0	08/2013		Fresia	Cacciatori	Venturini
Revisione	Data	Oggetto revisione	Redatto	Verificato	Approvato

REGIONE LIGURIA PROVINCIA DI GENOVA COMUNE DI GENOVA

PROTOCOLLO D'INTESA PER GLI INTERVENTI STRUTTURALI VOLTI ALLA MITIGAZIONE DELL'EMERGENZA IDRAULICA DEL BACINO DEL TORRENTE BISAGNO, ALLA RIDEFINIZIONE URBANISTICA DEL TRATTO TERMINALE ED ALLA RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE DELL'ALVEO E DELLE AREE CIRCOSTANTI

COMUNE DI GENOVA

AREA TECNICA - DIREZIONE MANUTENZIONE INFRASTRUTTURE E VERDE PUBBLICO

Dirigente **Ing. Stefano PINASCO**

PROGETTISTI:

A.T.I.

TECHNITAL S.p.A. (Capogruppo mandataria)
STUDIO MAIONE INGEGNERI ASSOCIATI
SGI STUDIO GALLI INGEGNERIA S.p.A.
ARTELIA GROUP S.A.

RESPONSABILE UNICO PROCEDIMENTO **Ing. Stefano PINASCO**

Staff tecnico

TECHNITAL S.p.A. (Capogruppo mandataria)
Ing. A.Scotti - Ing. S. Venturini
STUDIO MAIONE INGEGNERI ASSOCIATI
Ing. D Cerlini - Ing. M. Ferrari
SGI STUDIO GALLI INGEGNERIA S.p.A.
Ing. A.Galli - Ing. U. Galli
ARTELIA GROUP S.A.
Mr. O. Cazaillet

Intervento/Opera

SCOLMATORE DEL TORRENTE BISAGNO IN COMUNE DI GENOVA
PRIMO LOTTO: REALIZZAZIONE DELLE OPERE PER LA MESSA IN SICUREZZA IDRAULICA DEL TORRENTE FEREGGIANO (E RIVI ROVARE E NOCE)

Elaborato
TECHNITAL S.p.A.

Dott. Ing. Simone Venturini

Oggetto della tavola

RELAZIONI TECNICHE
Relazione idrogeologica

Scala

Data
Agosto 2013

Progetto Definitivo

Tavola N° PD1.RG.03

Codice GULP	Codice Commessa Precedente	Revisione
12383	DSU100	0

I DISEGNI E LE INFORMAZIONI IN ESSI CONTENUTE SONO PROPRIETA' ESCLUSIVA DEL COMUNE DI GENOVA E NON POSSONO ESSERE MODIFICATI, RIPRODOTTI, RESI PUBBLICI O UTILIZZATI PER USI DIFFERENTI DA QUELLI PER CUI SONO STATI REDATTI, SALVO AUTORIZZAZIONE SCRITTA.

RELAZIONE IDROGEOLOGICA

I N D I C E

1. INTRODUZIONE 8
2. OGGETTO E SCOPO 11
3. INDAGINI GEOGNOSTICHE 12
4. DESCRIZIONE DEL TRACCIATO 19
5. PROFILO GEOLOGICO 21
6. PIEZOMETRI, POZZI E SORGENTI 23
   - 6.1. Piezometri 23
   - 6.2. Sorgenti e pozzi 26
7. L'ESISTENTE GALLERIA DEL FEREGGIANO 31
8. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO 33
9. PROFILO PIEZOMETRICO – PERMEABILITÀ DELLA ROCCIA 38
   - 9.1. Profilo piezometrico 38
   - 9.2. Permeabilità della roccia 39
10. SEZIONI COSTRUTTIVE E SEZIONI DI DRENAGGIO 41
    - 10.1. Descrizioni sezioni tipo e sezioni di drenaggio 41
    - 10.2. Distribuzione sezioni tipo lungo il profilo 46
11. VALUTAZIONE IDROGEOLOGICA 47
    - 11.1. Distribuzione delle sezioni idrogeologiche lungo il profilo 47
    - 11.2. Pressioni e portate in galleria 49
    - 11.3. Influenza sul profilo piezometrico 52
    - 11.4. Interferenze 55
12. MISURE CORRETTIVE 57
13. MONITORAGGIO 58
14. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI 60

APPENDICE 1 – Fotografie.

APPENDICE 2 – Sintesi del procedimento di calcolo portate e pressioni sui rivestimenti.

APPENDICE 3 – Sintesi del procedimento di calcolo del bilancio idrogeologico.

APPENDICE 4 – Valutazione portate e pressioni agenti sui rivestimenti.

APPENDICE 5 – Valutazione del bilancio idrogeologico.

APPENDICE 6 – Stratigrafie dei pozzi.

INDICE TABELLE E FIGURE

Tabella 3.1 Campagna d'indagine progetto definitivo – Installazioni piezometriche 14
Tabella 3.2 Indagini pregresse – Sondaggi con misurazione del livello della falda 14
Tabella 3.3 Prove Lugeon effettuate per il progetto definitivo della galleria del Bisagno 16
Tabella 3.4 Prove Lugeon effettuate per conto Italstrade nel 2/1989. 16
Tabella 3.5 Prove di cementazione 17
Tabella 6.1 Letture Piezometriche sui sondaggi del progetto definitivo 25
Tabella 6.2 Livelli idrici riscontrati nelle indagini pregresse. 26
Tabella 6. Sorgenti. 27
Tabella 6.4 Pozzi. 29
Tabella 8.1 Analisi chimiche su campioni d'acqua prelevati dai piezometri. 35
Tabella 10.1. Coefficiente di trasmissività del dreno nelle diverse sezioni e relativa variazione nel tempo 46

Fig 1 Sezione tipo 0 43
Fig 2 Sezione tipo 2 45

DOCUMENTAZIONE TECNICA DI RIFERIMENTO

DOCUMENTAZIONE TECNICA DI RIFERIMENTO:

Febbraio 1989. Comune di Genova. C.I.L.T. (Consorzio Iniziative Liguri – Toscane). Progetto del deviatore del torrente Fereggiano, redatto dall'ufficio tecnico Italstrade S.p.A. Progettazione idraulica e strutturale: Prof. Ing. Luigi Da Deppo, Prof. Ing. Claudio Datei, Prof. Ing. Guido Furlanetto. Consulente per idrologia e idraulica: Hydro Co (Genova). Consulente per geologia e geomeccanica: Prof. Dott. Alfonso Bellini. Consulente per la parte ambientale: ITER S.r.l. (Genova).

Settembre 1992. Comune di Genova. C.I.L.T. (Consorzio Iniziative Liguri – Toscane). Progetto del deviatore del torrente Fereggiano. Perizia di variante tecnica senza aumento di spesa.

Giugno 1997. Comune di Genova. C.I.L.T. (Consorzio Iniziative Liguri – Toscane). Disegni di contabilità del progetto del deviatore del torrente Fereggiano.

Luglio 1997. Comune di Genova. Dipartimento VII Servizio Opere Pubbliche. Secondo stato di avanzamento per lavori a tutto il 17.06.1992. Relazione del Direttore dei Lavori.

Febbraio 1997. Comune di Genova. Dipartimento VII della programmazione e degli interventi sul territorio. Servizio strade. Verbale di visita. Relazione e certificato di collaudo relativo ai lavori di rivestimento definitivo della calotta del tratto di galleria del tipo 1 tra le pk 16,25 – 96,83. Collaudatori Prof. Ing. Giorgio Berardi, Prof. Dott. Stani Giammarino, Prof. Ing. Luciano Mascia, Prof. Ing. Sandro Stura. CART. N° 6848.

Settembre 1997. Comune di Genova. Dipartimento VII della programmazione e degli interventi sul territorio. Servizio strade. Verbale di visita. Relazione e certificato di collaudo relativo ai lavori di rivestimento definitivo della calotta del tratto di galleria del tipo 2 realizzato mediante fresa full face. Collaudatori Prof. Ing. Giorgio Berardi, Prof. Dott. Stani Giammarino, Prof. Ing. Luciano Mascia, Prof. Ing. Sandro Stura. CART. N° 6768.

Marzo 2000. Comune di Genova. Direzione Servizi. Verbale di visita. Relazione e certificato di collaudo dell'opera. Collaudatori Prof Ing Giorgio Berardi, Prof Dott Stani Giammarino, Prof. Ing. Luciano Mascia, Prof. Ing. Sandro Stura.

Luglio 2000. ATI Binnie Black & Vetach – Geodata – D'Appolonia. Canale scolmatore a servizio del Torrente Bisagno in Comune di Genova. Progetto Preliminare. Provincia di Genova.

Ottobre 2002. ENKI. Caratterizzazione geomeccanica di sottosuolo in supporto alla progettazione di opere in microtunnelling presso l'area ospedaliera San Martino, Genova. AMGA SASTER PIPE.

1980 – 2003. Indagini geognostiche relative a lavori pubblici e privati ricadenti nell'area d'interesse progettuale fornite dalla banca dati del Comune di Genova.

Agosto 2004. ATI Technital, Sogreah, Studio Maione, Studio Galli. Campagna di indagine geologico – geomeccanica: studio geologico preliminare; specifiche tecniche ed elaborati grafici delle indagini. Progetto definitivo dello scolmatore del torrente Bisagno in Comune di Genova. Provincia di Genova.

Agosto 2006. ATI Technital, Sogreah, Studio Maione, Studio Galli. Progetto definitivo dello scolmatore del torrente Bisagno in Comune di Genova. Provincia di Genova.

PROGETTO DEFINITIVO DELLO SCOLMATORE DEL TORRENTE FEREGGIANO. PRIMO LOTTO
CAMPAGNA DI INDAGINI GEOLOGICO – GEOTECNICHE

Codice	Titolo
PD1 DS 580	Planimetria generale con ubicazione delle indagini
PD1 DS 581	Opera di sbocco. Planimetria con ubicazione delle indagini
PD1 DS 582	Carta degli affioramenti
PD1 DS 583	Relazione illustrativa
PD1 DS 584	Stratigrafie sondaggi geognostici

PD1 DS 585	Stratigrafie sondaggi geognostici - Rilievo discontinuità
PD1 DS 586	Documentazione fotografica sondaggi
PD1 DS 587	Rilievi geostrutturali
PD1 DS 588	Prove in sito
PD1 DS 589	Sismica a rifrazione
PD1 DS 590	Sismica a mare
PD1 DS 591	Rilievi della falda ed analisi chimiche delle acque
PD1 DS 592	Analisi e prove di laboratorio volume 1.
PD1 DS 593	Analisi e prove di laboratorio volume 2.

PROGETTO DEFINITIVO DELLO SCOLMATORE DEL TORRENTE FEREGGIANO. PRIMO LOTTO
GEOLOGIA E GEOTECNICA

Codice	Titolo
PD1 RG 01	Relazione geologica
PD1 RG 02	Relazione geomorfologica
PD1 RG 04	Relazione geomeccanica e geotecnica
PD1 RG 05	Relazione sulla galleria esistente del Fereggiano
PD1 DS 550	Carta geologica
PD1 DS 551	Opera di sbocco - Carta geologica
PD1 DS 552	Carta geomorfologica
PD1 DS 553	Carta idrogeologica
PD1 DS 554	Profilo geologico galleria del Fereggiano e opera di presa
PD1 DS 555	Profilo geologico galleria del Rovare e opera di presa
PD1 DS 556	Sezione geologica A
PD1 DS 557	Sezione geologica B
PD1 DS 558	Profilo geologico galleria del Noce e opera di presa. Sezione geologica C
PD1 DS 559	Profilo geomeccanico galleria del Fereggiano
PD1 DS 560	Profilo geomeccanico galleria del Rovare
PD1 DS 561	Profilo geomeccanico galleria del Noce
PD1 DS 562	Profilo geomeccanico idrogeologico galleria del Fereggiano
PD1 DS 563	Profilo geomeccanico idrogeologico galleria del Rovare
PD1 DS 564	Profilo geomeccanico idrogeologico galleria del Noce

ELENCO DEI SIMBOLI

b = raggio del profilo di scavo della galleria – m

a = raggio del profilo di intradosso della galleria - m

h = copertura - m

h_o = carico piezometrico iniziale - m

$h(t)$ = carico piezometrico in regime di flusso transitorio

h_i = carico idraulico all'estradosso della galleria – m

n = indice di porosità dell'ammasso roccioso.

k_m = coefficiente di permeabilità dell'ammasso roccioso - m/s

k_L = coefficiente di permeabilità del rivestimento di prima fase - m/s

k_d = coefficiente di permeabilità del dreno (tnt) - m/s

k_{rd} = coefficiente di permeabilità del rivestimento definitivo - m/s

k_{mv} = permeabilità modificata - m/s

ε = coefficiente di infiltrazione - m/anno

θ = trasmissività del dreno - m^2/s

s = spessore del dreno - m -

i = gradiente idraulico

σ_r = pressione radiale applicata dall'ammasso al prerivestimento

h_i = carico piezometrico nel dreno sul rivestimento definitivo

h_1 = carico piezometrico a tergo del rivestimento di prima fase

q = portata per metro lineare - (l/s)/m

Q = portata complessiva per tratta omogenea – m^3/sec

q_o = portata naturale in galleria

q_L = portata in presenza del prerivestimento

q_d = portata nel dreno

1. INTRODUZIONE

Il presente documento costituisce la Relazione Idrogeologica del progetto definitivo delle opere di laminazione e controllo delle piene dei rii Fereggiano, Rovare e Noce. Trattasi del Primo Lotto del Progetto Definitivo Generale, datato 2007, relativo al torrente Bisagno ed ai suoi affluenti Fereggiano, Rovare e Noce, in questa sede adeguato anche al fine di destinare il prolungamento dell'esistente galleria del deviatore Fereggiano (costruita nel 1992 senza arrivare a completamento) non a galleria di servizio dello scolmatore del Bisagno (come previsto nel PD 2007) bensì a galleria idraulica a servizio dello scolmatore del Fereggiano, Rovare e Noce.
Il presente progetto di Primo Lotto trova motivazione nella determinazione del Comune di Genova di avviare il più celermente possibile la realizzazione di alcune opere urgenti onde porre in sicurezza idraulica le zone (fra cui in particolare quella del rio Fereggiano) che nell'evento alluvionale del 4 Novembre 2011 furono più duramente colpite, anche con perdita di vite umane.

Lo schema delle opere previste in progetto è il seguente:

- prolungamento dell'esistente galleria del deviatore del Fereggiano dall'attuale progressiva 0+909 alla progressiva 3717;
- n. 3 opere di presa sui rii Fereggiano, Rovare e Noce collegate alla galleria principale; la prima in modo diretto, le altre due attraverso gallerie secondarie a sezione policentrica, diametro interno 3,20 m, la cui lunghezza complessiva somma a circa 500 m;
- n° 4 aerofori/sfiati in corrispondenza della galleria principale, e n° 1 su ciascuna delle opere di presa;
- opera di sbocco a mare, comprensiva di un tratto di raccordo avente lo scopo di abbassare le quote di scorrimento dell'opera attuale in modo da non impattare con le strutture litoranee.

La galleria principale, compresa fra l'opera di presa sul Fereggiano (in Via Pinetti) e lo sbocco a mare (all'altezza dei bagni Benvenuto) si sviluppa con decorso circa nord - sud. Ha sezione policentrica con diametro interno netto di 5,20 m (analogo alla galleria esistente, che però ha sezione circolare) e le seguenti caratteristiche geometriche:

- sezione tipo policentrica con diametro: 5,20 m

- lunghezza complessiva: 909 + 2.808 = 3.717 m
- quota all'imbocco a monte: 12,99 m s.m.m.
- quota al filo esterno di C.so Italia: - 2,82 m s.m.m.
- portata di progetto dal Fereggiano (progr. 3.717 m): 80 m3/s

Le ubicazioni degli aerofori lungo la galleria principale, definite cercando un compromesso fra l'inserimento nel tessuto urbano e le esigenze idrauliche, sono:

- Giardini Casu – progressiva 870 (tratto galleria esistente)
- Via Forte san Martino – progressiva 1.730 m
- Giardini dell'Ospedale Generale san Martino – progressiva 2.370 m
- Via Pasquale Berghini – progressiva 2.900 m

La tipologia adottata per le tre opere di presa è quella delle luci e soglie. Il collegamento con la galleria di derivazione avviene mediante un pozzo a vortice che permette di superare i notevoli dislivelli tra la quota del corso d'acqua e la galleria, garantendo al contempo efficienza idraulica e dissipazione dell'energia. Sul fondo della struttura è prevista una vasca atta a dissipare energia e rilasciare l'aria eventualmente trascinata dalla corrente.
Ogni manufatto di presa è inoltre dotato di una scala di servizio utile per accedere all'opera in condizioni di sicurezza favorendo al contempo le operazioni d'ispezione e manutenzione.

Le indagini svolte hanno permesso di caratterizzare i terreni interessati dalle opere e valutarne le relative caratteristiche idrogeologiche.
La galleria attraversa depositi calcarei permeabili per fratturazione sede di circuiti idraulici condizionati dalle caratteristiche (orientazione, apertura, densità ecc) delle discontinuità presenti.

I dati acquisiti indicano una discreta correlazione tra morfologia, assetto geologico stratigrafico e direzione del flusso sotterraneo.

Per la definizione della superficie piezometrica che descrive l'acquifero lungo il tragitto delle opere in sotterraneo sono stati raccolti i dati relativi a letture piezometriche eseguite nel corso di numerose campagne d'indagine e precisamente:

- campagna d'indagine del 2005;
- indagini pregresse disponibili e provenienti da più fonti.

Questi dati hanno permesso di individuare la superficie piezometrica lungo l'asse di progetto.

Attraverso sopralluoghi e ricerche bibliografiche sono stati censiti i punti di emergenza della falda quali le sorgenti, ed i punti di emungimento ovvero i pozzi.

2. OGGETTO E SCOPO

Oggetto del presente rapporto è la valutazione e descrizione delle principali caratteristiche idrogeologiche dei terreni presenti lungo l'asse di progetto.
In base alle informazioni ricavate sono stati valutati gli effetti prodotti dalle opere in sotterraneo sull'assetto idrogeologico del territorio attraversato.

Lo scopo è quello d'individuare le possibili interazioni fra le opere e l'assetto idrogeologico della porzione di territorio attraversato, sia durante gli scavi sia nella fase post opera. Particolare attenzione è data alla definizione della tipologia di drenaggio più opportuna da prevedere in galleria allo scopo di soddisfare il criterio di stabilità dei rivestimenti, valutando e minimizzando la perturbazione con la superficie piezometrica.
Lo studio definisce inoltre le attività di monitoraggio da eseguire prima, durante e dopo la costruzione, nonché le misure correttive da adottare per affrontare e risolvere situazioni particolari.

3. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Attraverso la banca dati del Comune di Genova sono state acquisite le indagini geognostiche disponibili nell'intorno dell'area d'interesse progettuale; altri e diversi dati attinenti indagini pregresse disponibili in zona sono state acquisite successivamente dal gruppo di progettazione.
Nel complesso si tratta di indagini relative ad opere, pubbliche e private, rappresentate principalmente da sondaggi geognostici a carotaggio continuo di profondità variabile fra 8 – 90 m dal p.c., analisi e prove di laboratorio su campioni, rilievi della falda e prove in sito. Fra i dati disponibili spiccano per importanza quelli relativi alle indagini realizzate per il "deviatore del Fereggiano" nel 1989 da ITALSTRADE, nonché quelli per la "progettazione di opere in microtunnel nei pressi dell'area ospedaliera San Martino".

Ad integrazione dei dati disponibili nel periodo compreso fra gennaio ed agosto 2005 è stata condotta, da parte delle ditte PRO.MO.GEO. – GET incaricate dal gruppo di progettazione, una specifica campagna geognostica. Con riferimento alle opere di cui al primo stralcio essa risulta così costituita:

- rilievi geologici, geomeccanici, geomorfologici ed idrogeologici lungo il tracciato ed in un intorno ritenuto significativo;
- n° 2 traverse sismiche a terra per complessivi 115 m di stendimento;
- n° 7 traverse (rotte) sismiche a mare per complessivi 3.575 m di stendimento;
- n° 5 sondaggi geognostici (numerati da S1D a S5D) di profondità compresa fra 65 e 90 m, per complessivi 390 m di perforazione, di cui oltre l'86% con l'ausilio di corona diamantata. Tutti i sondaggi sono attrezzati con piezometro;
- ulteriori n° 3 sondaggi, con numerazione da S6D ad S8D, sono posizionati più a nord rispetto alla galleria del Fereggiano (quindi esterni alle aree di competenza del primo lotto);
- prove in sito sui fori di sondaggio (SPT, Lugeon, down hole, dilatometriche, di cementazione in foro);
- prove di laboratorio su campioni di terra e roccia prelevati nel corso delle indagini (analisi granulometriche, contenuto d'acqua, limiti di Atterberg, analisi petrografica su sezione sottile, analisi difrattometrica e chimica, point load, prove di compressione semplice strumentate e

non strumentate, prove di trazione “brasiliana” e prove triassiali su campioni di roccia).

Le indagini di cui sopra, raccolte in specifici elaborati allegati al progetto, sono commentate più dettagliatamente nella relazione geologica e nella relazione geomeccanica – geotecnica cui si rimanda per maggiori approfondimenti.

In breve i dati geognostici complessivamente disponibili vengono così suddivisi:

1. sondaggi eseguiti in occasione della specifica campagna d’indagine del 2005;
2. sondaggi pregressi eseguiti per conto dell’AMGA nei pressi dell’area ospedaliera di San Martino (anno 2002);
3. sondaggi pregressi eseguiti da ITALSTRADE per la progettazione della galleria del Fereggiano (anno 1989);
4. sondaggi pregressi (fonte: banca dati Comune di Genova).

Le indagini di cui al punto 4 sono generalmente relative a progetti residenziali di modesta entità.
In tutti i casi le stratigrafie delle indagini pregresse, ubicate spesso in aree fortemente urbanizzate ed in assenza di affioramenti superficiali, permettono di ricondurre le litologie attraversate alle unità di appartenenza (depositi superficiali, depositi alluvionali, Flysch di Monte Antola, Argilliti di Montoggio, Argille di Ortovero).
Sulle colonne stratigrafiche sono elencati i risultati di prove eseguite durante il corso delle perforazioni; in altri casi sono disponibili i certificati relativi a prove in sito (essenzialmente prove di permeabilità) e/o di laboratorio. Per alcuni sondaggi sono disponibili anche i livelli idrici della falda.

La campagna d’indagine del 2005 è stata programmata con lo scopo di fornire informazioni di maggior dettaglio sulla natura e sulle caratteristiche idrogeologiche e geomeccaniche delle formazioni incontrate.
L’istallazione all’interno dei fori di sondaggio di piezometri del tipo a tubo aperto ha permesso la misura del livello medio di falda in differenti momenti. Tali informazioni, unite alle evidenze idriche rilevate nel corso dei sopraluoghi, sono state utilizzate nella ricostruzione del profilo piezometrico lungo l’asse della galleria.

Più in dettaglio la tabella 3.1 riassume i sondaggi eseguiti nella campagna geognostica del 2005 dettagliando le caratteristiche dei piezometri installati, mentre la tabella 3.2 è relativa alle indagini pregresse di cui si dispone di dati piezometrici. Per un elenco completo dei sondaggi pregressi si rimanda alla relazione geologica.
L'ubicazione planimetrica di tutte le verticali d'indagine è riportata nelle specifiche tavole allegate al progetto.

Tabella 3.1 Campagna d'indagine 2005
Installazioni piezometriche

Sondaggio	Lunghezza	Note sul piezometro (a tubo aperto).
S1D	85	Fenestrato da 70 a 80m
S2D	70	Fenestrato da 67 a 70m
S3D	90	Fenestrato da 3 a 30m
S4D	80	Fenestrato da 65 a 75m
S5D	65	Fenestrato da 62 a 65 m

Tabella 3.2 Indagini pregresse
Sondaggi con misurazione del livello della falda

Sigla Sondaggio	Profondità perforazione (m da p.c.)	Sigla Sondaggio	Profondità perforazione (m da p.c.)	Sigla Sondaggio	Profondità perforazione (m da p.c.)
SF8	25	3121/S6	12.20	3249/S4	10
4277/S5	13	SF5	60	3249/S5	10
119/S4		3372/S12	15	3249/S7	10
4276/S3	11.50	3372/S8	10	3249/S6	10
4276/S2	10.50	3372/S9	13.10	3169/S5	20
171/S1	8	3372/S4	15	3169/S3	15
171/S2	8.2	3372/S6	10	3169/S1	20
3110/S1	22.5	3372/S3	15	3169/S2	15
3110/S2	22.5	3372/S7	15	3007/S17	20
SF6	60	3195/S3	15	3007/S15	20
3121/S1	8	SF4	90	3007/S16	20
3121/SS1	13	3092/S37	20	3104/S2	20
3121/S3	10.50	3092/S39	25	3104/S3	20
3121/SS3	10	3249/S1	10	3104/S1	20
3121/S4	11.50	3249/S2	8.70	SA3	25
3121/S5	12.00	3249/S3	10		

In giallo in tabella 3.2 sono indicate le indagini relative al deviatore del Fereggiano (campagna ITALSTRADE 1989).

Tutti i piezometri disponibili lungo l'area d'interesse progettuale, ed in particolar modo quelli ubicati in prossimità delle gallerie, sono riportati nelle tavole relative al profilo geologico, al profilo geomeccanico ed idrogeologico. In particolare è stato raffigurato, in corrispondenza del profilo delle gallerie, il tratto investigato dalla perforazione ed il livello medio della falda misurato nel tempo.

Come già anticipato per le diverse indagini pregresse sono talvolta disponibili dati relativi a diverse prove in sito fra cui, in particolare, prove d'assorbimento d'acqua in foro di sondaggio (prove Lugeon) condotte all'interno dei calcari marnosi del Flysch di Monte Antola.

Secondo specifica nelle indagini del 2005 le prove Lugeon sono state eseguite in avanzamento, con un solo packer, in modo da garantire una maggiore attendibilità del risultato. In questo modo, infatti, l'eventuale "aggiramento" del packer stesso da parte dell'acqua iniettata viene segnalato da una risalita del livello idrico nel foro, evento questo che determina l'annullamento della prova. Il tratto testato ha una lunghezza compresa fra 3 – 5 m, ed è pari ad 1 m in un solo caso. Le pressioni d'iniezione sono comprese fra un minimo di 10,99 ed un massimo di 36,6 t/m^2. In quasi tutti i casi la curva *portate assorbite – pressioni* evidenzia una concavità che segnala l'aumento degli assorbimenti all'aumentare delle pressioni; tale comportamento è correlabile con un allargamento delle fratture o, più probabilmente, con una pulizia delle stesse. E' evidente altresì come il grafico dei gradini di portata in ritorno sia generalmente superiore a quello in andata, a conferma dell'avvenuta pulizia delle fessure.

La tabella 3.3 riporta i risultati delle prove in argomento con i valori relativi alle Unità Lugeon, ottenuti non matematicamente bensì per interpolazione grafica dei diagrammi di prova.

I dati acquisiti possono essere integrati dagli esiti delle prove Lugeon eseguite nell'ambito della campagna geognostica ITALSTRADE del 1989, riassunte in tabella 3.4.

Nel complesso ed in linea generale è possibile osservare un'ottima correlazione fra i risultati ottenuti nelle due distinte campagne d'indagine.

Tabella 3.3 Prove Lugeon effettuate nel 2005

Sondaggio	Profondità (m)	Formazione	RQD (%)	UL (Unità Lugeon)	K m/sec	Note
S1D	80 – 83	Flysch di Monte Antola	54 - 78	0,37	3,70E-08	Materiale moderatamente fratturato
S2D	58 – 61	Flysch di Monte Antola	85 - 90	0,79	7,90E-08	Materiale integro o poco fratturato
S3D	68 – 73	Flysch di Monte Antola	29 - 71	3	3,00E-07	Materiale da poco a molto fratturato con intercalazioni argillitiche
S3D (*)	68 - 73	Flysch di Monte Antola	29 - 71	0,23	2,30E-08	Prova ripetuta dopo cementazione
S 8D	54,5 – 55,5	Flysch di Monte Antola	34 - 61	6,4	6,40E-07	Materiale fratturato, localmente molto fratturato
S 8D	64 – 67	Flysch di Monte Antola	49 - 10	4,85	4,9E-07	Materiale molto fratturato a tratti brecciato

(*) Lugeon ripetuta dopo prova di cementazione del foro
Sondaggio S8D esterno all'area di stretto interesse progettuale, ma eseguito nei medesimi terreni (Flysch Monte Antola)

Tabella 3.4 Prove Lugeon effettuate per conto Italstrade nel 2/1989.

Sondaggio	Profondità (m)	Formazione	RQD (%)	UL (Unità Lugeon)	K m/sec	Note
SF 4	60 – 65	Flysch di Monte Antola	75	0,42	4,2E-08	Perforazione a distruzione; RQD stimato
SF 4	71 – 76	Flysch di Monte Antola	30 - 68	0,05	5E-09	Intercalazioni di marna; materiale fratturato per 3 m
SF 4	80 – 85	Flysch di Monte Antola	60 - 80	0,22	2,2E-08	Materiale moderatamente fratturato
SF 5	31 - 36,7	Flysch di Monte Antola	60	0,13	1,3E-08	Materiale poco fratturato
SF 5	42,5 – 47,5	Flysch di Monte Antola	75 - 85	0,7	7E-08	Materiale poco fratturato
SF 5	50 – 55	Flysch di Monte Antola	15 - 25	0,93	9,3E-08	Materiale fratturato lungo tutta la tratta
SF 5	55 – 60	Flysch di Monte Antola	36 - 44	1	1E-07	Materiale fratturato lungo tutta la tratta
SF 6	46 – 51	Argille di Ortovero	86 - 95	0,048	4,8E-09	Materiale da integro a poco fraturato
SF 6	55 – 60	Flysch di Monte Antola	40 - 45	13	1,3E-06	Materiale fratturato con presenza di livelli di breccia
SF 8	6,5 – 11,5	Flysch di Monte Antola	70	35,5	3,6E-06	Materiale poco fratturato ma in condizioni di modesta copertura
SF 8	15 – 20	Flysch di Monte Antola	65 - 79	0,88	8,8E-08	Materiale poco fratturato
SF 8	20 – 25	Flysch di Monte Antola	50 - 93	3,4	3,4E-07	Materiale da fratturato (20-22,5) a poco fratturato

Le tabelle 3.3 e 3.4 riportano, per ciascuna prova, anche il valore dell'RQD come elemento per la valutazione dello stato di fratturazione della roccia. Com'è logico attendersi permeabilità dell'ammasso e stato di fratturazione sono strettamente

correlati, ed infatti alle tratte maggiormente fratturate (RQD minore) corrispondono le maggiori permeabilità. Questo però non è sempre vero ed in alcuni casi si hanno valori di permeabilità elevati, o relativamente tali in relazione al tipo di materiale, anche in presenza di materiale poco fratturato. Tale condizione può essere spiegata con la presenza di un numero ridotto di fratture (al limite anche solo una) in corrispondenza delle quali, se sufficientemente aperte, può esservi un discreto assorbimento d'acqua.
L'insieme dei dati acquisiti evidenzia come possano esservi locali contesti a maggiore permeabilità anche al di fuori delle zone di maggior fratturazione (faglie) la cui esatta ubicazione lungo il profilo della galleria non è determinabile a priori.

Durante il corso dell'indagine è stata individuata, a seguito della prova Lugeon nel sondaggio S3D, una tratta la cui permeabilità può essere ritenuta rappresentativa dell'alternanza calcareo marnosa del Flysch di Monte Antola in facies molto fratturata. In corrispondenza di questo intervallo di profondità, compreso fra 68 – 73 m da p.c., è stata eseguita una prova d'iniezione in foro con cemento ultrafine registrando gli assorbimenti indicati in tabella 3.5.

Tabella 3.5 Prove di cementazione

Sondaggio S3D			Prova di cementazione in foro	
Data: 02/08/2005			Tratto di prova: 68 - 73m da p.c.	
Cemento: Portland 425 ultrafine			Rapporto a/c: 1/5	
Tempo (min)	Miscela assorbita (l)	Portata (l/min)	Miscela totale (l)	Portata unitaria (l/min/m)
5	105	21,00	105	4,20
10	90	18,00	195	3,60
15	85	17,00	280	3,40
20	75	15,00	355	3,00
25	65	13,00	420	2,60
30	60	12,00	480	2,40
35	50	10,00	530	2,00
40	30	6,00	560	1,20
45	20	4,00	580	0,80
60	10	0,67	590	0,13
65	5	1,00	595	0,20
70	5	1,00	600	0,20

La prova, in particolare, ha dimostrato la buona iniettabilità della roccia.

Effettuando infine una seconda prova Lugeon sulla stesa tratta si è potuta verificare sperimentalmente la riduzione della permeabilità attesa a seguito dell'iniezione.

Come si evince dai risultati riportati in tabella 3.3 la riduzione di permeabilità nel Flysch di Monte Antola a seguito di una fase d'iniezione cementizia è di almeno un ordine di grandezza.

4. DESCRIZIONE DEL TRACCIATO

Lo scolmatore del Fereggiano si compone delle seguenti parti:

- **galleria di adduzione** delle acque di piena lunga 3.717,155 m, a sezione policentrica con diametro interno di circa 5,20 m.;
- **n° 3 opere di presa** per intercettare le acque dei rii Fereggiano, Rovare e Noce. La tipologia delle opere prevede che la portata destinata a proseguire in alveo sia derivata tramite una luce di fondo, mentre quella in eccesso viene sfiorata mediante una soglia. Un pozzo a vortice ed una galleria di collegamento mettono in comunicazione le opere di presa del Rovare e del Noce con la galleria principale;
- **opera di restituzione a mare**, posta a sud del Forte di San Giuliano e dimensionata in maniera tale da mantenere la fruibilità della costa nel tratto attraversato dalla galleria.

Procedendo con una descrizione da monte verso valle la galleria principale ha inizio in corrispondenza dell'opera di presa sul torrente Fereggiano, posta in prossimità di Via Pinetti e della Salita Ginestrato; la portata qui derivata confluisce direttamente nella galleria principale alla progressiva 3.171,155.
Dalla progressiva 3.000 m inizia il tratto urbanizzato che si sviluppa quasi senza interruzione sino a mare. In prossimità di via Donghi, ad W della progressiva 2.800 m., è posizionata l'opera di presa sul Rio Rovare, le cui acque confluiscono in galleria alla progressiva 2.700 m tramite un tunnel di collegamento. Raggiunto l'Ospedale di San Martino la galleria devia verso SW per ricollegarsi, alla progressiva 909 m circa, con la parte di galleria del Fereggiano già realizzata da ITALSTRADE nel 1993.
Fra le progressive 1.450 – 1.700 m. circa la galleria è sulla verticale del Forte di San Martino ed interseca, mantenendo un minimo franco di sicurezza, le gallerie ferroviarie della linea Genova – La Spezia.
In prossimità di Via San Benedetto, angolo Corso Europa, è ubicata l'opera di presa del Rio Noce la cui portata confluisce in galleria alla progressiva 1.700 m circa tramite un secondo tunnel di collegamento.
Lo sbocco a mare avviene all'altezza dei Bagni Squash, una volta superato in sotterraneo il Forte di san Giuliano e Corso Italia. L'opera di restituzione a mare prevede, rispetto alla galleria esistente, la realizzazione di uno "scivolo" in modo da

abbassare la quota di scorrimento dell'acqua e favorire il ripristino e la funzionalità della riva.

5. PROFILO GEOLOGICO

Il profilo geologico della galleria e delle opere minori è rappresentato negli elaborati grafici allegati al progetto. Di seguito viene fornita una prima descrizione; per maggiori dettagli sull'argomento si rimanda alla relazione geologica.

Galleria di adduzione

Partendo dall'opera di presa la galleria si sviluppa nella Formazione del Flysch di Monte Antola (FMA) in strati o banchi di spessore variabile da decimetrico a plurimetrico.

Il FMA può essere sinteticamente descritto come una formazione torbiditica rappresentata da calcareniti, calcari marnosi (prevalenti) e marne calcaree; sono presenti anche intercalazioni spiccatamente argillitiche di spessore modesto. Lo stato di fratturazione generale è medio; in quest'ambito le indagini evidenziano la presenza di zone da mediamente a poco/per nulla fratturate (RQD 70% – 95% con punte del 100%) intervallati da episodi di spessore metrico con materiale ridotto a breccia (RQD 0%).

In corrispondenza dell'ospedale di San Martino i dati disponibili, con particolare riferimento al progetto preliminare del Bisagno ed al progetto del Fereggiano - 1989 ITALSTRADE, facevano supporre l'attraversamento di marne argillose ed argille marnose di età pliocenica appartenenti alla Formazione delle Argille di Ortovero. La presenza di tali depositi è imputabile ad un graben, ovvero una fossa tettonica entro la quale, ribassato il substrato, si sono depositate le argille in ambiente marino. Le indagini condotte, rappresentate dai sondaggi S5D ed S2D, pur confermando la presenza di tali argille hanno evidenziato come nell'area d'interesse progettuale il loro spessore non sia mai tale da interessare la galleria che, pertanto, rimane all'interno del Flysch di Monte Antola.

Proseguendo verso lo sbocco a mare il Flysch permane in affioramento (o sub affioramento) sino a Corso Italia superato il quale, sormontato da depositi di spiaggia e materiale di riporto, tende ad approfondirsi gradualmente. I sondaggi realizzati per la progettazione del Fereggiano denominati SF9 ed SF10, ed eseguiti direttamente sulla battigia, unitamente alle traverse sismiche recentemente eseguite, lo individuano a profondità comprese fra 6 e 8 m da p.c.

Opere di presa, gallerie di servizio e di collegamento

Le opere di presa con relativi pozzi saranno ubicate entro il Flysch di Monte Antola, spesso ricoperto da modesti spessori di materiale di copertura di origine prevalentemente antropica.
Solo in corrispondenza dell'opera di presa sul Rio Noce, ubicata lungo il margine meridionale della faglia che segna il limite fra Flysch di Monte Antola e Argille di Ortovero, si prevede l'attraversamento di un materiale costituito da frammenti e blocchi calcarei eterometrici a spigoli vivi immersi in matrice limoso argillosa, o limoso sabbiosa, esteso sino alla profondità di circa 18 m. Dall'alto verso il basso la presenza di inclusioni e frammenti lapidei aumenta in maniera evidente anche se, nella stessa tratta, potranno essere presenti parti dello scavo sia a prevalenza argillosa sia a prevalenza calcarea. Al di sotto della profondità indicata sarà presente la normale successione del Flysch di Monte Antola mediamente fratturato.

Scarico a mare

Il tratto prossimo alla linea di costa, nonché quello a mare, è stato specificamente indagato mediante traverse sismiche a rifrazione ed a riflessione che integrano alcune terebrazioni geognostiche già disponibili.
Mentre lungo la spiaggia il substrato, ricoperto da depositi di spiaggia e materiali di riporto utilizzati per il ripascimento della costa, si trova ad una profondità media di circa 6-8 metri, in corrispondenza del tratto a mare lo spessore degli stessi depositi di copertura si dimezza.

6. PIEZOMETRI, POZZI E SORGENTI

Nel corso dei sopralluoghi condotti durante la campagna geognostica del 2005 si sono letti i piezometri posti in opera; per quanto attiene le indagini pregresse non riscontrando alcuna strumentazione ci si è avvalsi delle informazioni riportate nelle colonne stratigrafiche disponibili.
Ad integrazione di quest'attività è stato svolto un censimento delle risorse idriche quali sorgenti, pozzi e corsi d'acqua potenzialmente interessati dalla realizzazione delle gallerie.

Di seguito sono riportate alcune note relative ai piezometri nonché alle sorgenti e pozzi riscontrati nell'intorno delle opere in progetto.

6.1. Piezometri

Come anticipato in tutti i sondaggi eseguiti durante la campagna del 2005 è stato installato un piezometro a tubo aperto.
I sondaggi S6D – S7D, posti lungo il Bisagno all'altezza di Corso Adamoli, ed S8D posizionato lungo il Rio Mermi, si trovano più a nord rispetto alla galleria del Fereggiano. La descrizione di seguito proposta si sviluppa procedendo da nord verso sud con riferimento ai piezometri numerati da S1D ad S5D specificamente ricadenti nel primo lotto.

S4D
Il piezometro, oggi non più disponibile, era ubicato sul margine sinistro dell'incisione del Torrente Fereggiano, al limite di un piccolo spiazzo condominiale, poche centinaia di metri oltre l'opera di presa.
Durante la perforazione alla raggiunta la profondità di 66,00 m da p.c, (quindi poco sopra la zona di calotta della galleria) si è intercettata una falda idrica con risalienza pari a circa +3,00 m da p.c., e portata valutata in circa 1,5 l/sec. Ultimata la perforazione veniva estratta la batteria di aste; durante il fine settimana i lavori venivano interrotti e l'acqua poteva fuoriuscire liberamente. Al momento della posa del piezometro la falda sembrava aver perso vigore stabilizzandosi a pochi centimetri di profondità dal piano campagna. Installata la strumentazione trascorrevano solo pochi giorni prima che negli scantinati di un'abitazione posta a pochissimi metri in linea d'aria dal piezometro, ma ad una quota di alcuni metri più in basso, si manifestassero alcune macchie d'umidità sulle pareti. Al fine di ovviare

al problema il piezometro è stato estratto ed il foro completamente sigillato con boiacca di cemento.

S3D

Il piezometro è ubicato lungo il Rio Rovare alla progressiva 2.900 m circa, in un'area delimitata lateralmente da evidenti alti strutturali. Anche in questo caso raggiunta la profondità di circa 65,50 metri è stata intercettata una falda idrica con risalienza sino a circa +4,00 m da p.c. Ultimata la perforazione, e vista l'esperienza del sondaggio S4D, si è provveduto a sigillare la parte inferiore del foro mettendo in opera un piezometro limitatamente alla sola tratta compresa fra la profondità di 30 m e piano campagna. I rilievi eseguiti segnalano un livello idrico prossimo al p.c. senza variazioni apprezzabili nel tempo.

S2D

Il piezometro è ubicato in corrispondenza di un piccolo spiazzo a margine dell'accesso del pronto soccorso dell'Ospedale San Martino, a monte del tracciato ed all'altezza della progressiva 2.350 m. circa. La falda, riscontrata ad una profondità di circa 3 m da p.c., si dimostra moderatamente variabile nel tempo ed in sostanziale accordo con i rilievi idrici relativi alle numerose indagini pregresse disponibili in zona.

S5D

Il piezometro, il cui pozzetto si trova oggi coperto da una pavimentazione stradale di recente realizzazione, è ubicato all'interno del perimetro dell'Ospedale ma a valle del tracciato, all'altezza della progressiva 2.150 m circa. La falda, posta a profondità variabili fra 5 e 6 m da p.c. mostra oscillazioni aventi il medesimo andamento riscontrato nel vicino piezometro S2D.

S1D

Il piezometro è ubicato all'interno dell'area del Forte di San Martino in prossimità della progressiva 1.500 m circa. Fra tutti i piezometri eseguiti nel 2005 è quello in cui il livello idrico, sostanzialmente poco variabile nel tempo, si trova a profondità maggiore (55 m da p.c.).

In tabella 6.1 sono riportate le letture effettuate sui piezometri sopra citati nel corso della campagna d'indagine e, successivamente, per un periodo di circa un anno solare.

Tabella 6.1 Letture Piezometriche sui sondaggi del 2005

Sigla sondaggio	Profondità della falda (m da p.c.)									
	29/3/05	**21/4/05**	**5/5/05**	**19/5/05**	**14/6/05**	**15/7/05**	**5/8/05**	**23/9/05**	**29/9/05**	**15/5/06**
S1D		55,00				55,80	55,32	55,00		Inaccessibile
S2D		3,56	2,80	3,42	3,21	3,03	2,95		3,00	3,20
S3D							0,10	0,00		0,10
S4D					> p.c.	Sigillato	Sigillato	Sigillato	Sigillato	Sigillato
S5D		6,80	5,13	6,25	5,98	6,03	5,24	4,37		Coperto

SONDAGGI PREGRESSI

Le informazioni relative ai livelli idrici sulle indagini pregresse non sempre provengono da rilievi piezometrici; in alcuni casi infatti si tratta di informazioni estrapolate da misurazioni effettuate nel corso delle perforazioni.

In corrispondenza dell'Ospedale San Martino i rilievi disponibili si dimostrano compatibili con quanto ricavato dai sondaggi S2D ed S5D, segnalando la presenza di una falda a modesta profondità da p.c.

Particolarmente utili si dimostrano i rilievi idrici disponibili nella tratta compresa fra il Forte di San Martino (quindi fra il sondaggio S1D) e lo sbocco a mare. Qui i riscontri relativi al sondaggio SF8 del Fereggiano e quelli dei sondaggi 171/S1; 119/S4 e 4277/S5, si dimostrano fra loro congruenti ed in linea con il quadro generale delle informazioni disponibili.

Le altre verticali d'indagine, ubicate generalmente ad W del tracciato in condizioni morfologiche ed a quote sensibilmente diverse, causa anche gli elevati gradienti, risultano sostanzialmente di modesta utilità pratica anche se confermano, comunque, la presenza di livelli idrici a modesta profondità. In ogni caso la tabella 6.2 riassume i livelli idrici riscontrati nel corso delle diverse indagini pregresse.

Tabella 6.2 Livelli idrici riscontrati nelle indagini pregresse.

Sigla Sondaggio	Liv.falda (m da p.c.)	Sigla Sondaggio	Liv.falda (m da p.c.)	Sigla Sondaggio	Liv.falda (m da p.c.)
SF8	1.20	3121/S6	11.00	3249/S4	14.24
4277/S5	11.50	SF5	3.00	3249/S5	14.24
119/S4	2.50	3372/S12	5.10	3249/S7	3.50
4276/S3	21.36	3372/S8	5.00	3249/S6	19.12
4276/S2	5.40	3372/S9	3.30	3169/S5	4.00
171/S1	2.03	3372/S4	1.00	3169/S3	4.00
171/S2	1.08	3372/S6	5.20	3169/S1	7.50
3110/S1	5.00	3372/S3	14.24	3169/S2	4.00
3110/S2	7.20	3372/S7	5.40	3007/S17	8.00
SF6	11.00	3195/S3	8.20	3007/S15	6.00
3121/S1	3.50	SF4	12.00	3007/S16	19.12
3121/SS1	7.20	3092/S37	3.25	3104/S2	2.00
3121/S3	4.00	3092/S39	6.30	3104/S3	4.50
3121/SS3	5.00	3249/S1	16.48	3104/S1	1.50
3121/S4	19.12	3249/S2	6.40	SA3	>25
3121/S5	6.50	3249/S3	20.09		

In giallo sono indicate le indagini per il deviatore del Fereggiano

6.2. Sorgenti e pozzi

Le informazioni relative a pozzi e sorgenti sono state dedotte dalla carta idrogeologica allegata all'Atlante Cartografico Geologico del Comune di Genova, dalla carta idrogeologica allegata al Piano di Bacino del Torrente Bisagno e dallo studio relativo ai bacini idrografici liguri (AMGA 1995). Ulteriori informazioni sono state fornite da alcuni Enti territoriali fra cui, in particolare, la Società Genova Acque che gestisce, per l'area d'interesse progettuale, il servizio idropotabile, di fognatura e depurazione.

Infine sono stati effettuati alcuni sopralluoghi in sito che, data la natura del terreno e l'elevata estensione delle aree densamente urbanizzate, non hanno aggiunto fatti nuovi.

In breve le sorgenti censite sono poco numerose e sostanzialmente coincidenti in tutta la documentazione esaminata.

Molto più complessa è la situazione dei pozzi, con sensibili discrepanze fra le diverse fonti. In ogni caso, a conferma di una modesta disponibilità idrica garantita dai Calcari del Flysch di Monte Antola, praticamente tutti i pozzi censiti entro e nell'intorno dell'area studiata, siano essi per uso idropotabile o industriale, pubblici

o privati, sono localizzati lungo l'alveo del Bisagno e pescano nei depositi alluvionali del corso d'acqua. Le maggiori concentrazioni si hanno fra il Ponte Ugo Gallo e la foce, e più in particolare nel tratto terminale fra Piazza Giusti e la costa, ove spessore e larghezza del materasso alluvionale raggiungono i valori massimi mentre una soglia naturale "sepolta" impedisce l'ingresso del cuneo salino.
Sorgenti e pozzi sono ubicate nella carta idrogeologica allegata al progetto.

SORGENTI

La Formazione del Flysch di Monte Antola è costituita da un'alternanza di calcari, calcari marnosi a diverso grado di fratturazione ed argilliti. L'Antola poggia sulla formazione delle Argilltiti di Montoggio. Trattandosi di un materiale permeabile per fratturazione sorgenti o impregnazioni idriche sono riscontrabili prevalentemente lungo i versanti in corrispondenza di evidenti limiti di permeabilità.
Sono state censite circa 130 sorgenti nella Val Bisagno. Le portate sono generalmente modeste o molto modeste, tanto che nei casi migliori il relativo utilizzo è limitato ad abitazioni o contrade isolate. Fra queste quelle ricadenti nelle aree di pertinenza del progetto, complice forse anche l'elevata antropizzazione, sono solo 2.

Tabella 6.3. Sorgenti.

n° Ordine	Coordinate UMTS		Alt. m.slm	t°	pH	Portata (l/sec)
SG 4	1498106	4916187	205	18,6	7,11	na
SG 5	1498452	4916870	36,6			

Trattasi anche in questo caso di sorgenti caratterizzate da una presenza idrica molto modesta quando non addirittura stagionale.

Le caratteristiche stratigrafiche del Flysch di Monte Antola, una formazione torbiditica caratterizzata da elevata eteropia laterale e verticale, unitamente alle condizioni morfologiche e giaciturali, determinano per contro la presenza di un certo numero di sorgenti lungo la sponda sinistra del Torrente Sturla. Esse si concentrano in particolare a monte di Quinto e Nervi, nell'intorno di Monte Bastia e della S.P. 67 di Monte Fascia, a distanze piuttosto significative rispetto all'area in studio.

POZZI

Effettuare un censimento dei pozzi è spesso un'impresa difficile causa la difficoltà di reperire le informazioni direttamente da rilievi sul territorio. Nel caso in argomento la difficoltà è fortemente accresciuta dall'elevato grado di urbanizzazione di buona parte delle aree. Il lavoro di ricerca è stato quindi svolto essenzialmente attraverso la raccolta di dati disponibili.

L'allegata Carta Idrogeologica rappresenta un documento molto utile in quanto vengono rappresentati, se non tutti i pozzi presenti (spesso i privati non provvedono alla regolare denuncia) almeno quelli ritenuti più importanti e produttivi.

I pozzi di cui si è avuta notizia sono ubicati all'interno della piana alluvionale del Bisagno a quote assolute, nella maggior parte dei casi, comprese fra 7 e 40,00 m.s.l.m.m. In particolare una serie di pozzi è ubicata nell'intorno del ponte Ugo Gallo e del complesso della Sciorba, oltre che della confluenza del Rio Mermi nel Bisagno. Altri ancora sono nell'intorno del Viadotto Bisagno e del Ponte Bezzecca.

Proseguendo verso valle una nutrita concentrazione di pozzi si ha nell'intorno di Piazza Giusti, nonché fra la stessa piazza e la confluenza del Fereggiano nel Bisagno. Numerosi sono infine i pozzi nel tratto compreso fra la ferrovia e la foce, anche se in carta sono stati ubicati solo quelli di Via Casaregis e Via Montesuello riscontrati in tutte le fonti esaminate.

Dalle stratigrafie dei pozzi disponibili, allegate in parte al presente documento, si evince come gli stessi attraversino materiali alluvionali per spessori compresi fra 24 ed oltre 40 m raggiungendo poi, ma solo in alcuni casi, il sottostante substrato roccioso. Si evince altresì, nel tratto terminale del corso d'acqua, la presenza di interstrati argillosi che determinano la presenza di una falda confinata risaliente. Le portate indicate nelle colonne stratigrafiche variano dai 0,27 l/sec del pozzo 8W1 ai 47,5 l/sec del pozzo 8W4.

Tabella 6.4 Pozzi.

N° Ordine	Località	Coord. Gauss - Boaga X (est)	Y (nord)	Tavola CTR	Alt m.slm	Tipologia di pozzo	Portata (L/S)
PZ12	S. Fruttuoso	1497150	4917344	GE 213.2	31	-	-
PZ13	V. Casaregis	1496250	4916553	GE 213.2	7	-	-
8 w1	V. Montesuello	1496274	4916523	GE 213.2	10	Potabile	0,5
8 w2	C.so de Stefanis	1496588	4916039	GE 213.2	12,3	Industriale	1
8 w3	V. Pisacane	1495994	4916320	GE 213.2	3,5	Industriale	1,00
8 w4	V. Terpi	1497203	4920344	GE 213.2	101,8	Industriale	47,5
8 w5	C.so Sardegna	1496358	4917277	GE 213.2	7,05	Potabile/ Industriale	2,5
8 w7	C.so Sardegna	1496700	4917983	GE 213.2	15	Potabile	0,12
8 w8	V. Paverano	1497125	4917346	GE 213.2	40	Potabile	-
8 w10	P.zza Giusti	1496269	4917135	GE 213.2	7	Potabile	-
8 w11	P.zza Giusti	1496340	4917101	GE 213.2	7	Potabile	-
8 w13	C.so Sardegna	1496454	4917580	GE 213.2	10	Potabile	-
8 w14	V. de Paoli	1496450	4917148	GE 213.2	8	Potabile	-

A conclusione del presente capitolo si ritiene necessario citare la Società Genova Acque, che gestisce il servizio idropotabile per la zona centro, Ponente e Val Polcevera. Nello specifico le risorse idriche utilizzate, sulla base delle informazioni acquisite, sono le seguenti:

- Lago del Brugneto, con capacità di 25 milioni di m^3;
- Lago del Val di Noci con capacità di 3,3 milioni di m^3;
- Presa d'acqua fluente sul torrente Laccio, con portata massima derivabile di 5 milioni di m^3 anno;
- Presa d'acqua fluente sul torrente Bisagno, con derivazione d'acqua di circa 14 milioni di m^3 anno;
- Pozzi di subalveo del torrente Bisagno, da cui vengono estratti sino a 10 milioni di m^3 anno;
- Sorgenti e captazioni sparse nel territorio Comunale.

I dati sopra esposti consentono di evidenziare l'importanza del contributo dato dal torrente Bisagno, con apporti di superficie o sotterranei, all'approvvigionamento idrico della città. I pozzi e le prese hanno l'importante compito di ridurre i prelievi in corrispondenza degli invasi, preservandoli per i periodi di maggiore necessità.
Nel dettaglio le acque fluenti del Bisagno, intercettate e incanalate verso l'impianto di potabilizzazione di Prato, alimentano l'acquedotto Civico, il più antico della città.

I principali impianti che tramite pozzi pescano direttamente dalla subalvea del Bisagno alimentano invece l'acquedotto Genovese. Fra i pozzi in argomento va citato l'impianto di Via Trebisonda, ammodernato nel 1975 ed avente una potenzialità estrattiva di 100 l/sec, ed il più importante impianto di Piazza Giusti, ricostruito e potenziato nel 1987 con una capacità sino a 360 l/sec.

7. L'ESISTENTE GALLERIA DEL FEREGGIANO

Nell'ambito delle opere di sistemazione dei torrenti e rii che attraversano la città di Genova nel 1989 è stato predisposto, da parte dell'impresa ITALSTRADE S.p.A., facente parte del Consorzio C.I.L.T. (Consorzio Iniziative Liguri – Toscane), il progetto del deviatore del Torrente Fereggiano. Tale progetto prevede la deviazione dell'alveo mediante un'opera di presa ubicata in Via Ammarengo; da qui la portata avrebbe dovuto confluire in una galleria con diametro interno utile di circa 5,20 m, lunga 3.427 m che, durante il percorso, intercetta anche le acque dei rii S. Martino, Noce e Rovare. Lo sbocco a mare dell'opera è in località Bagni Benvenuto, presso lo stabilimento balneare "Squash".
I lavori, previsti inizialmente in un arco temporale di circa 10 mesi, sono iniziati lato mare al fine di procedere con gli scavi a favore di pendenza facilitando al contempo i lavori di smarino. Ad un primo tratto di galleria scavato con metodo tradizionale e sezione policentrica, per acquisire sufficiente copertura ed intestarsi nell'ammasso roccioso, è seguito un avanzamento meccanizzato con TBM aperta, sezione circolare e posa di un concio di base.
Gli scavi, dalle informazioni raccolte, sono proseguiti senza particolari difficoltà con anche buone medie giornaliere (circa 1,67 m/giorno per la sezione policentrica in zona d'imbocco, caratterizzata anche da interventi di preconsolidamento al fronte ed al contorno, e 9,5 m al giorno per la sezione circolare).
Dal punto di vista idrogeologico non sono state riscontrate venute idriche concentrate di particolare rilievo, bensì condizioni di stillicidio più o meno diffuso.
I lavori di scavo in sotterraneo sono iniziati nel novembre 1991, e si sono protratti con regolarità fino all'inizio di giugno 1992.
In data 05 giugno 1992 il finanziamento del 1° stralcio si è esaurito senza che fosse disponibile il finanziamento per il secondo. In data 17 giugno è stata ordinata la sospensione dei lavori disponendo, contestualmente, la messa in sicurezza del cantiere e dell'opera. La progressiva di scavo della galleria a tale data era di m. 909,40. I lavori non sono più ripresi e la progressiva del fronte di scavo è rimasta ad oggi immutata.
Fino a pochi anni or sono lungo la battigia erano ancora stoccati i conci prefabbricati della TBM (FOTO 1).

Nel periodo luglio – settembre 2013 sono stati effettuati sopralluoghi, rilievi, carotaggi e prove in corrispondenza dell'esistente galleria del Fereggiano allo scopo di verificare la geometria delle sezioni di scavo, la livelletta, la progressiva del

fronte, le caratteristiche dei materiali e l'eventuale presenza di condizioni di degrado. I risultati delle prove e dei rilievi di dettaglio sono riportati in uno specifico elaborato cui si rimanda per maggiori dettagli.

Dai riscontri sulla documentazione tecnica e contabile esaminata, in coerenza con i rilievi eseguiti, si evince l'adozione di una "sezione tipo 1", policentrica (FOTO 2), da pk 17,50 fino a pk 107,83, e di una "sezione tipo 2", circolare (FOTO 3), da pk 107,83 fino alla pk 909,40.

Tutta la galleria, fatta eccezione per gli ultimi 8 m in prossimità del fronte, è rivestita con cls fibrorinforzato classe Rck 300. Per l'intera opera e per i rivestimenti in cls sono disponibili i certificati di collaudo a suo tempo redatti.
Sul rivestimento (che dagli elaborati progettuali è privo di un sistema di impermeabilizzazione) sono evidenti, in alcuni punti, trasudazioni d'acqua, debole stillicidio localizzato (specialmente in corrispondenza dei giunti di getto) e macchie d'umidità (FOTO 4).
Nella parte iniziale del tratto di galleria a sezione circolare è stata creata una piccola soglia (FOTO 5) che favorisce l'accumulo dell'acqua proveniente dall'interno del cunicolo, rendendone così possibile la raccolta all'interno di un tubo in PVC. Da qui il tubo si dirige verso l'esterno confluendo in una canaletta prossima allo sbocco (FOTO 6) ove sono convogliate anche le acque che percolano dai rivestimenti del tratto a geometria policentrica. Nella parte terminale della canaletta (FOTO 7) si è misurata una portata complessiva in uscita pari a circa 0,42 l/sec.
L'acqua è utilizzata, specie durante il periodo estivo, dallo stabilimento balneare "Squash". Secondo le informazioni raccolte sul luogo la portata della canaletta è costante durante tutto l'anno senza evidenti variazioni connesse con la stagionalità e/o con l'andamento degli eventi meteorici.

8. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

La formazione più diffusa nell'ambito del bacino del Torrente Bisagno in generale, e nell'area di progetto in particolare, è rappresentata dalla sequenza flyschoide di Monte Antola, costituita da prevalenti calcari e calcari marnosi con subordinate marne calcaree ed argilliti.
Il Flysch di Monte Antola è caratterizzato da una permeabilità a piccola scala estremamente bassa. A grande scala può invece essere considerato permeabile per fratturazione e caratterizzato da un grado di carsismo, ove presente, debole e non marcatamente pervasivo.
Tale formazione costituisce un consistente serbatoio idrico in cui l'accumulo è favorito dalla presenza, alla base della sequenza sedimentaria, delle Argilliti di Montoggio che, per caratteristiche litologiche, possono considerarsi sostanzialmente impermeabili.
Più in dettaglio, ed in presenza di una spiccata disomogeneità litologica, i termini calcarei presentano permeabilità variabile in funzione del diverso e locale grado di fratturazione. In caso di fessurazione e fratturazione intensa la permeabilità può risultare localmente elevata ed i circuiti idrici presenti sono fortemente condizionati dall'andamento (orientazione e densità) e dalla persistenza delle discontinuità stratigrafiche e strutturali presenti. Le discontinuità possono però essere cementate o presentare un riempimento di materiale fine, ed in tal caso la permeabilità dell'ammasso si riduce in maniera sensibile.
In base a riferimenti bibliografici al Flysch di Monte Antola viene normalmente attribuita una permeabilità media isotropa variabile fra $1*e^{-7}$ – $1*e^{-8}$ m/sec, un valore che peraltro risulta in linea con quanto ottenuto sperimentalmente dalle prove Lugeon eseguite nelle diverse fasi.

Gli interstrati argillitici in seno al flysch, e le Argilliti di Montoggio alla base dello stesso, rappresentano materiali a permeabilità estremamente modesta. Costituiscono quindi soglie impermeabili che determinano localmente, lungo i versanti e nelle zone di contatto, la comparsa di locali emergenze idriche. Allo stesso modo a bassissima permeabilità sono le argille di Ortovero ubicate all'interno del graben di Terralba.
Gli ammassi argillitici poco permeabili (k dell'ordine di $1*e^{-9/-10}$ m/s) possono essere considerati degli acquiclude.

I depositi alluvionali presenti lungo l'alveo del Bisagno, con spessori crescenti da monte verso valle, sono permeabili per porosità e sede di un'importante falda idrica sfruttata a scopo idropotabile ed industriale. Interstrati e livelli argillosi presenti nel tratto terminale del materasso alluvionale differenziano la falda superficiale freatica da quella confinata sottostante. La permeabilità media dei depositi alluvionali, sulla base di dati reperiti in letteratura, delle evidenze in sito, delle analisi granulometriche e di quanto riportato nel Piano di Bacino, può essere ritenuta nell'ordine di $1*e^{-4}$ m/s.

Durante il corso delle indagini ed al fine di ricostruire il profilo della falda lungo lo sviluppo della galleria sono stati messi in opera piezometri a tubo aperto in corrispondenza di tutti i sondaggi eseguiti. Il monitoraggio effettuato evidenzia come la falda idrica, nelle tratte indagate, stazioni generalmente a modesta profondità dal p.c. con oscillazioni stagionali modeste. Solo nel tratto compreso fra il Forte di San Martino e la costa la falda si allontana dal piano campagna approfondendosi in maniera evidente.
Al termine delle perforazioni si è provveduto a prelevare, in corrispondenza di piezometri equamente distribuiti lungo il tracciato, alcuni campioni d'acqua. Le analisi chimiche effettuate su tali campioni, riassunte in tabella 8.1 ed allegate alla documentazione geognostica relativa ai rilievi sulla falda, indicano la presenza di acque poco mineralizzate i cui parametri misurati rientrano, fra l'altro, nei limiti di potabilità.
Trattasi in particolare di acque compatibili con una prevalente permanenza all'interno di materiali calcarei (o calcareo marnosi) per tempi non eccessivamente lunghi, a conferma dell'esistenza di un certo flusso idrico entro l'ammasso roccioso.
I valori riscontrati nelle diverse analisi sono fra loro simili con differenze modeste o relativamente modeste.

Il prelievo dei campioni d'acqua è stato effettuato solo dopo aver provveduto a spurgare il foro mediante una pompa sommersa misurando poi, come rappresentato in tabella 8.2, velocità e tempi di risalita in corrispondenza di ogni piezometro. La velocità di risalita della falda nel piezometro è direttamente proporzionale alla permeabilità del terreno.

I dati acquisiti confermano una spiccata variabilità della permeabilità dell'ammasso roccioso i cui valori sono comunque congruenti con il range fornito e con quanto evidenziato dalle prove Lugeon.

Tabella 8.1 Analisi chimiche su campioni d'acqua prelevati dai piezometri.			
PARAMETRO	**U.M.**	**S4D**	**S5D**
Nitrato	mg/l	1,2	3,3
Alluminio	ug/l	74	19
Ammonio	mg/l	0,907	0,063
Cloruro	mg/l	17,1	5,7
Ferro	ug/l	42	6
Manganese	ug/l	5	8
Solfato	mg/l	4,6	35,1
Sodio	mg/l	199,2	8,3
Alcalinità	mg/l	405	99,5
Bicarbonati	mg/l		121,39
Calcio	mg/l	7,3	36,5
Magnesio	mg/l	1,2	7,2
Potassio	mg/l	1,5	15,2
Silice	mg/l	14,7	10,2

Piezometro	Tempo (min)	Livello dinamico (m da pc)	Portata (l/sec)	Piezometro	Tempo (min)	Livello dinamico (m da pc)	Portata (l/sec)
S3D	0	0 (pc)		S5D	0	4,37	
	3	4,10	0,20		3	6,50	1,32
	6	5,40	0,20		6	10,70	1,32
	9	6,05	0,20		9	13,00	1,32
	12	6,12	0,20		12	14,25	1,32
	15	6,12	0,20		15	14,30	1,32
	18	4,20			18	13,70	
	21	3,20			21	13,60	
	24	2,33			24	13,55	
	27	1,40			27	13,45	
	30	1,10			30	13,40	
	33	0,90			33	13,30	
	36	0,45			36	13,20	
	39	0,15			39	13,05	
					75	10,20	

Tabella 8.2 Spurghi effettuati nei piezometri e velocità di risalita della falda.

I rilievi ed i riscontri sul terreno, unitamente ai dati reperiti da più fonti, segnalano una evidente scarsità di sorgenti naturali nelle aree poste nell'intorno dell'asse progettuale e/o del torrente Bisagno.

Per effetto della presenza di materiali eterogenei (litotipi prevalentemente calcareo marnosi caratterizzati da irregolari intercalazioni argillitiche) la circolazione idrica in seno all'ammasso roccioso risulta compartimentata. Le sorgenti censite nell'ambito del bacino del Bisagno hanno il più delle volte portate modeste che seguono l'andamento annuale delle piogge, in quanto i serbatoi di alimentazione presentano volumi ridotti.

L'ammasso è alimentato dalle precipitazioni meteoriche attraverso l'infiltrazione efficace.
In base ai dati raccolti da diverse fonti bibliografiche nell'area in studio, a fronte di precipitazioni medie annue comprese tra 1.000 mm e 1.500 mm (minimi in prossimità della costa e massimi alle quote più elevate del bacino) viene identificata, su base ventennale, un'infiltrazione compresa tra 400 e 750 mm/anno. Per contro valori più cautelativi potrebbero essere desunti sulla base di recenti dati sperimentali ottenuti attraverso la misura delle portate, in entrata ed uscita, in corrispondenza di bacini appenninici aventi caratteristiche geologiche, morfoaltrimetriche ed idrogeologiche paragonabili al caso in studio.

L'alimentazione dell'importante falda contenuta nella subalvea del Bisagno avviene essenzialmente grazie all'infiltrazione diretta ed agli apporti del corso d'acqua principale (alveo disperdente) e dei suoi affluenti. Non a caso tutti i pozzi elencati nella carta idrogeologica sono ubicati entro le alluvioni del Bisagno, sono più frequenti procedendo da monte verso valle (dove lo spessore del materasso alluvionale è maggiore) e si trovano spesso in corrispondenza della confluenza dei vari corsi d'acqua con il Bisagno.

Visti i riscontri effettuati, le caratteristiche dei materiali nonchè l'insieme dei dati disponibili, si ritiene che la profonda incisione creata dal Bisagno, e colmata da depositi alluvionali ad elevata permeabilità, rappresenti anche un asse di drenaggio naturale nei confronti dell'ammasso roccioso. Questa ipotesi è condivisa dai relatori del Piano di Bacino ed infatti, nel fascicolo 2 – vol. 1 testualmente si legge: *"la ricarica dell'acquifero (*del Torrente Bisagno*) avviene con modalità diverse che possono essere così schematizzate:*

- *alimentazione diretta …..per infiltrazione delle acque defluenti nell'alveo;*
- *alimentazione del sistema acquifero dovuta al contributo laterale sotterraneo delle acque circolanti nel substrato roccioso;*
- *contributo delle falde di subalveo degli affluenti minori …..”*

In sintesi, pur ritenendo la ricarica dell'acquifero contenuto nel materasso alluvionale essenzialmente imputabile ad alimentazione diretta ed agli apporti (dispersioni) del corso d'acqua e relativi affluenti, va ammessa la presenza di un contributo dato dalla circolazione sotterranea che ha sede nei rilievi essenzialmente calcareo marnosi compresi all'interno dello spartiacque del Bisagno, la cui entità è funzione della locale permeabilità della roccia.

9. PROFILO PIEZOMETRICO – PERMEABILITÀ DELLA ROCCIA

9.1. Profilo piezometrico

Il profilo piezometrico lungo il tracciato della galleria costituisce il riferimento primo per le necessarie valutazioni relative ai rapporti esistenti tra opere ed acquifero. Per fissarne la posizione si è fatto ricorso a tutte le informazioni disponibili di seguito elencate:

Letture piezometriche – Sono state utilizzate le letture eseguite nei piezometri installati nei sondaggi del 2005 e le informazioni ricavate dalle indagini pregresse, una volta valutata per quest'ultime l'attendibilità e la congruenza con le indagini più recenti.

Sorgenti – Sono stati ispezionate le sorgenti indicate in carta lungo l'asse di progetto e quelle poste nell'immediato intorno. I dati disponibili ed i riscontri effettuati sul terreno, in luoghi spesso scarsamente accessibili, non hanno permesso di verificarne la continuità di erogazione durante l'anno, così come non è possibile escludere che le stesse sorgenti siano ubicate al contatto fra il basamento roccioso e le coltri di copertura. Pur considerata la modesta portata erogata, e la posizione spesso defilata rispetto all'opera, cautelativamente le sorgenti censite sono state considerate come punti di emergenza dell'acquifero.

Pozzi – E' stato constatato come i pozzi censiti siano sempre posizionati all'interno del materasso alluvionale ed attingano dall'importante falda di subalveo del Bisagno.

Reticolo idrografico di superficie – Durante il sopralluogo sono stati ispezionati gli alvei di torrenti e rii che interessano i versanti nell'intorno dell'opera.
In ambito cittadino i rilievi effettuati restano purtroppo gravemente incompleti in quanto larga parte dei corsi d'acqua è tombata e non permette osservazioni di alcun tipo. La ricostruzione del profilo idrogeologico della galleria mostra comunque come il livello della falda sia spesso molto prossimo all'alveo dei vari corsi d'acqua, motivo per cui è tutt'altro da escludere la possibilità di un mutuo rapporto di dipendenza.

Galleria esistente del Fereggiano (ITALSTRADE 1992)
Il sopralluogo all'interno della galleria ha evidenziato diffusi segni d'umidità nel rivestimento, fenomeni di stillicidio localizzati specialmente in corrispondenza dei giunti di getto e dell'ultimo tratto in prossimità del fronte (lunghezza 8 m) non rivestito. Le venute idriche sono convogliate in corrispondenza di una canaletta centrale; dalle misurazioni eseguite la portata complessiva in uscita dalla galleria risulta pari a 0,42 l/sec; tale contesto è compatibile con l'attraversamento di un materiale roccioso sotto falda caratterizzato da un grado di permeabilità relativamente modesto.

Tutti i dati sopra citati sono stati utilizzati per tracciare il profilo piezometrico riportato nell'allegato profilo geologico, geomeccanico ed idrogeologico.
Il profilo piezometrico è stato tracciato sulla base delle informazioni puntuali disponibili (sondaggi con piezometro, punti di emergenza della falda ecc) lungo e nell'intorno del tracciato. In corrispondenza dei rilievi montuosi e delle quote più elevate, in mancanza di dati specifici, la ricostruzione riportata nei diversi elaborati grafici è stata impostata in maniera cautelativa. L'andamento del profilo piezometrico segue, addolcendone le asperità, la topografia di superficie e mostra gradienti anche elevati compatibilmente con la presenza di un ammasso roccioso a modesta permeabilità.

In corrispondenza della galleria principale la falda staziona a profondità modesta rispetto al piano campagna, generalmente compresa fra 3 – 7 m, con punte di 11 – 20 m in corrispondenza di alcune indagini pregresse. Si approfondisce però nel tratto compreso fra il Forte di San Martino e la costa, come evidenziato sia dal sondaggio S1D dove viene rilevata a 55 m di profondità, sia dal sondaggio SA3 il cui piezometro profondo 25 m era asciutto al momento del rilievo.
Il profilo evidenzia inoltre come la stessa falda sia sempre prossima al fondo degli alvei attraversati.

9.2. Permeabilità della roccia

In una prima fase i coefficienti di permeabilità degli ammassi rocciosi sono stati desunti dall'insieme delle prove Lugeon disponibili, ovvero quelle relative alle indagini del 2005 e quelle eseguite da ITALSTRADE nel 1989.

La permeabilità a livello di ammasso nel Flysch di Monte Antola è generalmente compresa fra $1*e^{-8}$ – $1*e^{-9}$ m/sec, ed è correlabile con lo stato generale di fratturazione; aumenta sino ad $1*e^{-7}$ m/sec in presenza delle tratte maggiormente fratturate con punte che, eccezionalmente, in presenza di fratture aperte, con poco riempimento ed in condizioni di modesta copertura, raggiungono valori di $1*e^{-6}$ m/sec (vedi tabelle 3.3 e 3.4).

Per l'ottimizzazione e distribuzione dei valori di permeabilità da attribuire all'ammasso roccioso è stata effettuata:

1. una back analisys sul tratto realizzato della galleria del Fereggiano utilizzando un procedimento analitico derivato dalla letteratura tecnico scientifica (Fernandez 1994). Considerando la presenza di un rivestimento costituito da spritz e calcestruzzo per uno spessore medio di circa 40 cm, ed assegnando diversi valori di permeabilità alla roccia basati sui risultati delle prove in sito, si è cercata la soluzione per la quale la portata ottenuta dal modello di calcolo coincide o si approssima a quella realmente misurata all'uscita della galleria. Il valore medio ottenuto ($K = 2,4\ e^{-08}$ m/sec) ben si raccorda con il range di valori sopra fornito desunto da prove in sito e riferimenti bibliografici;
2. una verifica del bilancio idrogeologico in corrispondenza della stessa galleria ove la portata drenata, da informazioni raccolte in sito, si mantiene costante nel tempo. Il modello matematico utilizzato, ricavato da un lavoro pubblicato da F. Federico su una rivista tecnica specializzata, si basa sui modelli di filtrazione La verifica effettuata con i valori di permeabilità assegnati all'ammasso, ed in presenza del drenaggio operato dalla galleria, dimostra come il livello della piezometrica rimanga sostanzialmente costante in presenza di un valore (cautelativo) di infiltrazione efficace.

I valori dei coefficienti di permeabilità k assegnati alle formazioni rocciose lungo il tracciato ed utilizzati in questo studio sono riportati nell'allegato profilo geomeccanico-idrogeologico.

10. SEZIONI COSTRUTTIVE E SEZIONI DI DRENAGGIO

Dal punto di vista idrogeologico la realizzazione di una galleria rappresenta un'alterazione del reticolo di flusso esistente, dal momento che costituisce una zona all'interno dell'ammasso roccioso attraverso la quale permea un certo quantitativo di acqua. La conseguente variazione della superficie piezometrica, rispetto alla configurazione di equilibrio preesistente, può essere gestita attraverso un controllo delle pressioni idrauliche agenti sui rivestimenti della galleria al fine di limitare l'impatto della realizzazione dell'opera nei confronti dell'assetto idrogeologico del territorio.

Il controllo della pressione idraulica agente sul rivestimento dell'opera avviene normalmente mediante la posa in opera di un elemento drenante interposto fra la roccia ed il rivestimento definitivo, o fra prerivestimento e rivestimento definitivo, opportunamente collegato a tubazioni destinate a raccogliere ed allontanare le infiltrazioni d'acqua. Si può quindi immediatamente intuire come possano essere previste diverse sezioni di drenaggio in relazione alle diverse caratteristiche dell'elemento drenante, nonché ai diversi sistemi di raccolta ed allontanamento delle acque. Tali sezioni sono sostanzialmente indipendenti dalle sezioni strutturali nel senso che la posa in opera del sistema di raccolta delle acque, e la realizzazione delle opere idrauliche per l'allontanamento di quest'ultime, non interferisce con l'aspetto strutturale della galleria se non nel limitarne il carico idraulico.

10.1. Descrizioni sezioni tipo e sezioni di drenaggio

Per introdurre il problema relativo alla scelta della sezione di drenaggio più opportuna da impiegare in progetto, e per effettuare le essenziali verifiche di compatibilità delle portate emunte con il bilancio idrogeologico del territorio attraversato vengono descritte, a titolo d'esempio, le seguenti sezioni tipo di drenaggio:

- sezione tipo 0
- sezione tipo 1 – 1A
- sezione tipo 2

Le sezioni proposte si differenziano per le diverse portate d'acqua che sono in grado di drenare ed allontanare, per la presenza di sistemi addizionali di

drenaggio, per l'efficacia del sistema di drenaggio nel tempo e, chiaramente, per la diversa diminuzione del carico idraulico agente sul rivestimento della galleria.
La portata drenata da ogni sezione tipo, a parità di condizioni al contorno (permeabilità della roccia e del rivestimento) è funzione delle dimensioni del cavo, del carico idraulico, del coefficiente di trasmissività del dreno e della distanza fra le tubazioni che, raccogliendo l'acqua dal sistema di drenaggio, provvedono ad allontanarla.

Sezione Tipo 0

Rappresenta la classica sezione tipo d'impermeabilizzazione e drenaggio utilizzata in galleria. Illustrata in figura 10.1 si compone di una guaina sintetica in PVC dello spessore di 2 mm, posta all'estradosso del rivestimento definitivo, che svolge il ruolo di elemento impermeabilizzante. Fra guaina e rivestimento provvisorio (ovvero fra guaina e roccia in mancanza di quest'ultimo) è posizionato un tessuto non tessuto che drena le acque d'infiltrazione.
Le acque raccolte dal tessuto non tessuto percolano dalla calotta alle reni della galleria richiamate da una tubazione di drenaggio appoggiata sulle murette. L'acqua confluisce e si muove lungo tali tubazioni (longitudinali) e, a distanze costanti e prefissate (ad esempio 25 o 40 o 80 m) tramite tubi di raccordo viene convogliata in galleria, o in pozzetti di raccolta, e quindi all'esterno del cavo.
Esperienze pratiche e sperimentali dimostrano come l'efficienza drenante del tessuto non tessuto possa diminuire nel tempo per effetto della parziale occlusione dello stesso conseguente al trasporto di materiale fine. Tale condizione viene presa in considerazione attraverso una riduzione del coefficiente di trasmissività nella fase di calcolo.
Il drenaggio esercitato dalla sezione in argomento è continuo ed essenzialmente trasversale alla galleria.

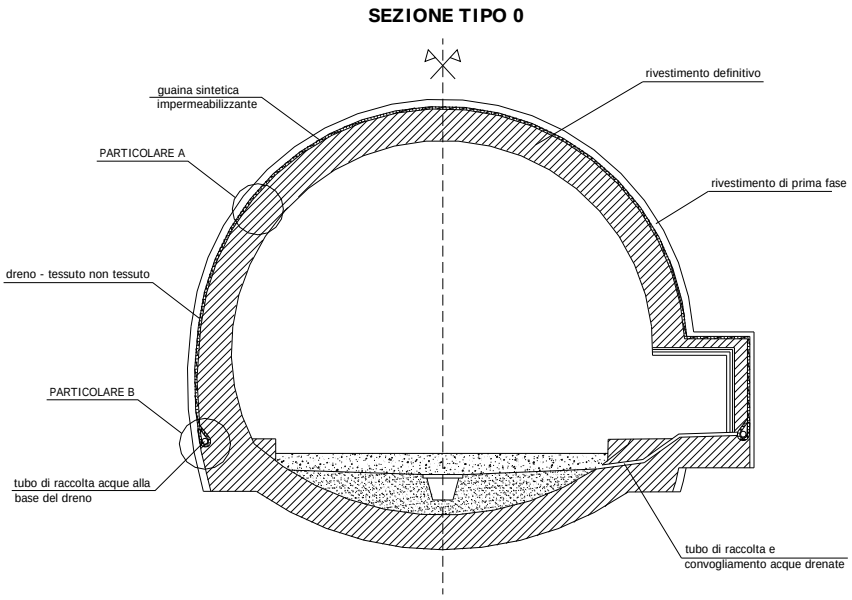


Figura 10.1. Sezione tipo 0

Sezione Tipo 1 – 1A

Rispetto alla sezione 0 sono previsti, concettualmente, dei sistemi di drenaggio supplementari volti a garantire la continuità (ed un incremento) delle portate drenate nel tempo. Nel caso specifico possono essere messi in opera, oltre alla guaina in PVC ed al tessuto non tessuto, fori di drenaggio in roccia e pannelli drenanti in PVC rigido.

I fori di drenaggio in roccia sono ubicati all'altezza dei raccordi che convogliano le acque nei pozzetti o in galleria mentre i pannelli, che hanno larghezza di 2,5 m, possono avere un passo variabile.

Se il tessuto non tessuto è perfettamente drenante i due elementi di cui sopra non esplicano alcuna funzione; a mano a mano che il tessuto s'intasa l'azione del pannello e dei fori drenanti sarà prevalente impedendo in tal modo un innalzamento del carico idrostatico.

La sezione tipo 1 prevede pannello e fori drenanti mentre la tipo 1A solo fori drenanti.

Analogamente alla sezione tipo 0 il drenaggio è considerato essenzialmente trasversale alla galleria e la sezione ben si presta qualora siano presenti, o si vogliano abbattere, carichi idraulici anche molto significativi .

Sezione Tipo 2

Questa sezione si differenzia dalla sezione tipo 0 perché il tessuto non tessuto scarica le acque solo a distanze prefissate. Infatti la tubazione posta sulla muretta, che raccoglie le acque di drenaggio, non è continua e viene posata a distanze ben definite per una lunghezza di circa 2,5 m. In questa stessa tratta viene posizionato anche un pannello in PVC che, avendo una struttura resistente e rigida, ha la peculiarità di limitare le deformazioni nel tempo e con esse la riduzione di permeabilità. Al centro della "sezione drenante" costituita dall'insieme tubazione + pannello è allocata una seconda tubazione che, normale alla direzione della galleria, convoglia le acque verso l'interno del cavo o in pozzetti collegati che in ogni caso ne permettono l'evacuazione verso l'esterno.

In figura 10.2 è riportato lo schema concettuale della sezione idrogeologica tipo 2.

In pratica la realizzazione di questa sezione tipo limita le portate drenate dal cavo. L'acqua si muove lungo il drenaggio (tessuto non tessuto) con velocità e quantità minori rispetto ai casi precedenti; il trasporto di particelle è minimo e la riduzione di efficienza del sistema nel tempo per occlusione del dreno può essere considerata estremamente contenuta.

Il drenaggio della sezione tipo 2, diversamente dai casi precedentemente trattati, è essenzialmente longitudinale al cavo.

La sezione tipo in argomento, limitando l'emungimento esercitato dal cavo in funzione della distanza adottata fra i punti di scarico, è particolarmente indicata nei casi in cui sia necessario minimizzare l'impatto dell'opera nei confronti dell'assetto idrogeologico del territorio attraversato.

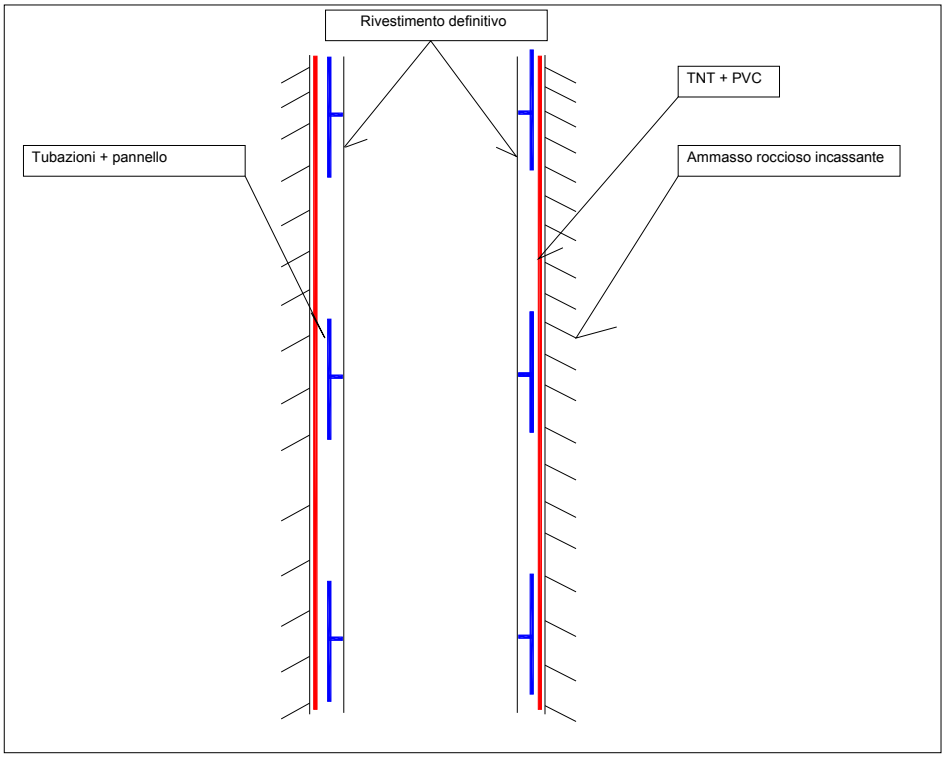


Figura 10.2. Schema concettuale sezione tipo 2 (per maggiori dettagli si rimanda all'appendice 2)

In tutte le sezioni tipo è possibile variare la distanza fra i punti di scarico (25 – 40 – 80 – 120 m) variando in tal modo la quantità d'acqua drenata (a distanze minori corrisponde ovviamente un maggiore drenaggio). E' chiaro che l'entità del drenaggio è proporzionale alla riduzione del carico idrostatico agente sui rivestimenti; conseguentemente in fase di calcolo deve essere cercata un'ottimizzazione fra esigenze strutturali ed ambientali.

Nella seguente tabella sono riassunti i coefficienti di trasmissività del dreno per le tre sezioni tipo citate.

Tabella 10.1. Coefficiente di trasmissività del dreno nelle diverse sezioni e relativa variazione nel tempo

	COEFFICIENTI DI TRASMISSIVITA' DEL DRENO θ (m^2/s)					
Copertura h	Tipo 0		Tipo 1 – 1A		Tipo 2	
(m)	Normale	Lungo termine	Normale	Lungo termine	Normale	Lungo termine
0	6,50E-06	6,50E-07	3,00E-06	3,00E-06	6,50E-07	5,20E-07
50	6,50E-06	6,50E-07	3,00E-06	3,00E-06	6,50E-07	5,20E-07
100	3,00E-06	3,00E-07	3,00E-06	3,00E-06	3,00E-07	2,40E-07
200	2,00E-06	2,00E-07	3,00E-06	3,00E-06	2,00E-07	1,60E-07
300	1,50E-06	1,50E-07	3,00E-06	3,00E-06	1,50E-07	1,20E-07
400	1,40E-06	1,40E-07	3,00E-06	3,00E-06	1,40E-07	1,12E-07
500	1,20E-06	1,20E-07	3,00E-06	3,00E-06	1,20E-07	9,60E-07

Nelle tavole raffiguranti il profilo geomeccanico - idrogeologico sono riportate le sezioni costruttive previste per ogni tratta di galleria, desunte dai calcoli di seguito esposti, con le relative distanze fra i drenaggi.

10.2. Distribuzione sezioni tipo lungo il profilo

Nel caso in studio la scelta e la distribuzione delle sezioni tipo da applicare lungo il profilo della galleria è stata attuata con l'intento di raggiungere i seguenti obiettivi:

- limitare l'effetto provocato dal drenaggio in termini di depressione della superficie piezometrica;
- limitare il carico idrostatico in modo da ottenere valori compatibili con le caratteristiche strutturali dei rivestimenti.

11. VALUTAZIONE IDROGEOLOGICA

La scelta e la distribuzione delle sezioni tipo da applicare lungo il profilo della galleria, secondo le prescrizioni di cui al precedente paragrafo 10.2, è stata condotta mediante l'uso di due specifici fogli di calcolo la cui trattazione teorica è riportata in appendice 2 e 3.
Il lavoro ha preso avvio dalla ricostruzione del profilo piezometrico lungo l'asse della galleria. Successivamente, assegnata una permeabilità alla roccia in corrispondenza delle diverse tratte ritenute omogenee, sono state valutate le portate drenate durante la realizzazione delle gallerie nonché, nel breve e nel lungo termine, ad opere ultimate. Sulla base delle portate drenate si determina il carico idraulico agente sui rivestimenti ed in particolare il coefficiente di riduzione di quest'ultimo rispetto alla situazione originaria.
È stato infine valutato l'equilibrio idrogeologico di alcune sezioni trasversali all'asse galleria al fine da verificare la stabilità della perturbazione provocata dall'opera sulla superficie piezometrica.

Sulla base dei risultati ottenuti mediante diversi calcoli, nei quali vengono variati parametri quali la tipologia della sezione di drenaggio e la distanza "l" fra i punti di scarico, è possibile testare ed ottimizzare la tipologia e la distribuzione delle sezioni tipo da applicare lungo il profilo dell'opera.
La stabilità nel tempo della perturbazione provocata sulla superficie piezometrica permette di minimizzazione l'impatto dell'opera nei confronti dell'equilibrio idrogeologico del territorio preservando i rapporti esistenti fra falda, corsi d'acqua, sorgenti ed opere di captazione.

11.1. Distribuzione delle sezioni idrogeologiche lungo il profilo

La definizione e la distribuzione delle sezioni tipo è stata ottenuta procedendo per tentativi e per fasi in relazione all'ottimizzazione dei risultati via via emergenti in relazione al profilo piezometrico ed ai valori di permeabilità assegnati all'ammasso roccioso.
Le verifiche effettuate hanno portato ai risultati ed alle valutazioni di seguito esposte:

Galleria esistente (ITALSTRADE 1992) del deviatore del Fereggiano

La verifica in argomento è stata effettuata con il duplice scopo di testare la validità del metodo di calcolo proposto e di verificare (ed ottimizzare) i parametri di input richiesti dal programma.

La galleria del Fereggiano è stata scavata, sulla base delle informazioni raccolte, in presenza di condizioni di stillicidio localmente più o meno intenso ma in assenza di significative venute d'acqua concentrate.

Il calcolo è stato effettuato considerando che la galleria abbia un "rivestimento" costituito da spritz beton e calcestruzzo per complessivi 40 cm, oltre ad un arco rovescio prefabbricato; non è presente l'impermeabilizzazione come dimostrato dalle numerose macchie d'umidità presenti in diverse tratte e come si evince dagli elaborati progettuali. Attraverso le verifiche condotte, utilizzando e tarando i valori di permeabilità della roccia desunti dalle prove in sito, si è giunti ad una soluzione che riscontra i valori di portata misurati allo sbocco della galleria, tarando così il modello di calcolo .

Galleria principale del Fereggiano

Dal punto di vista idrogeologico la galleria interessa, essenzialmente, i seguenti materiali:

- Flysch di Monte Antola da fratturato a poco fratturato;
- Flysch di Monte Antola da molto fratturato a brecciato;

L'ipotesi di calcolo prevede che l'ammasso non sia compartimentato e, per le diverse tratte in cui viene suddiviso il profilo della galleria, idrogeologicamente omogeneo ed isotropo. In realtà, come esposto nei capitoli precedenti, le condizioni al contorno sono estremamente più complesse; in ogni caso i risultati e le considerazioni tratte dalle verifiche possono ritenersi sufficientemente rappresentativi.

Le sezioni tipo testate sono quelle denominate 0, 1 - 1A e 2 prima descritte.

La sezione tipo 0 per effetto della modesta permeabilità della roccia e delle ridotte dimensioni del cavo si dimostra in grado di soddisfare, nella maggior parte delle condizioni, il bilancio idrogeologico. L'opera determina un drenaggio sull'ammasso roccioso attraversato sia in fase di scavo sia, ma in

maniera meno marcata, ad opera ultimata. Gli effetti di tale drenaggio sulla piezometrica ad opere ultimate sono limitati ad alcune decine di metri nell'intorno della galleria. Solo in corrispondenza delle zone di faglia la (localmente) maggiore permeabilità determina un incremento delle portate drenate e, conseguentemente, una più estesa perturbazione sul profilo piezometrico.
La sezione tipo 0 abbatte in maniera sensibile il carico idraulico agente sui rivestimenti portandolo, a galleria ultimata e nelle condizioni di breve termine, a valori compresi fra il 5% ed il 17% rispetto quello iniziale[1], e nel lungo termine mediamente attorno al 20 – 30%.

L'adozione delle sezioni tipo 1 e 1A determina un elevato drenaggio a carico dell'ammasso roccioso per effetto di una trasmissività idraulica superiore alla sezione tipo 0. La sezione in argomento non garantisce il bilancio idrogeologico e determina un progressivo abbassamento della superficie piezometrica che tenderà a stabilizzarsi solo una volta raggiunta l'altezza dell'arco rovescio della galleria.

La sezione tipo 2 determina un drenaggio assai più modesto rispetto alla sezione tipo 0; tale vantaggio "si paga" con una modesta riduzione del carico idraulico che si attesta su valori nell'ordine del 50 – 80% rispetto alla situazione ante operam. Considerato che il battente piezometrico è spesso elevato o molto elevato, tale condizione rende l'applicazione della sezione tipo 2 poco vantaggiosa.

11.2. Pressioni e portate in galleria

In appendice 4 sono riportati i tabulati di calcolo relativi alle valutazioni delle portate drenate durante le diverse fasi di scavo della galleria nonché ad opera ultimata; vengono riportate altresì le pressioni, in termini di colonna d'acqua, agenti sui rivestimenti definitivi.

Il primo tabulato di calcolo è relativo all'esistente galleria del Fereggiano (progetto EDILSTRADE 1989), e rappresenta una sorta di back analisys effettuata per tarare il foglio di calcolo e verificare la bontà dei dati di input.

[1] [1] $h_1/h_0 = 0,05$ Con h_1 = carico idraulico all'estradosso del rivestimento definitivo e h_0 = carico piezometrico iniziale

Il secondo tabulato allegato è relativo alla galleria del Fereggiano (progetto 2013, da pk 909 a pk 3.171) con applicazione della sezione tipo 0 e punti di scarico in galleria posti ad una distanza reciproca di 40 m (60 m in corrispondenza delle zone di faglia).
Di seguito è fornita una sintesi dei dati essenziali ottenuti dalle elaborazioni, mentre un estratto della trattazione teorica è fornito in appendice 2.

Galleria esistente del Fereggiano

I valori di riferimento per la back analisys proposta con questo esempio sono solo quelli relativi alla FASE 3, che rappresenta la galleria nella situazione attuale con un "prerivestimento" costituito da spritz + calcestruzzo ed arco rovescio. Manca un vero e proprio sistema di drenaggio ed impermeabilizzazione che il modello di calcolo contempla in FASE 4.
La portata drenata nelle condizioni descritte e quindi attraverso i rivestimenti è nell'ordine di 0,0005 l/sec/m, equivalente a 0,05 l/s per ogni tratta omogenea di 100 m, che corrisponde ad una portata complessiva, lungo tutta la galleria, di circa 0,42 l/sec, il che è proprio quanto misurato direttamente sul posto.
Il carico idraulico h_1 agente sui rivestimenti si riduce di un valore pari a circa il 26% rispetto all'altezza iniziale h_0.

Galleria di progetto del Fereggiano

Con la soluzione che prevede la sezione tipo 0 si ha, per ogni tratto compreso tra la progressiva 0+909 e 2+000 m circa (rappresentativo di galleria con carico piezometrico non elevato) un valore di portata in fase di costruzione di 0,04 l/s ogni 40 m (0,001 l/sec/m), che si stabilizza a valori nell'ordine di 0,03 l/s per galleria completata nelle condizioni di lungo termine. Il carico idraulico assume valori compresi fra il 5 ed il 25% rispetto all'altezza iniziale h_0 rispettivamente nel breve e nel lungo termine.

Per il tratto compreso tra la progressiva 2+000 e 2+400 m (rappresentativo dell'attraversamento di una zona di faglia) si ottiene un valore di portata in fase di costruzione pari a circa 0,5 l/s ogni 60 m, che si stabilizza a 0,24 l/s per galleria completata nelle condizioni di lungo termine. Il carico idraulico assume un valore compreso fra 10 ed il 50% rispetto all'altezza iniziale h_0.

Nel tratto compreso tra la progressiva 3+200 e 3+700 m si ottiene un valore di portata in fase di costruzione pari a 0,2 l/s ogni 40 m, che si stabilizza attorno a 0,1 l/s per galleria completata nelle condizioni di lungo termine. Il carico idraulico assume un valore compreso fra il 5 ed il 30% rispetto all'altezza iniziale.

Complessivamente ad opera ultimata la galleria drena circa 2,8 l/s nelle condizioni di lungo termine, e 4,4 l/s nelle condizioni di breve termine. Circa il 40% della portata drenata proviene dalle zone di faglia la cui estensione in profilo, rispetto al totale, è subordinata (< 15%).

Le verifiche dimostrano, com'era logico attendersi, che il drenaggio operato in corso di scavo è sensibilmente maggiore rispetto quello ad opera ultimata. L'entità del drenaggio in fase di scavo è direttamente proporzionale all'estensione della tratta non rivestita o parzialmente rivestita. Nel calcolo si è considerata una lunghezza libera (sfondo) di 2,00 m, un tratto di solo prerivestimento lungo 30 m, cui segue infine il rivestimento definitivo (quest'ultimo si troverebbe quindi a soli 32 m metri dal fronte). Tali valori sono piuttosto modesti in relazione ad un sistema di avanzamento condotto con metodo tradizionale dove, normalmente, il rivestimento definitivo tende ad essere mantenuto (se lo condizioni strutturali della roccia lo permettono) a distanze anche considerevoli dal fronte. Chiaramente aumentando la distanza fra fronte di scavo e rivestimento definitivo aumenteranno conseguentemente anche le portate drenate dal cavo.
La portata drenata è fortemente influenzata dall'attraversamento di zone di disturbo tettonico, e le condizioni di "water in flow" potranno variare in funzione delle effettive estensioni, delle locali condizioni strutturali degli ammassi rocciosi, di eventuali fenomeni di detensionamento al contorno del cavo, delle condizioni di apertura e riempimento delle fessure e dell'orientazione della stratificazione. In tale contesto lo scavo della galleria si dimostra la fase più gravosa e perturbante nei confronti del drenaggio imposto all'ammasso roccioso, con un'entità della perturbazione che dipende dalle distanze imposte ai rivestimenti definitivi. Tale perturbazione tenderà progressivamente a riassorbirsi una volta completata l'opera (ovvero a galleria rivestita).

Gallerie di collegamento e di servizio

Le condizioni idrogeologiche al contorno delle diverse gallerie minori impostate nel Flysch di Antola sono sostanzialmente analoghe a quelle della galleria principale nel tratto in affiancamento, e le differenze nei valori di portata drenata derivano dai diversi valori di carico idraulico e dalle minori dimensioni della superficie di scavo.

Appare chiaro quindi che, una volta soddisfatto il bilancio idrogeologico della galleria principale, alle medesime condizioni risultano soddisfatte anche le gallerie secondarie.

11.3. Influenza sul profilo piezometrico

Di seguito sono riportati i risultati ottenuti dalla verifica del bilancio idrogeologico relativo alle sezioni stabilite. I calcoli sono riportati in appendice 5 mentre un estratto della trattazione teorica è fornito in appendice 3.

Con questo tipo di valutazione si verifica la stabilità del livello di falda ad opere ultimate. Le analisi sono effettuate sulla base dei risultati ottenuti nel calcolo delle portate drenate in galleria, del livello iniziale della superficie piezometrica e del regime di precipitazione medie relative all'area d'intervento.

Attraverso questa procedura è possibile verificare l'effetto provocato dalla galleria nei confronti della piezometrica, evidenziare un eventuale suo abbassamento fino alla quota di scavo dell'opera (non soddisfacimento del bilancio idrogeologico) e l'ampiezza della perturbazione della piezometrica nell'intorno della galleria.

Regime di precipitazioni:

A fronte di una precipitazione media annua compresa fra 1.000 e 1.500 mm anno in bibliografia sono stati reperiti per l'area in studio, come già anticipato, valori di infiltrazione efficace compresi fra 0,4 – 0,7 m/anno. Cautelativamente in fase di calcolo è stato adottato un valore d'infiltrazione pari a 0,35 m/anno, con il quale si vuole tener conto anche della presenza di superfici pavimentate e quindi impermeabili. Per le zone di maggiore criticità viene rappresentato un calcolo anche con coefficiente d'infiltrazione pari a 0,7.

Verifica 1: Galleria esistente del Fereggiano alla progressiva 0+500

La formazione interessata è quella del FMA la cui permeabilità media è stata assunta pari a $2,4*e^{-8}$ m/s.

Con la condizione di drenaggio ottenuta dai calcoli, che corrisponde anche alle portate effettivamente misurate in galleria, si evince una sostanziale stabilità del bilancio idrogeologico, cosa questa peraltro confermata dalle evidenze e dai in sito. L'andamento nel tempo del livello della superficie piezometrica raggiunge una condizione di equilibrio mentre il raggio d'influenza della depressione si attesta intorno a 23 m.

Verifica 2: Galleria di progetto. Sezione tipo 0 alle progressive 1+500

La formazione interessata è quella del FMA; la verifica è stata effettuata alla progressiva 1+500 m con materiale poco fratturato e permeabilità media pari a $2,4*e^{-8}$ m/s, in condizioni di carico piezometrico relativamente modesto (circa 18 m).

Con l'adozione della sezione tipo 0, complice la modesta permeabilità della roccia e le ridotte dimensioni della sezione di scavo, viene raggiunta la stabilità del bilancio idrogeologico. La naturale ricarica dell'acquifero è in grado di raggiungere una nuova condizione di equilibrio compensando l'emungimento provocato dalla galleria.

Il raggio di influenza della depressione della piezometrica è nell'ordine di circa 35 m nella condizione di galleria scavata a breve termine. Tenderà a ridursi ulteriormente nel tempo per effetto del progressivo intasamento del dreno.

Verifica 3: Galleria di progetto alla progressiva 2 +700

La formazione interessata è quella del FMA con materiale poco fratturato con permeabilità $2,4*e^{-8}$ m/s ed in condizioni di battente piezometrico mediamente elevato (80 m).

Con l'adozione della sezione tipo 0, complice la modesta permeabilità della roccia e le ridotte dimensioni della sezione di scavo, viene raggiunta la stabilità del bilancio idrogeologico. La naturale ricarica dell'acquifero è in grado di raggiungere una nuova condizione di equilibrio compensando l'emungimento provocato dalla galleria.

Il raggio d'influenza della depressione della piezometrica è nell'ordine di circa 105 m nella condizione di galleria scavata a breve termine. Tenderà a ridursi ulteriormente nel tempo per effetto del progressivo intasamento del dreno.

Verifica 4: Galleria di progetto alla progressiva 3 +250

La formazione interessata è quella del FMA con materiale poco fratturato con permeabilità $2,4*e^{-8}$ m/s ed in condizioni di alto battente piezometrico (128 m).

Con l'adozione della sezione tipo 0, complice la modesta permeabilità della roccia e le ridotte dimensioni della sezione di scavo, viene raggiunta la stabilità del bilancio idrogeologico. La naturale ricarica dell'acquifero è in grado di raggiungere una nuova condizione di equilibrio compensando l'emungimento provocato dalla galleria.

Il raggio di influenza della depressione della piezometrica è nell'ordine di circa 151 m nella condizione di galleria scavata a breve termine. Tenderà a ridursi ulteriormente nel tempo per effetto del progressivo intasamento del dreno.

Verifica 5: Galleria di progetto alla progressiva 2 +250

La formazione interessata è quella del FMA con materiale fratturato a più elevata permeabilità ($1,0*e^{-7}$ m/s) in condizioni di battente piezometrico nell'ordine di circa 45 m. La verifica in argomento è rappresentativa di un contesto relativo all'attraversamento di una zona di disturbo tettonico.

Considerando un'infiltrazione efficace pari a 0,35 mm/anno il drenaggio operato dalla galleria tende progressivamente ad abbassare la falda sino alla quota dell'opera. Il raggio d'influenza della perturbazione piezometrica è di circa 126 m.

Considerando un'infiltrazione efficace di 0,7 mm/anno la falda trova una nuova situazione di equilibrio pur abbassando il profilo della piezometrica rispetto alla situazione ante operam. Il raggio d'influenza della perturbazione sulla piezometrica è nell'ordine di 89 m.

Verifica 6: Galleria di progetto alla progressiva 3 +100

La formazione interessata è quella del FMA con materiale fratturato a più elevata permeabilità ($1,0*e^{-7}$ m/s) in condizioni di elevato battente piezometrico (120 m). La verifica in argomento è analoga alla precedente ma con maggiore carico idraulico.

Considerando un'infiltrazione efficace pari a 0,35 mm/anno il drenaggio operato dalla galleria tende progressivamente ad abbassare la falda trovando comunque una nuova situazione di equilibrio. Il raggio d'influenza della perturbazione piezometrica raggiunge il valore di 271 m.
Considerando un'infiltrazione efficace di 0,7 mm/anno il drenaggio tende ancora ad abbassare la falda trovando una nuova situazione di equilibrio ad un valore intermedio fra quello precedente e la situazione ante operam. Il raggio d'influenza della perturbazione sulla piezometrica è nell'ordine di 190 m.

In virtù di quanto sin qui esposto è possibile prevedere, in fase di scavo e per le tratte all'interno del FMA da fratturato a poco fratturato, condizioni generali di stillicidio diffuso e continuo, spesso anche intenso, con portate che valutate su un tratto di galleria di lunghezza pari a 100 m priva di rivestimento definitivo saranno comprese fra 0,1 – 0,4 l/sec. Venute concentrate sono previste, nelle aree interessate dal FMA in facies molto fratturata e/o brecciata, quindi in corrispondenza delle principali faglie e dislocazioni tettoniche. Qui potranno attendersi portate che, valutate su un tratto di galleria non rivestita lunga circa 100 m, potranno avere punte variabili fra 0,7 – 1,3 l/sec.
Venute concentrate potranno riscontrarsi localmente anche nella tratta compresa fra le progressive 2.500 – 3.700, dove i sondaggi S3D ed S4D hanno segnalato la presenza di una falda in pressione.
Un eccessivo detensionamento al contorno dello scavo comporterà un allargamento delle discontinuità con conseguente incremento della permeabilità e quindi delle condizioni di "water in flow".
Le locali condizioni stratigrafiche e giaciturali, in particolare la presenza di intercalazioni fini costituenti limiti di permeabilità aventi giacitura immergente verso l'interno del cavo, potranno determinare venute idriche lineari e concentrate la cui esatta ubicazione ed entità è difficilmente determinabile a priori.

11.4. Interferenze

Dalle analisi svolte si evince come, una volta ultimata la galleria principale, non siano da attendersi interferenze significative con il reticolo idrografico superficiale. A cavallo della galleria e per un raggio variabile da 35 a 150 m (con punte di 190 – 270 a cavallo delle faglie) si avrà un locale abbassamento della falda che potrebbe risultare evidente in corrispondenza dei rii minori

dell'area cittadina, spesso comunque tombati lungo buona parte del percorso. Viste anche le distanze in gioco si ritiene che non vi saranno effetti sui pozzi e sulle sorgenti.
Per quanto attiene la riduzione di apporto idrico nei confronti della falda contenuta nelle alluvioni del Bisagno, nell'ambito del bilancio dell'intero bacino l'apporto sottratto risulta estremamente modesto e tale da non determinare alcune ripercussione apprezzabile.

Il drenaggio posto al contorno della galleria convoglierà all'interno della stessa una portata complessiva, costante, valutabile in circa 4,4 l/s nel breve termine, destinata progressivamente a scendere fino a 2,8 l/sec nel lungo termine. A questi valori va aggiunto un'ulteriore 15 - 20% per tenere conto del contributo delle gallerie secondarie, oltre ai 0,42 l/s drenati in corrispondenza della tratta già scavata, per un totale quindi di:

- 5,48 l/s nel breve termine;
- 3,64 l/s nel lungo periodo.

Gli elaborati grafici allegati al progetto evidenziano come la falda idrica presente lungo lo sviluppo dell'opera sia contenuta all'interno delle bancate calcareo marnose del Flysch di Monte Antola, e pertanto eventuali variazioni del livello idrico imputabili agli scavi non determineranno ripercussioni sulle strutture in superficie.

E' importante osservare come in fase costruttiva, prima quindi della messa in opera del rivestimento definitivo, il drenaggio operato dalla galleria possa (in funzione della distanza a cui vengono mantenuti i rivestimenti) determinare un più marcato emungimento idrico non sempre compensato dalla naturale ricarica dell'acquifero. Tale contesto, come si è detto transitorio, sarà comunque recuperato nel tempo ad opere ultimate (ovvero a rivestimenti gettati), e potrà essere ovviato/mitigato mantenendo i rivestimenti definitivi a modesta distanza dal fronte di scavo.

Le considerazioni esposte andranno in ogni caso integrate con le informazioni che proverranno dalle attività di monitoraggio necessariamente previste in corso d'opera. Sarà così possibile tarare ed affinare con maggior dettaglio il modello idrogeologico ipotizzato in questa fase.

12. MISURE CORRETTIVE

Nei precedenti capitoli di questa relazione è stato dimostrato come, prevedendo uno scavo con sistema tradizionale, il bilancio idrogeologico sia positivo ad opere ultimate nelle condizioni di breve/lungo termine. La perturbazione sulla piezometrica rimane confinata nell'intorno della galleria senza deprimersi eccessivamente (fatta eccezione per le zone di faglia la cui estensione prevista è peraltro limitata). Le verifiche dimostrano altresì come nel transitorio, ovvero durante le fasi di scavo, l'acquifero possa subire un depauperamento la cui entità è proporzionale al tempo in cui gli scavi rimangono aperti e privi di rivestimento, ovvero la galleria si comporta come un dreno nei confronti dell'ammasso attraversato.

Le misure correttive o comunque di mitigazione "idrogeologica" di cui si potrà tener conto durante la fase realizzativa al fine di tarare e valicare il modello idrogeologico proposto sono le seguenti.

Monitoraggio – Si ritiene necessario prevedere un monitoraggio, descritto più ampiamente in seguito, quale elemento fondamentale per la valutazione delle eventuali misure da mettere in opera. Attraverso il monitoraggio dovrà essere resa possibile una continua back analysis che, se da un lato permetterà di verificare le ipotesi progettuali, dall'altro consentirà una taratura ed affinamento del modello idrogeologico.

Messa in opera del rivestimento definitivo – Indipendentemente dalle esigenze meno restrittive dedotte dalle verifiche strutturali sulla stabilità del cavo e dei rivestimenti sarà possibile ridurre le portate drenate dal cavo, durante l'avanzamento, attraverso la messa in opera del rivestimento definitivo, con relativa sezione di impermeabilizzazione e drenaggio, nel più breve tempo possibile.
In via orientativa in questa fase si ritiene che il rivestimento debba essere avanzato e portato in prossimità del fronte ogni qualvolta la portata drenata dal tratto di galleria scavata e non rivestita superi i 5 l/s.
Questo accorgimento dal punto di vista operativo dovrà essere attentamente valutato dal costruttore in quanto impone particolari accorgimenti e maggiori oneri che possono determinare, nell'insieme, anche una particolare e diversa gestione del cantiere.

13. MONITORAGGIO

In base alle considerazioni sin qui esposte si evince come la costruzione della galleria avrà un effetto sul profilo della falda che interesserà non solo il tratto posto sulla verticale della stessa ma anche un intorno valutabile in circa un centinaio di metri.

La galleria modifica l'equilibrio idrogeologico del tratto attraversato nelle seguenti fasi di realizzazione:

- in regime transitorio, ossia durante le fasi di scavo ed avanzamento;
- durante la fase di esercizio della struttura.

L'attività di monitoraggio prevista deve perciò procedere nelle seguenti direzioni:

- <u>All'esterno della galleria</u>:
  dovranno essere posti sotto controllo, in termini di portata le sorgenti, e in termini di livello idrico i piezometri riportati sulle tavole allegate. Tale operazione verrà effettuata prima, durante e dopo la costruzione dell'opera. In questo modo sarà possibile verificare l'interferenza nel tempo della galleria con l'acquifero e con l'ambiente idrogeologico. Le misurazioni sui piezometri permetteranno in particolare di verificare puntualmente l'abbassamento della falda confrontandone i valori con quanto riportato nei calcoli. Se necessario per le fasi successive si potrà prevedere la messa in opera di ulteriori piezometri per integrare e/o sostituire quelli esistenti e nel frattempo danneggiati o comunque non più operativi.

- <u>All'interno della galleria</u>:
  l'operazione di monitoraggio avverrà attraverso la misura delle portate emunte sia in fase di avanzamento del fronte di scavo, sia dopo la posa in opera del rivestimento definitivo. Con tali accorgimenti sarà possibile valutare la necessità di eventuali interventi integrativi/correttivi, come ad esempio l'avanzamento sino al fronte dei rivestimenti definitivi, controllando e confrontando costantemente i dati reali ottenuti sul campo con quelli teorici dedotti dai calcoli. Sarà possibile altresì, attraverso un'analisi a ritroso, determinare con maggior precisione la permeabilità degli ammassi rocciosi lungo l'intero sviluppo delle opere.

- <u>Monitoraggio geologico:</u>

in fase di scavo si dovrà prevedere un monitoraggio geologico durante l'avanzamento, in modo da essere in grado di prevedere con un certo anticipo la presenza di zone particolarmente fratturate e permeabili. Tale monitoraggio sarà ottenuto attraverso rilievi periodici al fronte di scavo (almeno bisettimanali) e perforazioni/drenaggi al fronte di scavo con anche esame del cutting e dei parametri di perforazione;

sulla base di tale monitoraggio geologico potranno essere previste le venute di acqua concentrate nonché le tratte di galleria più significative per l'installazione di eventuali piezometri ed anche di sezioni strumentate in galleria (attrezzate con celle di carico e martinetti piatti) finalizzate al monitoraggio dell'interazione roccia/rivestimento .

14. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

– Federico F. (1985) "Il processo di drenaggio da una galleria in avanzamento" Rivista Italiana di Geotecnica

– Fernandez G. (1994) "*Behaviour of pressure tunnels and guidelines for liner design*" – Journal Geotechnical Engineering ASCE – Vol. 120 – N° 10

– Fernandez G., Tirso A. Alvatrez (1994) "*Seepage induced effective stresses and water pressures around pressure tunnels*" – Journal Geotechnical Engineering ASCE – Vol. 120 – N° 1

– Harr M.E. – Groundwater and seepage McGraw – Hill

– Sato K. (1983) – Hydraulic character of discharge hydrograph for tunnelling – Soil and Foundation Vol. 23 n. 4, pp. 27-33

– Stagg – Zienkiewics (1968) – Rock mechanics in Engineering Practice.

APPENDICE 1

Fotografie citate nel testo



FOTO 1. I conci della galleria del Fereggiano stoccati sulla battigia (anno 2006)



FOTO 2. La prima parte dell'esistente galleria del Fereggiano a sezione policentrica



FOTO 3. Galleria esistente del Fereggiano. Transizione fra sezione policentrica e circolare



FOTO 4. Galleria esistente del Fereggiano. Macchie di umidità nel rivestimento in cls. Sulla destra è visibile la vecchia manica di ventilazione



FOTO 5. Una soglia favorisce l'accumulo dell'acqua che viene convogliata in una tubazione in PVC



FOTO 6. L'acqua drenata in galleria confluisce in una canaletta prossima all'uscita



FOTO 7. Portata complessiva in uscita dall'esistente galleria del Fereggiano

APPENDICE 2

Sintesi del procedimento di calcolo: pressioni sui rivestimenti e portate

1. SINTESI DEL PROCEDIMENTO DI CALCOLO: PRESSIONI SUI RIVESTIMENTI, PORTATE

Per la valutazione delle portate drenate dalla galleria e delle pressioni a tergo del prerivestimento e del rivestimento definitivo, in relazione alle fasi di realizzazione della galleria medesima, è stata adottata la seguente procedura di calcolo.

1.1. Formulazione matematica

A – Dati

Con riferimento alla figura 1, nella quale è illustrato il significato dei simboli adottati, i dati necessari per il calcolo sono i seguenti:

- h - (m) - copertura, misurata tra il centro della galleria e il piano campagna
- h_0 - (m) – altezza piezometrica iniziale, misurata tra il centro della galleria e la superficie freatica
- b - (m) – raggio equivalente del profilo di scavo in roccia della galleria
- a - (m) – raggio equivalente del profilo di intradosso del prerivestimento
- K_m - (m/s) – coefficiente di permeabilità dell'ammasso roccioso
- K_L - (m/s) - coefficiente di permeabilità del rivestimento di prima fase, costituito da spritz-beton
- θ - (m^2/s) – trasmissività del dreno, tessuto non tessuto, dato da $\theta = K_d \times s$
- K_d - (m/s) – coefficiente di permeabilità del dreno (in genere costituito da tessuto non tessuto)
- s - (m) – spessore del dreno (in genere costituito da tessuto non tessuto)
- l - (m) – lunghezza della sezione tipo 2 .

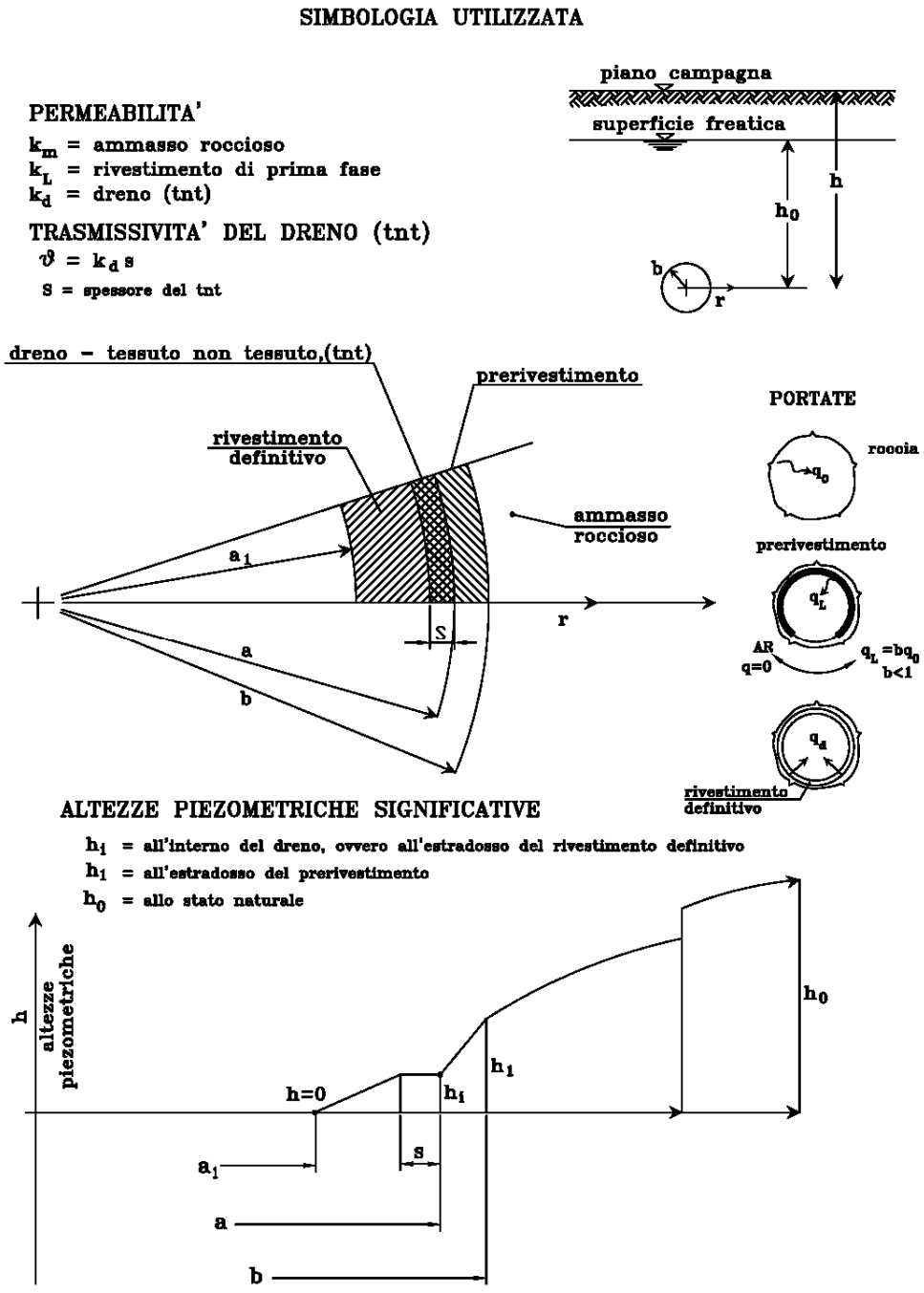


FIG. A3.1 SIMBOLOGIA UTILIZZATA

B – Calcolo dei coefficienti

B.1 - Coefficiente C

$$C = \frac{\ln\frac{2h_0}{b}}{\ln\frac{b}{a}}$$

B.2 - Coefficiente D

$$D = \frac{3\pi^2 a}{4\ln\left(\frac{2h_0}{b}\right)}$$

B.3 - Coefficiente D_1

$$D_1 = \frac{l^2}{3a\ln\left(\frac{2h_0}{b}\right)}$$

B.4 - Coefficiente α

$$\alpha = 1 - \frac{1}{1 + C\frac{K_L}{K_m}}$$

Per il coefficiente di permeabilità K_L del prerivestimento costituito da spritz-beton si consiglia di assumere $K_L = 5 \times 10^{-8}$ m/s.

C – Calcolo delle pressioni tra roccia e rivestimento

C.1 – Galleria solo con prerivestimento

In questo caso $h_i = 0$ e $h_1 \neq 0$, essendo h_1 la pressione tra la roccia e l'estradosso del prerivestimento.

Si ha:

$$\frac{h_1}{h_0} = 1 - \alpha$$

C.2 – Galleria con rivestimento definitivo e drenaggio attivo

In questo caso $h_i \neq 0$ ed $h_1 \neq 0$. Si ha :

C.2.1 – Pressione h_i all'estradosso del rivestimento definitivo (agente nel dreno)

$$\frac{h_i}{h_0} = \frac{\alpha D \frac{K_m}{\theta}}{1 + \alpha D \frac{K_m}{\theta}}$$

C.2.2 - Pressione h_1 all' estradosso del rivestimento di prima fase

$$\frac{h_1}{h_0} = 1 - \frac{\frac{h_i}{h_0}}{\frac{K_m D}{\theta}}$$

C.2.3 – Sezione tipo 2

Per la sezione tipo 2 bisogna tenere conto delle sue effettive caratteristiche geometriche, diametro e lunghezza, utilizzando le formule di seguito riportate nelle quali si tiene già conto della parzializzazione dovuta all' arco rovescio. Il coefficiente di trasmissività che viene applicato è quello della sezione tipo 0.

C.2.3 a) – Pressione h_i all'estradosso del rivestimento definitivo, agente nel dreno. Valore massimo nel tratto *l*:

$$\frac{h_i}{h_0} = \left[\frac{\alpha D_1 \frac{K_m}{\theta}}{1 + \alpha D_1 \frac{K_m}{\theta}} \right]$$

C.2.3 b) – Pressione h_1 all'estradosso del rivestimento di prima fase. Valore massimo nel tratto *l*:

$$\frac{h_1}{h_0} = 1 - \frac{\frac{h_i}{h_0}}{\frac{D_1 K_m}{\theta}}$$

C.2.4 – Sezione tipo 2 – Pressione media per il calcolo dei rivestimenti

Nelle precedenti formule il valore calcolato di h_i e di h_1 corrisponde al massimo nella lunghezza *l*, ovvero è il valore ad *l*/2. Per il calcolo dei rivestimenti sarà opportuno adottare un valore ridotto a 2/3. Si avrà quindi:

Sezione tipo 2, calcolata per la lunghezza *l* e trasmissività θ della sezione tipo 0:

$$\left(\frac{h_i}{h_0}\right)_m = 0{,}67 \times \left[\frac{h_i}{h_0}\right]_{\max} \quad \left[dal\ valore\ di\ \frac{h_i}{h_0}\ di\ \ formula\ C.2.3.a\right]$$

$$\left(\frac{h_1}{h_0}\right)_m = 0{,}67 \times \left[\frac{h_i}{h_0}\right]_{\max} \quad \left[dal\ valore\ di\ \frac{h_1}{h_0}\ di\ \ formula\ C.2.3.b\right]$$

D – Calcolo delle portate per metro lineare di galleria

D.1 - Portata durante la costruzione

È la portata naturale q_0 che filtra attraverso il profilo di scavo in roccia:

$$q_0 = \frac{K_m\ 2\ \pi\ h_0}{\ln\left[\frac{2\ h_0}{b}\right]}$$

D.2 - Portata in presenza del rivestimento provvisorio

Se il rivestimento provvisorio è esteso all'intera sezione:

$q_L = \alpha\ q_0$

D.3 - Portata in presenza del rivestimento definitivo

È la portata per metro lineare scaricata dal dreno, valida per tutte le sezioni tipo esclusa la sezione tipo 2.

$$q_d = \alpha K_m \frac{2\pi\left(h_0 - h_i\right)}{\ln\frac{2h_0}{b}}$$

D.4 - Sezione tipo 2: portata in presenza del rivestimento definitivo

Considerando l'effettiva lunghezza l della sezione, la portata q_d è data dalla seguente formula:

$$q_d = \frac{6\,\pi\,\alpha\,\theta\,h_i}{l^2}$$

E. – Coefficiente di trasmissività del dreno

Per il coefficiente di trasmissività θ del dreno e per le diverse sezioni tipo, si adotteranno i valori riportati nella tabella 2.1 di seguito, in funzione della copertura h.

$\theta = K_d\ s$

dove:

s = spessore del dreno (= tnt)

K_d = coefficiente di permeabilità del dreno (= tnt)

Per quanto riguarda il suo funzionamento nel tempo sono state ipotizzate due condizioni (vedi tabella 2.1):

normale: i pori del tnt sono tutti liberi; questo comportamento è previsto durante la vita utile dell'opera.

a lungo termine: i pori del tnt sono parzialmente occlusi da particelle solide provenienti dall'ammasso roccioso e trasportate dall'acqua. Queste possono provenire dal dilavamento del materiale fine (limo per esempio) contenuto nei giunti, ma anche dalla soluzione dei carbonati e silicati presenti nel prerivestimento. Questo comportamento è previsto oltre la vita utile dell'opera.

Tra le due trasmissività vale la relazione

$\theta_{\text{normale}} = \xi\ \theta_{\text{lungo termine}}$

dove il coefficiente ξ vale:

sezione tipo 0: $\xi = 0.1$
sezione tipo 1, 1a: $\xi = 1$
sezione tipo 2: $\xi = 0.8$

Infatti è la sezione di tipo 0 che, operando in condizioni piane, è sottoposta ad una maggiore possibilità di intasamento.

Le sezioni di tipo 1, 1A con il pannello drenante non potranno mai essere intasate.

La sezione di tipo 2 soffre il minimo intasamento, perché ha un funzionamento tridimensionale, con portata e gradiente inferiori a quelli della sezione 0.

La sezione tipo 2 è trattata considerando la sua lunghezza *l*, ne consegue l'utilizzo del valore di θ della sezione tipo 0. La trattazione del lungo termine utilizza un valore pari all'80% del valore di $\theta_{normale}$.

Tabella 1.1. Coefficienti di trasmissività del dreno θ $(m^2/s) \cdot 10^{-6}$

Copertura	Sezione tipo					
	Tipo 0		Tipo 1, 1a		Tipo 2	
h (m)	Normale	A lungo termine	Normale	A lungo termine	Normale	A lungo termine
0 – 50	6,5	0,65	3	3	0,65	0,52
50 – 100	3	0,3	3	3	0,3	0,24
100 – 200	2	0,2	3	3	0,2	0,16
200 – 300	1,5	0,15	3	3	0,15	0,12
300 – 400	1,4	0,14	3	3	0,14	0,112
400 – 500	1,2	0,12	3	3	0,12	0,96

F – Fasi costruttive - pressioni e portate

Per una trattazione dettagliata sulla formulazione matematica si rimanda alla letteratura indicata in bibliografia.
Posto che Δ_2, Δ_3, Δ_4 e l siano i tratti di galleria omogenei con rispetto a K_m e h_o, si ha la seguente formulazione:

Fase 1 – Fronte e scavo naturale

In una generica fase di avanzamento profilo di scavo è in roccia fino al tratto di galleria in cui è posto in opera il prerivestimento, che si trova ad una distanza d dal fronte. Si valuta la portata complessiva quale somma di quella al fronte e nel tratto di galleria d:
$h_i = 0$

$$q_0 = \frac{K_m 2\pi h_0}{\ln \frac{2h_0}{b}} \qquad \text{F1}$$

$$Q_{L1} = q_0 \left[d + C\, b \ln\left(\frac{b}{a}\right) \right] \qquad \text{F2}$$

Q rappresenta la portata complessiva

Fase 2 - Prerivestimento

La posa in opera del prerivestimento termina alla base dello scavo, non c'è in questa fase l'arco rovescio o il solettone di base. La base dello scavo è quindi in roccia.

$h_i = 0$
$h_1 \neq 0$

$$\frac{h_1}{h_0} = 1 - \alpha \qquad \text{F3}$$

$$q_L = q_0 \left[0.75\,\alpha + 0.25 \right] \qquad \text{F4}$$

q_L rappresenta la portata per metro lineare. Per ottenere la complessiva

$$Q_{L2} = q_L \bullet \Delta_2 \qquad \text{F5}$$

in cui Δ_2 è il tratto di galleria con prerivestimento.

Fase 3 – Prerivestimento con arco rovescio e con solettone di base.

$h_1 \neq 0$

$$\frac{h_1}{h_0} = 1 - \alpha \qquad \text{F6}$$

$$q_L = q_0 0.75\alpha \qquad \text{F7}$$

q_L è la portata per metro lineare. Per ottenere quella complessiva Q_{L3}

$$Q_{L3} = q_L \bullet \Delta_3 \qquad \text{F8}$$

in cui Δ_3 è il tratto con prerivestimento ad arco rovescio.

Fase 4 – Prerivestimento definitivo

Per le sezioni di tipo 0, 1, 1a si ha:

$h_i \neq 0$

$h_1 \neq 0$

$$\frac{h_i}{h_0} = \frac{\alpha D \frac{K_m}{\theta}}{1 + \alpha D \frac{K_m}{\theta}} \qquad \text{F9}$$

$$\frac{h_1}{h_0} = 1 - \frac{\frac{h_i}{h_0}}{D \frac{K_m}{\theta}} \qquad \text{F10}$$

$$q_d = \alpha K_m \frac{2\pi\left(h_0 - h_i\right)}{\ln \frac{2h_0}{b}} \qquad \text{F11}$$

La portata complessiva Q_d è ottenuta con

$$Q_d = q_d \bullet \Delta_4 \qquad \text{F12}$$

in cui Δ_4 è il tratto di galleria con il rivestimento definitivo.

Per la sezione tipo 2, valutata con la sua lunghezza *l* e con θ coincidente con quello della sezione 0, si ha:

$$\frac{h_i}{h_0} = \frac{2}{3}\left[\frac{\alpha D_1 \frac{K_m}{\theta}}{1+\alpha D_1 \frac{K_m}{\theta}}\right] \qquad \text{F13}$$

$$\frac{h_1}{h_0} = 1 - \frac{\frac{h_i}{h_0}}{D_1 \frac{K_m}{\theta}} \qquad \text{F14}$$

$$q_d = 6\pi a \theta \frac{h_i}{l^2} \qquad \text{F15}$$

La portata complessiva della sezione 2 si ottiene con Q_{d2}

$$Q_{d2} = l q_d = 6\pi a \theta \frac{h_i}{l} \qquad \text{F16}$$

1.2. Pressioni e portate – Tabelle di calcolo

Le tabelle di cui all'appendice 4 riassumono il procedimento di calcolo riportato nel capitolo precedente.

I commenti di seguito illustrano il procedimento.

Le dizioni - nella vita utile ⇒ θ normale
- oltre la vita utile ⇒ θ a lungo termine

si riferiscono al coefficiente di trasmissività del dreno θ della tabella 1.1.

Delle due scritte si stampa solo quella che interessa

da progr. a progr. = è la tratta omogenea ovvero caratterizzata da un solo valore di h_o, h e tutti i coefficienti di ammasso e della geometria della galleria.

Distanze operative:

Δ = distanza tratta omogenea – differenza tra le due progressive

d = avanzamento non rivestito in corrispondenza del fronte – Fase 1

Δ_2 = tratto di galleria di Fase 2

Δ_3 = tratto di galleria di Fase 3

Δ_4 = tratto di galleria di Fase 4

l = lunghezza della sezione tipo 2

In una tratta omogenea può essere

$\Delta = d + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4 + l$

se si vuole considerare la contemporaneità delle diverse lavorazioni, ma non è detto che la lunghezza della tratta omogenea sia tale da poter considerare ad un determinato istante la contemporaneità.

Si valuta inoltre, per tratta omogenea, il valore delle portate a lungo termine facendo riferimento alle formule utilizzate nella fase 4 con $\Delta_4 = \Delta$.

Nella tabella si calcolano le seguenti quantità:

Portata naturale e fase 1

q_o - formula F1

Q_{L1} - formula F2

Fase 2

$\frac{h_1}{h_o}$ = formula F3

q_L = formula F4

Q_{L2} = formula F5

Fase 3

$\frac{h_1}{h_o}$ = formula F6

q_L = formula F7

Q_{L3} = formula F8

Fase 4

$\frac{h_1}{h_o}$ = formula F9

$\frac{h_1}{h_o}$ = formula F10

q_d = formula F11

Q_d = formula F12

Sezione tipo 2

$\frac{h_1}{h_o}$ = formula F13

$\frac{h_1}{h_o}$ = formula F14

q_d = formula F15

Q_{d2} = formula F16

La portata totale della tratta è data da

$Q_{totale} = Q_{L1} + Q_{L2} + Q_{L3} + Q_{L4} + Q_{d2}$

se sono presenti le diverse fasi.

APPENDICE 3

Sintesi del procedimento di calcolo: bilancio idrogeologico

1 SINTESI DEL PROCEDIMENTO DI CALCOLO: BILANCIO IDROGEOLOGICO

Il bilancio idrogeologico viene definito semplicemente dal confronto tra le portate naturali q_n affluenti al bacino idrogeologico sotteso dalla galleria e quelle emunte q_d per tratte omogenee o per l'intera galleria.

ELENCO SIMBOLI

$\varepsilon[m/anno]$ = infiltrazione efficace

$\delta[m]$ =raggio della galleria

$b_0[m]$ =distanza del centro della galleria da una superficie piana impermeabile al flusso, che delimita inferiormente la regione del moto

$l[m]$ =distanza del centro della galleria da una superficie piana verticale impermeabile al flusso, che delimita lateralmente la regione del moto

$n[-]$ = porosità dell'ammasso roccioso

$k_m[m/s]$ =permeabilità dell'ammasso roccioso

$k_{mv}[m/s]$ $=\left(\frac{q_d}{q_0}\cdot k_m\right)$ permeabilità modificata

$\Delta h[m]$ =ribassamento piezometrico

$h_0[m]$ =quota piezometrica iniziale, misurata dal centro della galleria

$h_c[m]$ $=(b_0+\delta)$ quota piezometrica al contorno della galleria

$h'(t)[m]$ =quota piezometrica al tempo t, misurata dal piano $z=0$

$R(t)[m]$ =estensione orizzontale della zona in cui si verifica la depressione della falda

$q_{\Delta h}[(l/s)/m]$ =portata che determina l'abbassamento piezometrico

$q_n[(l/s)/m]$ =portata naturale affluente alla tratta di territorio interessato dalla galleria

$q_d[(l/s)/m]$ =portata drenata dalla galleria

$q(t)[(l/s)/m]$ = portata filtrante in un tronco di galleria di lunghezza 1m al generico istante t

$q_0[(l/s)/m]$ =portata filtrante in un tronco di galleria di lunghezza 1m al tempo $t=0$

$\beta[-]$ =coefficiente

$B[m]$ =ampiezza dell'area di influenza della galleria

$F_i[-]$ =fattore di sicurezza

Metodo basato su modelli di filtrazione

Per la verifica e le previsioni del bilancio idrogeologico e per la valutazione del raggio di influenza della galleria sono stati utilizzati modelli matematici ricavati dalla letteratura specializzata riportata in bibliografia.

I risultati di seguito illustrati sono stati ricavati dalla pubblicazione di F. Federico. Si tratta della soluzione in forma chiusa del problema della filtrazione indotta dallo scavo di una galleria, priva di rivestimento, in un mezzo omogeneo isotropo e indeformabile.

La trattazione porta alla determinazione delle espressioni della portata filtrante in un tronco di galleria di lunghezza 1m e della massima estensione orizzontale della zona in cui la falda si deprime.

I modelli semplificati introdotti fanno riferimento ad un moto di filtrazione essenzialmente monodimensionale; sono state ottenute due soluzioni a seconda che le variazioni idrodinamiche dell'acquifero siano dovute a prevalente flusso verticale o prevalente flusso orizzontale.

Si fa notare che i risultati dell'analisi di Federico si riferiscono al processo di filtrazione nell'ipotesi di galleria priva di rivestimento.

Per adattare la trattazione al caso della galleria completata con rivestimento definitivo e, quindi, tenere conto del fatto che la portata drenata dalla galleria risulta notevolmente ridotta rispetto al caso considerato da Federico, si introduce un coefficiente di permeabilità modificato calcolato come segue:

$$k_{mv} = \frac{q_d}{q_0} k_m .$$

Disponendo dei valori di q_d e q_0 derivanti dal calcolo per la valutazione delle portate in galleria e ottenuti con il procedimento descritto nella Parte 1, si procede all'applicazione del modello di flusso orizzontale o verticale utilizzando il coefficiente k_{mv}, calcolato per ciascuna sezione di galleria analizzata.

Per quanto riguarda la scelta del modello da utilizzare, essa è da demandare alla struttura rocciosa e alle condizioni particolari di flusso dell'acquifero: si sceglie quello più rappresentativo della situazione reale, a seconda che il moto prevalente sia orizzontale o verticale, ponendo particolare attenzione alla giacitura degli strati della roccia.

Si riportano, nel seguente paragrafo 4.1, le soluzioni analitiche del problema secondo le due diverse ipotesi di flusso: orizzontale e verticale.

Si ritiene opportuno rammentare che il modello di Federico non discute il bilancio idrogeologico del bacino in cui viene realizzata la galleria ma valuta localmente quanto incida la presenza della stessa in termini di sottrazione dell'acqua che viene apportata alla falda a seguito dell'infiltrazione delle piogge.

L'acqua che giunge al suolo per effetto delle precipitazioni e che non infiltra e non evapora, scorre in superficie per effetto della forza di gravità e viene convogliata dall'orografia del terreno verso i compluvi e incanalata dal reticolo idrografico superficiale.

Quest'ultimo è alimentato, oltre che dalla precipitazione diretta dell'acqua che non si infiltra, anche dal deflusso all'interno del sottosuolo, che muovendosi lateralmente attraverso i suoli, verso i canali, fuoriesce in superficie.

Definendo q_n la portata che si infiltra nel sottosuolo e q_m la portata che, seguendo la morfologia, scorre al di sotto del piano campagna andando ad alimentare il reticolo superficiale, si può scrivere che in condizioni di equilibrio vale l'equazione $q_n = q_m$, altrimenti si verificherebbe il progressivo innalzamento del livello di falda.

Una volta realizzata la galleria, la nuova condizione di equilibrio risulta $q_n = q_m + q_d$, vale a dire che parte dell'acqua che era destinata all'alimentazione del reticolo idrografico superficiale risulta ora drenata dalla galleria.

Con particolare riferimento al modello di filtrazione verticale, è necessario specificare che la trattazione analitica porta a stabilire quale sia l'andamento nel tempo della superficie piezometrica prescindendo da considerazioni in merito al processo di alimentazione sotterranea delle acque superficiali.

Il modello indica, però, se il regime di precipitazioni risulti sufficiente per compensare le portate emunte dalla galleria.

Modello con prevalente flusso verticale

Si fa riferimento allo schema di figura 4.1 in cui la zona di influenza esercitata dalla galleria sull'ammasso ha larghezza 2l.

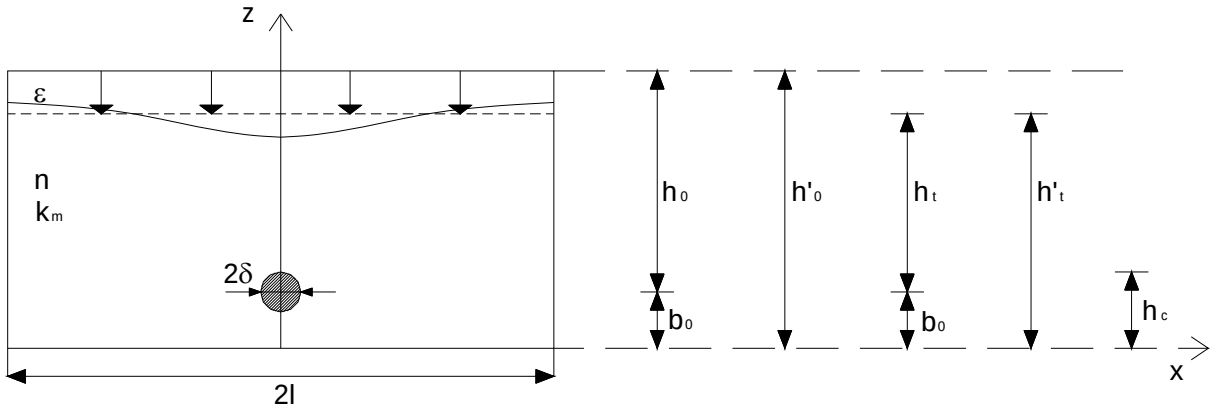


Figura 14.1 Schema di riferimento per il modello con prevalente flusso di filtrazione verticale

Soluzione generale

Caso a) Apporto meteorico: $\varepsilon \neq 0$

$$q\left(h_t^{'}\right)=\frac{4\cdot\pi\cdot k_m\left(h_t^{'}-h_c\right)}{\ln\left[sh\frac{\pi\cdot\left(h_t^{'}-b_0\right)}{l}\cdot sh\frac{\pi\cdot\left(h_t^{'}+b_0\right)}{l}\right]-G}$$

$$\frac{k_m\cdot t}{n}=\frac{h_0^{'}-h_t^{'}}{D}-\frac{l}{2\cdot\pi}\left(\ln\frac{h_t^{'}\cdot D-h_c+A_2\cdot C}{h_0^{'}\cdot D-h_c+A_2\cdot C}\right)\cdot\left[\frac{2\cdot\pi}{l\cdot D^2}\cdot\left(h_c-A_2\cdot C\right)-\frac{C}{D}\right]$$

con:

$$h_c=\delta+b_0$$

$$G=\ln\left(\frac{2\pi\cdot\delta}{l}\cdot\frac{\pi\cdot b_0}{l}\right)$$

$$D=1-\frac{\varepsilon}{k_m}$$

$$A_2=\frac{\varepsilon\cdot l}{2\pi\cdot k_m}$$

$$C=\ln 4+G$$

b_0 viene introdotto per delimitare il semispazio e deve essere tale da non rendere negativo il logaritmo. Si può assumere come valore massimo $b_0=7\delta$.

Dalla seconda equazione, con approssimazioni successive, si determina $h_t^{'}$ e in un secondo tempo si valuta $q\left(h_t^{'}\right)$.

Caso b) Assenza di precipitazioni: $\varepsilon = 0$

$$q\left(h_t^{'}\right) = \frac{4 \cdot \pi \cdot k_m \left(h_t^{'} - h_c\right)}{\ln\left[sh\frac{\pi \cdot \left(h_t^{'} - b_0\right)}{l} \cdot sh\frac{\pi \cdot \left(h_t^{'} + b_0\right)}{l}\right] - G}$$

$$\frac{k_m \cdot t}{n} = h_0^{'} - h_t^{'} - \left(h_c - \frac{l}{2\pi} C \right) \cdot \ln \frac{h_t^{'} - h_c}{h_0^{'} - h_c}$$

Soluzione semplificata

Caso a) Apporto meteorico: $\varepsilon \neq 0$

$$q(t) = q_0 \cdot e^{-T} + 2 \cdot \varepsilon \cdot l \cdot (1 - e^{-T})$$

$$h_t^{'} = h_0^{'} \cdot e^{-T} + \frac{2 \cdot \varepsilon \cdot l}{F \cdot k_m} \cdot (1 - e^{-T})$$

con:

$$T = \frac{F \cdot k_m \cdot t}{2l \cdot n}$$

$$F = \frac{h'_0 - h_c}{h'_0} \cdot \frac{4\pi}{\ln\left[sh\frac{\pi \cdot \left(h'_0 - b_0\right)}{l} \cdot sh\frac{\pi \cdot \left(h'_0 + b_0\right)}{l}\right] - G}$$

$$G = \ln\left[\frac{2 \cdot \pi \cdot \delta}{l} \cdot \frac{\pi \cdot b_0}{l} \right]$$

$$h_c = b_0 + \delta$$

$$q_0 = F \cdot k_m \cdot h_0^{'} = \frac{4\pi \cdot k_m \cdot \left(h'_0 - h_c\right)}{\ln\left[sh\frac{\pi \cdot \left(h'_0 - b_0\right)}{l} \cdot sh\frac{\pi \cdot \left(h'_0 + b_0\right)}{l}\right] - G}$$

$$\lim_{t\to\infty} T(t) = \infty$$
$$\lim_{t\to\infty} q(t) = 2l\varepsilon$$
$$\lim_{t\to\infty} h_t' = \frac{2l\varepsilon}{F \cdot k_m}$$

Caso b) Assenza di precipitazioni: $\varepsilon = 0$

$$q(t) = q_0 \cdot e^{-T}$$
$$h_t' = h_0' \cdot e^{-T}$$

Nella pratica si utilizza la soluzione approssimata, che differisce nei risultati da quelli generali di una percentuale trascurabile ai fini delle valutazioni applicative.

Il procedimento appena descritto è stato implementato mediante fogli EXCEL che calcolano $q(t)$ e $h(t)$.

Modello con prevalente flusso orizzontale

Con riferimento allo schema di figura 4.2 si riporta di seguito la soluzione ottenuta da Federico nell'ipotesi di regione del moto limitata inferiormente e linea libera parabolica.

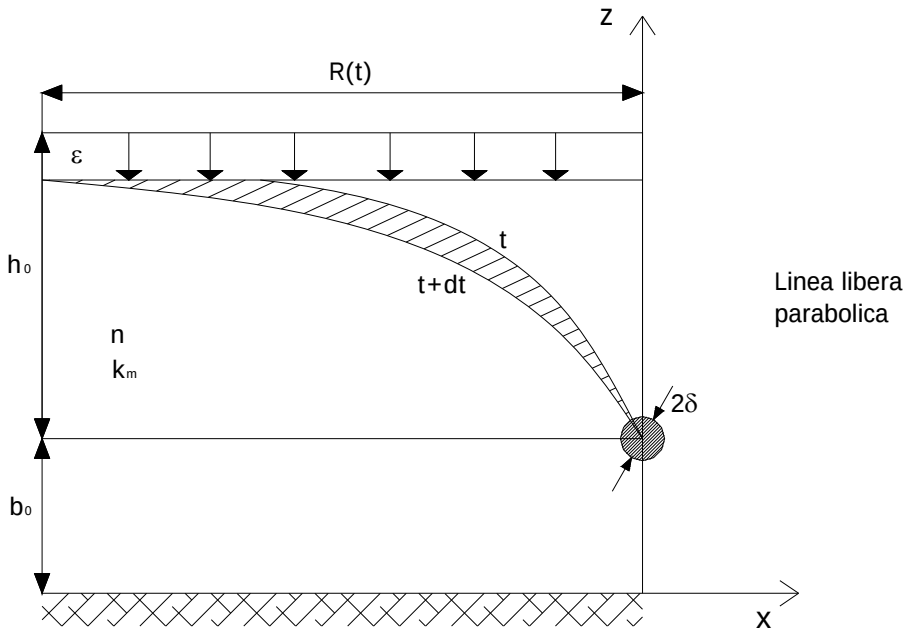


Figura 14.2 Schema di riferimento per il modello con prevalente flusso di filtrazione orizzontale

caso a)

$\varepsilon \neq 0$

$$R(t) = \sqrt{\frac{k_m}{2 \cdot \varepsilon}\left(h_0^2 + 2b_0 \cdot h_0\right) \cdot \beta^2}$$

$$q(t) = \sqrt{\frac{2 \cdot \varepsilon \cdot k_m}{\beta^2}\left(h_0^2 + 2b_0 \cdot h_0\right)}$$

con:

$$\alpha = \frac{6 \cdot \varepsilon}{n \cdot h_0}$$
$$\beta = \sqrt{1 - e^{-\alpha \cdot t}}$$

Per

$$\varepsilon \neq 0 \Rightarrow \alpha \neq 0$$

e per:

$$t \to \infty \Rightarrow \beta = 1$$

I valori a regime saranno, dunque:

$$\lim_{t \to \infty} R(t) = \sqrt{\frac{k_m}{2 \cdot \varepsilon}\left(h_0^2 + 2b_0 \cdot h_0\right)}$$
$$\lim_{t \to \infty} q(t) = \sqrt{2 \cdot \varepsilon \cdot k_m \left(h_0^2 + 2b_0 \cdot h_0\right)}$$

caso b)

$\varepsilon = 0$

$$R(t) = \sqrt{3k_m \cdot \left(h_0 + 2b_0\right) \cdot \frac{t}{n}}$$
$$q(t) = h_0 \cdot \sqrt{k_m \cdot n \cdot \left(h_0 + 2b_0\right) \cdot \frac{1}{3t}}$$

Al tempo $t = \infty$ risulta:

$$\lim_{t \to \infty} R(t) = \infty$$
$$\lim_{t \to \infty} q(t) = 0$$

cioè completo esaurimento della falda.

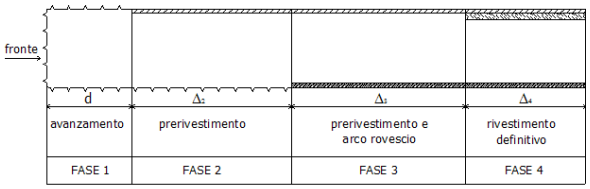
Anche questa soluzione è stata implementata attraverso fogli di calcolo EXCEL nei quali vengono calcolati $R(t)$ e $q(t)$.

APPENDICE 4

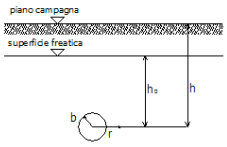
Valutazione delle portate emunte e pressioni agenti sui rivestimenti in regime di flusso stazionario

Significato dei simboli:

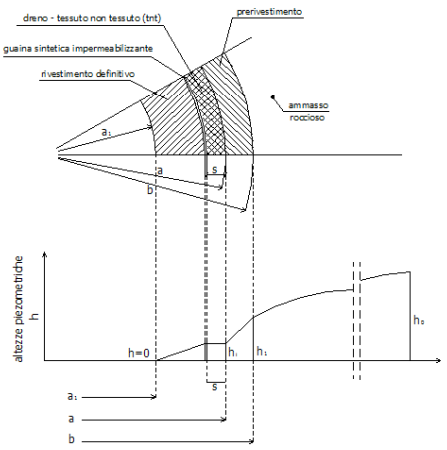
Fasi di avanzamento della galleria



Posizione della galleria rispetto al piano campagna e rispetto alla falda



Simbologia



$b[m]$	=	raggio del profilo di scavo in roccia della galleria
$a[m]$	=	raggio del profilo di intradosso del rivestimento di prima fase
$l[m]$	=	lunghezza della sezione tipo 2
$k_m[m/s]$	=	coefficiente di permeabilità dell'ammasso roccioso
$k_L[m/s]$	=	coefficiente di permeabilità del rivestimento di prima fase
$\vartheta[m^2/s]$	=	trasmissività del dreno, tessuto non tessuto, $\vartheta = k_d \cdot s$
$d[m]$	=	tratto non rivestito in corrispondenza del fronte
$\Delta_2[m]$	=	tratto con rivestimento di prima fase
$\Delta_3[m]$	=	tratto con rivestimento di prima fase e arco rovescio
$\Delta_4[m]$	=	tratto con rivestimento definitivo
$q_0[(l/s)/m]$	=	portata (per metro lineare) naturale in galleria
$q_L[(l/s)/m]$	=	portata (per metro lineare) in presenza del rivestimento provvisorio
$q_d[(l/s)/m]$	=	portata (per metro lineare) scaricata dal dreno
$Q_{L1}[m^3/s]$	=	portata complessiva nel tratto in avanzamento compreso tra il fronte e il prerivestimento
$Q_{L2}[m^3/s]$	=	portata complessiva nel tratto di galleria con prerivestimento
$Q_{L3}[m^3/s]$	=	portata complessiva nel tratto di galleria con prerivestimento e arco rovescio
$Q_d[m^3/s]$	=	portata complessiva scaricata dal dreno
$h_i[m]$	=	carico idraulico all'estradosso del rivestimento definitivo
$h_1[m]$	=	carico idraulico all'estradosso del rivestimento di prima fase
$h_t[m]$	=	carico idraulico in regime di flusso stazionario
$h_0[m]$	=	carico piezometrico iniziale
$h[m]$	=	copertura della galleria

Formule:

Portata naturale e fase 1

$$q_0 = \frac{k_m \cdot 2\pi \cdot h_0}{\ln\left(\frac{2h_0}{b}\right)}$$

$$Q_{L1} = q_0\left[d + Cb\ln\left(\frac{b}{a}\right)\right]$$

Fase 2 - Prerivestimento

$$\frac{h_1}{h_o} = 1 - \alpha$$

$$q_L = q_0(0.75\alpha + 0.25)$$

$$Q_{L2} = q_L \cdot \Delta_2$$

Fase 3 - Prerivestimento con arco rovescio

$$\frac{h_1}{h_o} = 1 - \alpha$$

$$q_L = 0.75\alpha \cdot q_0$$

$$Q_{L3} = q_L \cdot \Delta_3$$

Fase 4 - Rivestimento definitivo

Sezioni tipo 0, 1, 1A

$$\frac{h_i}{h_o} = \frac{\alpha D \frac{k_m}{\vartheta}}{1 + \alpha D \frac{k_m}{\vartheta}} \qquad \frac{h_1}{h_o} = 1 - \frac{\frac{h_i}{h_0}}{D\frac{k_m}{\vartheta}}$$

$$q_d = \alpha k_m \frac{2\pi(h_0 - h_i)}{\ln\left(\frac{2h_0}{b}\right)}$$

$$Q_d = q_d \cdot \Delta_4 \qquad Q_d \equiv Q_{d0}, Q_{d1}, Q_{d1A}$$

Sezione tipo 2

$$\frac{h_i}{h_o} = \frac{2}{3}\left[\frac{\alpha D_1 \frac{k_m}{\vartheta}}{1 + \alpha D_1 \frac{k_m}{\vartheta}}\right] \qquad \frac{h_1}{h_o} = 1 - \left[\frac{\left(\frac{h_i}{h_0}\right)_{medio}}{D_1 \frac{k_m}{\vartheta}}\right]$$

$$q_d = 6\pi a \vartheta \frac{h_i}{l^2}$$

$$Q_{d2} = q_d \cdot \Delta_4$$

Caratteristiche geometriche sezione di avanzamento e fasi esecutive. Galleria esistente del Fereggiano (EDILSTRADE 1993)

Sezioni tipo	Note	GEOMETRIA			FASI ESECUTIVE		
		b	a	a_1	d	Δ_2	Δ_3
Sigla		[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
Unica	Sez. media	3,00	2,90	2,60	1,00	8,00	901,00

Caratteristiche geometriche sezione di avanzamento e fasi esecutive. Galleria di progetto del Fereggiano

Sezioni tipo	Note	GEOMETRIA			FASI ESECUTIVE		
		b	a	a_1	d	Δ_2	Δ_3
Sigla		[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
A1	Sez. media	3,20	3,00	2,60	2,00	10,00	20,00

Valori del coefficiente di trasmissività del dreno in funzione della sezione tipo e della profondità

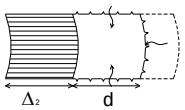
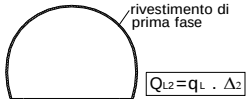
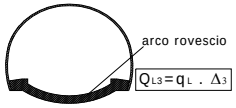
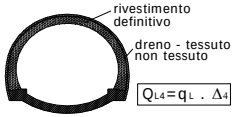
	COEFFICIENTI DI TRASMISSIVITA' DEL DRENO θ (m^2/s)					
Copertura h	Tipo 0		Tipo 1 - 1a		Tipo 2	
(m)	Normale	Lungo termine	Normale	Lungo termine	Normale	Lungo termine
0	6,50E-06	6,50E-07	3,00E-06	3,00E-06	6,50E-07	5,20E-07
50	6,50E-06	6,50E-07	3,00E-06	3,00E-06	6,50E-07	5,20E-07
100	3,00E-06	3,00E-07	3,00E-06	3,00E-06	3,00E-07	2,40E-07
200	2,00E-06	2,00E-07	3,00E-06	3,00E-06	2,00E-07	1,60E-07
300	1,50E-06	1,50E-07	3,00E-06	3,00E-06	1,50E-07	1,20E-07
400	1,40E-06	1,40E-07	3,00E-06	3,00E-06	1,40E-07	1,12E-07
500	1,20E-06	1,20E-07	3,00E-06	3,00E-06	1,20E-07	9,60E-07

Pressioni sui rivestimenti e portate in galleria – Dati di input –																		
Galleria FERREGGIANO da progressiva 0+000 a progressiva 0+909																		
Dati di input: sezioni tipologiche – geometria sezione – caratteristiche ammasso – caratteristiche dreno																		
Tratta omogenea	Sezione galleria			Ammasso roccioso e caratteristiche idrogeologiche				Spritz beton	Sezione tipo di drenaggio		Trasmissività ϑ		Suddivisione tratta omogenea in funzione delle fasi costruttive				
da progressiva a progressiva	Sezione costruttiva	b	a	Formazione	h	h_0	k_m	k_L	Sezione tipo	sezione tipo 2	lungo termine	breve termine	Δ	d	Δ_2	Δ_3	Δ_4
[km+m]	[tipo]	[m]	[m]	[sigla]	[m]	[m]	[m/s]	[m/s]	[tipo]	[m]	[m^2/s]	[m^2/s]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
0+000 0+100	unica	3,00	2,90	UMA	30	1	2,4E-8	1,0E-9	0	100,0	6,5E-7	6,5E-6	100,0	0,00	0,00	100,00	0
0+100 0+200	unica	3,00	2,90	UMA	30	8	2,4E-8	1,0E-9	0	100,0	6,5E-7	6,5E-6	100,0	0,00	0,00	100,00	0
0+200 0+300	unica	3,00	2,90	UMA	30	12	2,4E-8	1,0E-9	0	100,0	6,5E-7	6,5E-6	100,0	0,00	0,00	100,00	0
0+300 0+400	unica	3,00	2,90	UMA	30	13	2,4E-8	1,0E-9	0	100,0	6,5E-7	6,5E-6	100,0	0,00	0,00	100,00	0
0+400 0+500	unica	3,00	2,90	UMA	34	14	2,4E-8	1,0E-9	0	100,0	6,5E-7	6,5E-6	100,0	0,00	0,00	100,00	0
0+500 0+600	unica	3,00	2,90	UMA	32	15	2,4E-8	1,0E-9	0	100,0	6,5E-7	6,5E-6	100,0	0,00	0,00	100,00	0
0+600 0+700	unica	3,00	2,90	UMA	32	15	2,4E-8	1,0E-9	0	100,0	6,5E-7	6,5E-6	100,0	0,00	0,00	100,00	0
0+700 0+800	unica	3,00	2,90	UMA	38	15	2,4E-8	1,0E-9	0	100,0	6,5E-7	6,5E-6	100,0	0,00	0,00	100,00	0
0+800 0+900	unica	3,00	2,90	UMA	38	15	2,4E-8	1,0E-9	0	50,0	6,5E-7	6,5E-6	50,0	0,00	0,00	100,00	0

Pressioni sui rivestimenti e portate in galleria – Dati di output –

Galleria FERREGGIANO da progressiva 0+000 a progressiva 0+909

Dati di output: portate e pressioni nelle fasi costruttive

Tratta omogenea		FASE 1		FASE 2 (Δ_2)			FASE 3 (Δ_3)			FASE 4 (Δ_4)				Contributo singola tratta
da progressiva a progressiva	Sezione tipo	q_0	Q_{L1}	h_1/h_0	q_L	Q_{L2}	h_1/h_0	q_L	Q_{L3}	h_i/h_0	h_1/h_0	q_d	Q_d	$Q_{totale\ tratta}$
[km+m]	[tipo]	(l/s/m)	(l/s)	[-]	(l/s/m)	(l/s)	[-]	(l/s/m)	(l/s)	[-]	[-]	(l/s/m)	(l/s)	(l/s)
0+000 0+100	0	-364,2E-6	-	-	-	-	2,0E+0	283,1E-6	28,3E-3	165,5E-3	1,9E+0	314,9E-6	000,0E+0	2,83E-02
0+100 0+200	0	705,6E-6	-	-	-	-	322,5E-3	358,6E-6	35,9E-3	30,5E-3	343,1E-3	463,5E-6	000,0E+0	3,59E-02
0+200 0+300	0	852,1E-6	-	-	-	-	277,0E-3	462,0E-6	46,2E-3	26,3E-3	296,0E-3	599,9E-6	000,0E+0	4,62E-02
0+300 0+400	0	888,9E-6	-	-	-	-	269,5E-3	487,0E-6	48,7E-3	25,6E-3	288,2E-3	632,7E-6	000,0E+0	4,87E-02
0+400 0+500	0	925,5E-6	-	-	-	-	262,9E-3	511,6E-6	51,2E-3	25,0E-3	281,3E-3	665,1E-6	000,0E+0	5,12E-02
0+500 0+600	0	961,9E-6	-	-	-	-	257,1E-3	536,0E-6	53,6E-3	24,4E-3	275,2E-3	697,2E-6	000,0E+0	5,36E-02
0+600 0+700	0	961,9E-6	-	-	-	-	257,1E-3	536,0E-6	53,6E-3	24,4E-3	275,2E-3	697,2E-6	000,0E+0	5,36E-02
0+700 0+800	0	961,9E-6	-	-	-	-	257,1E-3	536,0E-6	53,6E-3	24,4E-3	275,2E-3	697,2E-6	000,0E+0	5,36E-02
0+800 0+900	0	961,9E-6	-	-	-	-	257,1E-3	536,0E-6	53,6E-3	24,4E-3	275,2E-3	697,2E-6	000,0E+0	5,36E-02
									424,6E-3					
													
		PORTATA IN FASE "PROVVISORIA "												4,25E-01

Galleria Scolmatore Fereggiano da progressiva 0+909 a progressiva 3.717																		
Dati di input: sezioni tipologiche – geometria sezione – caratteristiche ammasso – caratteristiche dreno																		
Tratta omogenea	Sezione galleria			Ammasso roccioso e caratteristiche idrogeologiche				Spritz beton	Sezione tipo di drenaggio		Trasmissività ϑ		Suddivisione tratta omogenea in funzione delle fasi costruttive				
da progressiva a progressiva	Sezione costruttiva	b	a	Formazione	h	h_0	k_m	k_L	Sezione tipo	sezione tipo 0	lungo termine	breve termine	Δ	d	Δ_2	Δ_3	Δ_4
[km+m]	[tipo]	[m]	[m]	[sigla]	[m]	[m]	[m/s]	[m/s]	[tipo]	[m]	[m^2/s]	[m^2/s]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
0+909 0+960	A1	3,20	3,00	UMA	30	15	2,4E-8	5,0E-8	0	40,0	6,5E-7	6,5E-6	40,0	2,00	10,00	20,00	8
0+960 1+040	A1	3,20	3,00	UMA	38	15	2,4E-8	5,0E-8	0	40,0	6,5E-7	6,5E-6	40,0	2,00	10,00	20,00	8
1+040 1+120	A1	3,20	3,00	UMA	50	15	2,4E-8	5,0E-8	0	40,0	6,5E-7	6,5E-6	40,0	2,00	10,00	20,00	8
1+120 1+200	A1	3,20	3,00	UMA	52	15	2,4E-8	5,0E-8	0	40,0	6,5E-7	6,5E-6	40,0	2,00	10,00	20,00	8
1+200 1+280	A1	3,20	3,00	UMA	56	15,5	2,4E-8	5,0E-8	0	40,0	6,5E-7	6,5E-6	40,0	2,00	10,00	20,00	8
1+280 1+360	A1	3,20	3,00	UMA	58	16	2,4E-8	5,0E-8	0	40,0	6,5E-7	6,5E-6	40,0	2,00	10,00	20,00	8
1+360 1+440	A1	3,20	3,00	UMA	55	16	2,4E-8	5,0E-8	0	40,0	6,5E-7	6,5E-6	40,0	2,00	10,00	20,00	8
1+440 1+520	A1	3,20	3,00	UMA	68	16	2,4E-8	5,0E-8	0	40,0	6,5E-7	6,5E-6	40,0	2,00	10,00	20,00	8
1+520 1+600	A1	3,20	3,00	UMA	74	16	2,4E-8	5,0E-8	0	40,0	6,5E-7	6,5E-6	40,0	2,00	10,00	20,00	8
1+600 1+680	A1	3,20	3,00	UMA	68	16,5	2,4E-8	5,0E-8	0	40,0	6,5E-7	6,5E-6	40,0	2,00	10,00	20,00	8
1+680 1+760	A1	3,20	3,00	UMA	67	19	2,4E-8	5,0E-8	0	40,0	6,5E-7	6,5E-6	40,0	2,00	10,00	20,00	8
1+760 1+840	A1	3,20	3,00	UMA	70	22	2,4E-8	5,0E-8	0	40,0	6,5E-7	6,5E-6	40,0	2,00	10,00	20,00	8
1+840 1+920	A1	3,20	3,00	UMA	80	30	2,4E-8	5,0E-8	0	40,0	6,5E-7	6,5E-6	40,0	2,00	10,00	20,00	8
1+920 2+000	A1	3,20	3,00	UMA	76	36	2,4E-8	5,0E-8	0	40,0	6,5E-7	6,5E-6	40,0	2,00	10,00	20,00	8
2+000 2+120	A1	3,20	3,00	UMA	55	40	1,0E-7	5,0E-8	0	60,0	6,5E-7	6,5E-6	60,0	2,00	10,00	20,00	28
2+120 2+240	A1	3,20	3,00	UMA	47	42	1,0E-7	5,0E-8	0	60,0	6,5E-7	6,5E-6	60,0	2,00	10,00	20,00	28
2+240 2+360	A1	3,20	3,00	UMA	50	45	1,0E-7	5,0E-8	0	60,0	6,5E-7	6,5E-6	60,0	2,00	10,00	20,00	28

Galleria Scolmatore Fereggiano da progressiva 0+909 a progressiva 3.717																	
Dati di input: sezioni tipologiche – geometria sezione – caratteristiche ammasso – caratteristiche dreno																	
Tratta omogenea	Sezione galleria			Ammasso roccioso e caratteristiche idrogeologiche				Spritz beton	Sezione tipo di drenaggio		Trasmissività ϑ		Suddivisione tratta omogenea in funzione delle fasi costruttive				
2+360 2+480	A1	3,20	3,00	UMA	75	58	2,4E-8	5,0E-8	0	40,0	6,5E-7	6,5E-6	40,0	2,00	10,00	20,00	8
2+480 2+600	A1	3,20	3,00	UMA	97	75	2,4E-8	5,0E-8	0	40,0	6,5E-7	6,5E-6	40,0	2,00	10,00	20,00	8
2+600 2+680	A1	3,20	3,00	UMA	103	83	2,4E-8	5,0E-8	0	40,0	3,0E-7	3,0E-6	40,0	2,00	10,00	20,00	8
2+680 2+760	A1	3,20	3,00	UMA	115	84	2,4E-8	5,0E-8	0	40,0	3,0E-7	3,0E-6	40,0	2,00	10,00	20,00	8
2+760 2+840	A1	3,20	3,00	UMA	115	81	2,4E-8	5,0E-8	0	40,0	3,0E-7	3,0E-6	40,0	2,00	10,00	20,00	8
2+840 2+920	A1	3,20	3,00	UMA	85	75	2,4E-8	5,0E-8	0	40,0	6,5E-7	6,5E-6	40,0	2,00	10,00	20,00	8
2+920 3+000	A1	3,20	3,00	UMA	92	85	2,4E-8	5,0E-8	0	40,0	6,5E-7	6,5E-6	40,0	2,00	10,00	20,00	8
3+000 3+120	A1	3,20	3,00	UMA	125	105	1,0E-7	5,0E-8	0	60,0	3,0E-7	3,0E-6	60,0	2,00	10,00	20,00	28
3+120 3+240	A1	3,20	3,00	UMA	155	120	2,4E-8	5,0E-8	0	40,0	3,0E-7	3,0E-6	40,0	2,00	10,00	20,00	8
3+240 3+320	A1	3,20	3,00	UMA	157	122	2,4E-8	5,0E-8	0	40,0	3,0E-7	3,0E-6	40,0	2,00	10,00	20,00	8
3+320 3+400	A1	3,20	3,00	UMA	158	115	2,4E-8	5,0E-8	0	40,0	3,0E-7	3,0E-6	40,0	2,00	10,00	20,00	8
3+400 3+480	A1	3,20	3,00	UMA	136	100	2,4E-8	5,0E-8	0	40,0	3,0E-7	3,0E-6	40,0	2,00	10,00	20,00	8
3+480 3+560	A1	3,20	3,00	UMA	100	80	2,4E-8	5,0E-8	0	40,0	3,0E-7	3,0E-6	40,0	2,00	10,00	20,00	8
3+560 3+640	A1	3,20	3,00	UMA	72	63	2,4E-8	5,0E-8	0	40,0	6,5E-7	6,5E-6	40,0	2,00	10,00	20,00	8
3+640 3+720	A1	3,20	3,00	UMA	63	52	2,4E-8	5,0E-8	0	40,0	6,5E-7	6,5E-6	40,0	2,00	10,00	20,00	8

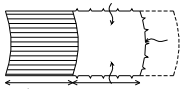
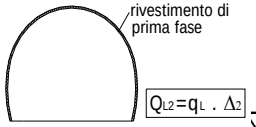
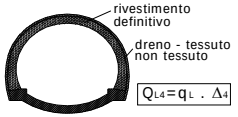
Galleria Scolmatore Fereggiano da progressiva 0+909 a progressiva 3.717

Dati di output: portate e pressioni nelle fasi costruttive

Tratta omogenea		FASE 1		FASE 2 (Δ_2)			FASE 3 (Δ_3)			FASE 4 (Δ_4)				Contributo singola tratta
da progressiva a progressiva	Sezione tipo	q_0	Q_{L1}	h_1/h_0	q_L	Q_{L2}	h_1/h_0	q_L	Q_{L3}	h_i/h_0	h_1/h_0	q_d	Q_d	$Q_{totale\ tratta}$
[km+m]	[tipo]	(l/s/m)	(l/s)	[-]	(l/s/m)	(l/s)	[-]	(l/s/m)	(l/s)	[-]	[-]	(l/s/m)	(l/s)	(l/s)
0+909 0+960	0	1,0E-3	9,3E-3	13,7E-3	1,0E-3	10,0E-3	13,7E-3	747,7E-6	15,0E-3	34,9E-3	48,1E-3	962,1E-6	7,7E-3	4,19E-02
0+960 1+040	0	1,0E-3	9,3E-3	13,7E-3	1,0E-3	10,0E-3	13,7E-3	747,7E-6	15,0E-3	34,9E-3	48,1E-3	962,1E-6	7,7E-3	4,19E-02
1+040 1+120	0	1,0E-3	9,3E-3	13,7E-3	1,0E-3	10,0E-3	13,7E-3	747,7E-6	15,0E-3	34,9E-3	48,1E-3	962,1E-6	7,7E-3	4,19E-02
1+120 1+200	0	1,0E-3	9,3E-3	13,7E-3	1,0E-3	10,0E-3	13,7E-3	747,7E-6	15,0E-3	34,9E-3	48,1E-3	962,1E-6	7,7E-3	4,19E-02
1+200 1+280	0	1,0E-3	9,5E-3	13,5E-3	1,0E-3	10,2E-3	13,5E-3	761,6E-6	15,2E-3	34,4E-3	47,4E-3	980,5E-6	7,8E-3	4,28E-02
1+280 1+360	0	1,0E-3	9,8E-3	13,3E-3	1,0E-3	10,4E-3	13,3E-3	775,4E-6	15,5E-3	33,9E-3	46,8E-3	998,8E-6	8,0E-3	4,37E-02
1+360 1+440	0	1,0E-3	9,8E-3	13,3E-3	1,0E-3	10,4E-3	13,3E-3	775,4E-6	15,5E-3	33,9E-3	46,8E-3	998,8E-6	8,0E-3	4,37E-02
1+440 1+520	0	1,0E-3	9,8E-3	13,3E-3	1,0E-3	10,4E-3	13,3E-3	775,4E-6	15,5E-3	33,9E-3	46,8E-3	998,8E-6	8,0E-3	4,37E-02
1+520 1+600	0	1,0E-3	9,8E-3	13,3E-3	1,0E-3	10,4E-3	13,3E-3	775,4E-6	15,5E-3	33,9E-3	46,8E-3	998,8E-6	8,0E-3	4,37E-02
1+600 1+680	0	1,1E-3	10,1E-3	13,1E-3	1,1E-3	10,6E-3	13,1E-3	789,3E-6	15,8E-3	33,5E-3	46,2E-3	1,0E-3	8,1E-3	4,46E-02
1+680 1+760	0	1,2E-3	11,5E-3	12,4E-3	1,1E-3	11,5E-3	12,4E-3	857,7E-6	17,2E-3	31,7E-3	43,7E-3	1,1E-3	8,9E-3	4,90E-02
1+760 1+840	0	1,3E-3	13,1E-3	11,7E-3	1,3E-3	12,5E-3	11,7E-3	938,2E-6	18,8E-3	30,0E-3	41,3E-3	1,2E-3	9,7E-3	5,42E-02
1+840 1+920	0	1,5E-3	17,6E-3	10,5E-3	1,5E-3	15,3E-3	10,5E-3	1,1E-3	22,9E-3	26,9E-3	37,1E-3	1,5E-3	11,9E-3	6,77E-02
1+920 2+000	0	1,7E-3	20,9E-3	9,9E-3	1,7E-3	17,3E-3	9,9E-3	1,3E-3	25,9E-3	25,4E-3	35,0E-3	1,7E-3	13,5E-3	7,75E-02
2+000 2+120	0	7,8E-3	96,0E-3	38,6E-3	7,6E-3	75,8E-3	38,6E-3	5,6E-3	112,6E-3	92,6E-3	127,6E-3	6,8E-3	190,7E-3	4,75E-01
2+120 2+240	0	8,1E-3	100,6E-3	38,0E-3	7,8E-3	78,5E-3	38,0E-3	5,8E-3	116,5E-3	91,4E-3	125,9E-3	7,1E-3	197,7E-3	4,93E-01
2+240 2+360	0	8,5E-3	107,4E-3	37,2E-3	8,2E-3	82,4E-3	37,2E-3	6,1E-3	122,4E-3	89,7E-3	123,6E-3	7,4E-3	207,9E-3	5,20E-01

Galleria Scolmatore Fereggiano da progressiva 0+909 a progressiva 3.717

Dati di output: portate e pressioni nelle fasi costruttive

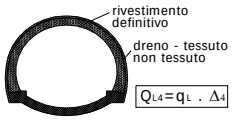
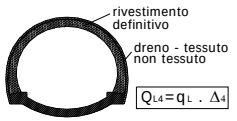
Tratta omogenea		FASE 1		FASE 2 (Δ_2)			FASE 3 (Δ_3)			FASE 4 (Δ_4)				Contributo singola tratta
da progressiva a progressiva	Sezione tipo	q_0	Q_{L1}	h_1/h_0	q_L	Q_{L2}	h_1/h_0	q_L	Q_{L3}	h_i/h_0	h_1/h_0	q_d	Q_d	$Q_{totale\ tratta}$
[km+m]	[tipo]	(l/s/m)	(l/s)	[-]	(l/s/m)	(l/s)	[-]	(l/s/m)	(l/s)	[-]	[-]	(l/s/m)	(l/s)	(l/s)
2+360 2+480	0	2,4E-3	32,9E-3	8,6E-3	2,4E-3	24,2E-3	8,6E-3	1,8E-3	36,2E-3	22,1E-3	30,5E-3	2,4E-3	18,9E-3	1,12E-01
2+480 2+600	0	2,9E-3	42,1E-3	8,0E-3	2,9E-3	29,2E-3	8,0E-3	2,2E-3	43,7E-3	20,7E-3	28,5E-3	2,9E-3	22,8E-3	1,38E-01
2+600 2+680	0	3,2E-3	46,4E-3	7,8E-3	3,2E-3	31,5E-3	7,8E-3	2,4E-3	47,2E-3	42,7E-3	50,2E-3	3,0E-3	24,1E-3	1,49E-01
2+680 2+760	0	3,2E-3	46,9E-3	7,8E-3	3,2E-3	31,8E-3	7,8E-3	2,4E-3	47,6E-3	42,6E-3	50,0E-3	3,0E-3	24,3E-3	1,51E-01
2+760 2+840	0	3,1E-3	45,3E-3	7,8E-3	3,1E-3	30,9E-3	7,8E-3	2,3E-3	46,3E-3	43,0E-3	50,5E-3	3,0E-3	23,6E-3	1,46E-01
2+840 2+920	0	2,9E-3	42,1E-3	8,0E-3	2,9E-3	29,2E-3	8,0E-3	2,2E-3	43,7E-3	20,7E-3	28,5E-3	2,9E-3	22,8E-3	1,38E-01
2+920 3+000	0	3,2E-3	47,5E-3	7,7E-3	3,2E-3	32,1E-3	7,7E-3	2,4E-3	48,0E-3	20,1E-3	27,7E-3	3,1E-3	25,1E-3	1,53E-01
3+000 3+120	0	15,8E-3	242,7E-3	29,9E-3	15,4E-3	154,1E-3	29,9E-3	11,5E-3	229,4E-3	146,5E-3	172,0E-3	13,1E-3	365,6E-3	9,92E-01
3+120 3+240	0	4,2E-3	66,3E-3	7,1E-3	4,2E-3	41,7E-3	7,1E-3	3,1E-3	62,4E-3	39,3E-3	46,1E-3	4,0E-3	32,0E-3	2,02E-01
3+240 3+320	0	4,2E-3	67,4E-3	7,1E-3	4,2E-3	42,2E-3	7,1E-3	3,2E-3	63,2E-3	39,1E-3	45,9E-3	4,0E-3	32,4E-3	2,05E-01
3+320 3+400	0	4,1E-3	63,6E-3	7,2E-3	4,0E-3	40,3E-3	7,2E-3	3,0E-3	60,4E-3	39,6E-3	46,5E-3	3,9E-3	30,9E-3	1,95E-01
3+400 3+480	0	3,6E-3	55,5E-3	7,4E-3	3,6E-3	36,3E-3	7,4E-3	2,7E-3	54,3E-3	40,9E-3	48,0E-3	3,5E-3	27,8E-3	1,74E-01
3+480 3+560	0	3,1E-3	44,8E-3	7,9E-3	3,1E-3	30,7E-3	7,9E-3	2,3E-3	45,9E-3	43,1E-3	50,6E-3	2,9E-3	23,4E-3	1,45E-01
3+560 3+640	0	2,6E-3	35,6E-3	8,4E-3	2,6E-3	25,7E-3	8,4E-3	1,9E-3	38,5E-3	21,7E-3	29,8E-3	2,5E-3	20,1E-3	1,20E-01
3+640 3+720	0	2,3E-3	29,6E-3	8,8E-3	2,2E-3	22,4E-3	8,8E-3	1,7E-3	33,5E-3	22,8E-3	31,4E-3	2,2E-3	17,5E-3	1,03E-01
														
		FASE PROVVISORIA FINO ALLA PROGRESSIVA 0+966												5,29E+00

Galleria Scolmatore Fereggiano da progressiva 0+909 a progressiva 3.717									
Dati di output: portate e pressioni di esercizio a breve e a lungo termine									
Tratta omogenea		FASE 4 (Δ) GALLERIA COMPLETATA - BREVE TERMINE -				FASE 4 (Δ) GALLERIA COMPLETATA - LUNGO TERMINE -			
da progressiva a progressiva	Sezione tipo	h_i/h_0	h_1/h_0	q_d	Q_d	h_i/h_0	h_1/h_0	q_d	Q_d
[km+m]	[tipo]	[-]	[-]	(l/s/m)	(l/s)	[-]	[-]	(l/s/m)	(l/s)
0+909 0+960	0	34,9E-3	48,1E-3	962,1E-6	38,5E-3	265,4E-3	275,5E-3	732,3E-6	29,3E-3
0+960 1+040	0	34,9E-3	48,1E-3	962,1E-6	38,5E-3	265,4E-3	275,5E-3	732,3E-6	29,3E-3
1+040 1+120	0	34,9E-3	48,1E-3	962,1E-6	38,5E-3	265,4E-3	275,5E-3	732,3E-6	29,3E-3
1+120 1+200	0	34,9E-3	48,1E-3	962,1E-6	38,5E-3	265,4E-3	275,5E-3	732,3E-6	29,3E-3
1+200 1+280	0	34,4E-3	47,4E-3	980,5E-6	39,2E-3	262,7E-3	272,6E-3	748,7E-6	29,9E-3
1+280 1+360	0	33,9E-3	46,8E-3	998,8E-6	40,0E-3	260,0E-3	269,8E-3	765,1E-6	30,6E-3
1+360 1+440	0	33,9E-3	46,8E-3	998,8E-6	40,0E-3	260,0E-3	269,8E-3	765,1E-6	30,6E-3
1+440 1+520	0	33,9E-3	46,8E-3	998,8E-6	40,0E-3	260,0E-3	269,8E-3	765,1E-6	30,6E-3
1+520 1+600	0	33,9E-3	46,8E-3	998,8E-6	40,0E-3	260,0E-3	269,8E-3	765,1E-6	30,6E-3
1+600 1+680	0	33,5E-3	46,2E-3	1,0E-3	40,7E-3	257,5E-3	267,2E-3	781,4E-6	31,3E-3
1+680 1+760	0	31,7E-3	43,7E-3	1,1E-3	44,3E-3	246,6E-3	255,9E-3	861,6E-6	34,5E-3
1+760 1+840	0	30,0E-3	41,3E-3	1,2E-3	48,5E-3	236,2E-3	245,1E-3	955,5E-6	38,2E-3
1+840 1+920	0	26,9E-3	37,1E-3	1,5E-3	59,4E-3	216,8E-3	225,0E-3	1,2E-3	47,8E-3
1+920 2+000	0	25,4E-3	35,0E-3	1,7E-3	67,3E-3	206,8E-3	214,6E-3	1,4E-3	54,8E-3
2+000 2+120	0	92,6E-3	127,6E-3	6,8E-3	408,7E-3	505,1E-3	524,1E-3	3,7E-3	222,9E-3
2+120 2+240	0	91,4E-3	125,9E-3	7,1E-3	423,5E-3	501,4E-3	520,4E-3	3,9E-3	232,4E-3
2+240 2+360	0	89,7E-3	123,6E-3	7,4E-3	445,6E-3	496,4E-3	515,2E-3	4,1E-3	246,5E-3

Pressioni sui rivestimenti e portate in galleria – Dati di output –

Galleria Scolmatore Fereggiano da progressiva 0+909 a progressiva 3.717

Dati di output: portate e pressioni di esercizio a breve e a lungo termine

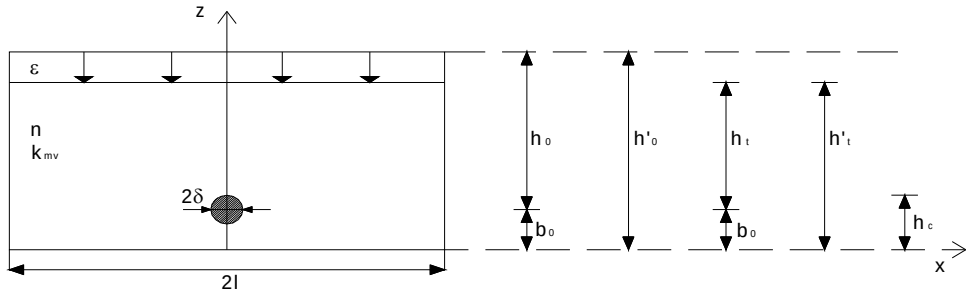
Tratta omogenea		FASE 4 (Δ) GALLERIA COMPLETATA - BREVE TERMINE -				FASE 4 (Δ) GALLERIA COMPLETATA - LUNGO TERMINE -			
da progressiva a progressiva	Sezione tipo	h_i/h_0	h_1/h_0	q_d	Q_d	h_i/h_0	h_1/h_0	q_d	Q_d
[km+m]	[tipo]	[-]	[-]	(l/s/m)	(l/s)	[-]	[-]	(l/s/m)	(l/s)
2+360 2+480	0	22,1E-3	30,5E-3	2,4E-3	94,5E-3	184,6E-3	191,6E-3	2,0E-3	78,8E-3
2+480 2+600	0	20,7E-3	28,5E-3	2,9E-3	114,2E-3	174,5E-3	181,1E-3	2,4E-3	96,3E-3
2+600 2+680	0	42,7E-3	50,2E-3	3,0E-3	120,4E-3	308,6E-3	314,0E-3	2,2E-3	87,0E-3
2+680 2+760	0	42,6E-3	50,0E-3	3,0E-3	121,5E-3	308,0E-3	313,4E-3	2,2E-3	87,8E-3
2+760 2+840	0	43,0E-3	50,5E-3	3,0E-3	118,2E-3	309,9E-3	315,3E-3	2,1E-3	85,2E-3
2+840 2+920	0	20,7E-3	28,5E-3	2,9E-3	114,2E-3	174,5E-3	181,1E-3	2,4E-3	96,3E-3
2+920 3+000	0	20,1E-3	27,7E-3	3,1E-3	125,5E-3	170,0E-3	176,4E-3	2,7E-3	106,3E-3
3+000 3+120	0	146,5E-3	172,0E-3	13,1E-3	783,3E-3	631,8E-3	642,9E-3	5,6E-3	337,9E-3
3+120 3+240	0	39,3E-3	46,1E-3	4,0E-3	159,9E-3	290,0E-3	295,1E-3	3,0E-3	118,2E-3
3+240 3+320	0	39,1E-3	45,9E-3	4,0E-3	162,0E-3	289,3E-3	294,3E-3	3,0E-3	119,8E-3
3+320 3+400	0	39,6E-3	46,5E-3	3,9E-3	154,7E-3	292,1E-3	297,2E-3	2,9E-3	114,0E-3
3+400 3+480	0	40,9E-3	48,0E-3	3,5E-3	138,9E-3	298,9E-3	304,2E-3	2,5E-3	101,5E-3
3+480 3+560	0	43,1E-3	50,6E-3	2,9E-3	117,1E-3	310,6E-3	316,0E-3	2,1E-3	84,4E-3
3+560 3+640	0	21,7E-3	29,8E-3	2,5E-3	100,4E-3	181,2E-3	188,1E-3	2,1E-3	84,0E-3
3+640 3+720	0	22,8E-3	31,4E-3	2,2E-3	87,3E-3	189,3E-3	196,4E-3	1,8E-3	72,4E-3
									
		PORTATA DI ESERCIZIO A BREVE T. (l/s) 4,4E+0				PORTATA DI ESERCIZIO A LUNGO T. (l/s) 2,8E+0			

APPENDICE 5

Valutazione del bilancio idrogeologico

Moto prevalentemente verticale

Schematizzazione del problema



Simbologia utilizzata nella schematizzazione e nelle formule

\ ↔ intensità di infiltrazione (m/anno)
\ ↔ raggio della galleria (m)
b_o = (7\) distanza del centro della galleria da una superficie piana impermeabile al flusso, che delimita inferiormente la regione del moto (m)
l = distanza del centro della galleria da una superficie piana verticale impermeabile al flusso, che delimita lateralmente la regione del moto (m)
n = porosità dell'ammasso roccioso
k_{mv} = permeabilità modificata (m/s)
h_o = quota piezometrica iniziale, misurata dal centro della galleria (m)
$h'_0 = h_0 + b_0$
h(t) = quota piezometrica al tempo t (m), misurata dal piano z = 0
$h'(t) = h(t) + b_0$
$h_c = (b_0 + \backslash)$ quota piezometrica al contorno della galleria (m)
q(t) = portata filtrante in un tronco di galleria di lunghezza 1m ((l/s)/m)
q_o = portata filtrante in un tronco di galleria di lunghezza 1m al tempo t=0
F = fattore di forma
G = coefficiente numerico

Formule

Soluzione analitica

Caso a: presenza di pioggia $\varepsilon \neq 0$

$$q(t) = q_0 \cdot e^{-T} + 2 \cdot \varepsilon \cdot l \cdot (1 - e^{-T})$$
$$h_t^{'} = h_0^{'} \cdot e^{-T} + \frac{2 \cdot \varepsilon \cdot l}{F \cdot k_{mv}} \cdot (1 - e^{-T})$$

con:

$$q_0 = F \cdot k_{mv} \cdot h_0^{'}$$

$$T = \frac{F \cdot k_{mv} \cdot t}{2l \cdot n}$$

$$F = \frac{h'_0 - h_c}{h'_0} \cdot \frac{4\pi}{\ln\left[sh\frac{\pi \cdot (h'_0 - b_0)}{l} \cdot sh\frac{\pi \cdot (h'_0 + b_0)}{l} \right] - G}$$

$$G = \ln\left[\frac{2 \cdot \pi \cdot \delta}{l} \cdot \frac{\pi \cdot b_0}{l} \right]$$

$$h_c = b_0 + \delta$$

Limiti

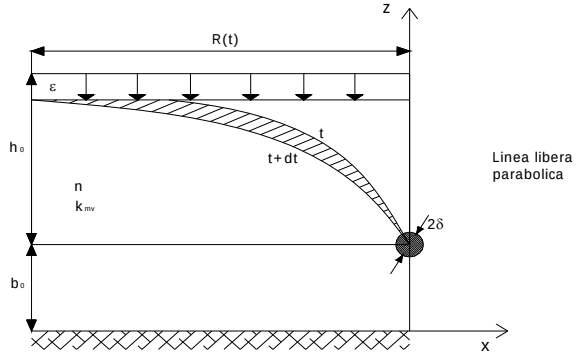
$$\lim_{t \to \infty} T(t) = \infty$$
$$\lim_{t \to \infty} q(t) = 2l\varepsilon$$
$$\lim_{t \to \infty} h_t^{'} = \frac{2l\varepsilon}{F \cdot k_{mv}}$$

Caso b: assenza di precipitazioni $\varepsilon = 0$

$$q(t) = q_0 \cdot e^{-T}$$
$$h_t^{'} = h_0^{'} \cdot e^{-T}$$

Moto prevalentemente orizzontale

Schematizzazione del problema



Simbologia utilizzata nella schematizzazione e nelle formule

- 0 intensità di infiltrazione (m/anno)
- 0 raggio della galleria (m)
- b_o = (70) distanza del centro della galleria da una superficie piana impermeabile al flusso, che delimita inferiormente la regione del moto (m)
- n = porosità dell'ammasso roccioso
- k_{mv} = permeabilità modificata (m/s)
- h_o = quota piezometrica iniziale, misurata dal centro della galleria (m)
- q(t) = portata filtrante in un tronco di galleria di lunghezza 1m ((l/s)/m)
- 0 = coefficiente
- 0 = coefficiente funzione del tempo t

Formule

Soluzione analitica

Caso a: presenza di pioggia $\varepsilon \neq 0$

$$\varepsilon \neq 0$$

$$R(t) = \sqrt{\frac{k_m}{2 \cdot \varepsilon}\left(h_0^2 + 2b_0 \cdot h_0\right) \cdot \beta^2}$$

$$q(t) = \sqrt{\frac{2 \cdot \varepsilon \cdot k_m}{\beta^2}\left(h_0^2 + 2b_0 \cdot h_0\right)}$$

con:

$$\alpha = \frac{6 \cdot \varepsilon}{n \cdot h_0}$$

$$\beta = \sqrt{1 - e^{-\alpha \cdot t}}$$

Limiti

$$\lim_{t \to \infty} R(t) = \sqrt{\frac{k_m}{2 \cdot \varepsilon}\left(h_0^2 + 2b_0 \cdot h_0\right)}$$

$$\lim_{t \to \infty} q(t) = \sqrt{2 \cdot \varepsilon \cdot k_m\left(h_0^2 + 2b_0 \cdot h_0\right)}$$

Caso b: assenza di precipitazioni $\varepsilon = 0$

$$\varepsilon = 0$$

$$R(t) = \sqrt{3k_m \cdot \left(h_0 + 2b_0\right) \cdot \frac{t}{n}}$$

$$q(t) = h_0 \cdot \sqrt{k_m \cdot n \cdot \left(h_0 + 2b_0\right) \cdot \frac{1}{3t}}$$

Limiti

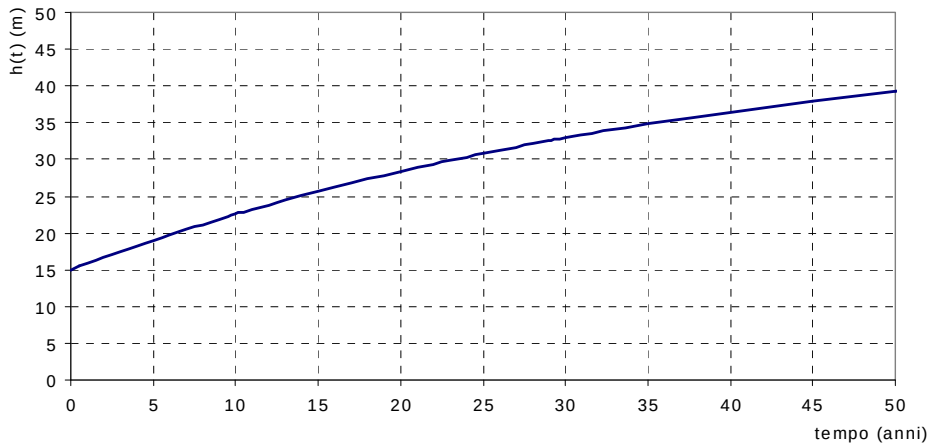
$$\lim_{t \to \infty} R(t) = \infty$$

$$\lim_{t \to \infty} q(t) = 0$$

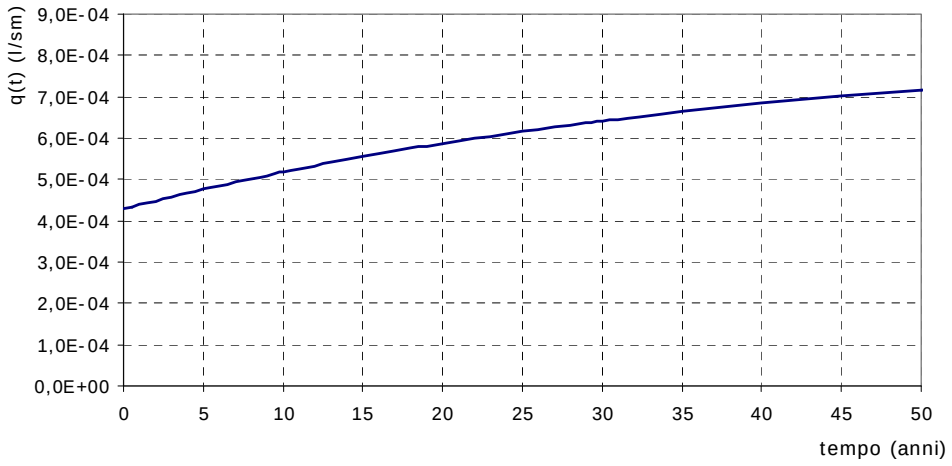
Verifica 1. Fereggiano galleria esistente progressiva 500 m.

Dati di input per la verifica del bilancio idrogeologico mediante i modelli di filtrazione								
				Caratteristiche dell'ammasso			Battente piezometrico	Raggio della galleria
Galleria	Modello	Infiltrazione efficace ε		Coefficiente di premeabilità k_{mv}		Porosità	h_0	δ
		[m/anno]	[m/s]	[m/anno]	[m/s]	[-]	[m]	[m]
Ferreggiano 1993 progressiva 500m	Flusso verticale	0,35	1,11E-08	4,19E-01	1,33E-08	0,2	15	3
Ferreggiano 1993 progressiva 500m	Flusso verticale	0	0,00E+00	4,19E-01	1,33E-08	0,2	15	3
Ferreggiano 1993 progressiva 500m	Flusso orizzontale	0,35	1,11E-08	4,19E-01	1,33E-08	0,2	15	3
Ferreggiano 1993 progressiva 500m	Flusso orizzontale	0	0,00E+00	4,19E-01	1,33E-08	0,2	15	3

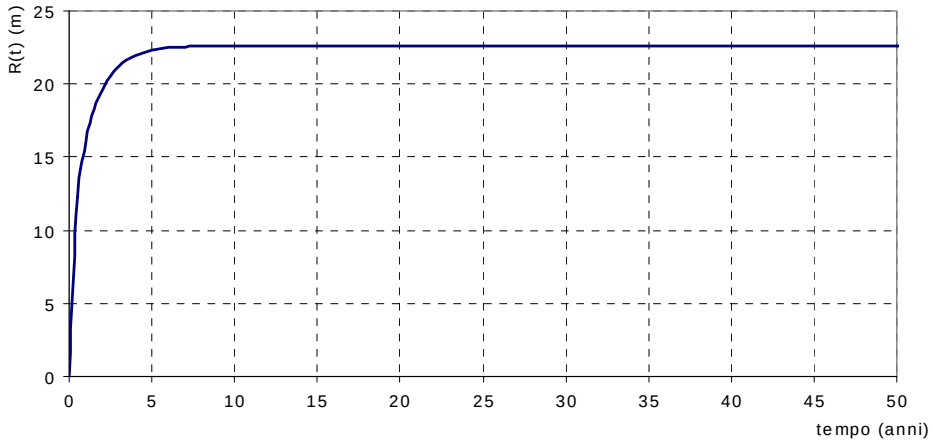
Andamento del carico piezometrico in funzione del tempo



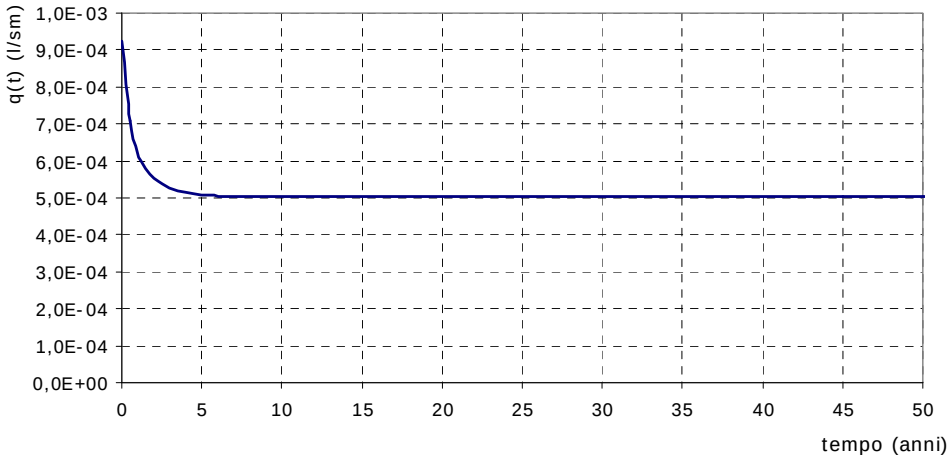
Andamento della portata in funzione del tempo



Andamento di R in funzione del tempo



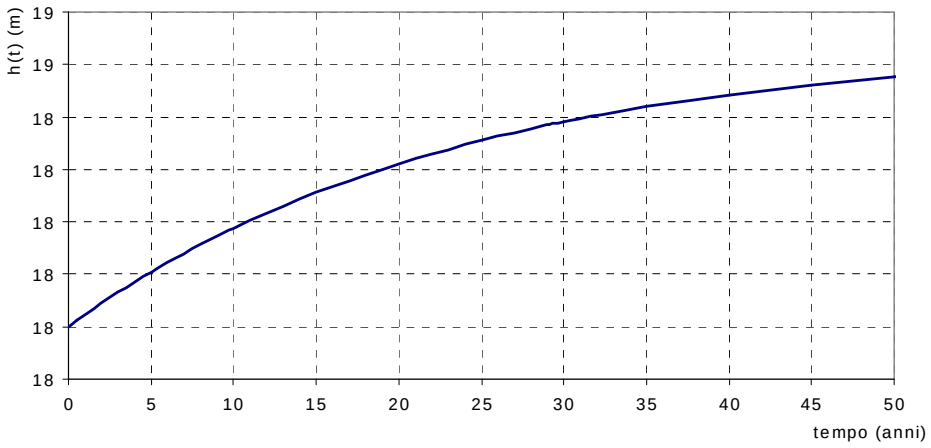
Andamento della portata in funzione del tempo



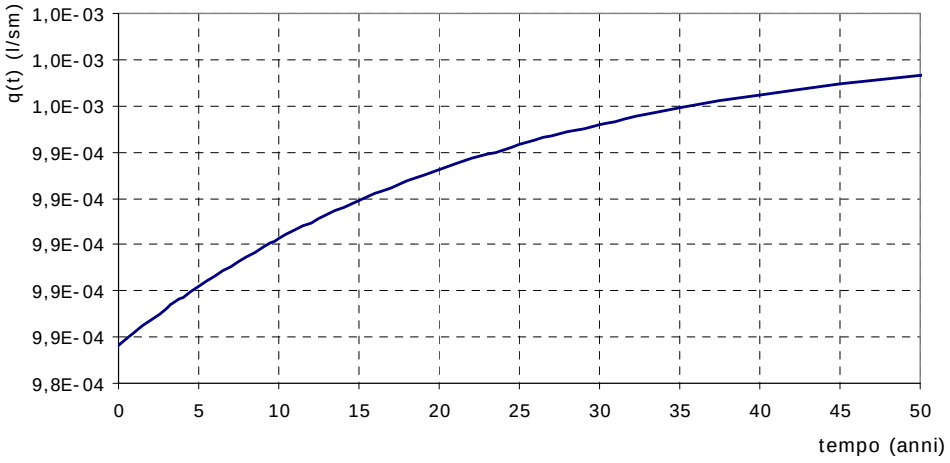
Verifica 2. Fereggiano sezione tipo 0 progressiva 1500 m

Galleria	Modello	Infiltrazione efficace ┼		Caratteristiche dell'ammasso: Coefficiente di premeabilità k_{mv}		Porosità	Battente piezometrico h_0	Raggio della galleria ┼
		[m/anno]	[m/s]	[m/anno]	[m/s]	[-]	[m]	[m]
Ferreggiano 2013 progressiva 1500m	Flusso verticale	0,35	1,11E-08	7,57E-01	2,40E-08	0,2	18	3,2
Ferreggiano 2013 progressiva 1500m	Flusso verticale	0	0,00E+00	7,57E-01	2,40E-08	0,2	18	3,2
Ferreggiano 2013 progressiva 1500m	Flusso orizzontale	0,35	1,11E-08	7,57E-01	2,40E-08	0,2	18	3,2
Ferreggiano 2013 progressiva 1500m	Flusso orizzontale	0	0,00E+00	7,57E-01	2,40E-08	0,2	18	3,2

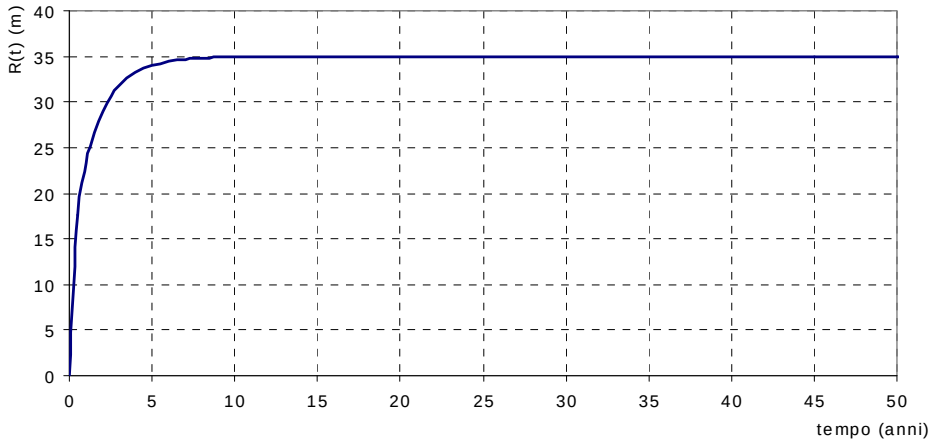
Andamento del carico piezometrico in funzione del tempo



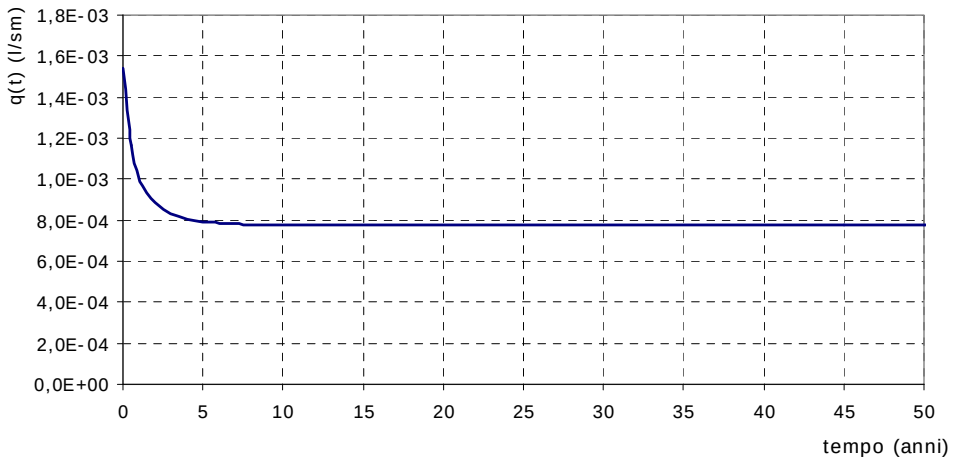
Andamento della portata in funzione del tempo



Andamento di R in funzione del tempo



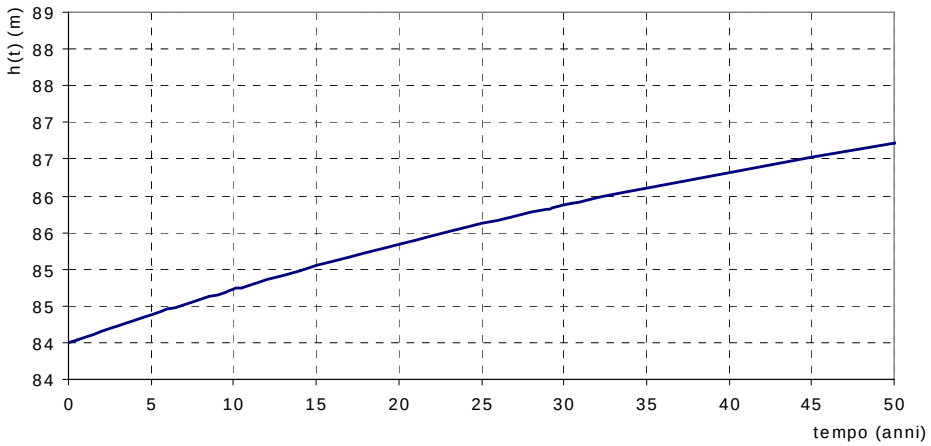
Andamento della portata in funzione del tempo



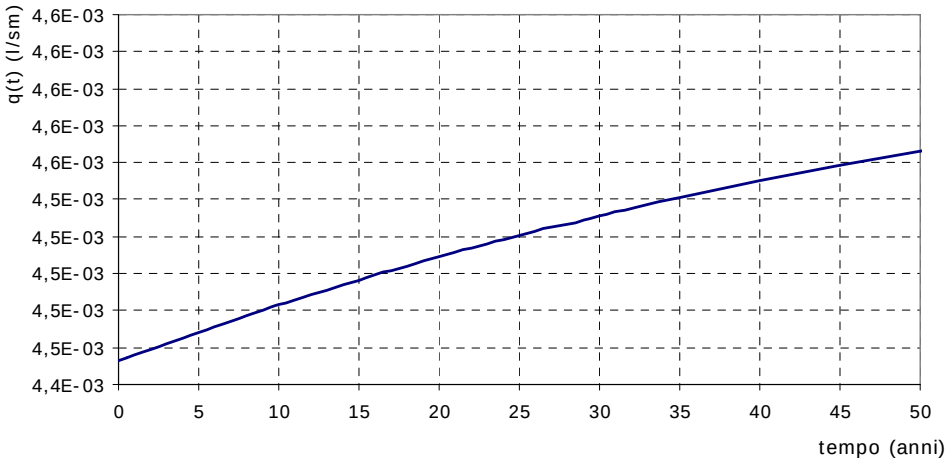
Verifica 3. Fereggiano sezione tipo 0 progressiva 2700 m

Dati di input per la verifica del bilancio idrogeologico mediante i modelli di filtrazione								
				Caratteristiche dell'ammasso			Battente piezometrico	Raggio della galleria
Galleria	Modello	Infiltrazione efficace ε		Coefficiente di premeabilità k_{mv}		Porosità	h_0	δ
		[m/anno]	[m/s]	[m/anno]	[m/s]	[-]	[m]	[m]
Ferreggiano 2013 progressiva 2700m	Flusso verticale	0,35	1,11E-08	7,10E-01	2,25E-08	0,2	84	3,2
Ferreggiano 2013 progressiva 2700m	Flusso verticale	0	0,00E+00	7,10E-01	2,25E-08	0,2	84	3,2
Ferreggiano 2013 progressiva 2700m	Flusso orizzontale	0,35	1,11E-08	7,10E-01	2,25E-08	0,2	84	3,2
Ferreggiano 2013 progressiva 2700m	Flusso orizzontale	0	0,00E+00	7,10E-01	2,25E-08	0,2	84	3,2

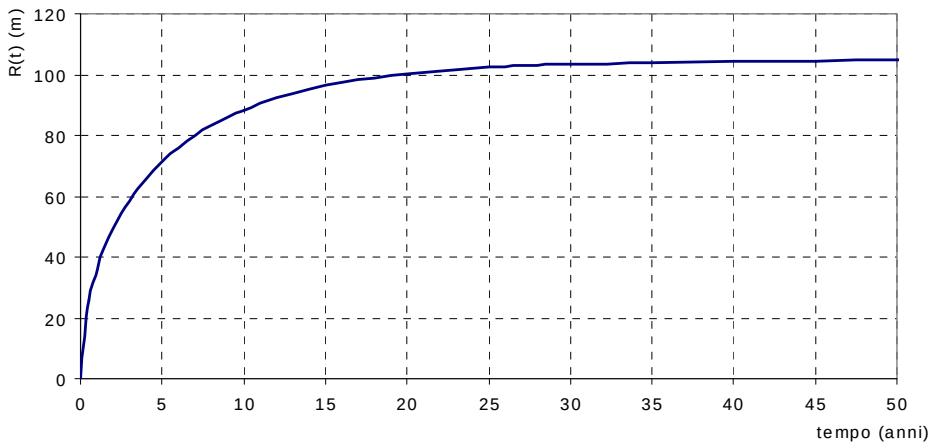
Andamento del carico piezometrico in funzione del tempo



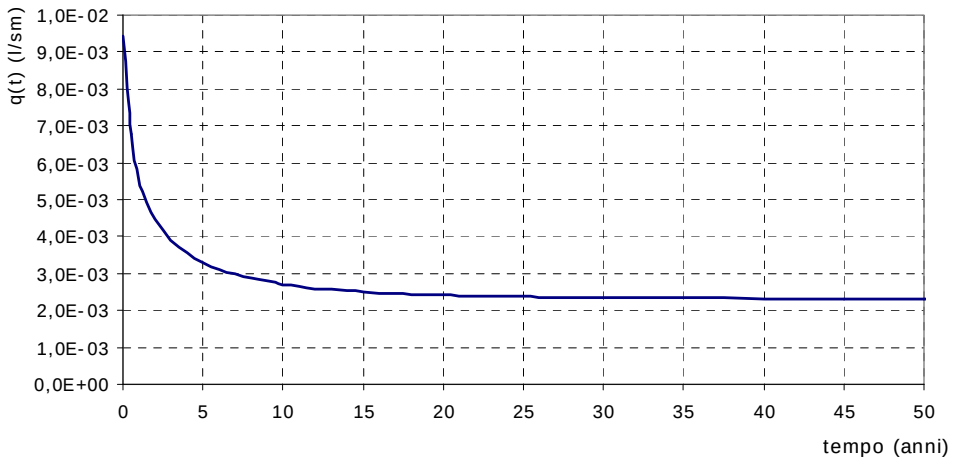
Andamento della portata in funzione del tempo



Andamento di R in funzione del tempo



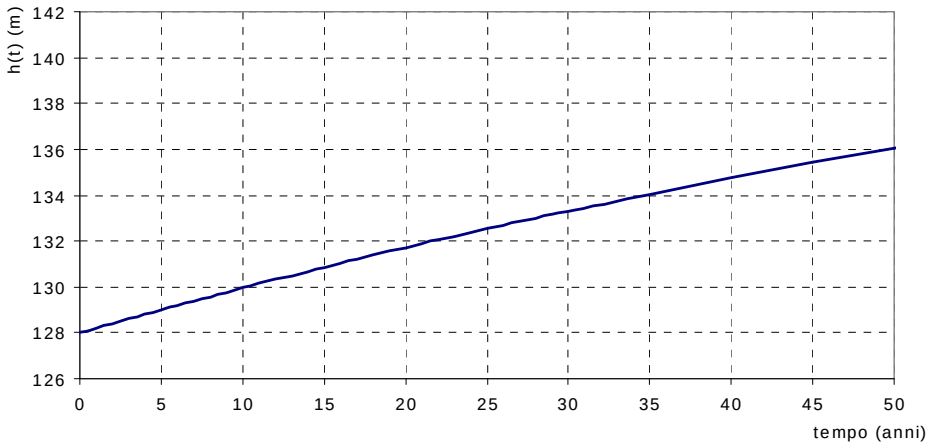
Andamento della portata in funzione del tempo



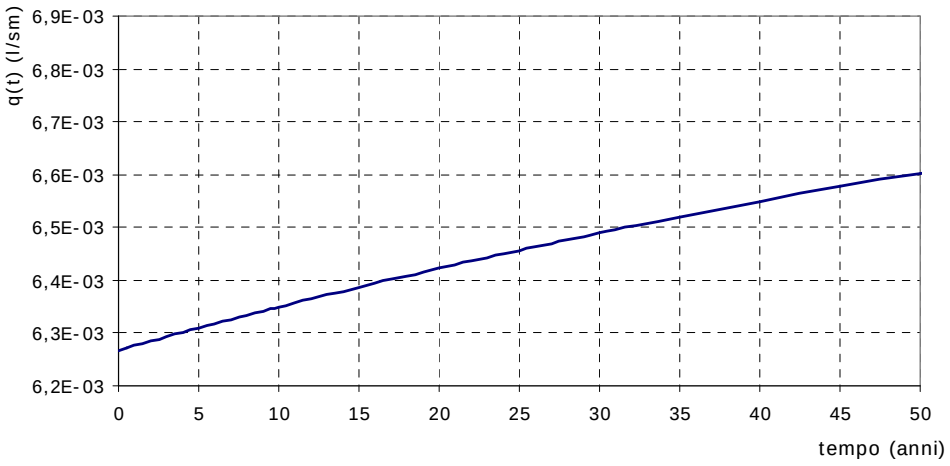
Verifica 4. Fereggiano sezione tipo 0 progressiva 3250 m.

Galleria	Modello	Infiltrazione efficace ε		Caratteristiche dell'ammasso: Coefficiente di premeabilità k_{mv}		Caratteristiche dell'ammasso: Porosità	Battente piezometrico h_0	Raggio della galleria δ
		[m/anno]	[m/s]	[m/anno]	[m/s]	[-]	[m]	[m]
Ferreggiano 2013 progressiva 3250m	Flusso verticale	0,35	1,11E-08	7,22E-01	2,29E-08	0,2	128	3,2
Ferreggiano 2013 progressiva 3250m	Flusso verticale	0	0,00E+00	7,22E-01	2,29E-08	0,2	128	3,2
Ferreggiano 2013 progressiva 3250m	Flusso orizzontale	0,35	1,11E-08	7,22E-01	2,29E-08	0,2	128	3,2
Ferreggiano 2013 progressiva 3250m	Flusso orizzontale	0	0,00E+00	7,22E-01	2,29E-08	0,2	128	3,2

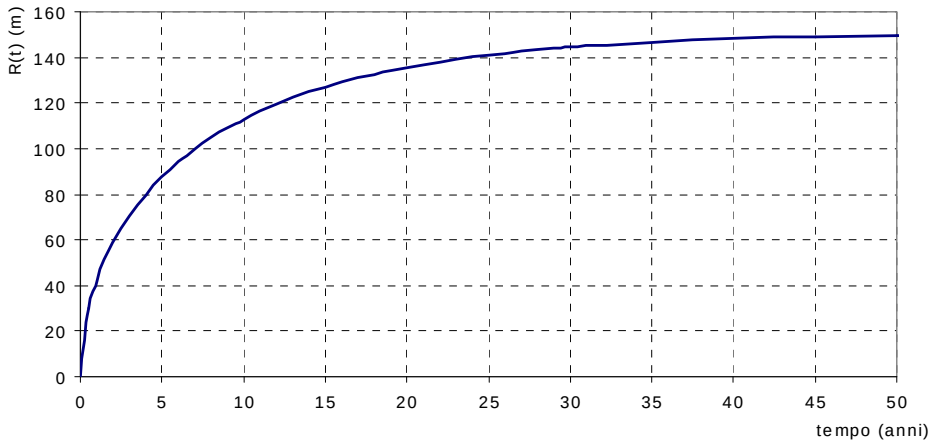
Andamento del carico piezometrico in funzione del tempo



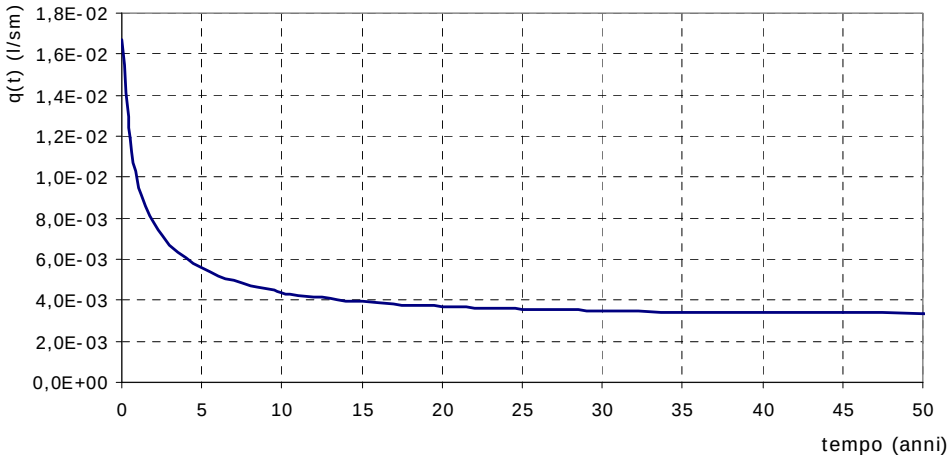
Andamento della portata in funzione del tempo



Andamento di R in funzione del tempo



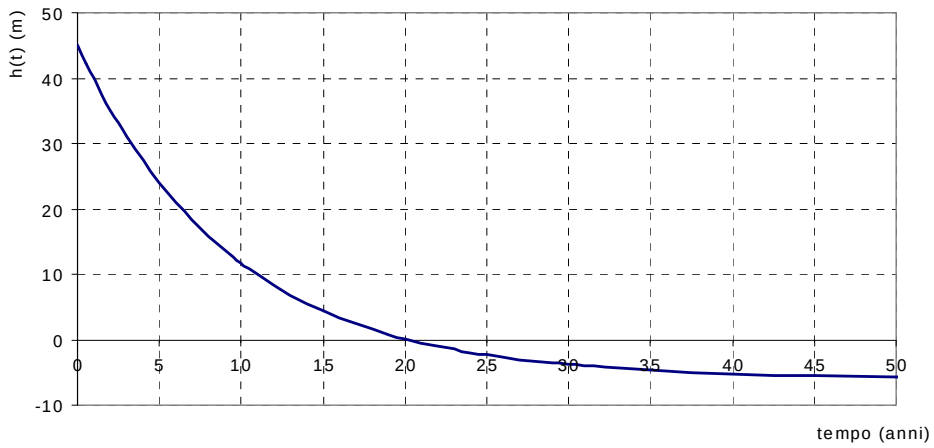
Andamento della portata in funzione del tempo



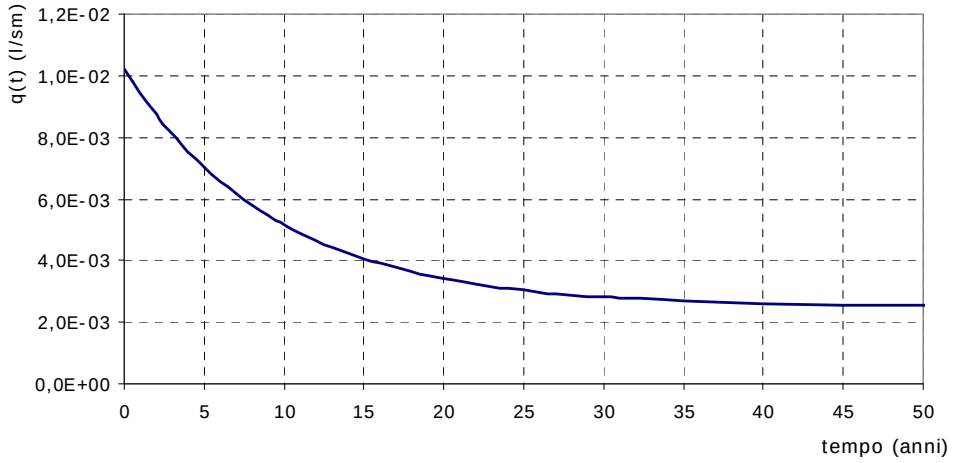
Verifica 5. Sezione tipo 0 progressiva 2250 m (zona di faglia).

				Caratteristiche dell'ammasso			Battente piezometrico	Raggio della galleria
Galleria	Modello	Infiltrazione efficace ε		Coefficiente di premeabilità k_{mv}		Porosità	h_0	δ
		[m/anno]	[m/s]	[m/anno]	[m/s]	[-]	[m]	[m]
Ferreggiano 2013 progressiva 2250 m	Flusso verticale	0,35	1,11E-08	2,75E+00	8,71E-08	0,2	45	3,2
Ferreggiano 2013 progressiva 2250 m	Flusso verticale	0	0,00E+00	2,75E+00	8,71E-08	0,2	45	3,2
Ferreggiano 2013 progressiva 2250 m	Flusso orizzontale	0,35	1,11E-08	2,75E+00	8,71E-08	0,2	45	3,2
Ferreggiano 2013 progressiva 2250 m	Flusso orizzontale	0	0,00E+00	2,75E+00	8,71E-08	0,2	45	3,2

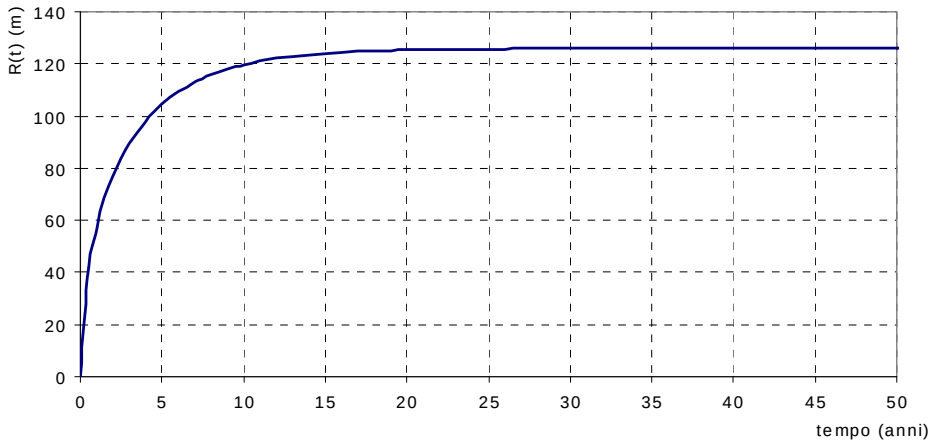
Andamento del carico piezometrico in funzione del tempo



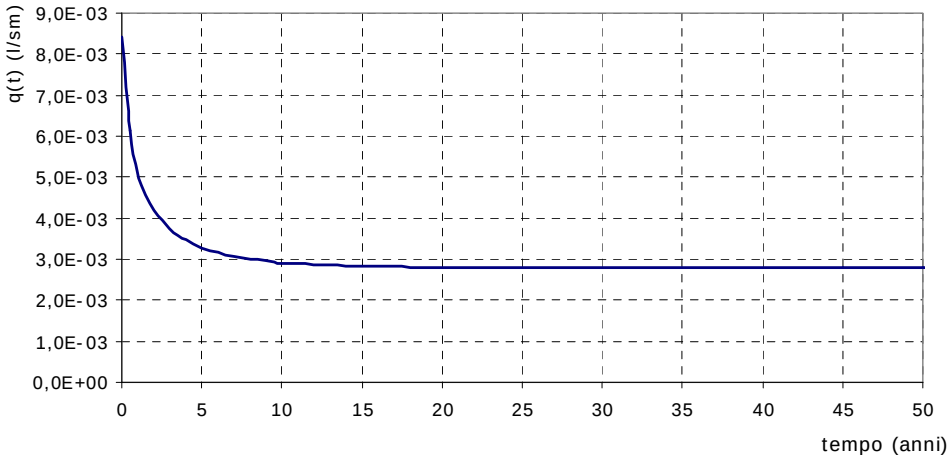
Andamento della portata in funzione del tempo



Andamento di R in funzione del tempo



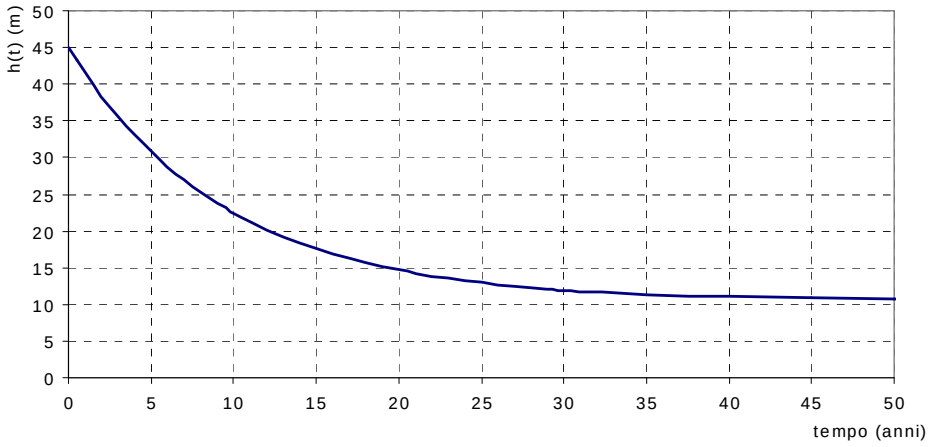
Andamento della portata in funzione del tempo



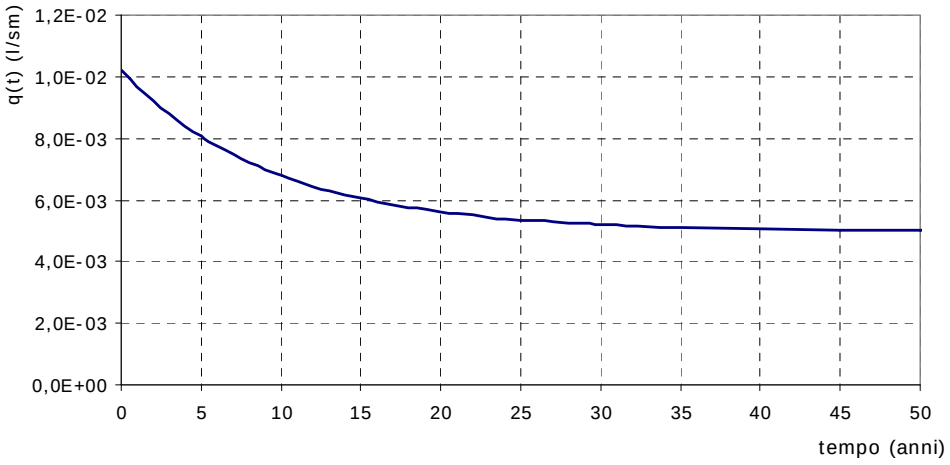
Verifica 6. Sezione tipo 0 progressiva 2250 m (zona di faglia). Coefficiente d'infiltrazione 0,7 mm/anno

				Caratteristiche dell'ammasso			Battente piezometrico	Raggio della galleria
Galleria	Modello	Infiltrazione efficace ε		Coefficiente di premeabilità k_{mv}		Porosità	h_0	δ
		[m/anno]	[m/s]	[m/anno]	[m/s]	[-]	[m]	[m]
Ferreggiano 2013 progressiva 2250 m	Flusso verticale	0,7	2,22E-08	2,75E+00	8,71E-08	0,2	45	3,2
Ferreggiano 2013 progressiva 2250 m	Flusso verticale	0	0,00E+00	2,75E+00	8,71E-08	0,2	45	3,2
Ferreggiano 2013 progressiva 2250 m	Flusso orizzontale	0,7	2,22E-08	2,75E+00	8,71E-08	0,2	45	3,2
Ferreggiano 2013 progressiva 2250 m	Flusso orizzontale	0	0,00E+00	2,75E+00	8,71E-08	0,2	45	3,2

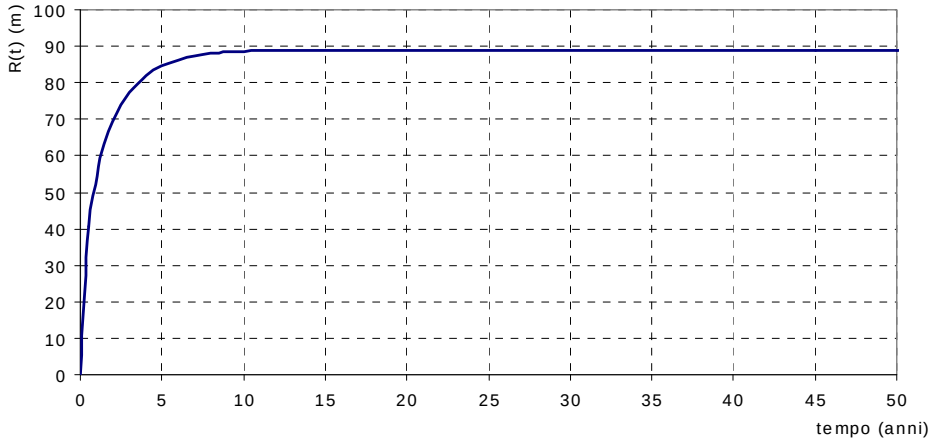
Andamento del carico piezometrico in funzione del tempo



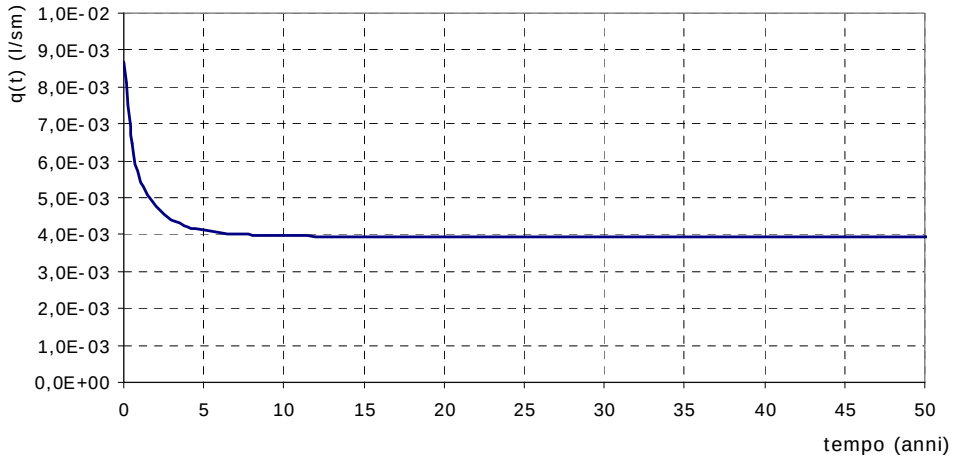
Andamento della portata in funzione del tempo



Andamento di R in funzione del tempo



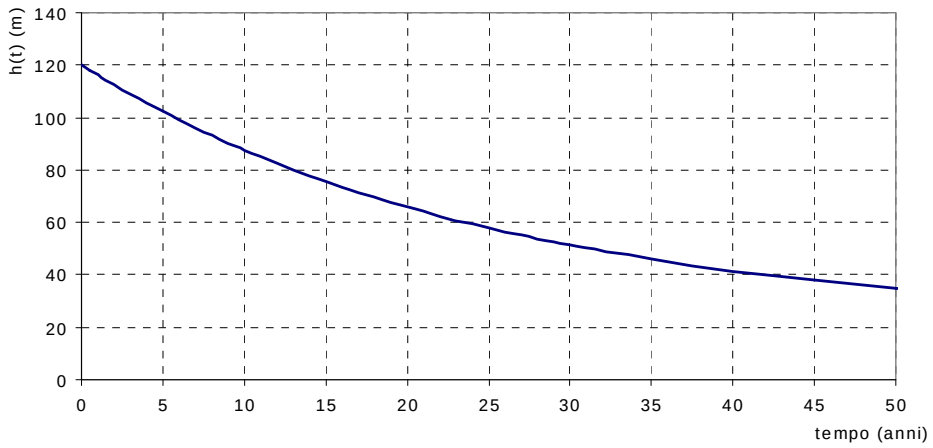
Andamento della portata in funzione del tempo



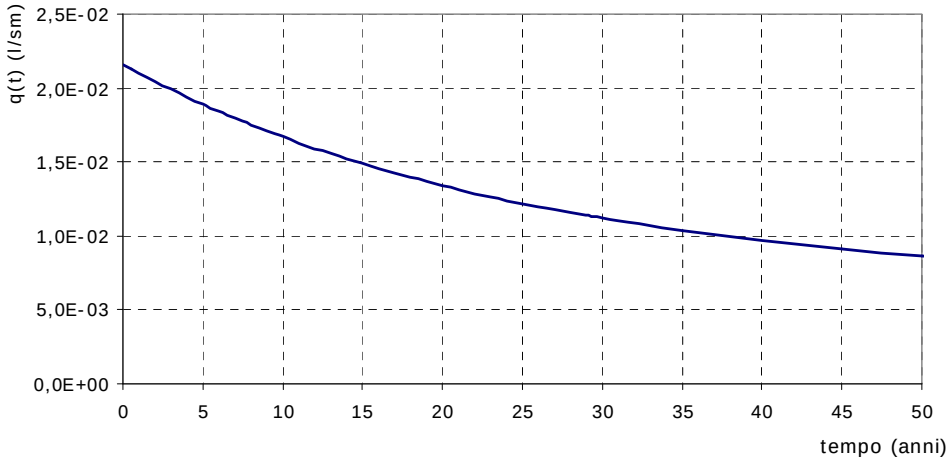
Verifica 7. Sezione tipo 0 progressiva 3100 m (zona di faglia).

				Caratteristiche dell'ammasso			Battente piezometrico	Raggio della galleria
Galleria	Modello	Infiltrazione efficace ε		Coefficiente di premeabilità k_{mv}		Porosità	h_0	δ
		[m/anno]	[m/s]	[m/anno]	[m/s]	[-]	[m]	[m]
Ferreggiano 2013 progressiva 3100 m	Flusso verticale	0,35	1,11E-08	2,61E+00	8,29E-08	0,2	120	3,2
Ferreggiano 2013 progressiva 3100 m	Flusso verticale	0	0,00E+00	2,61E+00	8,29E-08	0,2	120	3,2
Ferreggiano 2013 progressiva 3100 m	Flusso orizzontale	0,35	1,11E-08	2,61E+00	8,29E-08	0,2	120	3,2
Ferreggiano 2013 progressiva 3100 m	Flusso orizzontale	0	0,00E+00	2,61E+00	8,29E-08	0,2	120	3,2

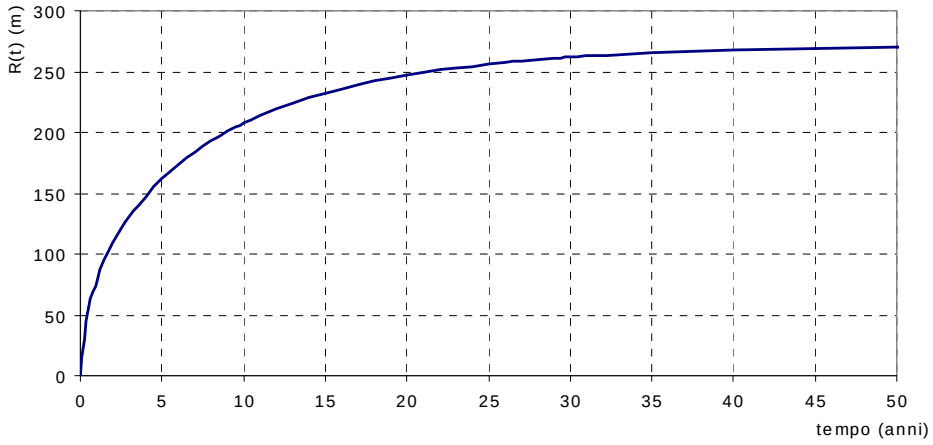
Andamento del carico piezometrico in funzione del tempo



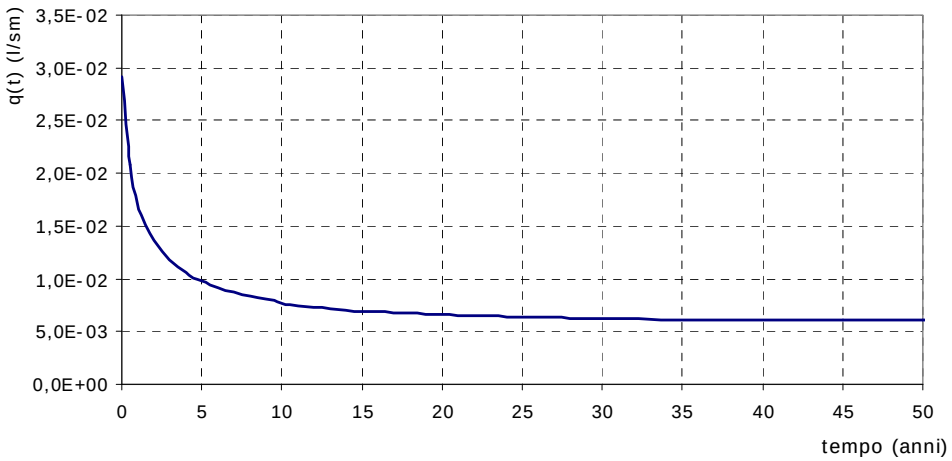
Andamento della portata in funzione del tempo



Andamento di R in funzione del tempo



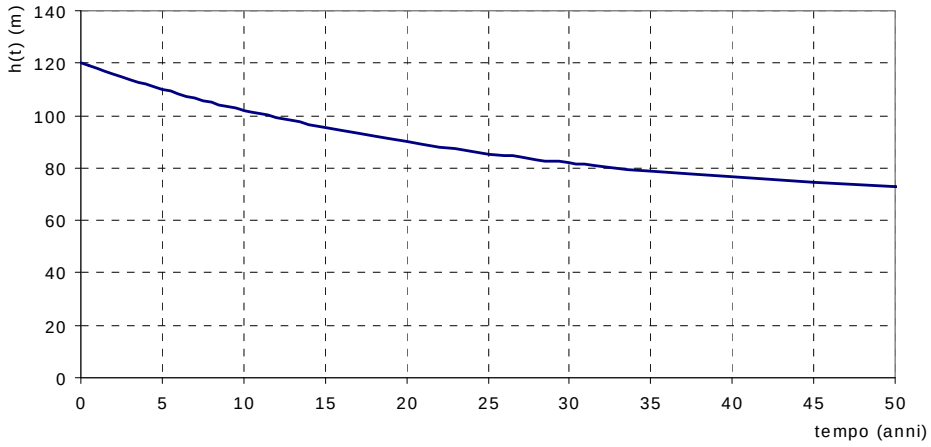
Andamento della portata in funzione del tempo



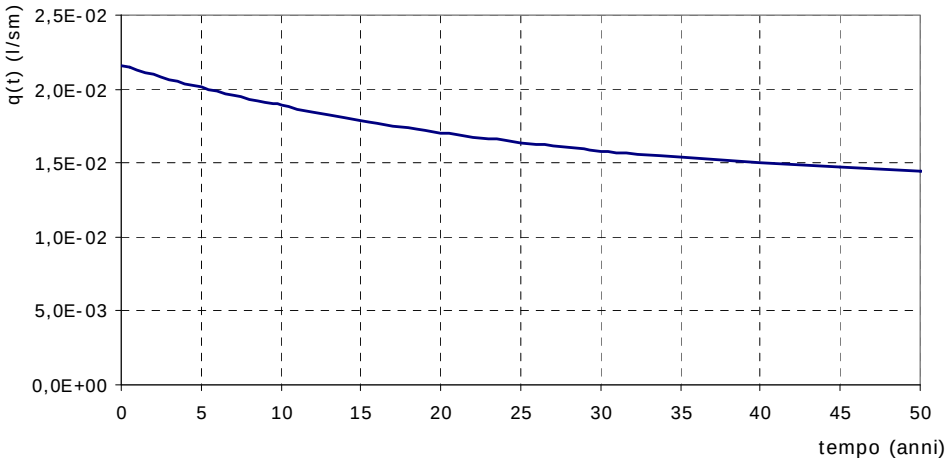
Verifica 8. Sezione tipo 0 progressiva3100 m (zona di faglia). Coefficiente d'infiltrazione 0,7 mm/anno

				Caratteristiche dell'ammasso			Battente piezometrico	Raggio della galleria
Galleria	Modello	Infiltrazione efficace ε		Coefficiente di premeabilità k_{mv}		Porosità	h_0	δ
		[m/anno]	[m/s]	[m/anno]	[m/s]	[-]	[m]	[m]
Ferreggiano 2013 progressiva 3100 m	Flusso verticale	0,7	2,22E-08	2,61E+00	8,29E-08	0,2	120	3,2
Ferreggiano 2013 progressiva 3100 m	Flusso verticale	0	0,00E+00	2,61E+00	8,29E-08	0,2	120	3,2
Ferreggiano 2013 progressiva 3100 m	Flusso orizzontale	0,7	2,22E-08	2,61E+00	8,29E-08	0,2	120	3,2
Ferreggiano 2013 progressiva 3100 m	Flusso orizzontale	0	0,00E+00	2,61E+00	8,29E-08	0,2	120	3,2

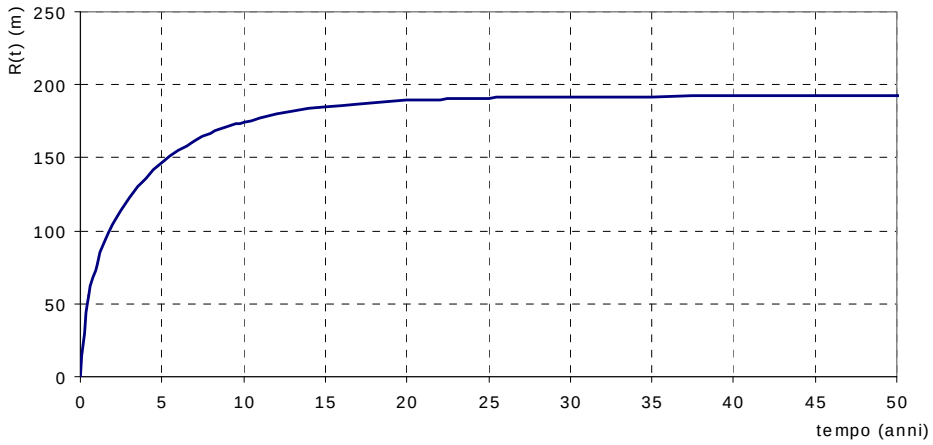
Andamento del carico piezometrico in funzione del tempo



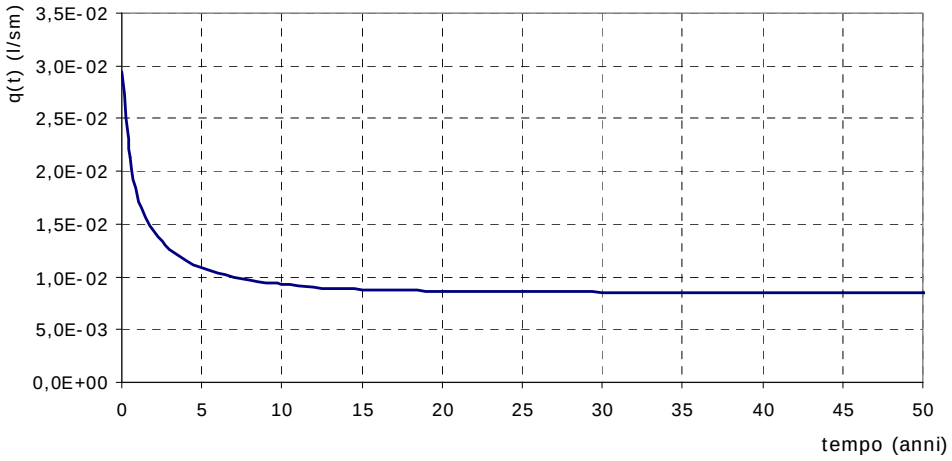
Andamento della portata in funzione del tempo



Andamento di R in funzione del tempo



Andamento della portata in funzione del tempo



APPENDICE 6

Stratigrafie dei pozzi

REGIONE LIGURIA
Osservatorio permanente dei corpi idrici
Laboratorio cartografico

CENSIMENTO STRATIGRAFIE N. D'ORDINE: 8 W1

BACINO IDROGRAFICO: BISAGNO

COMUNE: GENOVA
LOCALITA': VIA MONTESUELLO

PROPRIETARIO/CONCESSIONARIO:
COMUNE DI GENOVA
POZZO: POT PORTATA: 0.50L/S
SONDAGGIO ☐

TAVOLA CTR: GENOVA 213.2

COORDINATE GAUSS-BOAGA
X (est) = 1496274.00
Y (nord)= 4916523.00
ALTITUDINE slm: 10.00

DATA PERFORAZIONE:

quote parz.(m)	profondita' (m)	stratigrafia	descrizione	falda (m)	quota (m)	scala
3			TERRENO VEGETALE		10.0	
1	3.0		ARGILLA GIALLA		7.0	
7	4.0		ARGILLA COMPATTA		6.0	
1	11.0		MARNA		1.0	
6	12.0		ARGILLA		2.0	
3	18.0		ARGILLA E GHIAIA		8.0	
4	21.0		ARGILLA COMPATTA		11.0	
3	25.0		GHIAIA E SABBIA FINE		15.0	
2	28.0		GHIAIA E CIOTTOLI		18.0	
.2	30.0				20.0	
	30.2		ARGILLA		20.2	
9.8			GHIAIA E SABBIA FINE			
	40.0				30.0	

REGIONE LIGURIA
Osservatorio permanente dei corpi idrici
Laboratorio cartografico

CENSIMENTO STRATIGRAFIE — N. D'ORDINE: 8 W2

BACINO IDROGRAFICO: BISAGNO

COMUNE: GENOVA
LOCALITA': CORSO DE STEFANIS 512

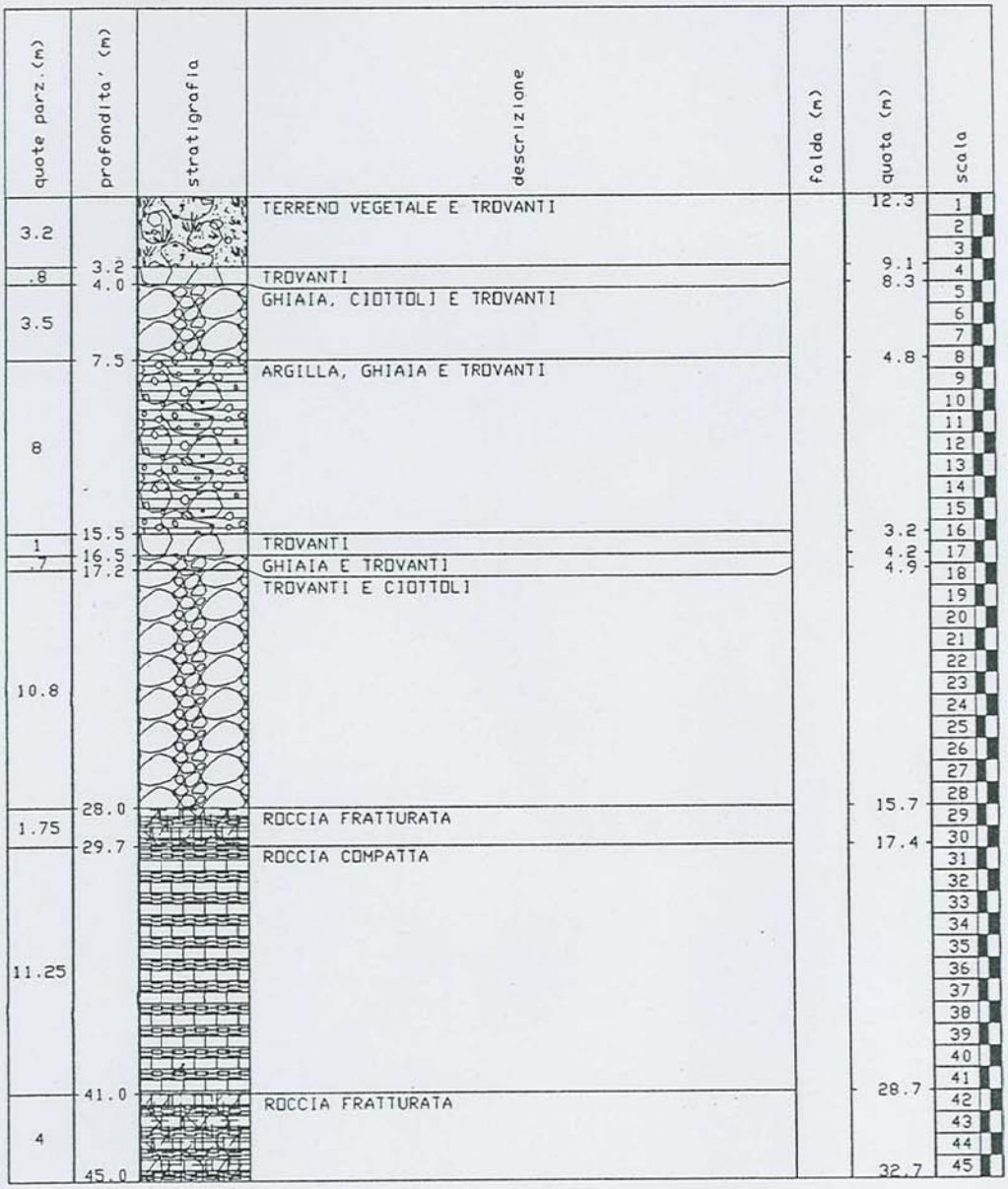
PROPRIETARIO/CONCESSIONARIO:
SOC. PIETRO WUARER
POZZO: IND — PORTATA: 1 L/S
SONDAGGIO ☐

TAVOLA CTR: GENOVA 213.2

COORDINATE GAUSS-BOAGA
X (est) = 1496588.00
Y (nord)= 4918039.00

ALTITUDINE slm: 12.30

DATA PERFORAZIONE:



A.M.C.A Genova

Servizi Qualita' Ambientale

REGIONE LIGURIA
Osservatorio permanente dei corpi idrici
Laboratorio cartografico

CENSIMENTO STRATIGRAFIE N. D'ORDINE: 8 W3

BACINO IDROGRAFICO: BISAGNO

COMUNE: GENOVA
LOCALITA': VIA PISACANE 63R

PROPRIETARIO/CONCESSIONARIO:
DITTA GRAMAGLIA EGIDIO
POZZO: IND PORTATA: 0.27 L/S
SONDAGGIO ☐

TAVOLA CTR: GENOVA 213.2

COORDINATE GAUSS-BOAGA
X (est) = 1495994.00
Y (nord)= 4916320.00

ALTITUDINE slm: 3.52

DATA PERFORAZIONE:

quote parz.(m)	profondita' (m)	stratigrafia	descrizione	falda (m)	quota (m)	scala
2.2	2.2		TERRENO VEGETALE		3.5	1
1.7	3.9		GHIAIA		1.3	2 3
3.12	7.0		GHIAIA E SABBIA		0.3	4 5 6 7
2	9.0		SABBIA		3.5	8 9
2	11.0		CIOTTOLI		5.5	10 11
.98	12.0		CIOTTOLI E SABBIA		7.5 8.4	12

A.M.C.A Genova *Servizi Qualita' Ambientale*

REGIONE LIGURIA
Osservatorio permanente dei corpi idrici
Laboratorio cartografico

CENSIMENTO STRATIGRAFIE N. D'ORDINE: 8 W4

BACINO IDROGRAFICO: BISAGNO

COMUNE: GENOVA
LOCALITA': VIA TERPI

PROPRIETARIO/CONCESSIONARIO:
ITALCEMENTI SPA
POZZO: IND PORTATA: 47.5 L/S
SONDAGGIO ☐

TAVOLA CTR: GENOVA 213.2
COORDINATE GAUSS-BOAGA
X (est) = 1497203.00
Y (nord)= 4920344.00
ALTITUDINE slm: 101.80
DATA PERFORAZIONE:

quote parz.(m)	profondita' (m)	stratigrafia	descrizione	falda (m)	quota (m)	scala
4.5	4.5		ARGILLA CON CIOTTOLI		101.8	
3.5	8.0		CIOTTOLI GROSSI		97.3	
1	9.0		CIOTTOLI		93.8	
11	20.0		CIOTTOLI E GHIAIETTO		92.8	
6.5	26.5		CIOTTOLI E GHIAIA		81.8	
1	27.5		CIOTTOLI		75.3	
6.5	34.0		GHIAIA E CIOTTOLI		74.3	
1	35.0		CALCARE		67.8	
.8	35.8		ARGILLA		66.8 66.0	

A.M.C.A Genova *Servizi Qualita' Ambientale*

REGIONE LIGURIA
Osservatorio permanente dei corpi idrici
Laboratorio cartografico

CENSIMENTO STRATIGRAFIE N. D'ORDINE: 8 W5

BACINO IDROGRAFICO: BISAGNO

COMUNE: GENOVA
LOCALITA': CORSO SARDEGNA 44

PROPRIETARIO/CONCESSIONARIO:
CONDOMINIO
POZZO: POT/IND PORTATA: 2.5 L/S
SONDAGGIO ☐

TAVOLA CTR: GENOVA 213.2

COORDINATE GAUSS-BOAGA
X (est) = 1496358.00
Y (nord)= 4917277.00

ALTITUDINE slm: 7.05

DATA PERFORAZIONE:

quote parz.(m)	profondita' (m)	stratigrafia	descrizione	falda (m)	quota (m)
5			TERRENO VEGETALE E GHIAIA		7.0
	5.0				2.0
4			ARGILLA		
	9.0				1.9
5.4			GHIAIA MISTA		
	14.4				7.3
7.3			GHIAIA FINE COMPATTA		
1	21.7		CIOTTOLI GROSSI		14.6
	22.7				15.6
3.5			GHIAIA GROSSA E SABBIA		
	26.2				19.1
1.8			SABBIA		
	28.0				20.9
3			CIOTTOLI E GHIAIA		
	31.0				23.9
1	32.0		ROCCIA		24.9

scala: 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

A.M.C.A Genova *Servizi Qualita' Ambientale*

REGIONE LIGURIA
Osservatorio permanente dei corpi idrici
Laboratorio cartografico

CENSIMENTO STRATIGRAFIE N. D'ORDINE: 8 W7

BACINO IDROGRAFICO: BISAGNO

COMUNE: GENOVA
LOCALITA': CORSO SARDEGNA

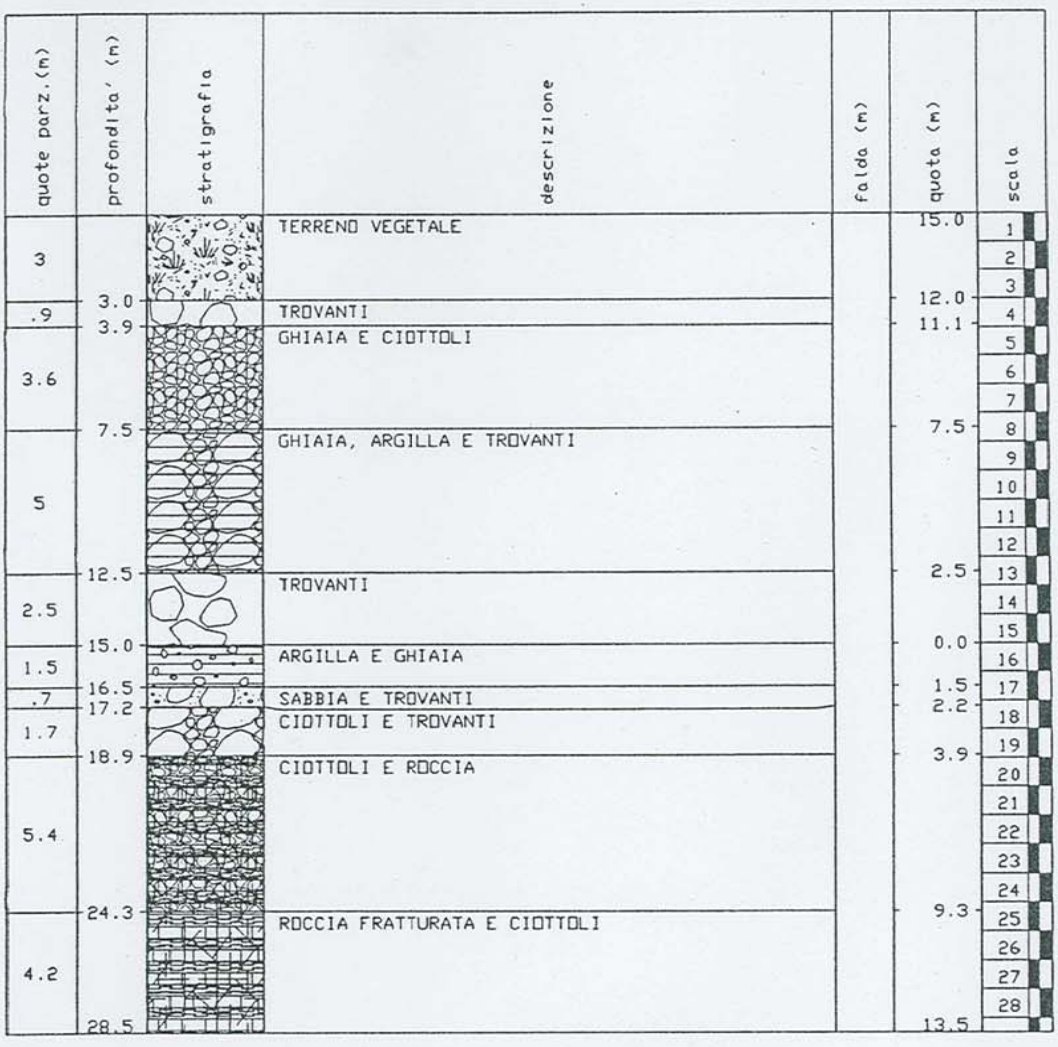
PROPRIETARIO/CONCESSIONARIO:
ALBA IMMOBILIARE
POZZO: POT PORTATA: 0.12 L/S
SONDAGGIO ☐

TAVOLA CTR: GENOVA 213.2

COORDINATE GAUSS-BOAGA
X (est) = 1496700.00
Y (nord)= 4917983.00

ALTITUDINE slm: 15.00

DATA PERFORAZIONE:



A.M.C.A Genova

Servizi Qualita' Ambientale

REGIONE LIGURIA
Osservatorio permanente dei corpi idrici
Laboratorio cartografico

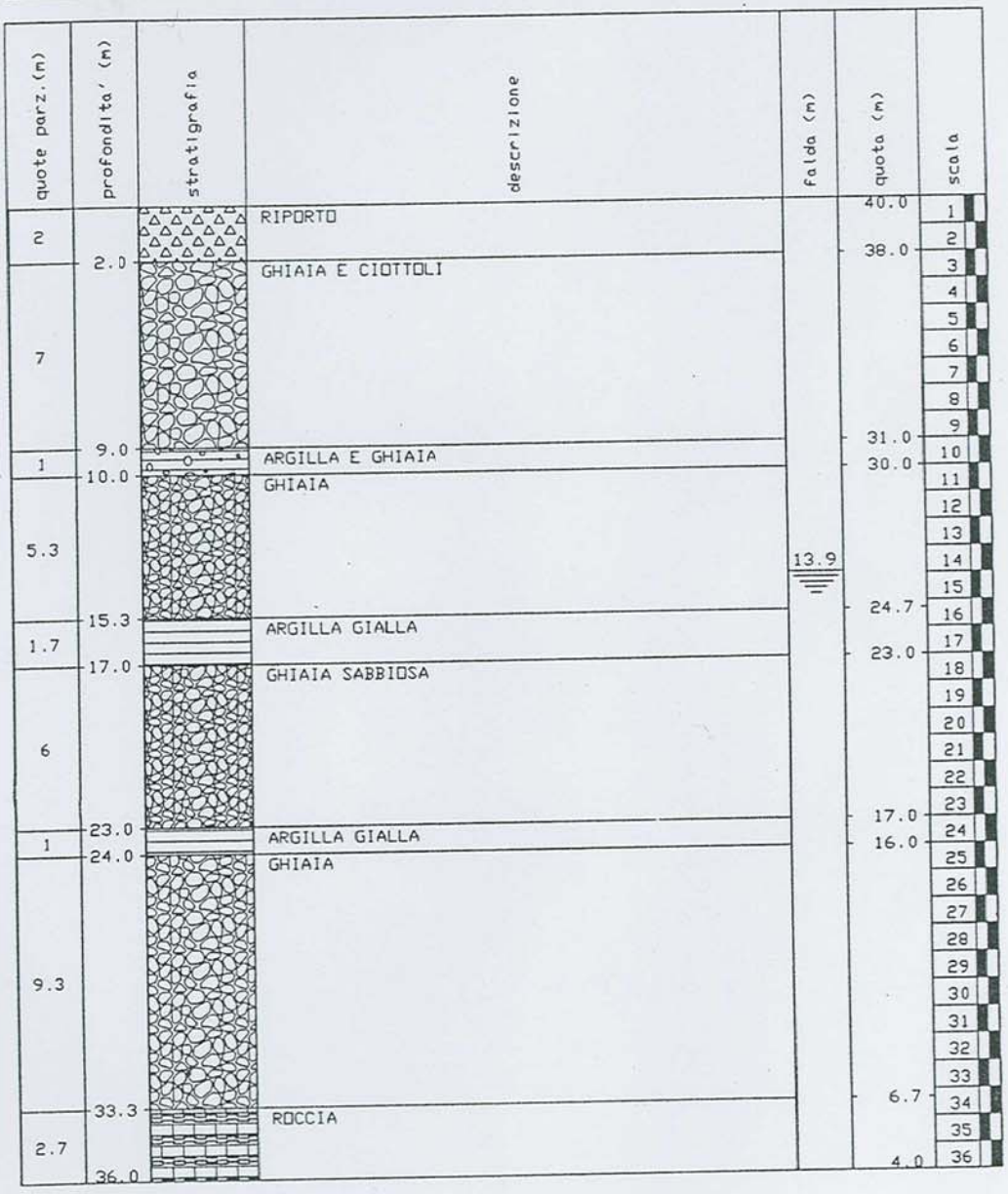
CENSIMENTO STRATIGRAFIE N. D'ORDINE: 8 W8

BACINO IDROGRAFICO: BISAGNO

COMUNE: GENOVA
LOCALITA': VIA PAVERANO

PROPRIETARIO/CONCESSIONARIO:
A.M.G.A.
POZZO: POT PORTATA:
SONDAGGIO ☐

TAVOLA CTR: GENOVA 213.2
COORDINATE GAUSS-BOAGA
X (est) = 1497125.00
Y (nord)= 4917346.00
ALTITUDINE slm: 40.00
DATA PERFORAZIONE: AGOSTO 53



A.M.C.A Genova

Servizi Qualita' Ambient

REGIONE LIGURIA
Osservatorio permanente dei corpi idrici
Laboratorio cartografico

CENSIMENTO STRATIGRAFIE N. D'ORDINE: 8 W10

BACINO IDROGRAFICO: BISAGNO

COMUNE: GENOVA
LOCALITA': P.ZZA GIUSTI

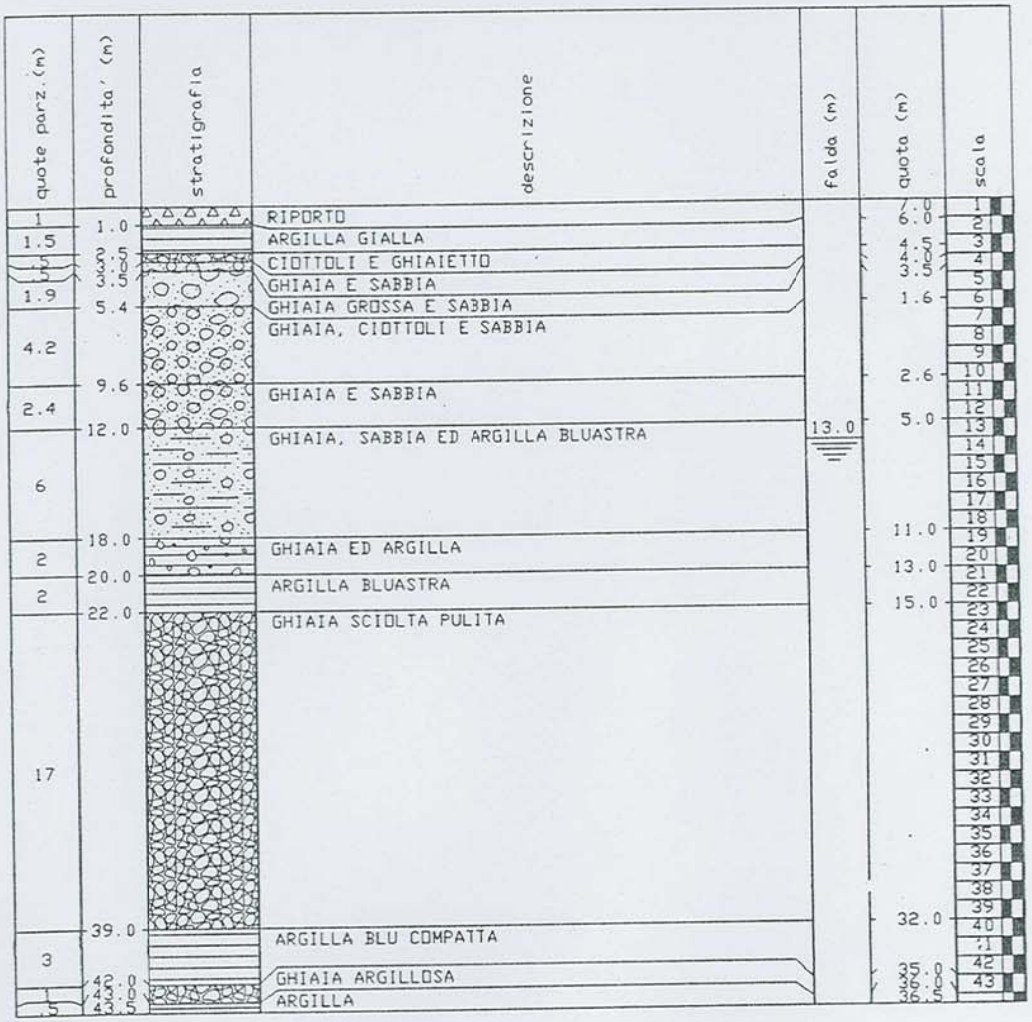
PROPRIETARIO/CONCESSIONARIO:
A.M.G.A.
POZZO: POT PORTATA:
SONDAGGIO ☐

TAVOLA CTR: GENOVA

COORDINATE GAUSS-BOAGA
X (est) = 1496269.00
Y (nord)= 4917135.00

ALTITUDINE slm: 7.00

DATA PERFORAZIONE: MAGGIO 50



REGIONE LIGURIA
Osservatorio permanente dei corpi idrici
Laboratorio cartografico

CENSIMENTO STRATIGRAFIE N. D'ORDINE: 8 W11

BACINO IDROGRAFICO: BISAGNO

COMUNE: GENOVA
LOCALITA': P.ZZA GIUSTI (CINEMA DORIA)

PROPRIETARIO/CONCESSIONARIO:
A.M.G.A.
POZZO: POT PORTATA:
SONDAGGIO ☐

TAVOLA CTR: GENOVA 213.2
COORDINATE GAUSS-BOAGA
X (est) = 1496340.00
Y (nord)= 4917101.00
ALTITUDINE slm: 7.00
DATA PERFORAZIONE:

quote parz. (m)	profondita' (m)	stratigrafia	descrizione	falda (m)	quota (m)
3			RIPORTO		7.0
	3.0				4.0
3.5			GHIAIA ARGILLOSA		
	6.5				0.5
8.5			GHIAIA MISTA	8.0	
	15.0				8.0
6.5			ARGILLA GRIGIA		
	21.5				14.5
18.8			GHIAIA SABBIOSA		
	40.3				33.3
1.7	42.0		ARGILLA GIALLA		35.0

REGIONE LIGURIA
Osservatorio permanente dei corpi idrici
Laboratorio cartografico

CENSIMENTO STRATIGRAFIE N. D'ORDINE: 8 W13

BACINO IDROGRAFICO: BISAGNO

COMUNE: GENOVA
LOCALITA': CORSO SARDEGNA

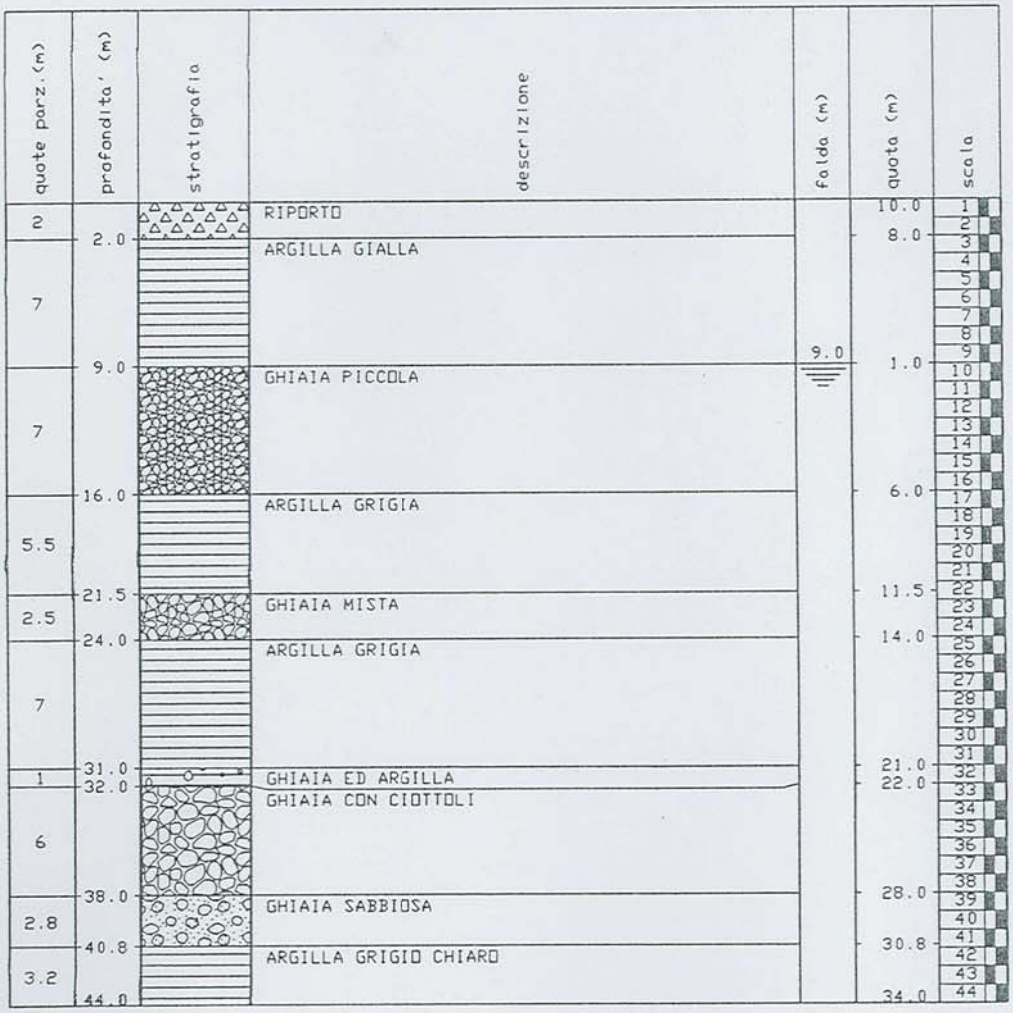
PROPRIETARIO/CONCESSIONARIO:
A.M.G.A.
POZZO: POT PORTATA:
SONDAGGIO ☐

TAVOLA CTR: GENOVA 213.2

COORDINATE GAUSS-BOAGA
X (est) = 1496454.00
Y (nord)= 4917580.00

ALTITUDINE slm: 10.00

DATA PERFORAZIONE: .



A.M.G.A Genova *Servizi Qualita' Ambientale*

REGIONE LIGURIA
Osservatorio permanente dei corpi idrici
Laboratorio cartografico

CENSIMENTO STRATIGRAFIE N. D'ORDINE: 8 W14

BACINO IDROGRAFICO: BISAGNO

COMUNE: GENOVA
LOCALITA': VIA DE PAOLI

PROPRIETARIO/CONCESSIONARIO:
A.M.G.A.
POZZO: POT PORTATA:
SONDAGGIO ☐

TAVOLA CTR: GENOVA 213.2

COORDINATE GAUSS-BOAGA
X (est) = 1496450.00
Y (nord)= 4917148.00

ALTITUDINE slm: 8.00

DATA PERFORAZIONE:

