di tessuto non tessuto e da un foglio impermeabilizzante in PVC, di almeno 2 mm di spessore, parzialmente sovrapposti e saldati tra loro termicamente, posizionato all'estradosso del rivestimento definitivo.

Tale strato sarà steso procedendo trasversalmente rispetto all'asse della cavità (figura 4.4); i fogli di tessuto non tessuto, parzialmente sovrapposti, sono fissati al rivestimento di prima fase mediante chiodi a sparo da 2-4 cm muniti di rondelle di PVC semirigido. Le rondelle (di circa 8÷9 cm di diametro) hanno il duplice scopo di sostenere il tessuto non tessuto e di fungere da punto di fissaggio del telo impermeabile di PVC. Quest'ultimo viene quindi saldato ad aria calda alle rondelle, partendo dalla chiave della calotta e proseguendo sui due lati così da essere mantenuto nella posizione corretta fino al getto del rivestimento definitivo. Ogni singolo telo viene poi saldato a quelli adiacenti mediante sovrapposizione dei lembi e successiva sigillatura per termofusione, in modo da realizzare un giunto formato da un doppio cordone di saldature; il vano risultante tra i due cordoni dev'essere testato a pressione per verificare la perfetta tenuta del giunto. Prima del loro impiego, tanto il manto di compensazione quanto quello d'impermeabilizzazione dovranno superare dei controlli di qualità per verificare che le loro caratteristiche (spessore, resistenza a compressione, a trazione e agli stress termici, imputrescibilità, ecc.) corrispondano esattamente a quelle previste dal progetto. Dopo la posa in opera sono inoltre previsti ulteriori controlli, essenzialmente visivi, per verificare che siano state osservate tutte le prescrizioni e le precauzioni indispensabili per ottenere il buon funzionamento, anche a lungo termine, dell'intervento di impermeabilizzazione.

Doc. N.	Progetto INOR	Lotto 11	Codifica Documento E E2 RI OV 30M 0 002	Rev. B	Foglio 18 di 38
---------	------------------	-------------	--	-----------	--------------------

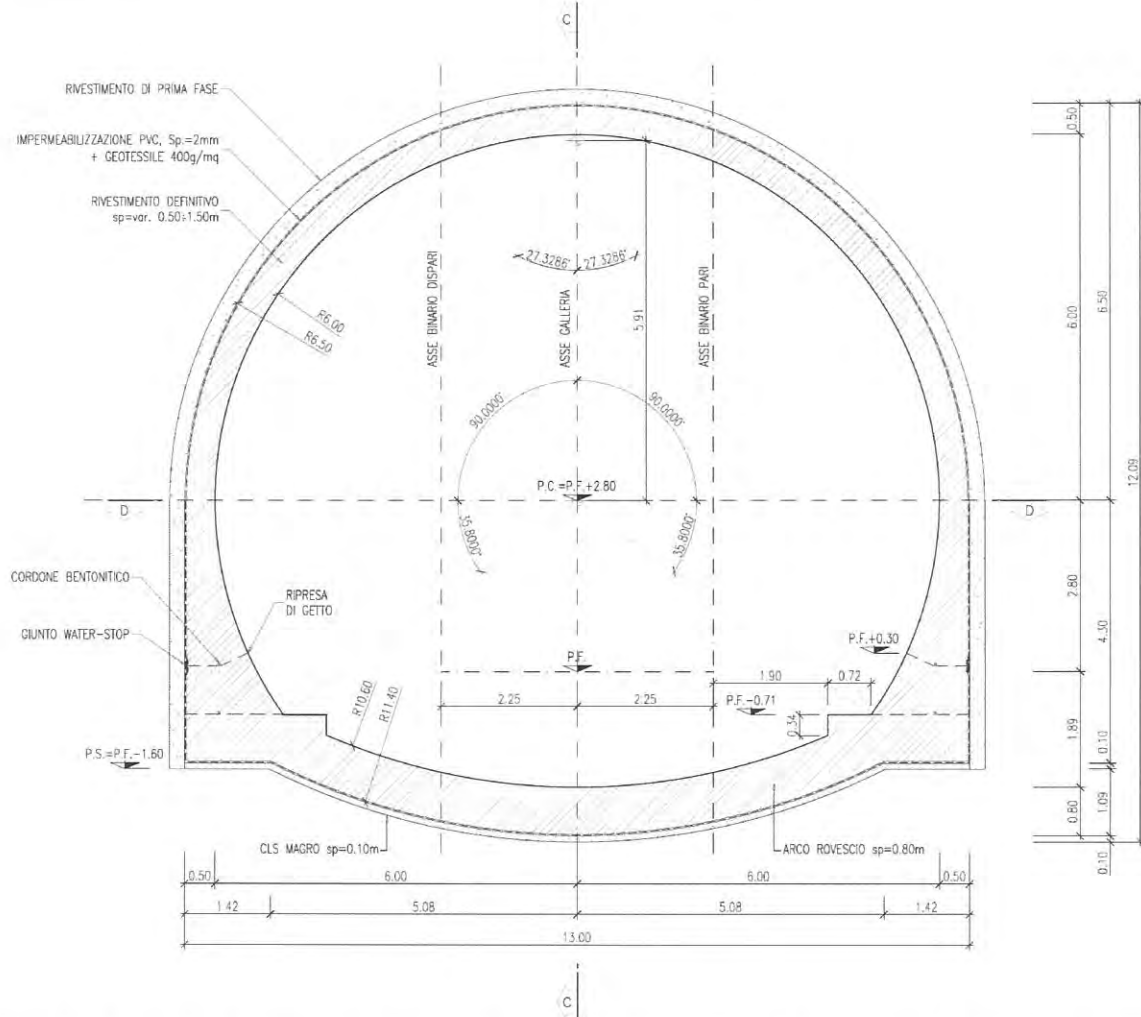


Figura 4-3 – Galleria San Giorgio in Salici, sezione tipo corrente di impermeabilizzazione e di rivestimento definitivo.

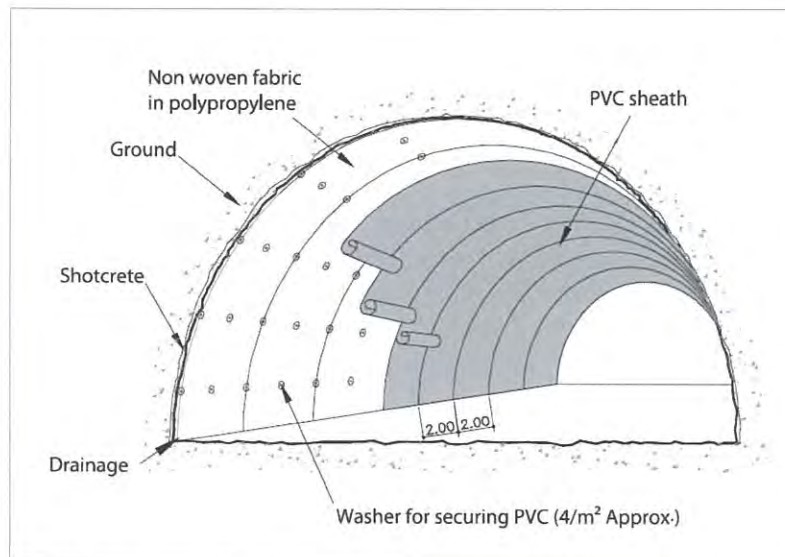


Figura 4-4 – Schema illustrativo della posa in opera del manto impermeabilizzante.

Occorre, inoltre, evidenziare come il sistema di impermeabilizzazione verrà garantito, per quanto concerne la continuità dei getti in calcestruzzo da opportuni water – stop a ogni ripresa di getto come mostrato nella Figura 4.3.

La figura 4.5 mostra un esempio di intervento di impermeabilizzazione del tutto simile a quello che sarà adottato per la galleria San Giorgio in Salici.



Figura 4-5 – Esempio di interventi di impermeabilizzazione.

Il sistema di preconsolidamento in avanzamento permette una notevole riduzione della superficie di interazione con la falda, riducendo dunque le potenziali portate di drenaggio della galleria nella zona del fronte: su 48.65m di perimetro della sezione di scavo rimane temporaneamente aperto un settore di 15.5m in arco rovescio nella zona del fronte. La chiusura dell'anello di impermeabilizzazione definitivo viene realizzata entro 3 diametri dal fronte, dunque in una distanza stimabile per eccesso in 50m. Questa tecnica permette di esporre una limitata superficie di interazione con la falda, con il fronte di drenaggio che migrerà in avanzamento in diversi settori dell'acquifero lungo la galleria. Inoltre In questo settore viene steso uno spessore minimo 10cm di calcestruzzo magro, che limita la portata di afflusso. Questi aspetti sono stati presi in debita considerazione nel calcolo delle portate di drenaggio della galleria, incluso la presenza dello spessore di cls magro, tramite la formulazione di Ribacchi (si veda capitolo 5).

5 POSSIBILI INTERFERENZE CON IL SISTEMA IDROGEOLOGICO: BILANCIO AFFLUSSI-DEFLUSSI DEL BACINO IDROGEOLOGICO ATTRAVERSATO DALLA GALLERIA

L'effetto del drenaggio della galleria è stato valutato per mezzo di un bilancio idrogeologico su base annuale.

In primo luogo sono state definite le dimensioni e caratteristiche degli acquiferi contenuti nel bacino idrogeologico attraversato dalla galleria; una volta stimata la riserva acquifera profonda si è realizzato il bilancio su base annua tra i volumi annui di afflusso profondo e quelli di deflusso causati dalla galleria. Il bilancio è stato effettuato per tre anni idrologici successivi, ipotizzando una durata di scavo e conseguente interazione con la falda pari a 3 anni, avanzamento dal lato Milano e calcolando il valore della portata sulla base dell'avanzamento del fronte di scavo all'interno del bacino idrogeologico.

Il bacino idrogeologico collegato alla galleria naturale S. Giorgio in Salici coincide con il continuum dei due acquiferi contenuti nell'Unità Idrogeologica 3 (acquifero profondo San Giorgio) e nell'Unità Idrogeologica 4 (acquifero profondo Palazzolo-San Giorgio) come mostrato nell'Allegato 1.

La falda in essa contenuta viene alimentata dagli afflussi della parte di precipitazioni piovose che costituisce l'infiltrazione potenziale, ed è dotata di una consistente **riserva profonda** del sistema sub-superficiale, situata nello spessore dell'acquifero sia freatico (spessore medio indicativo per l'intero sviluppo da nord a sud dell'acquifero: 5.5 m) che artesiano (spessore medio indicativo per l'intero sviluppo da nord a sud dell'acquifero: 8 m). A favore di sicurezza per la stima di un valore minimo della riserva si sono considerati per le porzioni di acquifero freatico i livelli minimi delle superfici piezometriche. A livello metodologico, gli spessori medi sono stati ricavati come valutazione dal profilo longitudinale della galleria e dalla stima della riduzione dello spessore delle unità idrogeologiche verso Nord, nei limiti della disponibilità di indagini geonostiche ed in base alla ricostruzione effettuata del modello geologico.

Per la determinazione degli **afflussi** è stato definito l'areale di infiltrazione tramite l'individuazione del bacino idraulico superficiale e del bacino idrogeologico profondo (si veda lo schema idrogeologico della galleria di San Giorgio in Salici, Allegato 2 alla presente relazione) e, considerando gli aspetti meteorologici, è stato calcolato il quantitativo annuo di infiltrazione potenziale nello specifico bacino idrogeologico.

Per il calcolo dei **deflussi** è stato realizzato un modello analitico con risoluzione di 50m (si veda capitolo 5.2) che tramite i parametri idrogeologici descritti al capitolo 3 ed i dati delle quote piezometriche ha consentito di calcolare i volumi di afflusso mensili ed annuali (si veda il cap. 5.3 e l'allegato n 3 **Tabelle di calcolo degli afflussi in galleria, scenario ottimistico, realistico e pessimistico**). Inoltre sono stati calcolati i raggi di influenza esercitati dal drenaggio della galleria sulla falda idrica considerando i valori mediani della permeabilità verticale ed orizzontale (ordine di grandezza 10-20m per le falde freatiche, 500-2000m per le falde artesiane).

I quantitativi delle riserve idrogeologiche, degli afflussi per infiltrazione potenziale e dei deflussi di galleria sono stati così confrontati su base annua per tre anni di durata prevista dell'avanzamento dello scavo.

5.1 Riserva dell'acquifero

Il volume di acqua contenuto nelle UI3 e 4 è stato stimato dai volumi dei relativi acquiferi (si veda al capitolo precedente per l'individuazione, caratterizzazione e descrizione degli acquiferi) considerando i valori di porosità efficace cautelativamente minimi nell'ambito degli intervalli ipotizzabili per i tipi di terreni che li costituiscono.

Verrà considerata su base bibliografica e di esperienza per i geomateriali alle UI 3 e 4 una porosità pari al 5%. In prima approssimazione possiamo stimare un volume della riserva profonda di acqua di falda (libera + freatica) sottesa alla galleria naturale di circa $5.5E6m^3$, come mostrato in tabella 5-1. Questo volume d'acqua costituisce una riserva profonda. Questo volume potrebbe potenzialmente subire il drenaggio della galleria naturale San Giorgio, posta a quote inferiori rispetto ai recettori naturali e dunque sarà considerato nel bilancio afflussi deflussi del sistema sotteso alla galleria come riserva.

I volumi degli acquiferi interessati dallo scavo della galleria sono riportati nelle successive tabelle.

Unità Idrogeologica	Superficie Bacino [m ²]	Spessore medio acquifero freatico [m]	Spessore medio acquifero artesiano [m]	Volume medio acquifero freatico [m ³]	Volume medio acquifero artesiano [m ³]
UI 3+4	8.21E6	5.5	8	4.5E7	6.6E7

Unità Idrogeologica	Volume totale acquiferi [m ³]	Porosità [%]	Volume acqua di falda sottesa alla galleria, riserva (m ³)
UI 3+4	1.1E8	5	5.5E6

Tabella 5-1 – Volume della riserva delle falde freatiche e artesiane

Linee di flusso della falda

L'interpretazione delle linee isopiezometriche riportate nella carta idrogeologica, permette di individuare le linee di deflusso delle falde interessate: il flusso nella Unità Idrogeologica 4 va da NNE a SSO, parallelo alla valle intramorenica, mentre il flusso della falda confinata nell'acquifero dell'Unità Idrogeologica 3 devia verso SE in corrispondenza di un cordone intramorenico.

5.2 Afflussi annui per precipitazioni piovose

5.2.1 Alimentazione della falda superficiale e areale di infiltrazione

L'areale di infiltrazione è esteso verso NNE almeno fino agli abitati di Palazzolo-Barbarago e la falda superficiale, vincolata da tali limiti laterali, defluisce lungo la valle interglaciale in direzione SSO verso la pianura (si veda la carta idrogeologica dell'area morenica estratta dal PGT del Comune di Sona). L'insieme delle considerazioni relative ai limiti sopra riportate permette di stimare in circa 8.21 km² l'estensione dell'areale di infiltrazione delle falde contenute negli acquiferi coincidenti con le UI 3 e 4.

Per lo scopo applicativo della valutazione di bilancio, saranno considerati i soli termini di infiltrazione (I_p) su base annuale; sarà inoltre stimato e considerato per il bilancio il volume della riserva dell'acquifero a scala dei bacini idrogeologici, sia per definire lo stato ante-operam che per stimare il tempo di ripristino della situazione ante-operam.

Non potendo quantificare l'acqua persa per ruscellamento, e sapendo che:

$$D = Q_p + I_p = P - E_{tr}$$

con:

D = deflusso idrico totale

Q_p = ruscellamento superficiale potenziale

I_p = Infiltrazione potenziale

P = precipitazione media annua

E_{tr} = evapotraspirazione

l'infiltrazione potenziale (I_p) è stata ricavata come quota parte dal deflusso idrico totale di bilancio idrogeologico secondo la seguente formulazione (Celico, 1988):

$$I_p = c.i.p.(%) \times D / 100$$

dove:

c.i.p. = Coefficienti di Infiltrazione Potenziale (Celico, 1988) dipendenti dalla permeabilità superficiale, dall'uso del suolo e dall'acclività dei versanti.



Utilizzando i parametri di calcolo contenuti nel documento "Galleria S. Giorgio in Salici: (GA16-GI08-GN04-GI09-GA17) da pK 140+181.85 a Pk 143+575.33 – Condizioni idrogeologiche e sistema di aggotamento per l'abbassamento della falda" (IN0R11EE2RIGN0400001) pari a

$P=778.9$ mm/anno precipitazione media annua della stazione meteorologica di Peschiera del Garda

$E_{tr}=573.6$ mm/anno

$D= P-E_{tr}=205.3$ mm/anno

c.i.p. = 70%

si ottiene un'infiltrazione potenziale pari a 143.71 mm/anno

$I_p=c.i.p.(%) \times D/100 = 143.71$ mm /anno

Per quanto riguarda la scelta dei valori si noti che i dati climatologici della stazione più vicina (4.3 km, Castelnuovo del Garda, serie dati dal 01 dicembre 1991) indicherebbero valori leggermente più ottimistici di infiltrazione (maggiori precipitazioni e minore evapotraspirazione).

Per i calcoli si sono considerati dunque i valori maggiormente prudenziali, che vanno nella direzione di avere una minore infiltrazione potenziale da superficie verso gli acquiferi interferiti dalla galleria (si veda tabella 5-2).

Stazione meteo-climatica	Peschiera del Garda	Castelnuovo del Garda
Distanza	15 km	4.3 km
Periodo serie dati	1921-1986	1996-2007
P media [mm/anno]	778.9	847.4
P max [mm/anno]	1387	1058.4
P min [mm/anno]	323	635
T media [°C]	13.6	12.9

Tabella 5-2 – dati stazioni meteorologiche

I volumi di infiltrazione annui sono stati dunque calcolati come:

$$V=I_p \times A$$

con

A=superficie dell'areale di infiltrazione dell'acquifero.

Il **volume di infiltrazione annuo** risultante all'interno del bacino idrogeologico, di superficie pari ad $8.21E6$ m² risulta pari a **1.18E6 m³/anno**.

5.3 Deflussi della galleria naturale GN04

Il fronte di attacco della galleria naturale si trova al contatto tra le unità idrogeologiche 1 e 2, e sarà scavato nell'acquitrando San Giorgio (UI 2) ed in esso proseguirà per una breve tratta (200-250m), di minor permeabilità naturale ma comunque con possibile presenza di falde isolate in livelli relativamente più permeabili. In ogni caso questa tratta coincide con il sottoattraversamento dell'Autostrada A4, dunque gli interventi di consolidamento programmati avranno l'effetto di ridurre significativamente (almeno di un ordine di grandezza) la permeabilità in un settore di spessore pari a circa 4 m intorno alla galleria.

In seguito l'avanzamento verso Est intercederà in zona arco rovescio la falda profonda in pressione contenuta nell'unità idrogeologica 3 ad una progressiva presumibilmente compresa tra 140+500 e 140+800 per rimanerci fino alla progressiva 141+750 circa, dove si avrà il passaggio in continuità idraulica dalla falda in pressione dell'Unità Idrogeologica 3 alla falda libera contenuta nell'Unità Idrogeologica 4 dell'acquifero superficiale San Giorgio.

Nel presente capitolo si determinano le portate di drenaggio esercitate per gravità dalla galleria naturale, mentre l'assenza di dati non consente di includere i prelievi antropici da eventuali pozzi, sorgenti ed invasi artificiali. In ogni caso, la scarsa quantità e qualità delle acque di questi acquiferi fanno pensare ad una prevalenza di prelievi all'interno della falda di base della pianura, ad elevate profondità, piuttosto che da falde più superficiali, scarsamente connesse dal punto di vista idraulico come quelle attraversate dalla galleria San Giorgio.

Per verificare la potenziale interferenza della galleria con le risorse idriche, è stato sviluppato un modello analitico in cui la galleria è stata discretizzata in celle di calcolo di 50 m di lunghezza ed è stata calcolata la portata totale di acqua (su base mensile) in uscita dalla galleria.

Il raggio della galleria è stato ridotto in modo da considerare il solo afflusso dal fondo dell'arco rovescio. La portata drenata dalla galleria è stata valutata utilizzando diverse formulazioni analitiche disponibili in letteratura e di seguito dettagliate. Si rileva che una delle soluzioni analitiche adottate (Ribacchi et al., 2002) permette di considerare la presenza dello strato di 10 cm di calcestruzzo magro in arco rovescio, che limita l'infiltrazione di acqua.

Soluzioni analitiche di calcolo delle portate di afflusso in galleria in regime stazionario o quasi-stazionario

$$Q = 2\pi K \frac{h}{\ln\left(\frac{2h}{r}\right)} \quad \text{Goodman et al (1965)}$$

$$Q = 2\pi K \frac{h}{\ln\left(\frac{h}{r} + \sqrt{\frac{h^2}{r^2} - 1}\right)} \quad \text{Lei et al (1999)}$$

$$Q = 2\pi K \frac{\lambda^2 - 1}{\lambda^2 + 1} \frac{h}{\ln \lambda} \quad \text{con} \quad \lambda = \frac{h}{r} - \sqrt{\frac{h^2}{r^2} - 1} \quad \text{El Tani et al (2003)}$$

$$Q = 2\pi K \frac{h}{\ln(R/r_e)} \left(1 + \frac{\ln(r_e/r_i)}{\ln(R/r_e)} \frac{K}{K_R}\right)^{-1} \quad \text{Ribacchi et al (2002)}$$

dove

r = raggio della galleria (m)

r_e = raggio esterno della galleria (m)

r_i = raggio interno della galleria (m)

R = raggio di influenza della galleria (m)

h = carico piezometrico riferito all'asse della galleria (m)

K = conduttività idraulica (permeabilità) dell'acquifero (m/s)

K_R = conduttività idraulica del rivestimento della galleria (m/s)

Q = portata per unità di lunghezza della galleria (m²/s)

La permeabilità K di calcolo delle diverse UI è riportata nel capitolo 3 e illustrata in figura 5-1. Il carico idraulico h è stato ricavato dalla interpolazione della falda di progetto ante-operam, ottenuto con i dati piezometrici considerando l'escursione massima dei livelli di tutte le campagne di misurazione disponibili. I valori di h così ottenuti sono illustrati in figura 5-2. Esistono diverse formulazioni empiriche per il calcolo del raggio di influenza, R , della galleria. La seguente formulazione semi-empirica permette di valutare l'evoluzione temporale di R

$$R = 1.5 \sqrt{T \frac{t}{S}}$$

Dove T è la trasmissività dell'acquifero, t è il tempo (nel seguito posto pari ad un mese), S è la storatività [-] dell'acquifero, pari per i litotipi che costituiscono le UI interessate a

- 0.1-0.3 per acquiferi non confinati (Lohman, 1972): valore di calcolo considerato 0.2
- 5E-05 – 5E-03 per acquiferi confinati (Todd, 1980): valore di calcolo considerato 5E-04

In figura 5.4 è riportato il raggio di influenza della galleria stimato imponendo $t = 30$ giorni per tutte le UI ed utilizzando i valori mediani della permeabilità verticale ed orizzontale delle UI. Si nota che R varia tra 10-20m per la falde freatiche (UI1) e 500-1000 m per la falda confinata (UI3), con un picco puntuale di oltre 2000m. nella UI4.

Il raggio di influenza della galleria è stato calcolato per confronto anche con la formulazione di Kussakin, secondo la formulazione:

$$R_0 = 575 \cdot H \cdot \text{RADQ}(H_a \cdot k_m)$$

dove H coincide con l'abbassamento ed H_a è lo spessore dell'acquifero, inteso come distanza tra la superficie freatica ed il tetto del sottostante livello impermeabile di base dell'acquifero nel caso delle tratte con galleria in falda freatica o come spessore dell'acquifero confinato per le tratte in cui la galleria è scavata in falda artesianica.

I risultati sono riportati in tabella in **Allegato 3 – Tabelle di calcolo afflussi in galleria per scenari ottimistico, realistico con k_v e k_h , pessimistico.**

I risultati dei calcoli di deflusso in galleria sono presentati in figura 5.5, in cui è indicato l'andamento nel tempo e nello spazio delle portate mensili valutate utilizzando le formulazioni analitiche sopra riportate ed una conduttività idraulica pari al valore mediano della conduttività idraulica verticale delle UI (vd Fig. 5-1).

Possiamo notare che i risultati spaziano di circa 5 volte tra i valori minimi e massimi e che la formulazione di Goodman fornisce per la maggior parte delle tratte i valori maggiori, dunque più cautelativi; al contrario la formulazione di Ribacchi risulta essere quella con i risultati minori, in virtù della pesatura che viene adottata nella formulazione tra la permeabilità del terreno e la permeabilità ridotta per la presenza dei rivestimenti (10cm di magro nel caso del progetto in esame). Fanno eccezione le tratte della UI 4 nel tratto in pressione, dove le formulazioni di Lei e di El Tani danno risultati maggiori in virtù dei valori più alti di permeabilità. Per i calcoli di portata annuale di drenaggio (tabella 5-3) è stata cautelativamente considerata in ciascuna tratta di 50m la formulazione che massimizza la portata.

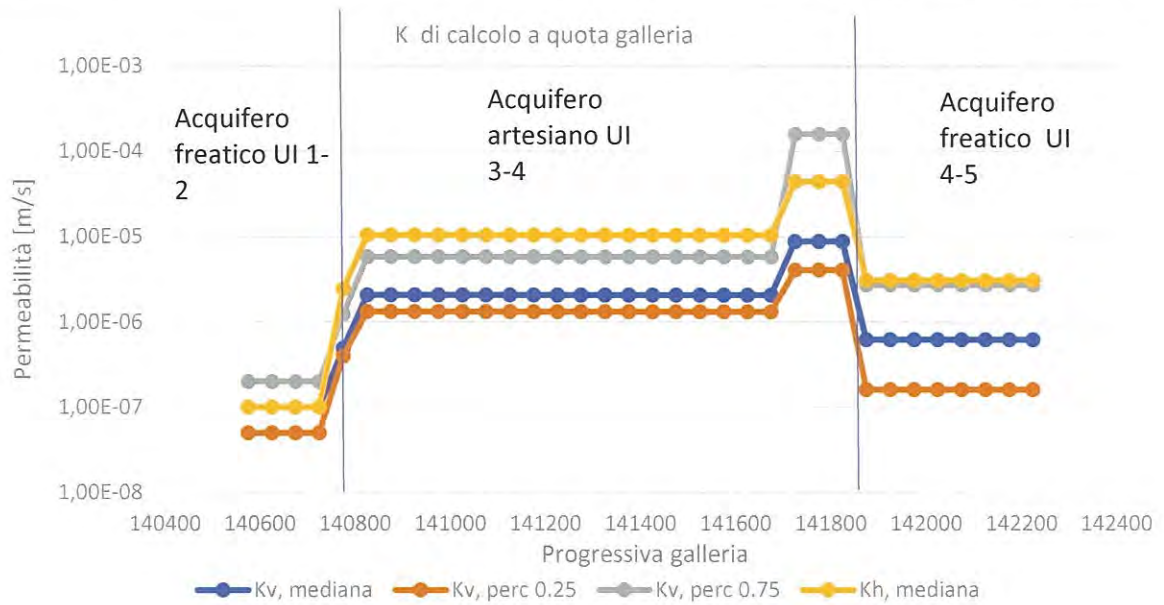


Figura 5-1 – Permeabilità di calcolo lungo l’asse galleria

Doc. N.	Progetto INOR	Lotto 11	Codifica Documento E E2 RI OV 30M 0 002	Rev. B	Foglio 26 di 38
---------	------------------	-------------	--	-----------	--------------------

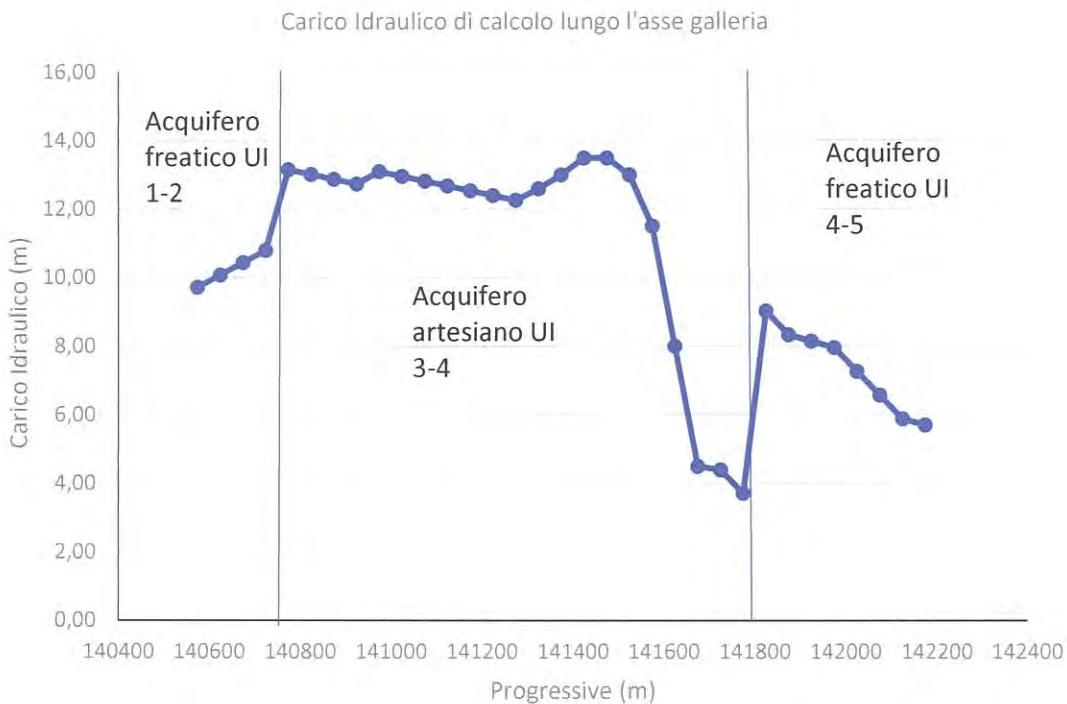


Figura 5-2 – Carico idraulico di calcolo lungo l'asse galleria

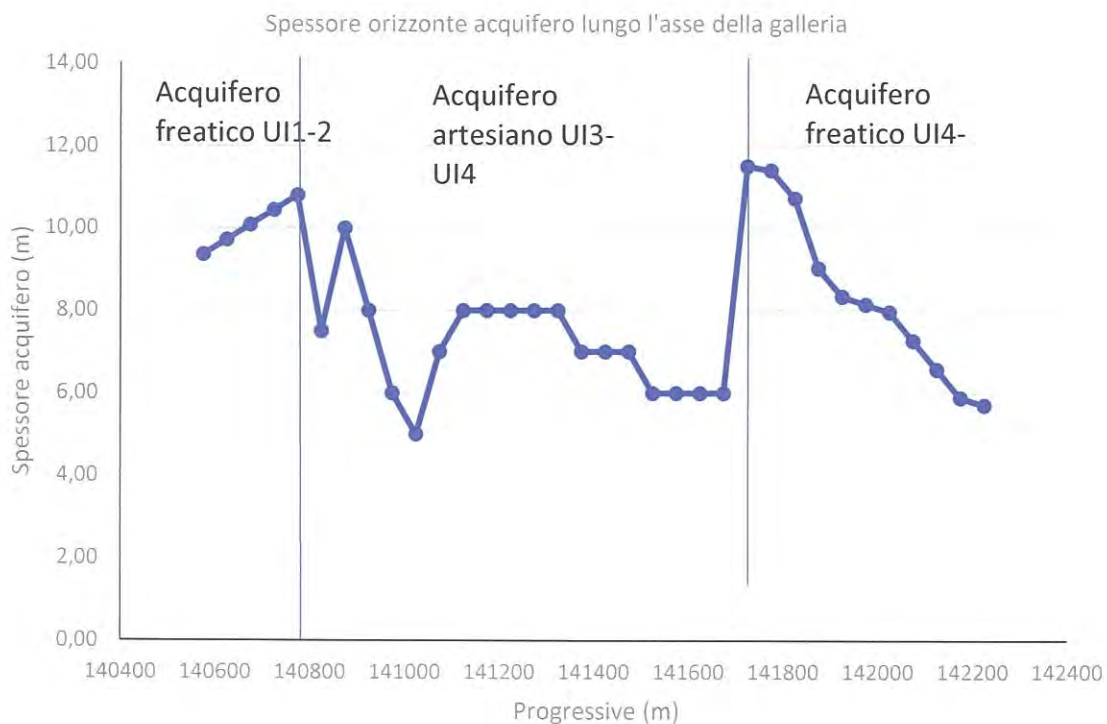


Figura 5-3– Spessore acquiferi artesiano e freatici lungo l'asse galleria

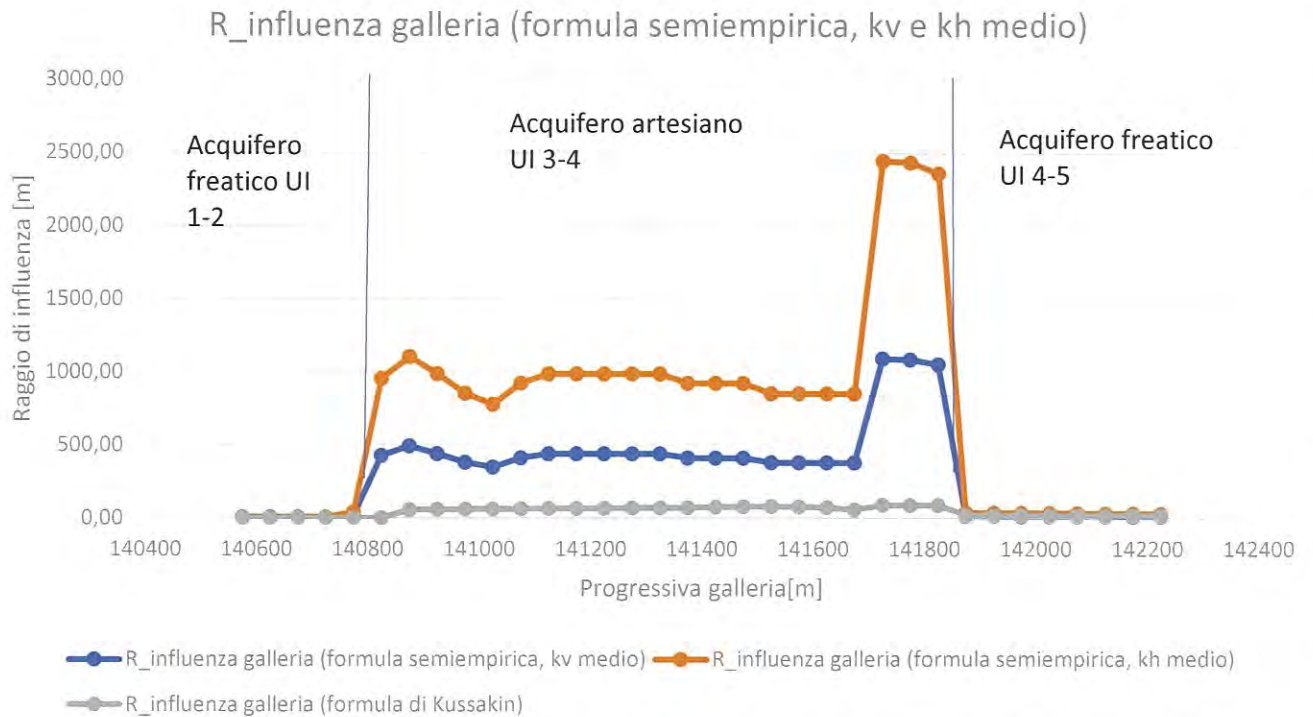


Figura 5-4 – Raggio di influenza lungo l’asse galleria, grafico relativo ai valori medi di k

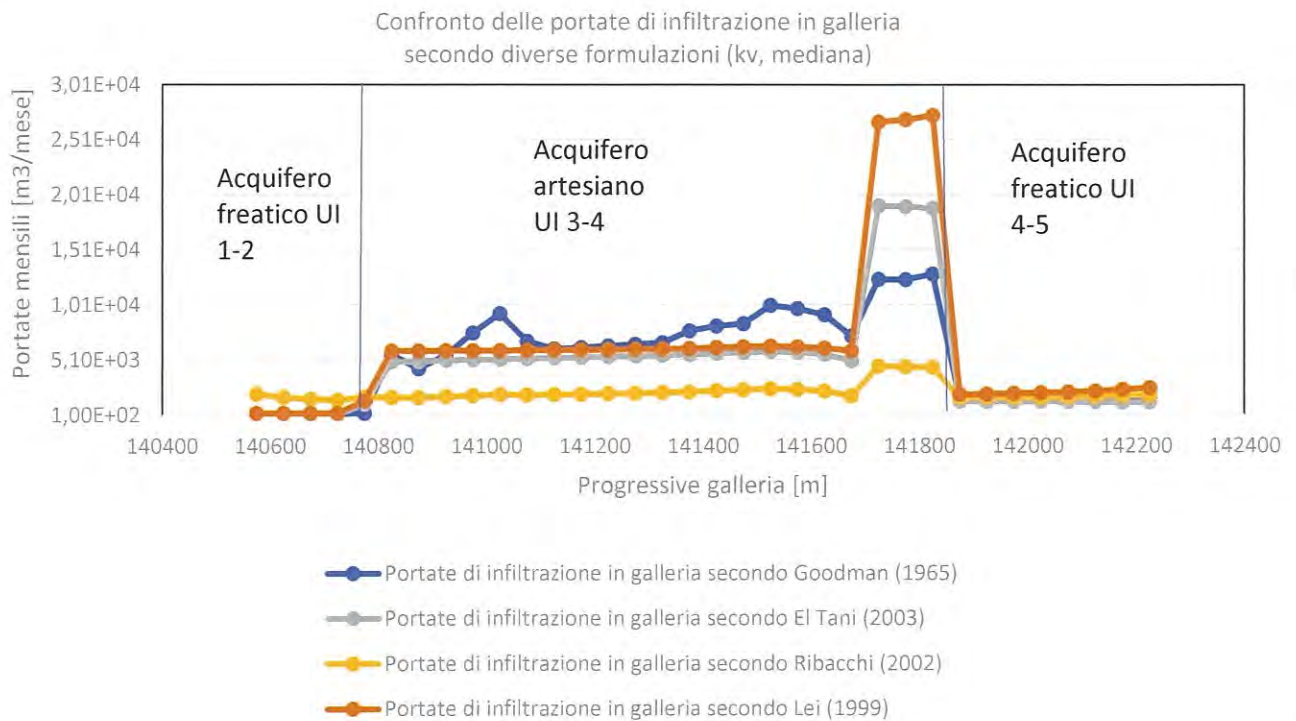


Figura 5-5a – Confronto delle portate di infiltrazione acqua in galleria secondo le diverse soluzioni analitiche considerate ed utilizzando i valori di kv, mediana

Doc. N.	Progetto INOR	Lotto 11	Codifica Documento E E2 RI OV 30M 0 002	Rev. B	Foglio 28 di 38
---------	------------------	-------------	--	-----------	--------------------

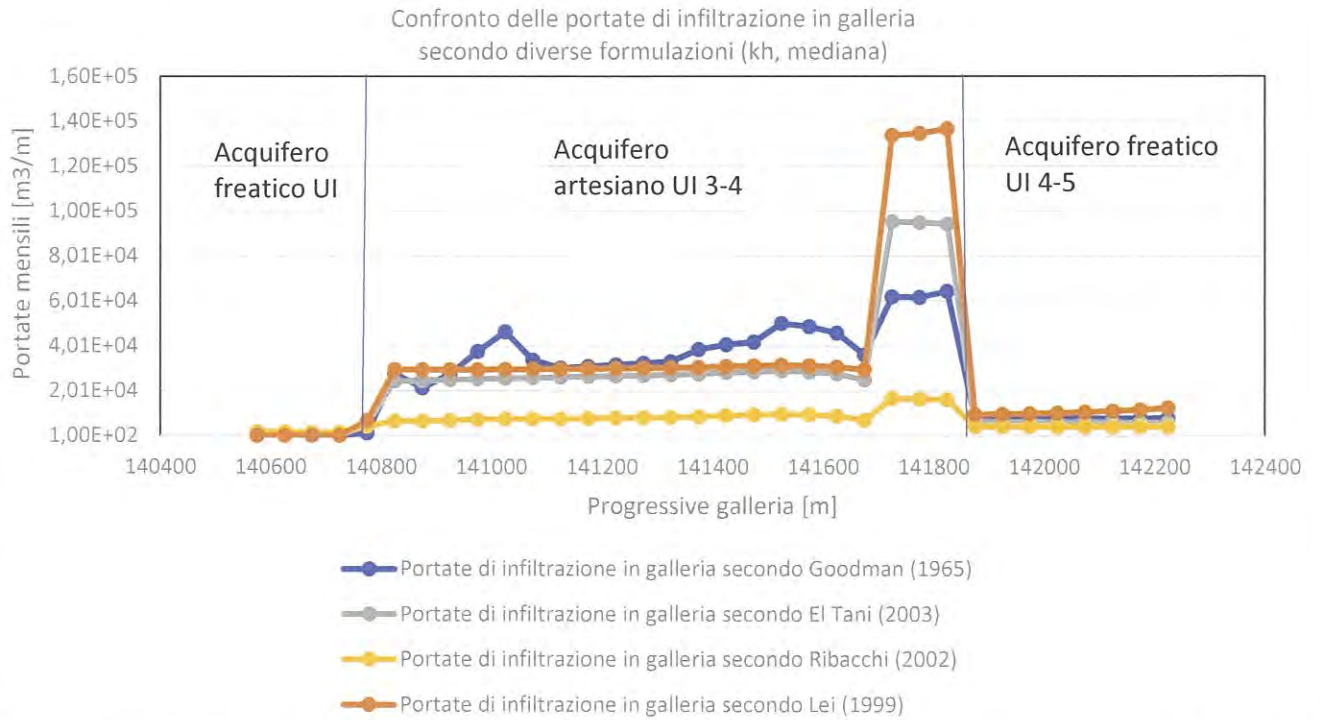


Figura 5-5b – Confronto delle portate di infiltrazione acqua in galleria secondo le diverse soluzioni analitiche considerate ed utilizzando i valori di kh, mediana

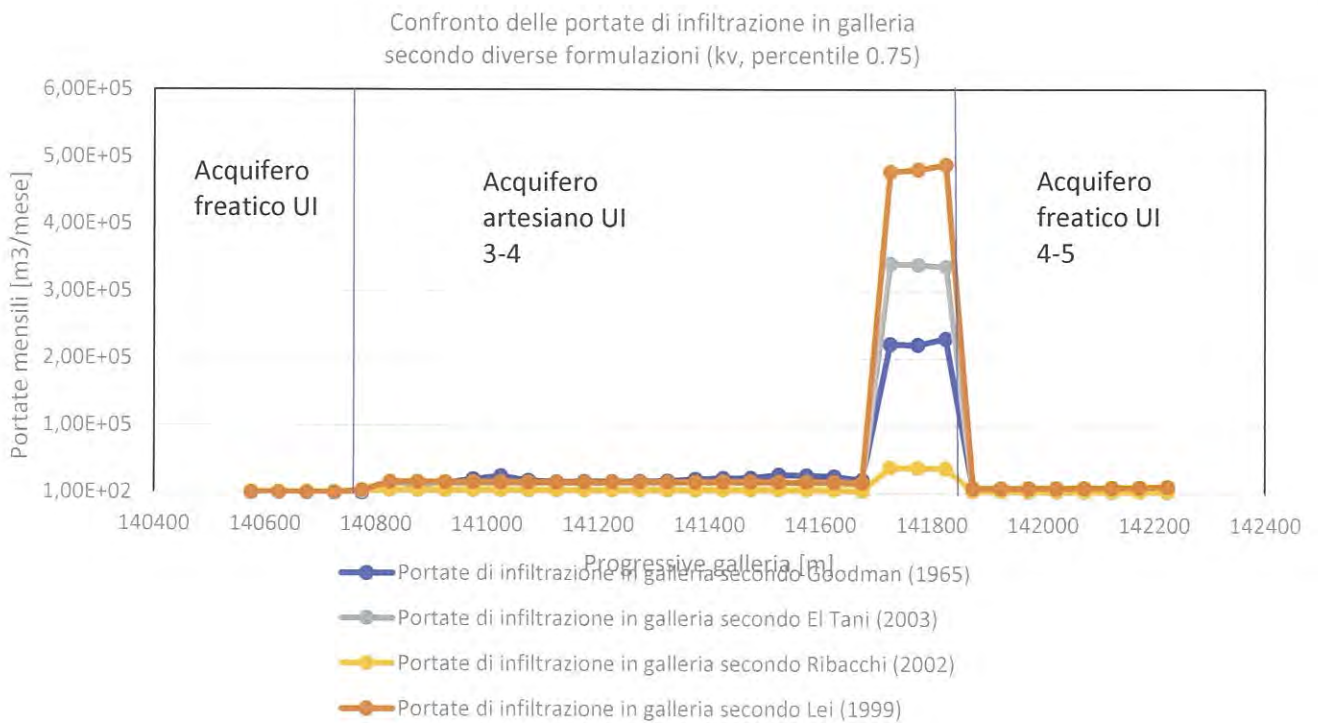


Figura 5-5c – Confronto delle portate di infiltrazione acqua in galleria secondo le diverse soluzioni analitiche considerate ed utilizzando i valori di kv, percentile 0.75

5.4 Bilancio idrogeologico afflussi/deflussi profondi

Il modello analitico afflussi/deflussi è sintetizzato nella tabella alla pagina seguente. I risultati indicano che la galleria naturale andrà ad operare un drenaggio delle falde idriche variabile in relazione alla fase costruttiva, al modello utilizzato ed valori di permeabilità considerati tra un minimo di circa 7'200 m³ del primo anno di scavo (scenario ottimistico e formulazione di Ribacchi) ad un massimo di 1'005'000 m³ del terzo anno (scenario pessimistico, formulazione di Lei). Questo valore massimo di portata drenata in galleria è pari (come ordine di grandezza) all'afflusso per infiltrazione (1'180'000 m³/anno). Allo stato attuale delle conoscenze a livello di bilancio si può quindi ragionevolmente ipotizzare il completo riequilibrio delle falde nel corso dello stesso anno di fine dei lavori di scavo.

Nelle successiva figura 5.6 vengono visualizzati graficamente gli ordini di grandezza dei quantitativi di riserva profonda, portate di afflusso per infiltrazione e deflusso in galleria per singolo anno di scavo.

Nelle mappe in figura da 5.7 a 5.9 vengono indicati i valori dei deflussi rispetto alla disponibilità della infiltrazione potenziale. Possiamo notare che anche nel caso più pessimistico di combinazione tra valori di conducibilità idraulica più alti e formulazioni analitiche più cautelative, il valore di deflusso in galleria non supera il valore dell'infiltrazione potenziale annuale, con l'effetto che eventuali deficit locali per abbassamento delle quote piezometriche verrebbero ripristinati nell'arco del medesimo anno idrologico grazie agli afflussi di infiltrazione potenziale in falda (stimati in 1.18E6m³ massimo relativamente alle diverse soluzioni analitiche utilizzate).

SCENARIO	Anno	Parte d'opera	Bacino idrogeologico drenato	Riserva ed afflussi annui bacino UI3+UI4					BILANCIO bacino idrogeologico UI3-UI4							
				vol. acquifero [m3]	porosità eff. [%]	riserva [m3]	superficie [m2]	infiltrazione in falda [m3/anno]	Portate di infiltrazione in falda Goodman (1965) [m3/anno]	Portate di infiltrazione in galleria secondo Lei (1999) [m3/anno]	Portate di infiltrazione in galleria secondo Tani (2003) [m3/anno]	Portate di infiltrazione in galleria secondo Ribacchi (2002) [m3/anno]	Goodman (1965) [m3/anno]	Lei (1999) [m3/anno]	El Tani (2003) [m3/anno]	Ribacchi (2002) [m3/anno]
Scenario OTTIMISTICO (k percentile 0.25)	Anno 1	GN04 Avanz. Verona	UI3-4	1.10E+08	5	5.50E+06	8.21E+06	1.18E+06	-2.95E+04	-2.82E+04	-2.40E+04	-7.27E+03	1.15E+06	1.15E+06	1.16E+06	1.17E+06
	Anno 2	GN04 Avanz. Verona	UI3-4	1.10E+08	5	5.50E+06	8.21E+06	1.18E+06	-6.05E+04	-5.52E+04	-4.73E+04	-1.86E+04	1.12E+06	1.13E+06	1.13E+06	1.16E+06
	Anno 3	GN04 Avanz. Verona+GA17	UI3-4	1.10E+08	5	5.50E+06	8.21E+06	1.18E+06	-1.50E+04	-2.95E+04	-2.01E+04	-3.34E+04	1.17E+06	1.15E+06	1.16E+06	1.15E+06
Scenario REALISTICO (k mediana)	Anno 1	GN04 Avanz. Verona	UI3-4	1.10E+08	5	5.50E+06	8.21E+06	1.18E+06	-4.66E+04	-4.43E+04	-3.77E+04	-2.14E+04	1.13E+06	1.14E+06	1.14E+06	1.16E+06
	Anno 2	GN04 Avanz. Verona	UI3-4	1.10E+08	5	5.50E+06	8.21E+06	1.18E+06	-9.88E+04	-9.44E+04	-7.99E+04	-2.87E+04	1.08E+06	1.09E+06	1.10E+06	1.15E+06
	Anno 3	GN04 Avanz. Verona+GA17	UI3-4	1.10E+08	5	5.50E+06	8.21E+06	1.18E+06	-3.81E+04	-7.17E+04	-4.80E+04	-2.27E+04	1.14E+06	1.11E+06	1.13E+06	1.16E+06
Scenario REALISTICO (kh mediana)	Anno 1	GN04 Avanz. Verona	UI3-4	1.10E+08	5	5.50E+06	8.21E+06	1.18E+06	-2.29E+05	-2.17E+05	-1.85E+05	-6.27E+04	9.52E+05	9.64E+05	9.95E+05	1.12E+06
	Anno 2	GN04 Avanz. Verona	UI3-4	1.10E+08	5	5.50E+06	8.21E+06	1.18E+06	-4.94E+05	-4.72E+05	-3.99E+05	-1.13E+05	6.86E+05	7.08E+05	7.81E+05	1.07E+06
	Anno 3	GN04 Avanz. Verona+GA17	UI3-4	1.10E+08	5	5.50E+06	8.21E+06	1.18E+06	-1.91E+05	-3.58E+05	-2.40E+05	-6.69E+04	9.90E+05	8.22E+05	9.41E+05	1.11E+06
Scenario PESSIMISTICO (k percentile 0.75)	Anno 1	GN04 Avanz. Verona	UI3-4	1.10E+08	5	5.50E+06	8.21E+06	1.18E+06	-1.29E+05	-1.22E+05	-1.04E+05	-3.76E+04	1.05E+06	1.06E+06	1.08E+06	1.14E+06
	Anno 2	GN04 Avanz. Verona	UI3-4	1.10E+08	5	5.50E+06	8.21E+06	1.18E+06	-4.62E+05	-6.66E+05	-5.10E+05	-9.73E+04	7.18E+05	5.14E+05	6.70E+05	1.08E+06
	Anno 3	GN04 Avanz. Verona+GA17	UI3-4	1.10E+08	5	5.50E+06	8.21E+06	1.18E+06	-5.08E+05	-1.05E+06	-7.21E+05	-1.07E+05	6.72E+05	1.34E+05	4.60E+05	1.07E+06

Tabella 5-3 – dati di bilancio del bacino idrogeologico UI3-UI4

Doc. N.

Progetto
INOR

Lotto
11

Codifica Documento
E E2 RI OV 30M 0 002

Rev.
B

Foglio
31 di 38

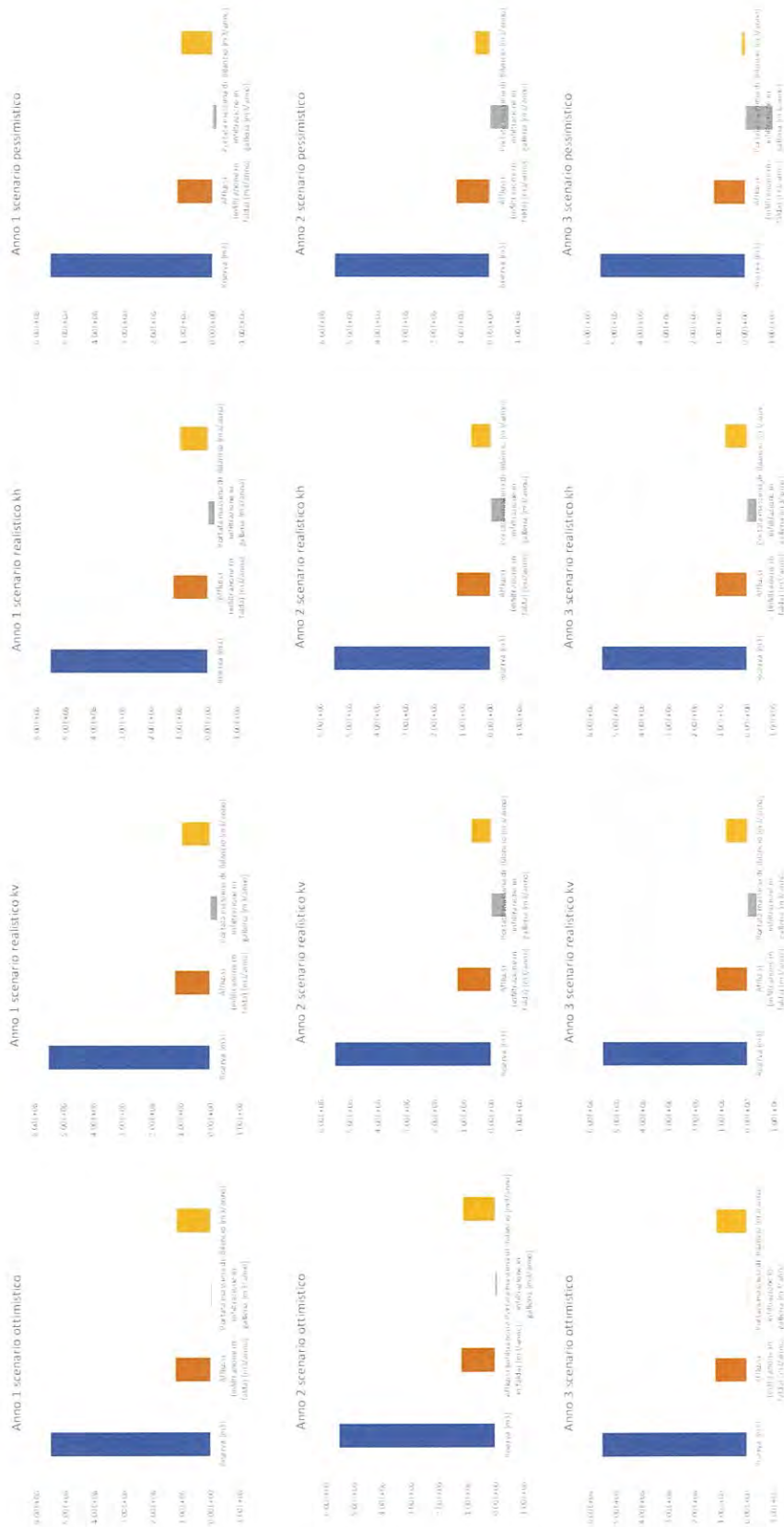


Figura 5-6 – sintesi grafica per istogrammi dei valori di bilancio del bacino idrogeologico UI3+4

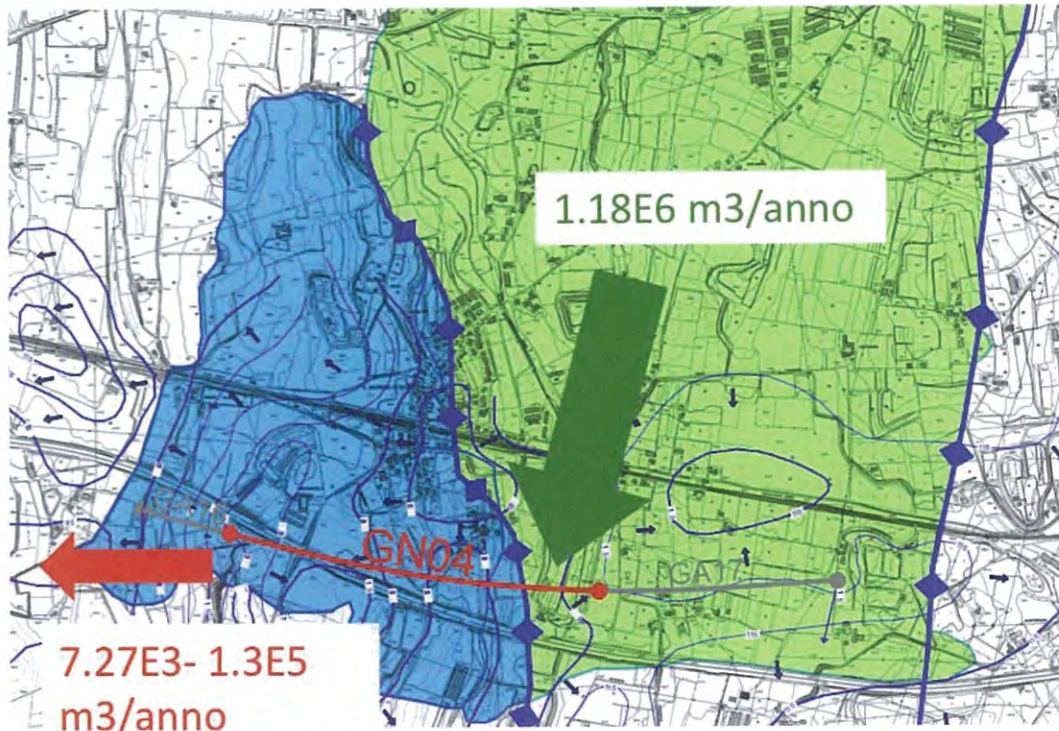


Figura 5-7 – Bilancio del bacino idrogeologico UI3+4 nel primo anno di scavo della GN04

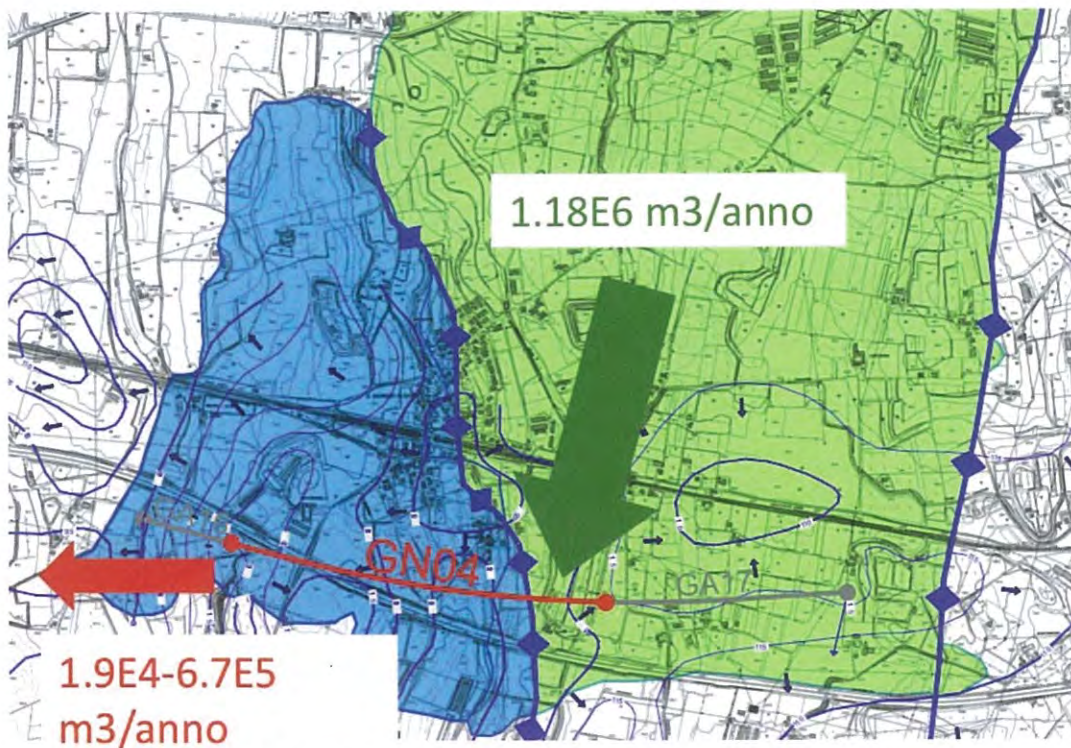


Figura 5-8 – Bilancio del bacino idrogeologico UI3+4 nel secondo anno di scavo della GN04

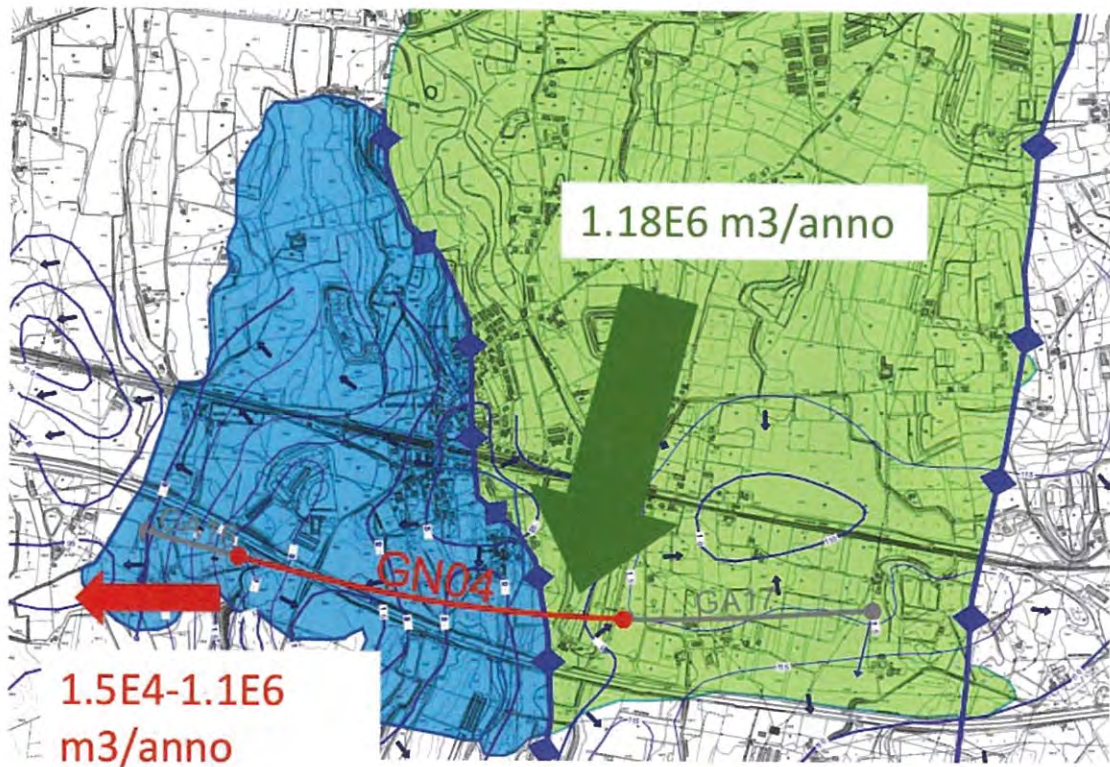


Figura 5.9 – Bilancio del bacino idrogeologico UI3+4 nel terzo anno di scavo della GN04



6 CONCLUSIONI

Lo scavo della galleria naturale San Giorgio GN04 interesserà un bacino idrogeologico sede sia di falda acquifera artesianica (Unità idrogeologica 3) che freatica (Unità Idrogeologica 4). I parametri idrostratigrafici ed idrogeologici di tali unità sono stati caratterizzati nella loro variabilità tramite numerosi sondaggi carotati ed esecuzione di prove di infiltrazione in foro Lefranc, che hanno permesso di definire gli spessori degli acquiferi e le caratteristiche di permeabilità. Le campagne di misurazione piezometrica hanno permesso di ipotizzare i livelli di escursione delle falde e definire l'andamento lungo il tracciato delle quote piezometriche di progetto (falda di progetto).

Il fronte di attacco della galleria naturale si trova al contatto tra le unità idrogeologiche 1 e 2, e sarà scavato nell'acquitrando San Giorgio (Unità Idrogeologica UI2) ed in esso proseguirà per una breve tratta (circa 200m) coincidente con il sotto-attraversamento dell'Autostrada A4, dunque gli interventi di consolidamento in progetto avranno l'effetto di ridurre la permeabilità nell'intorno alla galleria.

In seguito l'avanzamento verso Est intercetterà in zona arco rovescio la falda profonda in pressione contenuta nell'unità idrogeologica 3 ad una progressiva presumibilmente compresa tra 140+500 e 140+800 per rimanerci fino alla progressiva 141+750 circa, dove si avrà il passaggio in continuità idraulica dalla falda in pressione dell'Unità Idrogeologica 3 alla falda libera contenuta nell'Unità Idrogeologica 4 dell'acquifero superficiale San Giorgio.

La tecnica costruttiva della galleria, dotata di impermeabilizzazione completa (full-round) fa sì che la galleria naturale risulti permeabile solo durante la fase costruttiva per una tratta di 50 m circa in avanzamento, distanza dal fronte necessaria per il completamento della sezione di impermeabilizzazione totale, ipotizzata corrispondente circa all'avanzamento di un mese. Grazie a questa tecnica il drenaggio risulta limitato spazialmente alla tratta in corso di scavo e costruzione, e dalla sola porzione di arco rovescio del profilo (a causa della presenza degli infilaggi con iniezioni jetting su piedritti e calotta), con una superficie di afflusso limitata, limitando in questo modo la portata di acqua drenata dalla galleria.

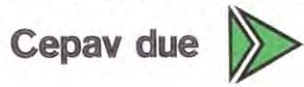
L'approccio metodologico è stato improntato al controllo delle variabili presenti nei parametri di ingresso e nelle formulazioni di calcolo analitico delle portate di infiltrazione in galleria tramite la costruzione di tre scenari: ottimistico (ottenuto con valori di permeabilità pari al primo percentile), realistico (suddiviso in due scenari di calcolo con kh e kv pari al valore mediano) e pessimistico (ottenuto con valori di permeabilità pari al terzo percentile).

I volumi annui di infiltrazione in galleria secondo lo scenario **pessimistico** risultano essere pari a circa 130'000 m³ nel corso del primo anno fino a circa 1'100'000 m³ nel corso del terzo anno, pari rispettivamente all'11% ed al 93% del volume di infiltrazione annuo del bacino delle Unità Idrogeologiche 3 e 4 da essa intercettate. Il quantitativo di acqua drenato dalla galleria, nonostante tutte le assunzioni a favore di sicurezza adottate, è (al massimo) dell'ordine di grandezza del quantitativo di acqua infiltrata, dovuta alle precipitazioni medie annue.

D'altro canto i medesimi volumi annui di infiltrazione in galleria secondo lo scenario **realistico** risultano essere di 46'000m³ nel corso del primo anno fino a 494'000 m³ nel corso del secondo anno, pari rispettivamente a circa il 4% ed il 45% del volume di infiltrazione annuo del bacino delle Unità Idrogeologiche 3 e 4 da essa intercettate. Tali percentuali, più contenute dello scenario pessimistico ma non trascurabili, potrebbero causare localmente e per un periodo di tempo limitato effetti di impatto in termini di riduzione dei livelli piezometrici entro le distanze dei raggi di influenza calcolati. La galleria naturale costituisce una struttura drenante il cui impatto sulle piezometriche potrà raggiungere, nello scenario realistico, una distanza massima di poche decine di metri nel settore di acquifero freatico intercettato indicativamente tra le pk. 141+600 e 141+900, mentre nel settore di acquifero artesianico il raggio di influenza potrà raggiungere una distanza di circa 2 km nel settore di acquifero più permeabile UI4.

Dalle considerazioni sui quantitativi e le distanze di influsso sulle piezometriche naturali possiamo concludere che l'impatto sulle risorse idriche sotterranee della galleria naturale di San Giorgio in Salici saranno alla scala del bacino idrogeologico contenute e comunque limitate nel tempo. Sono possibili impatti in termini di abbassamenti temporanei dei livelli piezometrici per brevi periodi ed in aree di estensione limitata. Punti di prelievo (pozzi) e/o sorgenti delle medesime falde acquifere, nei termini descritti, potrebbero essere quindi impattati dall'abbassamento della falda durante la costruzione della galleria.

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto
INOR

Lotto
11

Codifica Documento
E E2 RI OV 30M 0 002

Rev.
C

Foglio
33 di 36

7. ALLEGATO1 – SEZIONE IDROGEOLOGICA

SEZIONE IDROGEOLOGICA GALLERIA SAN GIORGIO IN SALICI

Galleria naturale
S. GIORGIO

pk 140+463

pk 142+233

Km 140+792.974 - AUTOSTRADA A4

FA 18.56m N+SS034-A/B

FA 22.53m N+SN035

FA 10.0m S

14PZ27GRANDE

FA 10.0m S

127.27

127.27

127.27

127.27

140+945.45

FA 317.4m N

S32-XA202G172

FA 10.07m S

141+058.98

S33-XA202G173

FA 14.96m N

141+514.96

4SS036-A/B

FA 5.3m S

141+523.43

S34-XA202G174

FA 16.56m S

141+689.84

4SC037

FA 102.72m N

141+753.57

S35-XA202G175

FA 13.89m N

142+031.68

4SC038

LEGENDA

Falda di progetto (misurazioni dal 2002 al 2018)

Piezometro (Casagrande, Tubo Aperto)

Livellotta di progetto

Sondaggi campagna 2002

Sondaggi campagna 2004/2005

UNITA' IDROGEOLOGICHE

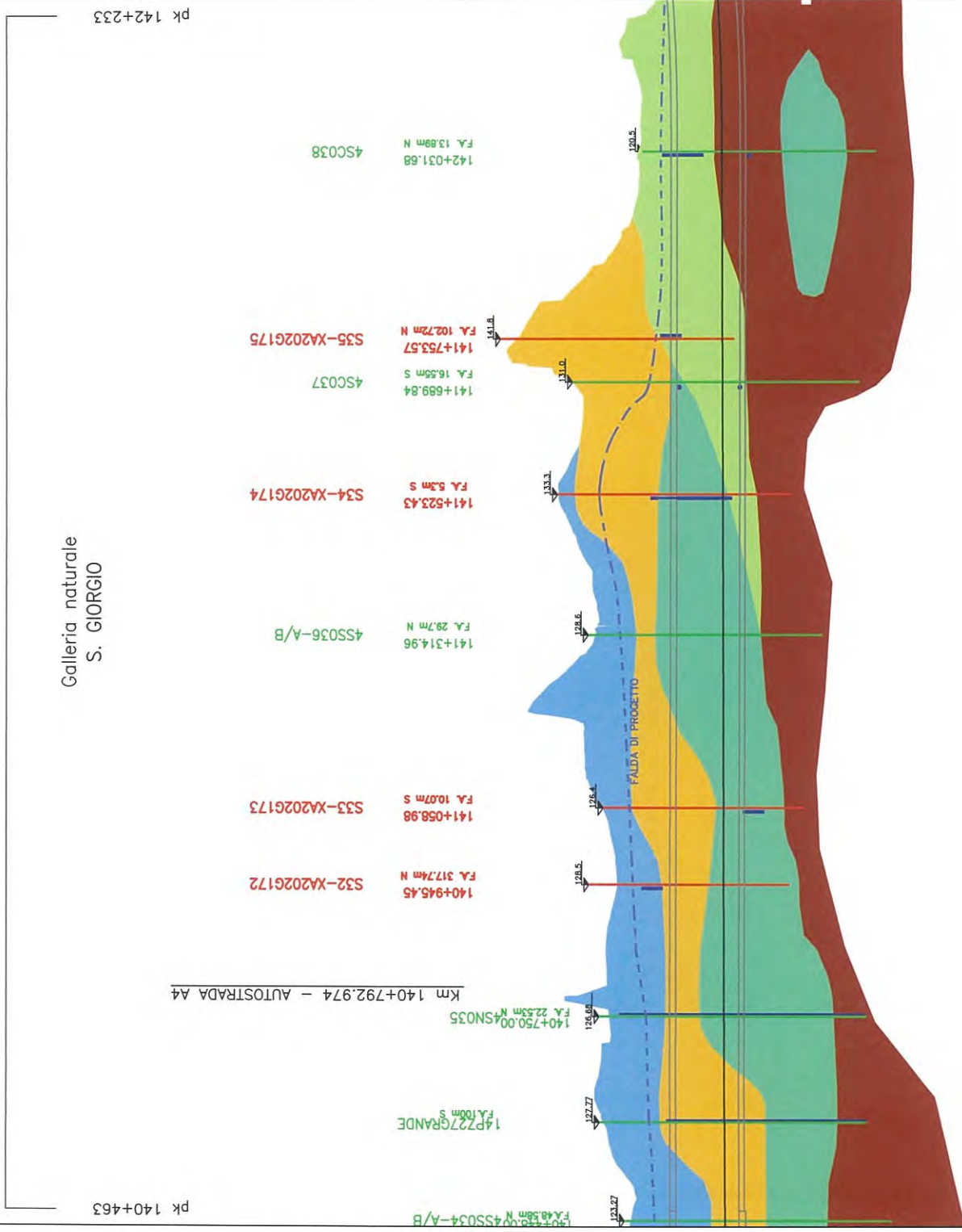
UNITA' IDROGEOLOGICA 1: acquifero superficiale S. Giorgio

UNITA' IDROGEOLOGICA 2: acquifero S. Giorgio


UNITA' IDROGEOLOGICA 3: acquifero profondo S. Giorgio (fluvioglaciale)

UNITA' IDROGEOLOGICA 4: acquifero superficiale S. Giorgio (fluvioglaciale)

UNITA' IDROGEOLOGICA 5: acquifero profondo Sona (glaciale)



GENERAL CONTRACTOR

Cepav due 

ALTA SORVEGLIANZA


ITALFERR
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

Doc. N.

Progetto
INOR

Lotto
11

Codifica Documento
E E2 RI OV 30M 0 002

Rev.
C

Foglio
34 di 36

8. ALLEGATO 2 – SCHEMA IDROGEOLOGICO

SCHEMA IDROGEOLOGICO GALLERIA S. GIORGIO IN SALICI

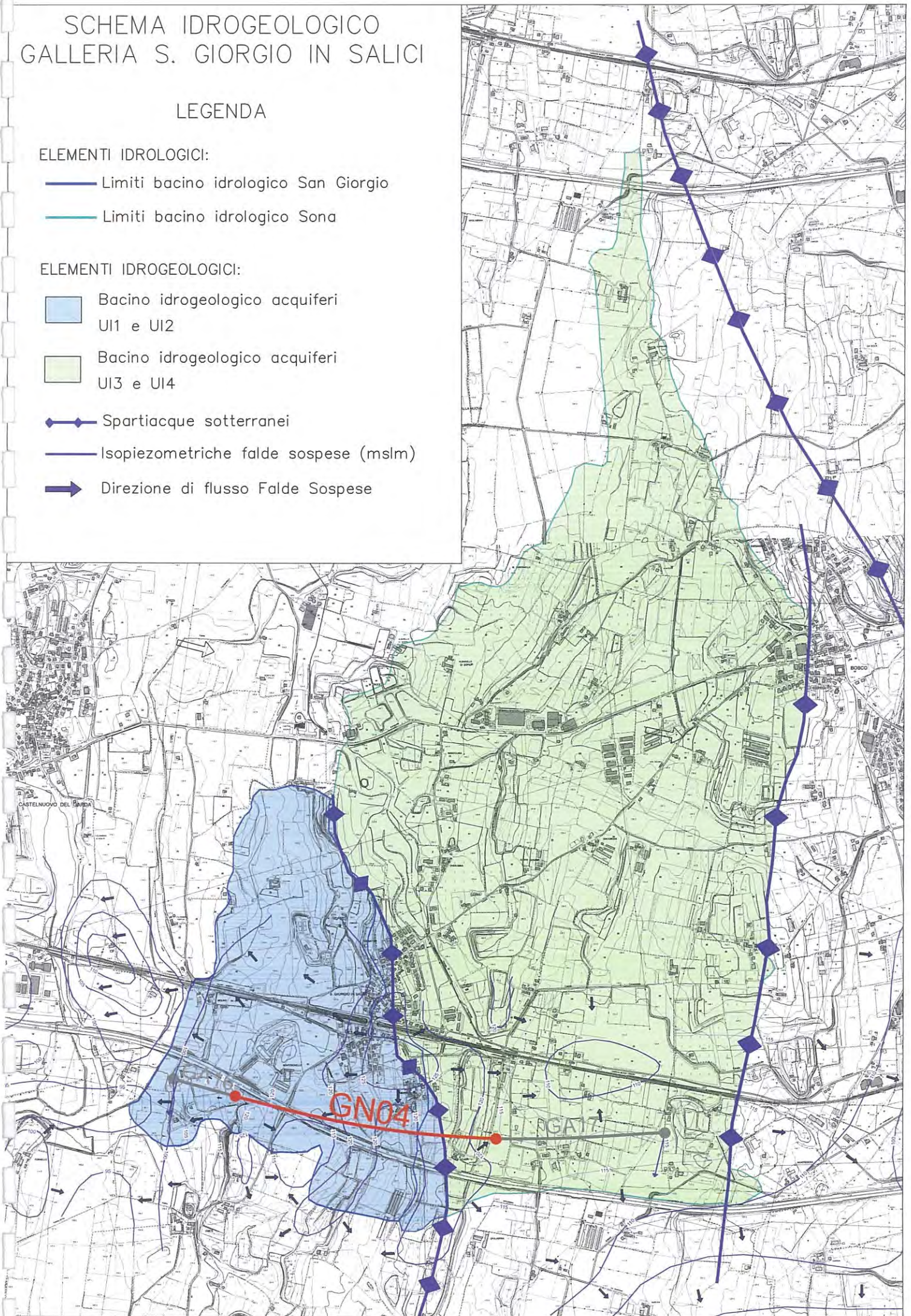
LEGENDA

ELEMENTI IDROLOGICI:

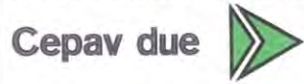
- Limiti bacino idrologico San Giorgio
- Limiti bacino idrologico Sona

ELEMENTI IDROGEOLOGICI:

- Bacino idrogeologico acquiferi UI1 e UI2
- Bacino idrogeologico acquiferi UI3 e UI4
- ◆ Spartiacque sotterranei
- Isopiezometriche falde sospese (mslm)
- ➔ Direzione di flusso Falde Sospese



GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto
INOR

Lotto
11

Codifica Documento
E E2 RI OV 30M 0 002

Rev.
C

Foglio
35 di 36

9. ALLEGATO 3 – TABELLE DI CALCOLO AFFLUSSI IN GALLERIA PER GLI SCENARI OTTIMISTICO, REALISTICO E PESSIMISTICO

GENERAL CONTRACTOR

Cepav due



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto
INOR

Lotto
11

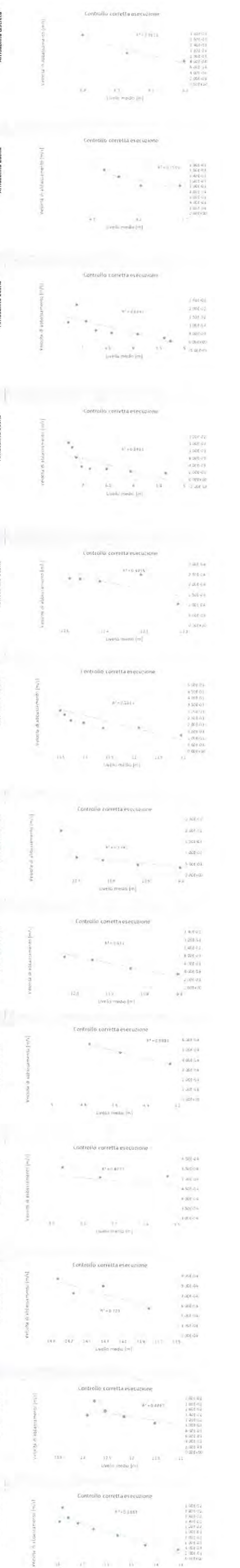
Codifica Documento
E E2 RI OV 30M 0 002

Rev.
C

Foglio
36 di 36

10. ALLEGATO 4 – RISULTATI ED ELABORAZIONI DELLE PROVE LEFRANC

Main data table with columns for item ID, UI, various numerical values, and reliability metrics. The table contains multiple rows for different items, each with a set of data points and a final reliability classification.



Identificativo	Valore	UI	Deviazione	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
535-XA202G175	142.1	119.1	-23	1	0.000	0	24	24	0.127	1	7.9	1.8	1	23.895	1.40E-02	Affidabilità buona																																																																																							
536-EA202B176	118	117	-5.79	1	0.000	0	6.79	6.79	0.127	1	7.9	1.8	1	6.75	4.67E-03	Affidabilità sufficiente																																																																																							
536-EA202B176	118	112	-5.79	1	0.000	0	6.79	6.79	0.127	1	7.9	1.8	1	6.71	1.07E-02	Affidabilità buona																																																																																							
536-EA202B176	118	98.5	-14.1	0.2	0.000	0	14.3	14.3	0.127	1	7.9	1.8	1	13.885	5.53E-02	Affidabilità buona																																																																																							
537-XA202B177	119	113	-7	0.2	0.000	0	7.2	7.2	0.127	1	7.9	1.8	1	6.995	2.73E-02	Affidabilità buona																																																																																							
538-XA202B178	118	116.5	-6.02	0.2	0.000	0	6.22	6.22	0.127	1	7.9	1.8	1	6.055	2.20E-02	Affidabilità sufficiente																																																																																							
538-XA202B178	118	112	-6.02	1	0.000	0	7.02	7.02	0.127	1	7.9	1.8	1	6.815	2.73E-02	Affidabilità buona																																																																																							
539-XA202B179	117.9	116.4	-2.5	0.15	0.000	0	2.65	2.65	0.127	1	7.9	1.8	1	2.525	1.67E-02	Affidabilità buona																																																																																							
539-XA202B179	117.9	111.8	-7.25	1.5	0.000	0	8.75	8.75	0.127	1	7.9	1.8	1	8.35	5.33E-02	Affidabilità buona																																																																																							
539-XA202B179	117.9	106.8	-7.25	0.3	0.000	0	7.55	7.55	0.127	1	7.9	1.8	1	7.285	3.53E-02	Affidabilità buona																																																																																							
540-XA202B180	119.4	116.5	-3.9	0.25	0.000	0	4.15	4.15	0.127	1	7.9	1.8	1	3.955	2.60E-02	Affidabilità buona																																																																																							
540-XA202B180	119.4	112.4	-8	0.3	0.000	0	8.3	8.3	0.101	1	9.9	1.6	1	8.29	1.33E-03	Affidabilità buona																																																																																							
540-XA202B180	119.4	109.4	-8.65	0.3	0.000	0	8.95	8.95	0.101	1	9.9	1.6	1	8.725	3.00E-02	Affidabilità buona																																																																																							
55G5	128.25	123.75	-4.5	0.6	0.000	0	5.1	5.1	0.152	0.5	3.3	1.5	0.5	5.094	8.57E-04	Affidabilità scarsa																																																																																							

