

AUTOSTRADA (A14): BOLOGNA-BARI-TARANTO

TRATTO: NUOVO SVINCOLO DI PONTE
RIZZOLI - DIRAMAZIONE RAVENNA

AMPLIAMENTO ALLA QUARTA CORSIA

PROGETTO ESECUTIVO

DOCUMENTAZIONE GENERALE

IDROGEOLOGIA Parte generale

Relazione d'inquadramento idrogeologico

IL GEOLOGO Dott. Vittorio Boerio Ord. Geol. Lombardia N. 794 Responsabile Geologia	IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE Ing. Federica Ferrari Ord. Ingg. Milano N. A21082	IL DIRETTORE TECNICO Ing. Orlando Mazza Ord. Ingg. Pavia N. 1496 Progettazione Nuove Opere Autostradali
---	--	--

CODICE IDENTIFICATIVO											ORDINATORE
RIFERIMENTO PROGETTO			RIFERIMENTO DIRETTORIO				RIFERIMENTO ELABORATO				000
Codice Commessa	Lotto, Sub-Prog. Cod. Appalto	Fase	Capitolo	Paragrafo	W B S	Parte d'opera	Tip.	Disciplina	Progressivo	Rev.	
111447	LL00	PE	DG	IDG	GE000	00000	R	GEO	0080	1	SCALA -

 gruppo Atlantia	PROJECT MANAGER:		SUPPORTO SPECIALISTICO:				REVISIONE	
	Ing. Federica Ferrari Ord. Ingg. Milano N. A21082		SoilData Studio Associato				n.	data
	REDATTO: Dott. Luciano Cagnola		VERIFICATO:				0	NOVEMBRE 2017
							1	GENNAIO 2018

VISTO DEL COMMITTENTE  IL RESPONSABILE DEI LAVORI Ing. Antonio Procopio	VISTO DEL CONCEDENTE  Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti <small>DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, GLI AFFARI GENERALI ED IL PERSONALE STRUTTURA DI VIGILANZA SULLE CONCESSIONARIE AUTOSTRADALI</small>
---	---

Sommario

1	INTRODUZIONE.....	3
2	METODOLOGIA DI STUDIO.....	4
2.1	ANALISI DEI DATI PREGRESSI	4
2.2	CENSIMENTO DEI PUNTI DI APPROVVIGIONAMENTO IDRICO	5
2.2.1	Note di terreno.....	5
2.2.2	Classificazione dei pozzi per tipo d'uso.....	8
2.2.3	Schede di raccolta dati	8
2.2.4	Prove di permeabilità in sito.....	9
3	CARTOGRAFIA TEMATICA E LEGENDA.....	10
4	CLIMATOLOGIA.....	12
5	INQUADRAMENTO GEOLOGICO - IDROGEOLOGICO.....	19
5.1	COMPLESSO IDROGEOLOGICO DELLE CONOIDI ALLUVIONALI APPENNINICHE	23
5.2	COMPLESSO IDROGEOLOGICO DELLE PIANURA ALLUVIONALE APPENNINICA	23
6	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO DELL'AREA DI STUDIO	24
6.1	ANALISI STORICA DEI LIVELLI PIEZOMETRICI	24
6.1.1	Livelli piezometrici pozzi RER-ARPA.....	24
6.1.2	Livelli piezometrici datalogger S-B14	26
6.1.3	Livelli piezometrici pozzi HERA.....	28
6.2	INDAGINI GEOGNOSTICHE E VALUTAZIONE DELLA CONDUCIBILITÀ IDRAULICA DELLE UNITÀ IDROGEOLOGICHE	30
6.2.1	Piezometri.....	30
6.2.2	Prove di permeabilità	31
7	MODELLO IDROGEOLOGICO DELL'AREA DI STUDIO	33
7.1	COMPLESSI ED UNITÀ IDROGEOLOGICHE.....	38
8	DESCRIZIONE DEGLI ELEMENTI IDROGEOLOGICI DI MAGGIORE INTERESSE INGEGNERISTICO.....	40
8.1	SUPERFICIE PIEZOMETRICA 2011	40
8.1.1	Dalla progr. Km 29+600 (Inizio intervento) alla progr. Km 36+600 c.a.....	40
8.1.2	Dalla progr. Km 36+600 c.a. alla progr. Km 42+200 c.a.	40
8.1.3	Dalla progr. Km 42+200 c.a. alla progr. Km 45+500 c.a.	40
8.1.4	Dalla progr. Km 45+500 c.a. alla progr. Km 52+500 c.a.	41
8.1.5	Dalla progr. Km 52+500 c.a. a fine intervento (Km 56+444.92)	41
8.2	SUPERFICIE PIEZOMETRICA 2017	41
8.2.1	Dalla progr. km 29+600 (Inizio intervento) alla progr. km 36+600 c.a.	42
8.2.2	Dalla progr. km 36+600 c.a. alla progr. km 39+300 c.a.....	42
8.2.3	Dalla progr. km 39+300 c.a. alla progr. km 40+800 c.a.....	42
8.2.4	Dalla progr. km 40+800 c.a. alla progr. km 42+300 c.a.....	42
8.2.5	Dalla progr. km 42+300 c.a. alla progr. km 43+900 c.a.....	42
8.2.6	Dalla progr. km 43+900 c.a. alla progr. km 50+900 c.a.....	42
8.2.7	Dalla progr. km 50+900 c.a. a fine intervento (km 56+444.92)	43

9 VALUTAZIONE QUALITATIVA DELLE INTERFERENZE ATTESE FRA OPERE IN PROGETTO E ACQUE SOTTERRANEE.....	44
---	-----------

ALLEGATO A: TABULATI DELLE MISURE EFFETTUATE DURANTE LE CAMPAGNE PIEZOMETRICHE

ALLEGATO B: TABULATI DELLE MISURE PIEZOMETRICHE HERA

ALLEGATO C: DATI RELATIVI ALLE PROVE DI PERMEABILITÀ ESEGUITE NEI FORI DI SONDAGGIO

1 INTRODUZIONE

La presente relazione riguarda lo studio idrogeologico generale dell'area interessata dal progetto esecutivo di ampliamento alla 4^a corsia (dal Km. 29+600 al Km. 56+444.92) dell'Autostrada A14 Bologna - Bari - Taranto nel tratto compreso tra il futuro nuovo Svincolo di Ponte Rizzoli e la diramazione per Ravenna.

Lo scopo della relazione consiste nel delineare uno schema idrogeologico generale finalizzato a definire caratteristiche medie e distribuzione degli acquiferi principali. In particolare, vengono definite le principali caratteristiche idrogeologiche del sottosuolo con riferimento all'acquifero più superficiale inquadrato nel contesto idrografico e pluviometrico specifico dell'area d'interesse.

Gli elementi utilizzati per la redazione della planimetria idrogeologica in scala 1:5000 e del profilo idrogeologico longitudinale in scala 1:5000/500 derivano dall'analisi critica dei dati bibliografici, dall'esame di tutte le stratigrafie disponibili (pozzi, indagini pregresse e sondaggi appositamente realizzati), nonché dal censimento dei pozzi ubicati nell'intorno dell'asse di progetto.

La definizione della falda di progetto e la definizione delle interferenze dell'infrastruttura con la falda idrica, sia come impatto sull'ambiente idrico, sia come ripercussioni ingegneristiche a contrasto delle azioni erosive delle acque di superficie, non è oggetto della presente relazione. Qualora la progettazione delle opere in argomento e/o i vincoli territoriali implicassero la definizione dei tematismi sopra elencati, essi sarebbero sviluppati nell'ambito di specifiche relazioni ingegneristiche.

2 METODOLOGIA DI STUDIO

Lo studio idrogeologico si è basato sui seguenti elementi principali:

- Modello geologico di base;
- Letteratura scientifica a tema idrogeologico afferente l'areale di interesse;
- Ricostruzioni dell'andamento della superficie piezometrica a livello regionale e di bacino utilizzando i dati disponibili presso gli Enti territoriali;
- Letture piezometriche sui punti d'acqua realizzati per le esigenze specifiche della progettazione in esame (piezometri installati in fase di progetto);
- Letture piezometriche presso i pozzi presenti all'interno del corridoio di interesse del progetto.

2.1 ANALISI DEI DATI PREGRESSI

La prima fase del lavoro è consistita nel reperimento di tutti i dati disponibili presso vari Enti pubblici e di ogni altro dato disponibile ritenuto significativo per l'elaborazione di un modello concettuale dell'area. I dati di base utili all'inquadramento idrogeologico dell'area in esame sono stati reperiti da:

- Regione Emilia Romagna:
 - Regione Emilia-Romagna, ENI – AGIP, 1988. Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna. A cura di G. Di Dio. S.EL.CA. (Firenze), 120 pp;
 - Piano di Tutela delle Acque (PTA);
- Agenzia Regionale Protezione Ambientale Emilia Romagna (ARPA) - sezione Bologna e sezione Ravenna, che effettua la raccolta, l'analisi, l'interpretazione e la diffusione dei dati dalle reti automatiche e manuali:
 - Caratteristiche dell'Acquifero della Regione Emilia-Romagna – Report 2003;
 - ARPA (sez. provinciale di Bologna): La qualità ambientale delle acque sotterranee della Provincia di Bologna - report monitoraggio 2002-2006;
 - ARPA (sez. provinciale di Ravenna): Qualità delle acque sotterranee e profonde della provincia di Ravenna. Relazione di sintesi sulla qualità delle acque sotterranee e profonde della provincia di Ravenna - anni 2005 e 2006;
- Autorità di Bacino del Reno: Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI);
- ISPRA: Servizio Geologico d'Italia – Carta Geologica d'Italia – Progetto CARG – Fogli 220-221, Note illustrative;
- Consorzio di Bonifica della Romagna Occidentale: Servizio Informativo Territoriale (SIT) e cartografia della rete idraulica e della rete idrologica;
- Provincia di Bologna: Servizio Informativo Territoriale (SIT) e Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP);
- Provincia di Ravenna: Servizio Informativo Territoriale (SIT) e Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP);
- Comune di San Lazzaro di Savena (BO): Piano Strutturale in Forma Associata
- Comune di Ozzano dell'Emilia (BO): Piano Strutturale in Forma Associata

- Comune di Castel San Pietro Terme (BO): Piano Regolatore Generale (PRG)
- Comune di Dozza (BO): Piano Regolatore Generale (PRG)
- Comune di Imola (BO): Piano Regolatore Generale (PRG)
- Comune di Castelbolognese (RA): Piano Strutturale Comunale Associato
- Comune di Solarolo (RA): Piano Strutturale Comunale Associato

Inoltre nella tratta in oggetto è presente un gestore dei servizi idrici integrati:

- HERA Bologna

2.2 CENSIMENTO DEI PUNTI DI APPROVVIGIONAMENTO IDRICO

Durante il rilevamento sul terreno è stato realizzato un censimento sia bibliografico che di campo dei punti d'acqua in una fascia di territorio che potesse essere sufficientemente rappresentativa per l'opera in progetto (nel primo caso pari a 2 km a cavallo dell'asse autostradale, nel secondo pari a 1 km a cavallo dell'asse autostradale).

2.2.1 Note di terreno

L'area studiata ha vocazione agricola e, subordinatamente, residenziale ed industriale. La metodologia adottata per il censimento delle opere di captazione e monitoraggio delle acque sotterranee è stata quindi quella della ricerca sul territorio di pozzi a diverso uso e punti di monitoraggio delle acque sotterranee. I suddetti elementi sono stati rilevati come "punti d'acqua" e sono parte integrante della planimetria idrogeologica allegata al presente progetto. Per ogni punto d'acqua si sono acquisiti sia i dati tecnici dell'opera sia, ove possibile, i dati relativi alla falda intercettata.

Il lavoro di raccolta dati e misura dei livelli piezometrici sul terreno ha incontrato varie problematiche principalmente imputabili a:

- pozzi con teste di chiusura e sostegno della pompa senza aperture per il passaggio della sonda piezometrica;
- inaccessibilità logistica dei pozzi
- permesso di accesso ai pozzi negato dai proprietari.

Nonostante il gran numero di pozzi (a seguito della prima ricerca ne sono stati individuati infatti circa 1000), il problema che si è posto fino da subito in riferimento alla necessità di ricostruire il modello teorico di comportamento della falda, è stato quello di poter usufruire di dati sufficientemente mirati ed omogenei.

In effetti è sempre molto difficile che i pozzi, per la loro stessa prassi realizzativa, abbiano caratteristiche costruttive tali da poter essere effettivamente utilizzati e correlati come punti significativi di monitoraggio, riconducendoli con certezza ad un medesimo corpo acquifero. Si pensi a questo proposito a quanto possano essere determinanti le profondità realizzative, il diverso diametro di perforazione e del tubaggio o la presenza di tratti cementati.

Queste considerazioni valgono ancor di più se si fa riferimento ad un sistema acquifero complesso, nel quale livelli di sedimenti più fini si interpongono a lenti o strati ghiaiosi dando origine, localmente, a sistemi acquiferi multifalda caratterizzati da zone a falda libera e zone a falda confinata o semiconfinata con livelli piezometrici che possono risultare diversi tra loro anche di alcune decine di metri.

Pertanto molte misure eseguite in sito sono state ritenute non adatte alla ricostruzione dell'andamento isopiezometrico in quanto misure dinamiche e/o anomale se confrontate con l'andamento piezometrico generale dell'area studiata.

In sintesi, ponendo maggiore attenzione all'area più soggetta ad impatto, che si sviluppa per la larghezza di 1 km a cavallo dell'asse autostradale per un totale di circa 30 kmq, la scelta si è focalizzata intorno a circa 200 punti di captazione ulteriormente selezionati sulla base delle loro caratteristiche costruttive e di ubicazione fino ad individuarne circa 65; le misure registrate tra agosto e settembre 2017 su questi punti d'acqua selezionati (Tab. 1 e 2) sono state utilizzate per la ricostruzione del modello idrogeologico (andamento delle isopiezometriche).

AO+A1					
CODICI	Gauss-Boaga		Quota p.c.	soggiacenza	quota piezo
	xcoord	ycoord	[m s.l.m.]	[m da p.c.]	[m s.l.m.]
SB1	1694730,12	4928088,01	52,9	14,6	38,3
SB2	1698288,31	4926528,93	43,1	3,7	39,4
SB3	1709465,10	4921379,59	47,0	6,6	40,4
SB6	1707516,33	4922583,13	49,2	4,2	45,0
SB7	1708758,91	4921801,29	44,8	4,6	40,2
SB10	1712022,17	4920995,29	39,4	1,8	37,6
SB11	1714108,17	4920027,54	37,7	0,9	36,8
SB12	1715484,25	4919231,17	33,3	3,5	29,8
SB14	1718882,22	4917674,04	29,1	15,2	13,9
SB15	1722887,26	4915694,17	28,5	7,5	21,0
SB16	1722835,78	4915538,29	28,6	6,4	22,2
SB17	1722416,91	4915887,63	27,3	8,3	19,0
SA2	1722042,68	4916103,29	27,1	7,8	19,3
SA3	1723971,91	4915179,10	26,3	4,4	21,9
OC1-S1	1711687,56	4920880,63	43,6	4,6	39,0
OC3-S1	1692895,34	4928263,85	52,5	11,1	41,4
OC3-S3	1693663,28	4928094,72	51,5	8,0	43,5
BOA10515	1724230,88	4915548,28	26,7	3,5	23,2
BOA10536	1724621,01	4915149,79	26,0	2,6	23,4
BOA10578	1724834,52	4914820,73	28,7	4,2	24,6
BOA10597	1725161,47	4915267,17	26,0	3,6	22,4
BOA10720	1714140,66	4919802,74	41,0	4,2	36,8
BOA10722	1712731,75	4920906,53	40,8	3,6	37,2
BOA10818	1715394,99	4919671,14	35,0	4,5	30,5
BOA10834	1719044,32	4917158,88	28,8	16,5	12,3
BOA10878	1721537,61	4916529,21	27,3	14,5	12,9
BOA10880	1719009,20	4917246,13	28,2	15,9	12,3
BOA11005	1722459,40	4915602,77	29,0	14,5	14,5
BOA11069	1719861,43	4916824,45	29,8	17,0	12,8
BOA11124	1723058,97	4915295,58	28,6	4,8	23,9
BOA11947	1722478,90	4915425,35	29,8	15,5	14,3
BOA12211/1	1715011,54	4919933,63	33,8	2,0	31,8
BOA12461	1721655,32	4916725,49	26,0	10,5	15,5
BOA12499/1	1720694,31	4916562,26	29,6	15,1	14,5
BOA12544	1706355,59	4922863,34	50,6	3,6	47,1
BOA9304	1697332,74	4926819,08	44,5	11,9	32,6
BOA9345	1712667,76	4920736,95	42,7	4,7	38,0
BOA9846	1698407,89	4926819,45	42,6	7,9	34,7
BOA9847	1697987,89	4926189,43	45,2	7,8	37,5
BOA9856	1700357,93	4925639,44	45,9	4,2	41,7
BOA9858	1701217,95	4925099,43	45,4	3,1	42,3
BOA9873	1697567,88	4926339,43	47,9	12,2	35,8
RAA9116	1725167,59	4915102,45	27,6	4,7	22,9
C. Bonaventura	1703388,15	4924132,22	44,0	3,0	41,0
Via Saviolo	1694979,44	4928250,69	52,8	16,9	35,9
BO55-01	1696544,80	4928066,86	47,5	7,3	40,2
BOA5-00	1695646,77	4930418,90	39,0	8,5	30,5
BO-F15-00	1711262,12	4923447,86	37,0	2,9	34,1
BO-F16-00	1715673,23	4923027,86	27,6	1,9	25,8
BO-F18-00	1724585,47	4920271,73	19,7	4,1	15,6
RA15-00	1723616,42	4913881,53	29,8	6,0	23,8
RA17-01	1730889,67	4912873,54	22,0	12,9	9,1
RA18-00	1726800,49	4909451,39	38,2	7,1	31,1
RA77-00	1722918,39	4911509,45	39,8	14,7	25,1
RA79-00	1726589,52	4915342,58	24,8	13,3	11,5

Tab.1 – Punti d'acqua utilizzati per la definizione della superficie piezometrica relativa all'acquifero superficiale (AO+A1) (misure registrate tra agosto e settembre 2017).

A2					
CODICI	Gauss-Boaga		Quota p.c.	soggiacenza	quota piezo
	xcoord	ycoord	[m s.l.m.]	[m da p.c.]	[m s.l.m.]
BOA10723	1712187,71	4920733,40	45,2	16,7	28,5
BOA10819	1715555,04	4919593,92	33,3	21,1	12,2
BOA12211/2	1715011,54	4919933,63	35,0	16,4	18,6
BOA12423	1715202,28	4918954,49	37,7	24,5	13,2
SA3	1723971,91	4915179,10	26,3	11,0	15,3
BO53-03	1692486,74	4927363,77	55,0	27,1	27,9
BO57-01	1696509,82	4924633,77	61,4	22,7	38,7
BO60-00	1704937,99	4919933,74	75,5	13,2	62,3
BO61-00	1706857,03	4919619,73	59,7	6,1	53,6
BO66-00	1710952,12	4920787,78	43,2	7,1	36,1

Tab. 2 – Punti d'acqua utilizzati per la definizione della superficie piezometrica relativa all'acquifero A2 (misure registrate tra agosto e settembre 2017).

Per la definizione dell'acquifero più superficiale A0+A1 e più profondo A2 si rimanda al capitolo 7 della presente relazione.

2.2.2 Classificazione dei pozzi per tipo d'uso

Per il censimento dei punti d'acqua sono state reperite informazioni da:

- database Regione Emilia Romagna, che comprende censimenti ARPAE ed Autorità di Bacino del Reno;
- HERA Bologna: pozzi d'acqua ad uso acquedottistico;
- PGT Comunali.

I punti d'acqua censiti sono stati classificati sulla base della loro destinazione d'uso (si veda la simbologia riportata nella planimetria idrogeologica). In particolare:

- Pozzi ad uso pubblico/acquedottistico;
- Pozzi ad uso potabile privato;
- Pozzi ad uso industriale;
- Pozzi ad uso irriguo;
- Pozzi ad uso igienico-sanitario;
- Pozzi ad uso antincendio;
- Pozzi ad uso zootecnico;
- Pozzi ad uso sconosciuto.

Si sottolinea che i vari punti di censimento, essendo derivati da database di origine diversa e redazione riferibile a periodi differenti, non sempre coincidono e pertanto si è optato per rappresentare, nella specifica planimetria, sia i pozzi censiti nell'ambito del progetto definitivo (campagna 2010-2011) sia i pozzi censiti per il presente progetto (campagna 2017).

Sono state infine indicate le fasce di rispetto dei pozzi ad uso idropotabile secondo una estensione di 200 metri di raggio rispetto al punto di captazione.

2.2.3 Schede di raccolta dati

I dati raccolti durante il censimento sono stati riportati in apposite schede (allegate alla presente relazione), tali schede contengono i seguenti campi:

- una parte introduttiva con i dati generali del punto d'acqua: sigla, tipo di punto d'acqua, ubicazione, eventuale gestore, coordinate nel sistema Gauss-Boaga compresa quota sul livello medio del mare, distanza dall'asse dell'opera;
- una sezione grafica descrittiva dell'ubicazione del punto d'acqua con un quadro per la fotografia ed uno per lo stralcio della Carta Tecnica Regionale (C.T.R.);
- un quadro contenente i dati tecnici (se disponibili) relativi al punto d'acqua (profondità e diametro del rivestimento) e quelli rilevati al momento del censimento (livello statico e dinamico riferiti al p.c. ed in valore assoluto in m s.l.m., portata, Ph, temperatura, conducibilità elettrica, ecc.);
- un campo con l'annotazione della data del rilevamento, dello stato di attività, dell'uso e delle eventuali note di terreno.

Le schede dei punti d'acqua censiti nella campagna 2010-2011 e nella campagna 2017 sono raccolte in un apposito elaborato allegato al presente progetto.

2.2.4 Prove di permeabilità in sito

Per la valutazione del grado di permeabilità delle unità idrogeologiche individuate sulla base della ricostruzione geologica del sottosuolo sono state prese in considerazione le risultanze delle indagini in sito svolte nell'ambito della campagna geognostica propedeutica alla progettazione definitiva dell'opera e di quelle riferite a campagne di indagine pregresse.

In particolare sono stati analizzati i dati derivanti da prove Lefranc, sia a carico costante che a carico variabile, eseguite in fori di sondaggio afferenti il presente progetto (sondaggi S-B2, S-B7, S-B8, S-B10, S-B13, S-B15, S-B16, S-B17, OC1S1, OC1S2, OC6S1, SA2, SA3) ed afferenti ad altri progetti ricadenti in aree adiacenti alla tratta di interesse ma rappresentativi di analoghi depositi litologici (sondaggi OC3S1, OC3S2, OC3S3 ubicati nei pressi del casello di Bologna San Lazzaro).

L'interpretazione delle prove Lefranc è stata condotta secondo la norma UNI EN ISO 22282-2:2012, utilizzando il VELOCITY GRAPH METHOD come indicato al punto B.4.1 della sopraccitata normativa per quanto attiene le prove a carico variabile.

Le elaborazioni complete delle prove di permeabilità Lefranc eseguite nei fori di sondaggio sono riportate nell'Allegato C alla presente relazione.

3 CARTOGRAFIA TEMATICA E LEGENDA

A supporto della presente relazione sono state redatte una planimetria idrogeologica alla scala 1:5000 con relativo profilo longitudinale (eseguito 38m a dx dell'asse di progetto SUD) a scala verticale amplificata 1:5000/500.

Le unità idrogeologiche sono state distinte evidenziando in profilo la granulometria ed il comportamento idraulico dei depositi. Per la valutazione del grado di permeabilità, in assenza di prove dirette o con un numero insufficiente di esse per ciascuna unità idrogeologica, si è fatto ricorso ai valori indicati nella letteratura scientifica.

I punti d'acqua riportati in planimetria sono di quattro tipi:

- piezometri installati durante la campagna di indagine geognostica a supporto del Progetto Definitivo;
- piezometri installati durante la campagna di indagine geognostica per il progetto preliminare;
- piezometri della rete di rilevamento regionale della falda ipodermica;
- pozzi per acqua suddivisi per uso secondo i dati reperiti dai vari Enti.

Per quanto riguarda quest'ultimo tipo di punti d'acqua, in planimetria sono stati riportati sia i pozzi individuati in fase di progetto definitivo (campagna 2010-2011) che quelli individuati in fase di progetto esecutivo (campagna 2017), in entrambi i casi con le relative aree di salvaguardia associate ai pozzi ad uso potabile pubblico.

A lato dei simboli ubicativi dei punti d'acqua censiti sono riportati i codici identificativi dei medesimi e (qualora disponibili) le misure piezometriche (m s.l.m.), distinte per colore in relazione alla campagna di misura: come già rammentato molte misure eseguite in sito sono state ritenute non adatte alla ricostruzione dell'andamento isopiezometrico in quanto misure dinamiche e/o anomale se confrontate con l'andamento piezometrico generale dell'area studiata.

I simboli idrogeologici rappresentati in planimetria sono i seguenti:

- principale direzione di flusso Acquifero A2 (da dati ARPA Reg. E-R novembre-dicembre 2016);
- principale direzione di flusso Acquifero A0+A1 (campagna di misure agosto-settembre 2017);
- principale direzione di flusso (campagna di misure novembre 2010 - gennaio 2011);
- linee isopiezometriche e relativo valore in m s.l.m. (equidistanza 1 m) ricostruite in base ai dati ARPA Reg. E-R novembre-dicembre 2016;
- linee isopiezometriche e relativo valore in m s.l.m. (equidistanza 1 m) ricostruite in base alla campagna di misure agosto-settembre 2017;
- linee isopiezometriche e relativo valore in m s.l.m. (equidistanza 1 m) ricostruite in base alla campagna di misure novembre 2010 - gennaio 2011.

Gli altri simboli riportati nella cartografia sono relativi al reticolo idrografico ed alla traccia del profilo idrogeologico (eseguito 38m a destra dell'asse di progetto sud).

In profilo sono evidenziati:

- traccia della superficie piezometrica interpretata considerando le letture piezometriche eseguite nel periodo agosto-settembre 2017;
- traccia della superficie piezometrica interpretata considerando i dati messi a disposizione da ARPAE (Reg. Emilia Romagna) per il periodo novembre-dicembre 2016;
- traccia della superficie piezometrica interpretata considerando le letture piezometriche eseguite nel periodo novembre 2010 - gennaio 2011;
- piezometri di controllo con indicazione del tipo di strumentazione installata (con relativa funzionalità), della quota delle prove Lefranc;

- pozzi rilevati in sito;
- livelli piezometrici disponibili (soggiacenza in m. da p.c.) misurati in piezometro o in pozzo (simbolo di colore diverso in relazione alla data della misura);
- riporto antropico.

Si specifica che in planimetria si è optato per accorpare gli ambiti di subsintema, e più in generale di ambiente deposizionale, in un unico Complesso idrogeologico superficiale senza distinzioni direttamente correlabili alla permeabilità.

Viceversa, nell'ambito dei profili idrogeologici vengono distinte unità su base granulometrica e di permeabilità. E' stato possibile effettuare tali suddivisioni (con esclusione dei riporti antropici e dei depositi alluvionali attuali) utilizzando le stratigrafie dei sondaggi geognostici e le prove di permeabilità eseguite in sito, ovvero i dati reperibili in letteratura.

4 CLIMATOLOGIA

Il regime pluviometrico delle aree di intervento è stato ricostruito sulla base dell'analisi delle serie storiche relative alla stazione di Castel S. Pietro Terme inserita all'interno del circuito di monitoraggio ARPA-SIM – Servizio Idro-Meteorologico. Il periodo monitorato va da maggio 2004 a ottobre 2017.

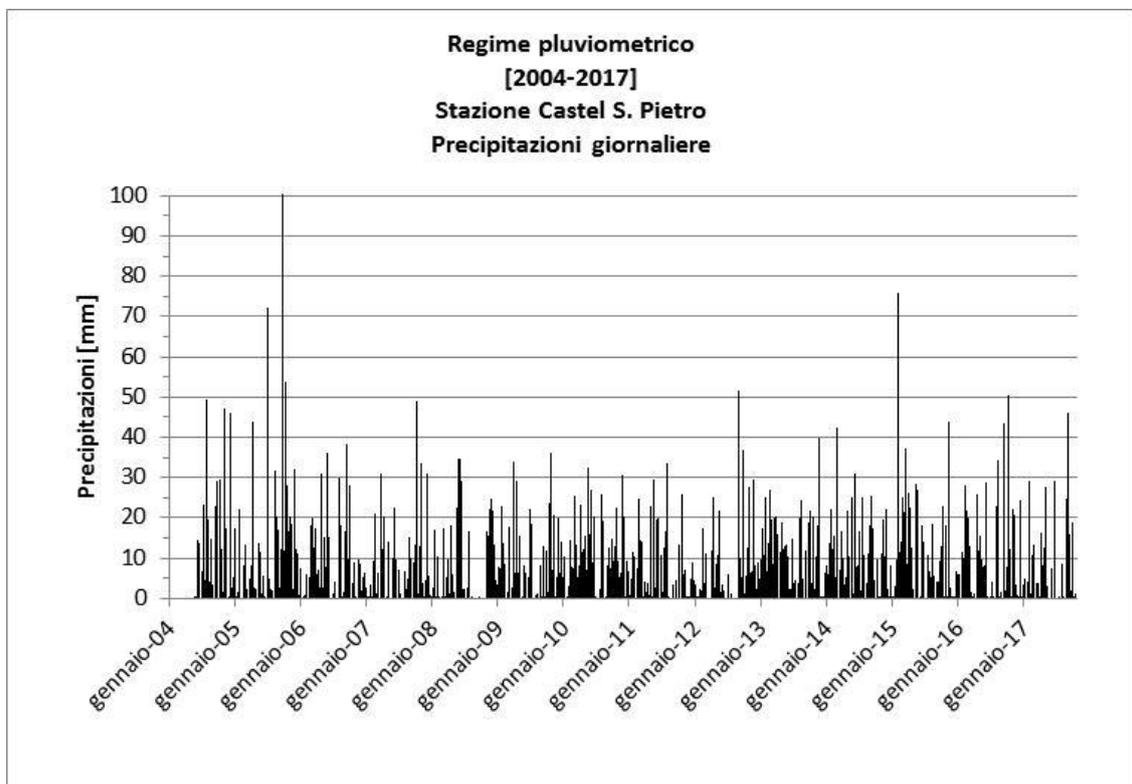
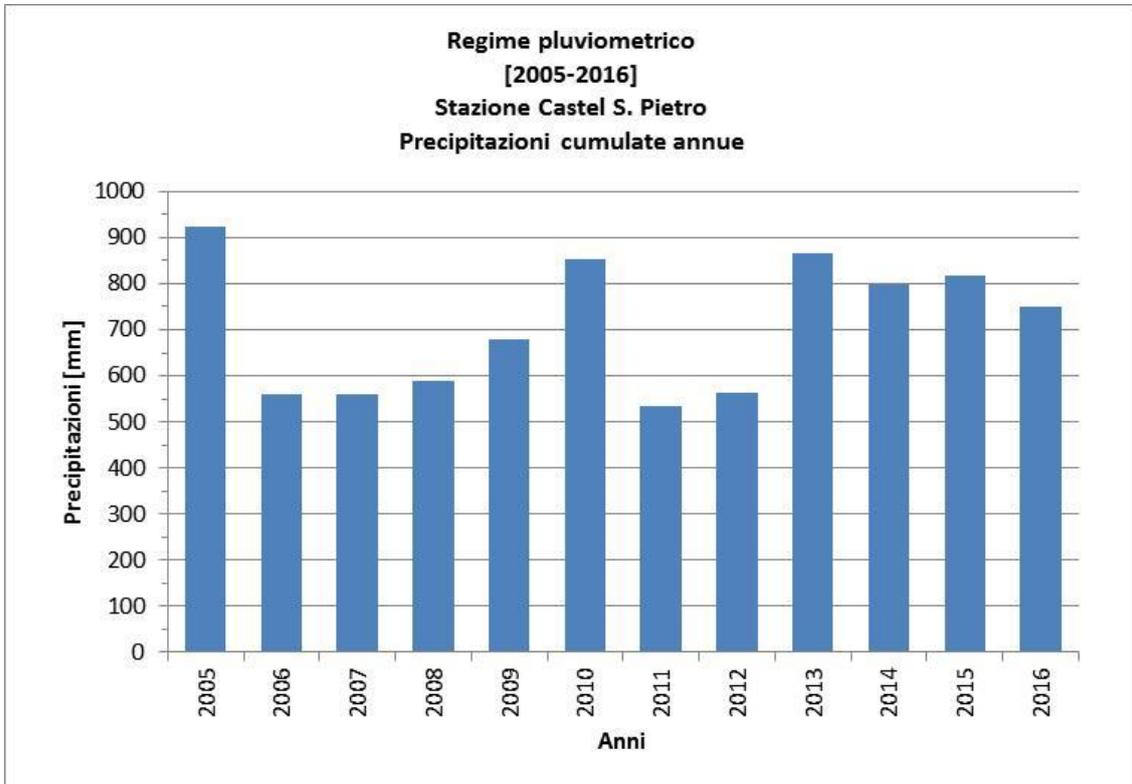
Si precisa che ai fini dell'elaborazione statistica dei dati acquisiti sono state considerate le sole annate complete (2005-2015), mentre per l'esame storico dei dati giornalieri si è considerato l'intero periodo di osservazione sopra indicato.

Nella seguente tabella si riportano i risultati salienti dell'analisi storica dei dati acquisiti e dell'elaborazione statistica condotta relativamente alla stazione considerata:

Stazione	Piovosità media annua [mm]	Giorni di pioggia medi annui [n°]	Giorni di pioggia annui con intensità > 50 mm [n°]	Giorni di pioggia annui con intensità > 100 mm [n°]
Castel S. Pietro	695.8	123.8	3	1

Tab. 3 – Analisi storica della piovosità.

Nelle pagine seguenti si riporta l'andamento delle precipitazioni giornaliere e annue cumulate registrate nel periodo di osservazione considerato.



L'esame dei dati di piovosità annua evidenzia variazioni su scala pluriennale con valori massimi e minimi anche significativamente distanti dalla media, come riassunto nella seguente tabella:

Stazione	Piovosità media annua [mm]	Piovosità annua massima [mm]	Anno	Piovosità annua minima [mm]	Anno
Castel S. Pietro	695.8	924.2	2005	535.2	2011

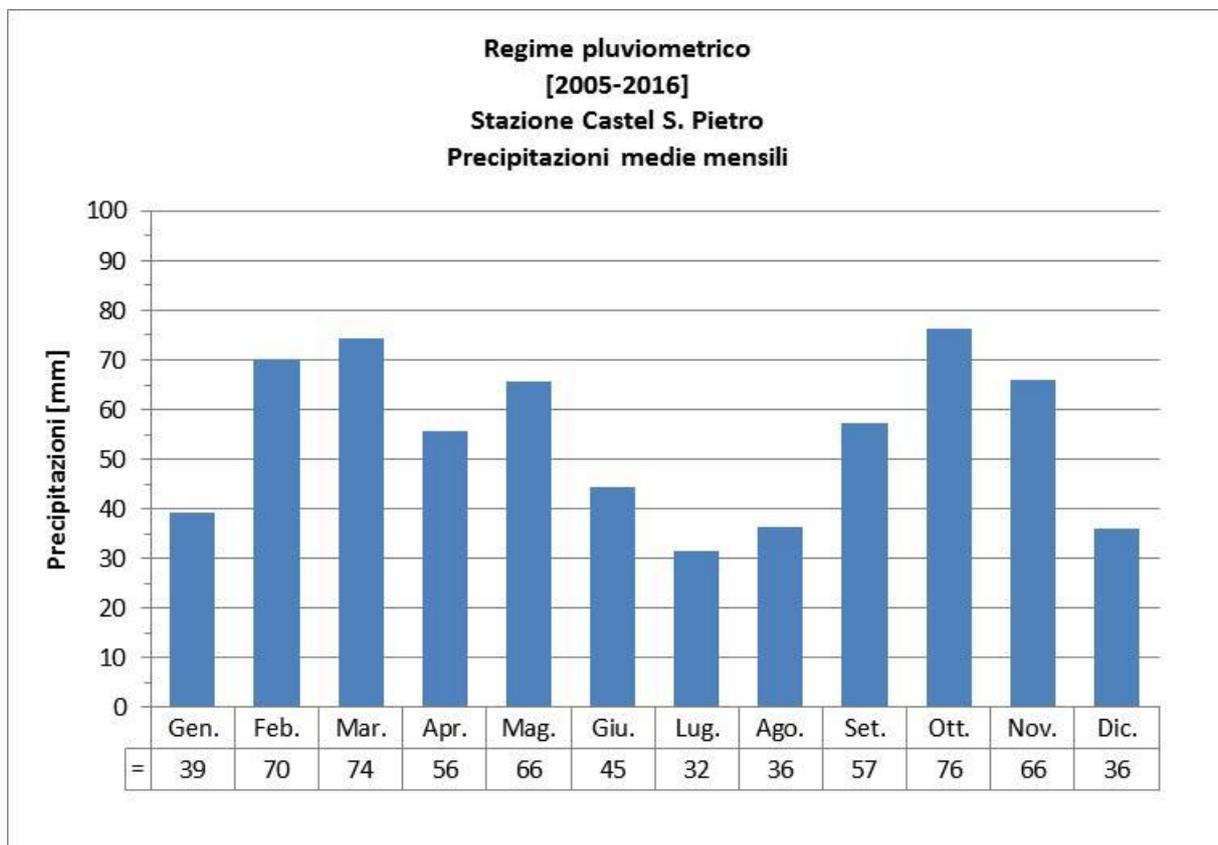
Tab. 4 – Analisi storica della piovosità annua.

Molto significativo è poi l'esame dei grafici relativa alla piovosità giornaliera che evidenziano picchi che oscillano intorno a valori anche superiori a 70 mm, con punte superiori a 100 mm, come riassunto nella seguente tabella, in cui sono riportati i 3 eventi con la massima piovosità giornaliera registrati:

Stazione	Evento [mm]	Data
Castel S. Pietro	119.4	18/09/2005
	76.0	5/02/2015
	72.2	1/07/2005

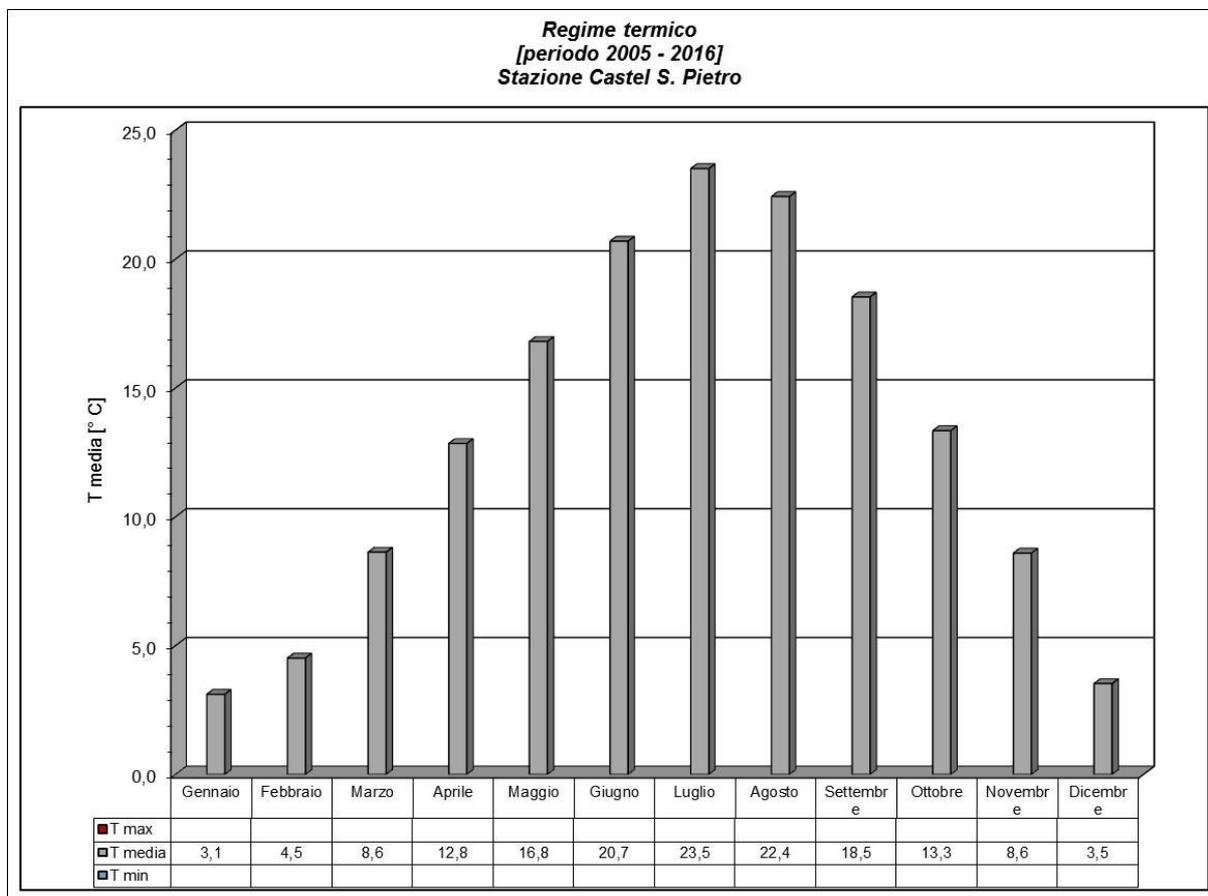
Tab. 5 – Piovosità giornaliera Stazione di Castel San Pietro Terme

Per quanto concerne la distribuzione della piovosità nell'arco dell'anno nei grafici seguenti si mostra l'andamento delle precipitazioni medie mensili registrate.

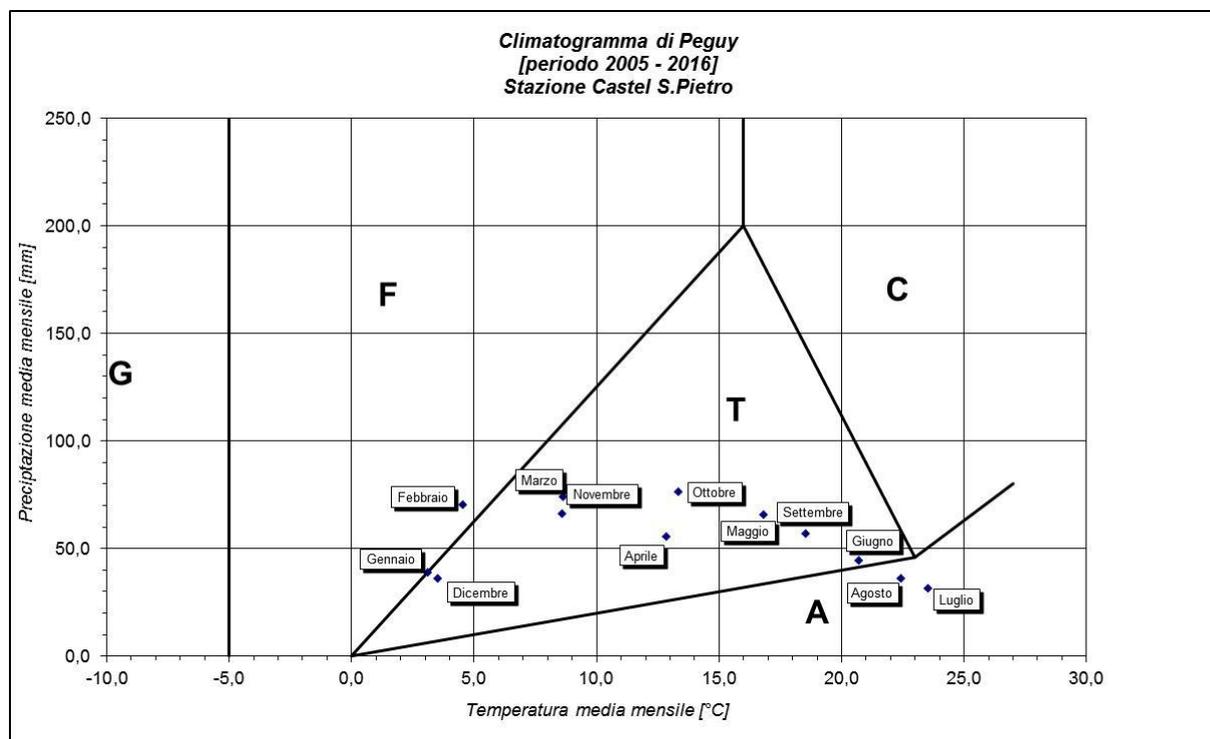


L'andamento delle precipitazioni nell'arco dell'anno evidenzia la presenza di un picco di piovosità autunnale registrato nel mese di ottobre e di un minimo estivo registrato nel mese di luglio; si individuano poi un picco secondario primaverile, tra febbraio e marzo, e un minimo secondario invernale tra dicembre e gennaio.

Le temperature medie mensili mostrano un minimo di 3.1°C nel mese di gennaio e un massimo di 23.5 °C nel mese di luglio. L'escursione termica annua, differenza tra la temperatura media del mese più caldo (luglio) e la temperatura media del mese più freddo (gennaio) è pari a 20.4°C. Il regime termico dell'area è riportato nel grafico seguente.



A partire dai dati climatici di base sopra riportati si è poi proceduto all'elaborazione del climatogramma di Peguy relativo al territorio in esame, nel quale vengono messi in relazione i valori medi di precipitazioni e di temperatura mensile, confrontando l'andamento climatico ottenuto con un diagramma di riferimento generale in cui sono distinti i campi relativi a: mesi di gelo, mesi freddi, mesi temperati, mesi caldi e mesi aridi. Il climatogramma ottenuto è mostrato nel grafico seguente.



L'esame del climatogramma dell'area considerata evidenzia la presenza di 9 mesi temperati (da marzo a giugno e da settembre a gennaio) di 2 mesi aridi (luglio e agosto) e di 1 mese freddo (febbraio); non sono presenti mesi di gelo.

Utilizzando i dati di temperatura media mensile del periodo di osservazione si è infine proceduto al calcolo della evapotraspirazione potenziale mensile a mezzo della formula di Thornthwaite:

$$Etp_i = 16 p_i (10 t_i / I)^{(0.5 + 0.016 I)}$$

dove: Etp_i = evapotraspirazione potenziale del mese i-esimo [mm]

p_i = indice correttivo funzione della latitudine

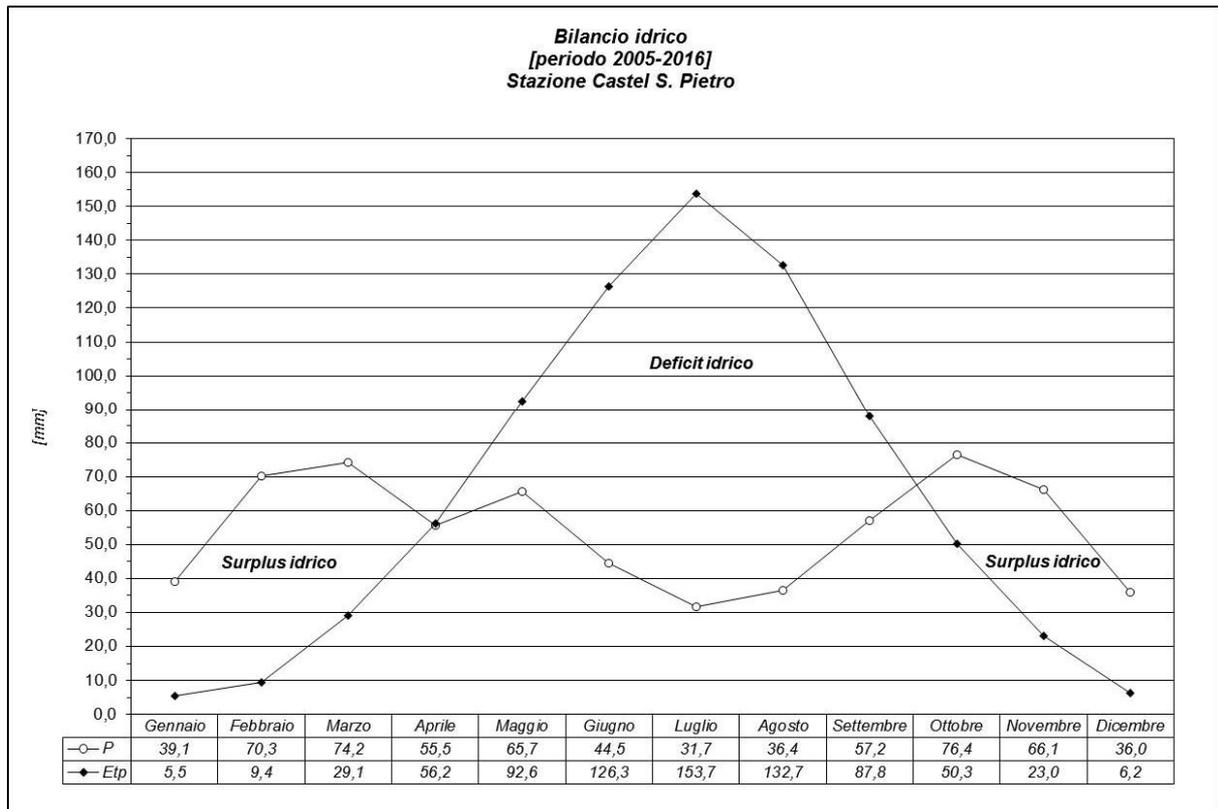
t_i = temperatura media del mese i-esimo [°C]

I = indice calorico annuo = $\sum_{i=1,12} (t_i / 5)^{1.514}$

L'evapotraspirazione potenziale media annua ammonta complessivamente a 773 mm circa, con un differenziale negativo di circa 120 mm rispetto alle precipitazioni. Nell'arco dell'anno il valore massimo si registra nel mese di luglio (154 mm) mentre il valore minimo viene registrato nel mese di gennaio (5.5 mm).

La distribuzione mensile dei valori medi di evapotraspirazione potenziale (Etp) e di precipitazioni (P), riportata nel grafico seguente, consente di valutare il bilancio idrico della zona in esame, che evidenzia l'instaurarsi di una situazione di deficit idrico prolungata tra metà aprile e fine settembre, in cui vengono

intaccate le riserve idriche del suolo, con una perdita potenziale stimata in circa 358 mm, mentre nei rimanenti periodi dell'anno si hanno condizioni di surplus idrico che favoriscono la ricarica delle riserve idriche, con un eccesso potenziale stimato in circa 239 mm.



5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO - IDROGEOLOGICO

La zona oggetto di studio è situata all'interno dell'ampio bacino sedimentario padano, sul bordo settentrionale del Sistema Appenninico.

In particolare, il tratto autostradale oggetto del presente studio si sviluppa nell'ambito del Sistema Emiliano - Romagnolo Superiore (AES) che costituisce la porzione superiore del Supersistema Emiliano-Romagnolo e comprende la quasi totalità dei depositi continentali affioranti all'interno del foglio in esame. Nelle porzioni intravallive e di margine appenninico, è costituito da depositi terrazzati di piana alluvionale che poggiano in discordanza su depositi marini più antichi; sono presenti ghiaie e sabbie di canale fluviale dei terrazzi e delle conoidi del margine appenninico. L'unità risulta inoltre suddivisa in diversi subsistemi individuati in base alle peculiari caratteristiche genetiche, pedogenetiche e di assetto geo-morfologico delle diverse unità (cfr.); nelle aree di progetto sono stati riconosciuti il subsistema di Villaverucchio (AES₇) e il subsistema di Ravenna (AES₈) suddivisi ulteriormente al loro interno.

Il modello idro-stratigrafico riconosciuto del margine appenninico e della pianura emiliano-romagnola (Regione Emilia-Romagna, ENI-AGIP-1998, integrato nelle Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia del Progetto CARG, Fogli 220 e 221) vede la presenza di tre unità stratigrafiche (Fig. 4) con i corrispondenti Gruppi Acquiferi definiti come:

- **Gruppo Acquifero A:** Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES - Pleistocene medio – Olocene)
- **Gruppo Acquifero B:** Sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI - Pleistocene medio)
- **Gruppo Acquifero C:** Sabbie di Imola e depositi prequaternari (Pliocene inf. – Pleistocene medio)

La stratigrafia proposta è ben rappresentata anche nella sezione idrostratigrafica in Fig. 2 (tracciata pochi km a est della valle dell'Idice), dove è ben visibile la suddivisione nel sottosuolo dei diversi Gruppi Acquiferi e la rispettiva distinzione dei vari Complessi Acquiferi.

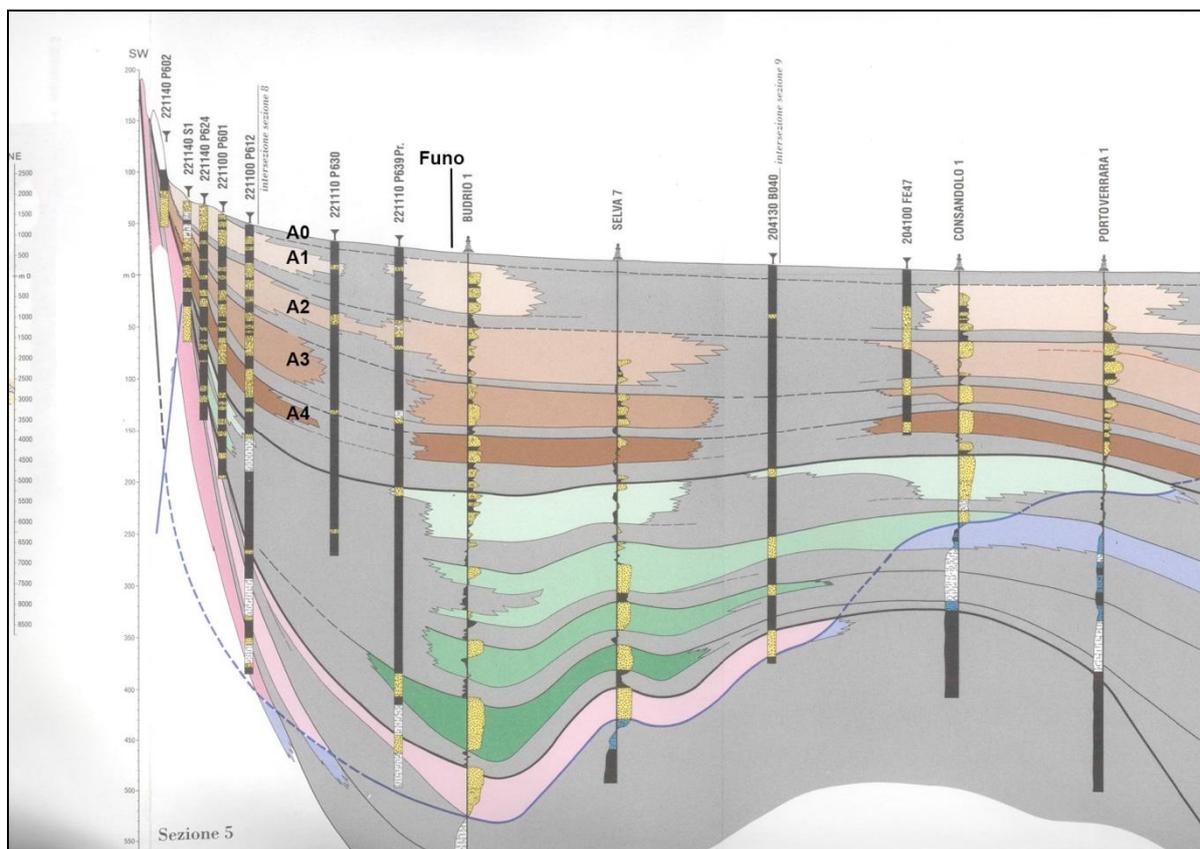


Fig. 2 – Sezione idrostratigrafica n°5 da Regione Emilia-Romagna, ENI – AGIP, 1998. Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna. Acura di G. Di Dio – modificata.

Nell'area di progetto si possono inoltre individuare, da un punto di vista dei sistemi deposizionali, le conoidi alluvionali appenniniche e i sistemi della pianura alluvionale appenninica; in base a questa suddivisione vengono appunto definiti complessi idrogeologici - definiti come corpi con litologie simili, omogeneità spaziale e un grado di permeabilità che varia in un ristretto intervallo - i seguenti:

- conoidi alluvionali appenniniche
- pianura alluvionale appenninica

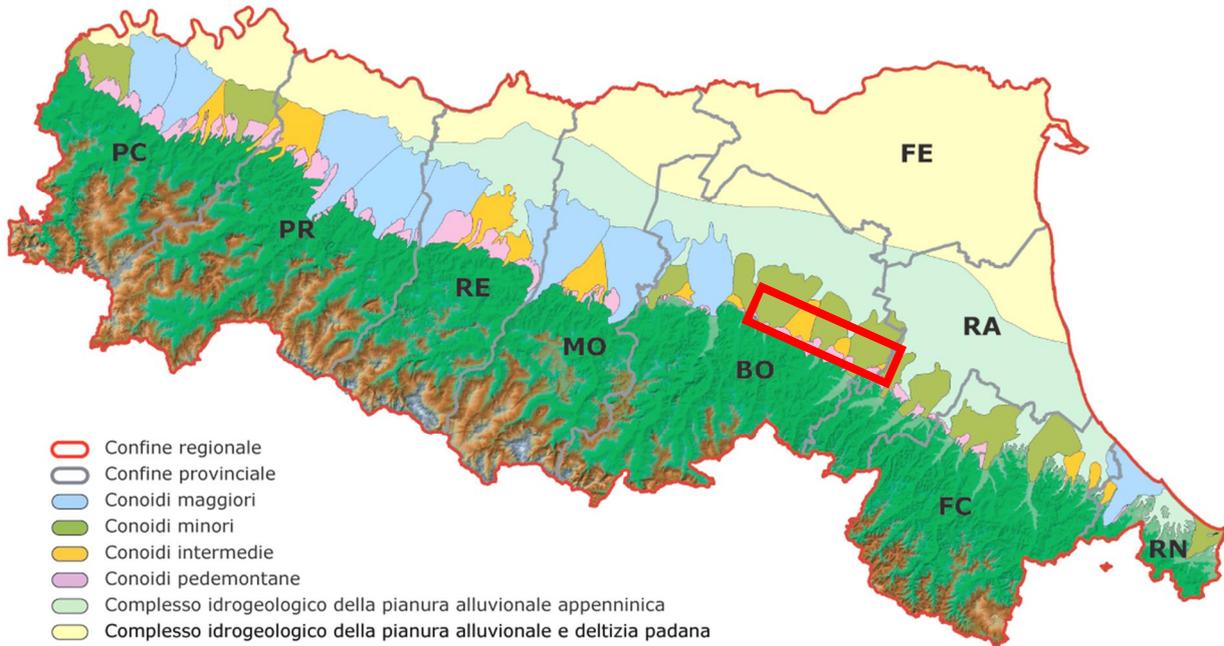


Fig. 3 - Distribuzione delle conoidi e dei complessi idrogeologici all'interno del gruppo acquifero A (in rosso l'area di interesse).

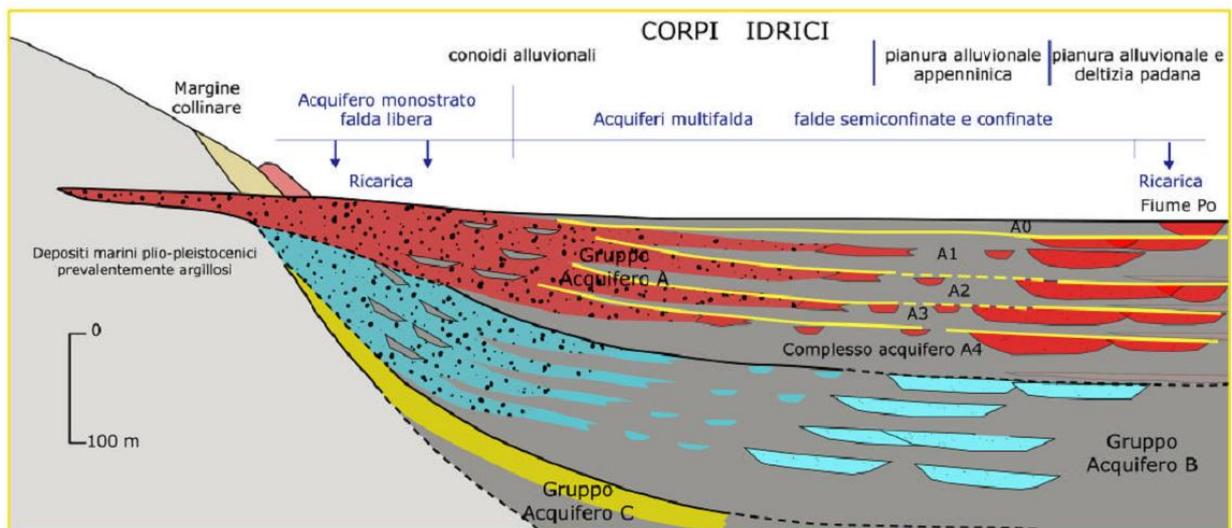


Fig. 4 – Schema rappresentativo dei corpi idrici

5.1 COMPLESSO IDROGEOLOGICO DELLE CONOIDI ALLUVIONALI APPENNINICHE

Le conoidi appenniniche sono caratterizzate da una alternanza di depositi grossolani e fini di spessore variabile con una struttura interna definita da:

- un acquitardo basale – costituito da depositi fini con una notevole continuità laterale;
- alternanza di depositi fini e grossolani – costituita da limi prevalenti alternati a sabbie e/o argille comprendenti ghiaie in corpi lenticolari o tabulari;
- corpi tabulari grossolani – costituita da sedimenti ghiaiosi in potenti corpi tabulari con una estesa continuità laterale.

Nelle porzioni prossimali delle conoidi, quelle più rappresentative delle aree interessate dalle opere in progetto, si formano degli estesi corpi di ghiaie che costituiscono i principali acquiferi della regione, nelle zone apicali si rinvencono acquiferi monostrato in condizioni di falda libera con frequenti scambi idrici fiume-falda, in cui il fiume rappresenta la fonte di alimentazione. Spostandosi verso valle, i sedimenti più fini si interpongono separando i depositi ghiaiosi dando origine a sistemi acquiferi multifalda caratterizzati da zone a falda libera e zone a falda confinata o semiconfinata.

I livelli piezometrici tra lobi di conoide sovrapposti possono risultare diversi tra loro (RER&ARPA, 2003) anche di alcune decine di metri. I gradienti idraulici risultanti da precedenti campagne piezometriche risultano per le conoidi appenniniche maggiori e intermedie, pari a 7-12 per mille nelle zone apicali e intermedie, mentre pari a 2-3 per mille si hanno nelle zone intermedie e distali; per quelle minori si ha un gradiente pari a 8-12 per mille nella parte superiore e 2-5 per mille nelle parti distali.

Infine ci sono le conoidi alluvionali distali che rappresentano la fascia di transizione tra depositi di conoide alluvionali e quelli di piana alluvionale e sono costituite da alternanze di depositi grossolani e fini.

5.2 COMPLESSO IDROGEOLOGICO DELLE PIANURA ALLUVIONALE APPENNINICA

La pianura alluvionale appenninica è caratterizzata dall'assenza di ghiaie con la predominanza di depositi a granulometria fine.

Nell'ambito della sequenza alluvionale si possono riconoscere:

- porzione inferiore – costituita da limi argillosi di spessore decametrico con una potente continuità laterale;
- porzione intermedia – costituita da depositi fini dominati da limi alternati a sabbie e/o argille in cui sono presenti livelli argillosi;
- porzione superiore – costituita da sabbie medie e grossolane, di spessore di alcuni metri con una continuità laterale di qualche chilometro, all'interno di questa porzione si concentrano gli acquiferi sfruttabili maggiormente principalmente.

All'interno dei corpi grossolani la circolazione idrica è piuttosto ridotta e gli scambi tra le diverse falde o fiume-falda sono pressoché assente; la maggior parte delle falde è di tipo confinato e la piezometria tra le diverse falde può differire anche di diversi metri.

6 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO DELL'AREA DI STUDIO

6.1 ANALISI STORICA DEI LIVELLI PIEZOMETRICI

Per comprendere il comportamento piezometrico dell'acquifero nel tempo e in rapporto alla dinamica afflussi-deflussi, sono state esaminate le serie storiche dei dati piezometrici disponibili più significativi (database Regione Emilia-Romagna-ARPA e documentazione fornita da HERA):

6.1.1 Livelli piezometrici pozzi RER-ARPA

Di seguito si riporta l'ubicazione e le caratteristiche principali dei pozzi monitorati da ARPA e del piezometro installato nel sondaggio SB-14 ricadenti nei pressi del tracciato (in blu l'area di studio interessata da tracciato):

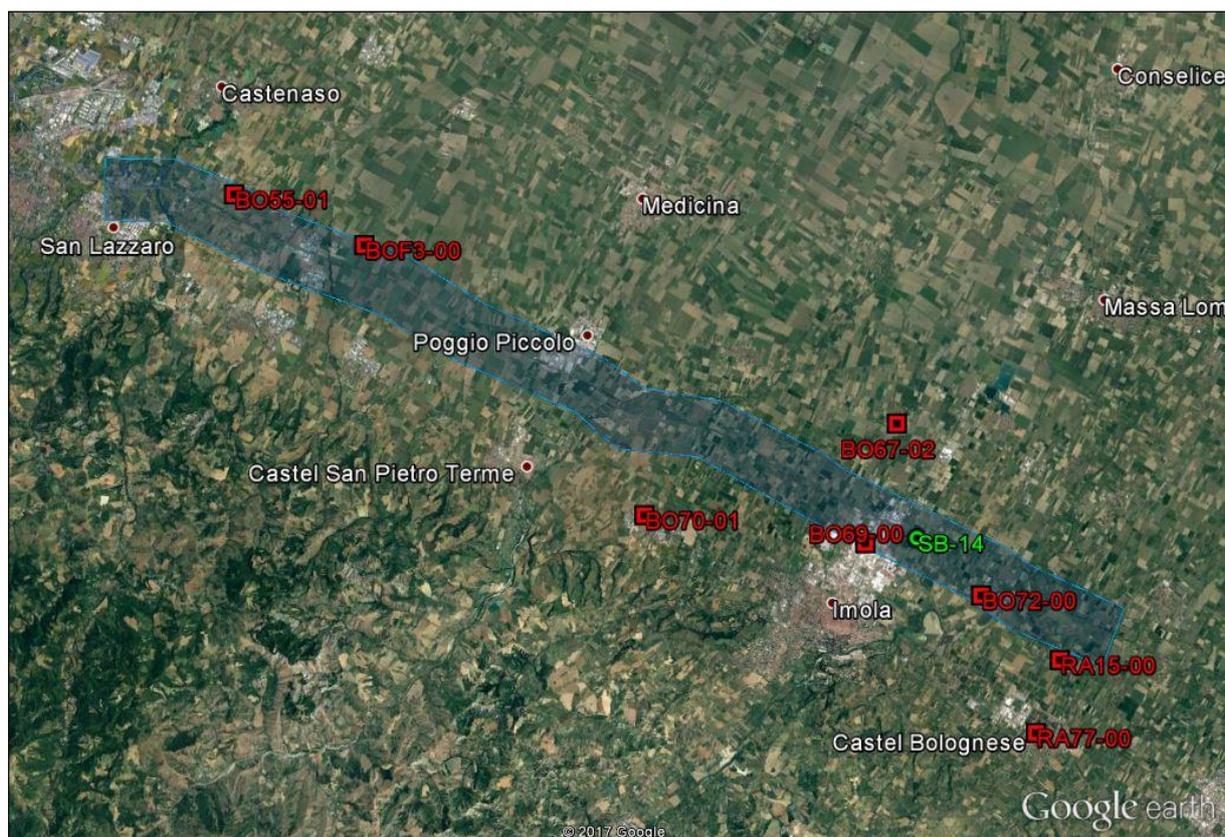


Fig. 5 - Ubicazione dei pozzi monitorati da ARPA e del sondaggio SB14 ricadenti nei pressi del tracciato (in blu l'area di studio interessata da tracciato)

Provincia	Codice RER	COORDINATE G.B.		Quota_PC [m s.l.m.]	profondità [m]	Tipo filtri	Posizione filtri	n° filtri	filtri	
		x	y						da m	a m
BO	BO55-01	1696545,86	4928066,46	47,50	84,00	Multifiltro	-	-	-	-
BO	BO67-02	1718119,36	4921352,30	23,40	59,00	Monofiltro	Fondo foro	1	54,0	58,0
BO	BO69-00	1717228,49	4917455,04	33,20	101,00	Multifiltro	-	4	53,0	98,9
BO	BO72-00	1721013,31	4915889,24	31,20	62,00	Multifiltro	Fondo foro	4	47,0	61,0
BO	BOF3-00	1700791,20	4926561,82	39,00	80,00	-	-	-	-	-
RA	RA15-00	1723617,20	4913881,04	29,82	31,74	Monofiltro	-	1	17,6	21,0
RA	RA77-00	1722919,64	4911506,21	39,84	37,20	Monofiltro	Fondo foro	1	29,0	35,2
BO	SB-14	1718882,22	4917674,04	29,06	30,00	T.A.	-	-	18,0	30,0

Tab. 6 - Caratteristiche dei pozzi monitorati da ARPA e del sondaggio SB-14 ricadenti nei pressi del tracciato

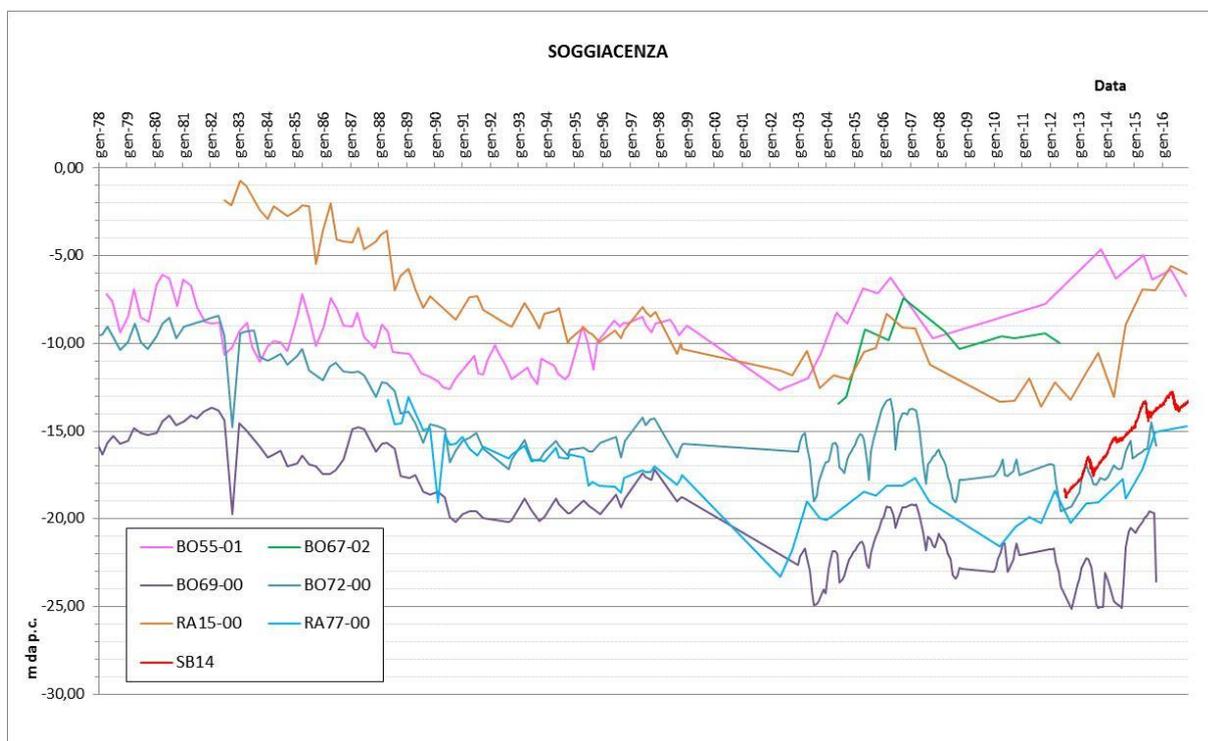


Fig. 6a – Soggiacenze pozzi di monitoraggio ARPAE

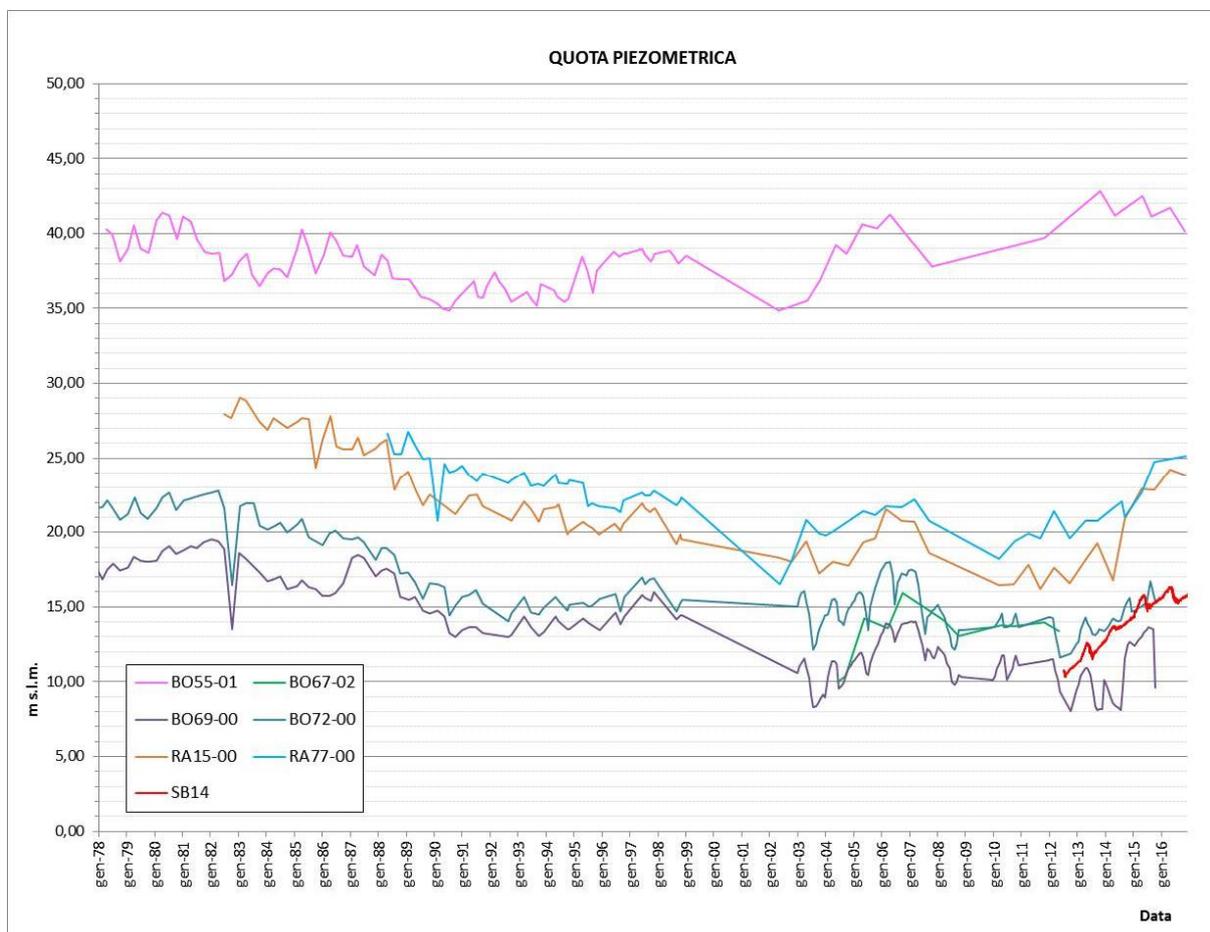


Fig. 6b – Piezometrie pozzi di monitoraggio ARPAE

L'andamento delle soggiacenze e delle relative quote piezometriche relative ai pozzi monitorati da ARPAE mostra un trend di progressivo approfondimento della superficie piezometrica fino ai primi anni 2000; dal 2002-2003 fino a tutto il 2012 si segnala un andamento pressoché costante delle quote piezometriche caratterizzate unicamente dalle ordinarie escursioni stagionali dell'ordine di 1-2 m. Questo periodo di stasi è seguito da una netta risalita delle quote piezometriche che dal 2012-2013 a oggi stanno facendo registrare una costante crescita (anche di 5-7 m).

Si fa anche notare come eventi meteo-climatici fuori dal comune si riflettano prontamente sull'assetto della superficie piezometrica: le abbondanti piogge del 2013-2014 hanno pressoché annullato l'atteso abbassamento fisiologico delle quote piezometriche durante la stagione più secca (luglio-agosto); le temperature eccezionalmente elevate della stagione estiva 2017, al contrario, hanno causato un abbassamento stagionale delle quote piezometriche sopra la media (circa 2 m) e leggermente rallentato il trend di crescita in atto.

6.1.2 Livelli piezometrici datalogger S-B14

Di seguito si riporta specificatamente l'andamento delle soggiacenze e delle relative quote piezometriche delle letture disponibili per il piezometro S-B14 (ubicazione in fig. 5 e caratteristiche principali in tab. 6), nel quale è installato dal 2012 un datalogger atto a registrare in continuo il livello di falda (cadenza di una lettura ogni 12 ore):

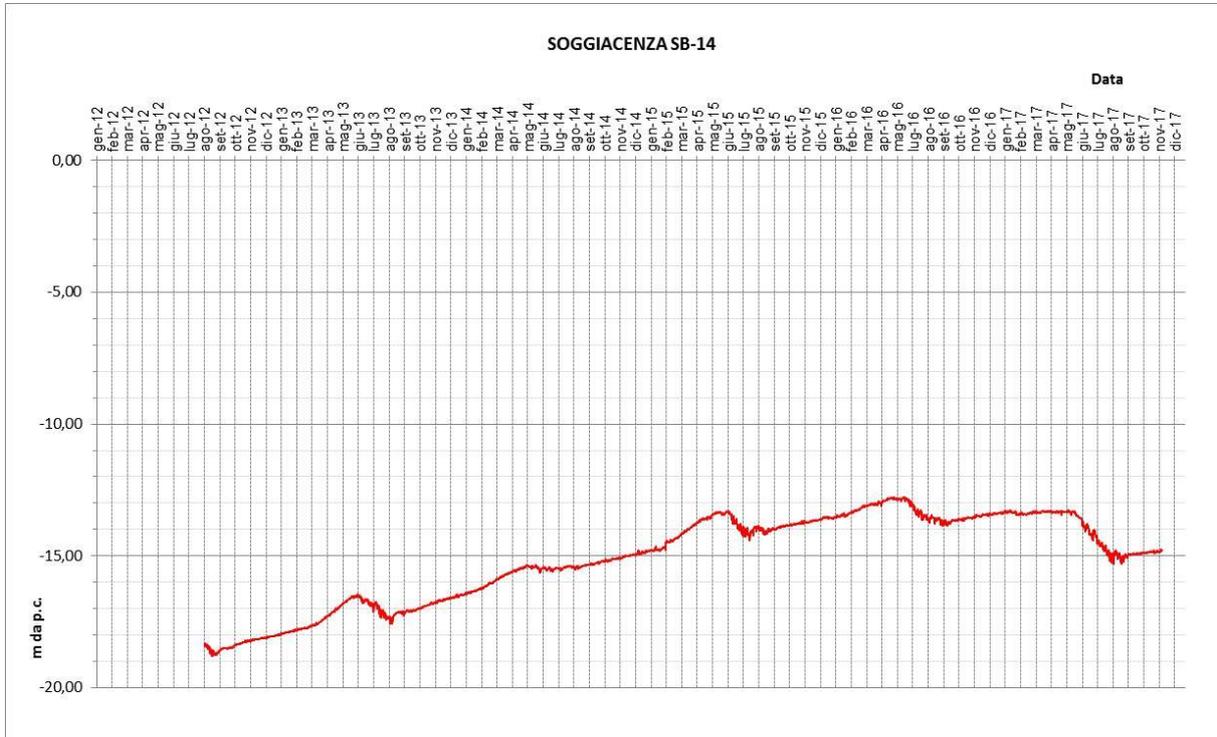


Fig. 7a - Soggiacenze SB-14

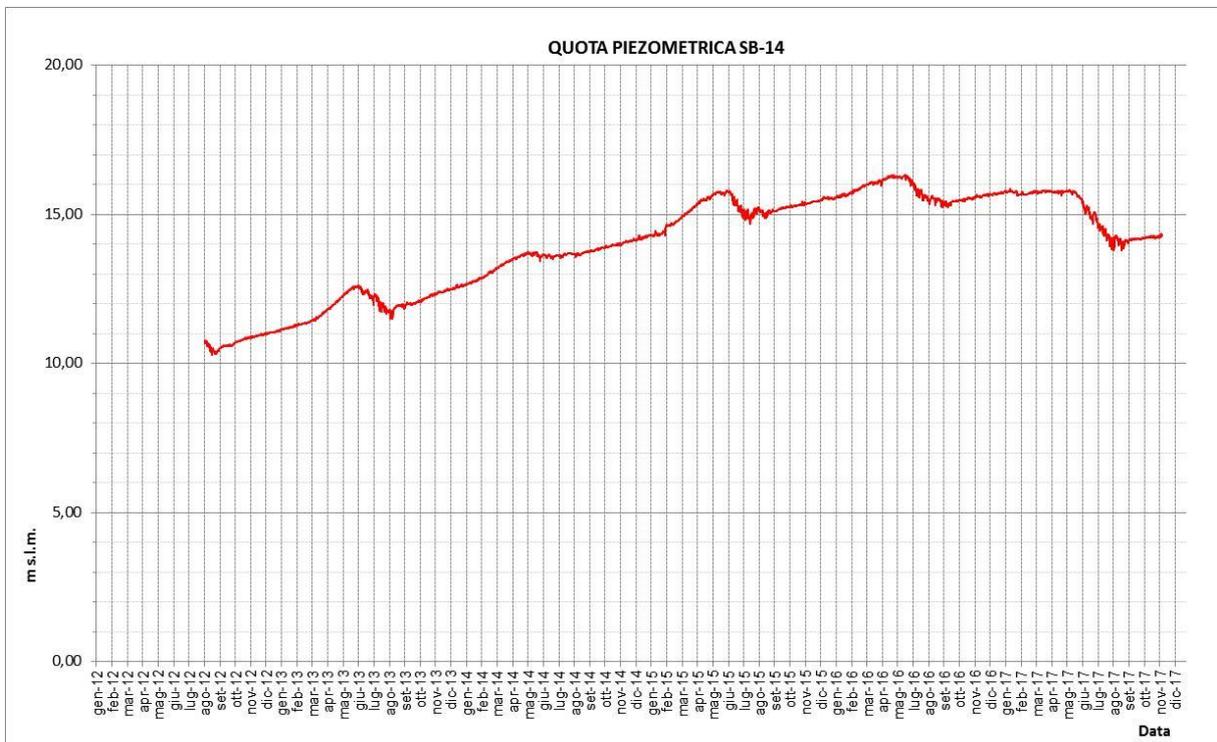


Fig. 7b – Piezometrie SB-14

Analizzando in dettaglio l'andamento dell'assetto piezometrico dal 2012 ad oggi si può osservare quanto segue:

- la costante risalita delle quote piezometriche (con tassi di crescita medi di circa 1-2 m/anno);
- le escursioni stagionali della superficie piezometrica di riferimento pari a circa 1-1.5 m, registrate tra maggio e agosto.

6.1.3 Livelli piezometrici pozzi HERA

Particolare riguardo meritano anche i dati stratigrafici e idrogeologici messi a disposizione dal Gruppo Hera. L'ubicazione dei pozzi è indicata nelle figure seguenti:

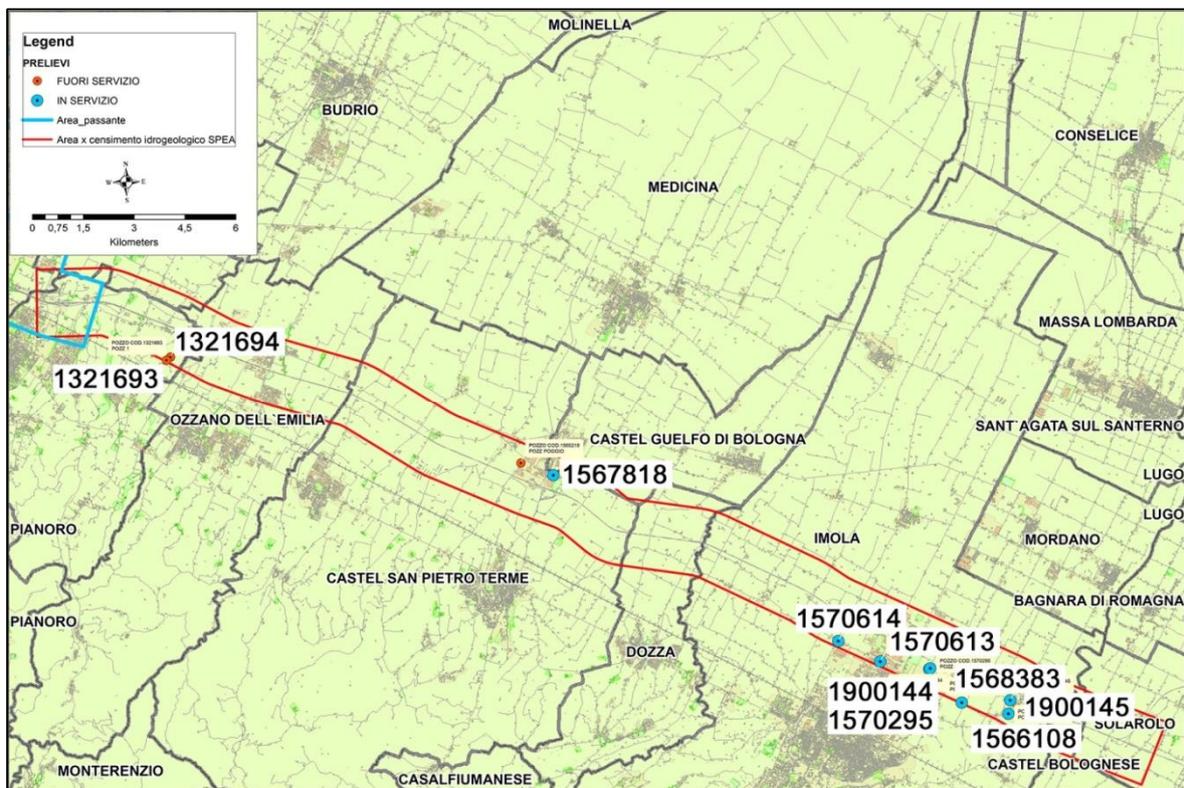


Fig. 8 - Ubicazione dei pozzi gestiti da HERA (in rosso l'area di interesse)

- sulla base delle stratigrafie dei pozzi risulta ipotizzabile l'individuazione del tetto del Complesso Acquifero A2 a profondità variabili comprese tra 20 m (pozzo 28 cod. 1570295) e 45 m (pozzo 17 cod. 1900145).

Si sottolinea che i dati piezometrici riferibili ai pozzi Hera non sono stati utilizzati per sviluppare la superficie piezometrica profonda (A2) proposta negli elaborati grafici in quanto la misura più recente della soggiacenza statica è di febbraio 2016.

Tutti i dati dei pozzi Hera sono raccolti nell'Allegato B della presente relazione.

6.2 INDAGINI GEOGNOSTICHE E VALUTAZIONE DELLA CONDUCIBILITÀ IDRAULICA DELLE UNITÀ IDROGEOLOGICHE

6.2.1 Piezometri

Allo scopo di monitorare e ricostruire l'andamento della falda nelle aree in esame, nei pressi dell'asse dell'Autostrada A14 tra Bologna e la diramazione per Ravenna sono stati installati, all'interno dei fori di sondaggio siglati S-Ax (eseguiti per il progetto preliminare della 4^a corsia), OCx ed S-Bx (eseguiti per il progetto definitivo delle Opere Compensative ricadenti nei pressi dell'asse autostradale, e per il progetto definitivo della 4^a corsia), n° 25 piezometri, sia di tipo Casagrande sia di tipo Norton, le cui caratteristiche sono riportate nella tabella seguente:

BOLOGNA-DIRAM. RAVENNA PIEZOMETRI				
SIGLA	Tubo aperto (da stratigrafia in m da p.c.)	Cella casagrande 1 (profondità da stratigrafia in m da p.c.)	Cella casagrande 2 (profondità da stratigrafia in m da p.c.)	STATO
S-A1	0-6 cieco 6-25 finestrato			Non accessibile
S-A2	0-3,5 cieco 3,5-14,5 finestrato	22,50		Attivo
S-A3		17,5	34,5	Attivo
S-B1		12,00	31,50	Attivo
S-B2		16,50	33,50	Cella 1 intasata
S-B3	0-3 cieco 3-12 finestrato	25,50		intasato
S-B4		18,5	26,5	distrutto
S-B5		19,5		distrutto
S-B6	0-9 cieco 9-15 finestrato	29,00		Cella intasata
S-B7		5,5	25	Attivo

S-B8		14	39	Non trovato
S-B9	0-15 cieco 15-23 finestrato	27,5		distrutto
S-B10		5,5	25,00	Cella 1 distrutta
S-B11		17	29	Attivo
S-B12		29,00		Attivo
S-B13	0-6 cieco 6-35 finestrato			Cementato per richiesta Ente Canale di Bonifica
S-B14	0-18 cieco 18-30 finestrato			Attivo
S-B15		12,00	22,00	Cella 1 distrutta
S-B16		12,00	35,00	Attivo
S-B17		12,00	26,00	Attivo
OC1S1		11,50	26,00	Attivo
OC1S2		6,50	25,50	Cella 2 intasata
OC3S1	0-3 cieco 3-25,5 finestrato			Attivo
OC3S3		19,00	33,90	Attivo
OC4S1	0-13 cieco 13-18 finestrato	26,50		Non trovato

Tab. 7 – Caratteristiche dei piezometri installati nella tratta oggetto di studio

Nell'allegato A alla presente relazione è riportata una sintesi completa di tutte le letture piezometriche a oggi disponibili, eseguite nei piezometri elencati nella soprastante tabella ed effettuate durante varie campagne di misura.

6.2.2 Prove di permeabilità

Per la valutazione del grado di permeabilità delle unità idrogeologiche individuate sulla base della ricostruzione geologica del sottosuolo sono state prese in considerazione le risultanze delle indagini in sito svolte nell'ambito della campagna geognostica propedeutica alla progettazione definitiva dell'opera e di quelle riferite a campagne di indagine pregresse.

In particolare sono stati analizzati i dati derivanti da prove Lefranc, sia a carico costante che a carico variabile, eseguite in fori di sondaggio afferenti il presente progetto (sondaggi S-B2, S-B7, S-B8, S-B10, S-B13, S-B15, S-B16, S-B17, OC1S1, OC1S2, OC6S1, SA2, SA3) ed afferenti ad altri progetti ricadenti in aree adiacenti alla tratta di interesse ma rappresentativi di analoghi depositi litologici (sondaggi OC3S1, OC3S2, OC3S3 ubicati nei pressi del casello di Bologna San Lazzaro).

L'interpretazione delle prove Lefranc è stata condotta secondo la norma UNI EN ISO 22282-2:2012, utilizzando il VELOCITY GRAPH METHOD come indicato al punto B.4.1 della sopraccitata normativa per quanto attiene le prove a carico variabile.

SONDAGGIO	PROVA	CARICO IDRAULICO	INTERVALLO DI MISURA [m]	PERMEABILITÀ DA P.D. [m/s]	PERMEABILITÀ DA P.E. [m/s]	LITOLOGIA	UNITA' IDROGEOLOGICA	MEDIA UNITA'
OC1 S2	LF1	variabile	10,0-10,5	1,20E-05	6,97E-06	argilla limosa debolmente ghiaiosa	-	-
OC3 S1	LF1	costante	10,0-10,5	3,36E-04	8,07E-05	sabbia fine con limo	-	-
OC3 S1	LF2	costante	16,0-16,5	4,67E-04	1,12E-04	ghiaia con sabbia	-	-
OC3 S2	LF1	variabile	13,0-13,5	8,20E-07	3,84E-07	argilla limosa debolmente sabbiosa	-	-
OC3 S2	LF2	variabile	18,8-19,3	5,10E-06	2,78E-06	sabbia argillosa	-	-
OC3 S3	LF1	variabile	4,0-4,5	8,10E-06	1,22E-05	argilla limosa	-	-
OC3 S3	LF2	costante	16,0-16,5	2,34E-04	6,16E-05	ghiaia argillosa	-	-
OC6 S1	LF1	variabile	11,5-12,0	-	2,88E-05	sabbia argillosa	-	-
S-B2	LF1	variabile	18,5-19,5	4,10E-07	2,13E-07	argilla sabbiosa	C1	6,35E-06
S-B8	LF2	variabile	21,0-21,8	3,10E-05	2,23E-05	argilla con ghiaia	C1	
S-B10	LF1	variabile	8,0-9,0	3,00E-07	3,14E-06	argilla limosa	C1	
S-B17	LF1	variabile	6,0-7,5	1,00E-05	9,11E-06	argilla limosa e sabbia	C1	
OC1 S1	LF1	variabile	14,5-15,0	5,20E-06	3,31E-06	argilla limosa	C1	
S-A2	LF2	variabile	15,0-15,8	-	3,44E-08	argilla limosa	C1	
S-B7	LF1	variabile	16,5-18,0	8,40E-06	7,13E-06	argilla sabbiosa e sabbia	C2	1,93E-05
S-B15	LF2	variabile	21,0-22,5	1,40E-05	1,16E-05	ghiaia in matrice sabbioso argillosa	C2	
S-B16	LF1	variabile	12,0-13,3	1,30E-05	1,23E-05	sabbia limosa	C2	
S-B2	LF1	costante	15,0-16,0	1,43E-04	4,62E-05	ghiaia in matrice sabbioso argillosa	C2	5,37E-05
S-B13	LF1	variabile	21,0-22,0	8,40E-05	7,06E-05	ghiaia in matrice limosa	C3	
S-B15	LF1	variabile	12,0-13,0	2,60E-05	1,86E-05	dato non disponibile	C3	
S-A2	LF1	variabile	6,0-6,5	-	1,89E-06	ghiaia sabbiosa	C3	
S-A3	LF1	variabile	11,2-12,0	-	1,93E-05	ghiaia sabbioso-limosa	C3	
S-B8	LF1	costante	12,0-13,0	1,07E-04	2,03E-05	ghiaia con sabbia	C3	
S-B10	LF2	costante	21,0-22,0	-	5,40E-05	ghiaia sabbioso limosa	C3	5,37E-05
OC1 S2	LF2	costante	20,7-21,0	6,80E-04	2,08E-04	ghiaia in matrice sabbioso argillosa	C3	

Tab. 8 - Prove Lefranc eseguite nelle verticali di sondaggio e loro interpretazione

La tabella 8 riporta la profondità alla quale è stata eseguita ogni prova, il valore del coefficiente di permeabilità e la litologia così come riportata nelle stratigrafie dei singoli sondaggi, nonché la media calcolata per ogni singola unità idrogeologica; si specifica che le sigle delle singole prove, LF1 o LF2, si riferiscono, rispettivamente, alla prima e alla seconda prova eseguita nel relativo sondaggio, così come riportato nelle schede di elaborazione dell'Allegato C.

Da un'analisi sintetica dei risultati delle prove disponibili si può osservare come il coefficiente di permeabilità assuma valori molto elevati (10^{-4} - 10^{-5} m/s) nei livelli ghiaioso-sabbiosi dei depositi alluvionali arrivando a valori compresi tra 10^{-5} - 10^{-7} nei depositi argillosi con percentuali variabili di limo e sabbia.

7 MODELLO IDROGEOLOGICO DELL'AREA DI STUDIO

I dati di misura piezometrica recuperati nella campagna di rilevamento 2017 sono stati opportunamente filtrati e sono stati quindi elaborati tramite software che utilizza il kriging ordinario come metodo di interpolazione.

Il kriging è un interpolatore geostatistico nel quale la funzione di interpolazione viene scelta localmente a seconda di come approssima i dati nell'intorno del punto da determinare. Il semivariogramma che approssima meglio i dati in una certa area può essere utilizzato per determinare i pesi (λ_i) da dare ai valori delle variabili dipendenti misurati nei punti più vicini al punto da interpolare: è questo il principio base del kriging.

In ogni caso va tenuto presente che nonostante l'elevato numero di informazioni geognostiche e idrogeologiche raccolte, il modello geologico-stratigrafico ottenuto costituisce pur sempre una rappresentazione schematica della complessa realtà presente nel sottosuolo.

Si sottolinea, ai fini progettuali, che l'andamento della superficie piezometrica proposta (tanto in planimetria quanto in sezione) è, per quanto accurata, il risultato di una interpolazione statistica sviluppata a partire da dati puntuali e, come tali, discontinui. Si sottolinea, inoltre, che la quota piezometrica tracciata in sezione, laddove non fossero presenti misure dirette dei livelli di falda lungo il profilo delle opere in progetto, deriva dalla interpolazione lineare delle quote piezometriche intercettate sul modello statistico elaborato.

Il modello idrogeologico di riferimento è rappresentato da una serie di acquiferi sovrapposti e più o meno separati da setti impermeabili o poco permeabili; l'opera in oggetto potrebbe determinare interferenze con l'acquifero più superficiale. Si tratta di un acquifero a superficie libera impostato in depositi alluvionali con granulometria varia. Si passa da livelli di ghiaie e sabbie a livelli argillosi ed argilloso-limosi la cui continuità laterale è variabile.

Sulla base delle ricostruzioni stratigrafiche, la ricarica dei livelli acquiferi riferibili ai corpi di conoide appare prevalentemente di origine appenninica. L'acquifero più superficiale può comunque risentire delle perdite di subalveo dei corsi d'acqua principali.

Si rammenta che porzioni importanti del territorio ricadente nell'area di studio idrogeologico sono destinate alle attività agricole che durante la stagione irrigua (estate) influenzano, innalzandolo, il livello piezometrico del primo acquifero.

L'area di studio presenta le tipiche caratteristiche delle conoidi appenniniche dove, nelle porzioni prossimali, si ritrovano degli estesi corpi di ghiaie che costituiscono i principali acquiferi, in condizioni di falda libera o semiconfinata con scambi idrici tra fiume e falda. Verso valle, invece la presenza di sedimenti più fini alternati ai depositi ghiaiosi dà origine a sistemi acquiferi multifalda caratterizzati da zone a falda libera e zone a falda confinata o semiconfinata.

Per completezza, sul profilo idrogeologico è stato riportato sia l'andamento del livello della falda basato sui dati 2011, sia l'andamento che meglio correla (criticamente) tutti le misure di soggiacenza effettuate sia nei pozzi che nei piezometri nel periodo agosto-settembre 2017; per quest'ultimo ambito, considerando il complesso assetto idrostratigrafico del sottosuolo preso in esame, si è scelto di rappresentare due diverse superfici piezometriche (la più profonda rappresentata solo parzialmente per l'area in esame), di seguito descritte:

- Una superficie principale associata all'acquifero superficiale ascrivibile al Complesso Acquifero A0+A1 (si veda la fig. 1), intercettato dai sondaggi e dai pozzi meno profondi e ben caratterizzato in quanto tutte le verticali di indagine e le strumentazioni di controllo installate ricadono all'interno di questo corpo acquifero. L'andamento della superficie piezometrica mostra, anche se localmente perturbato, un andamento tipicamente radiale in corrispondenza dei maggiori conoidi intercettati dal tracciato, con gradienti idraulici variabili tra 2 e 4‰. Nel quadrante sud-orientale dell'area di progetto

la superficie piezometrica assume un assetto più uniforme con direzione di deflusso prevalentemente orientata SO-NE, e gradiente medio pari a 4%.

- La seconda superficie piezometrica elaborata è riferita a un complesso idrico più profondo (verosimilmente espressione dei sedimenti che costituiscono il Complesso Acquifero A2 o di una zona di amalgamazione dei Complessi Acquiferi più profondi del Gruppo Acquifero A) ed evidenzia una geometria e un gradiente idraulico caratteristici. Nelle aree a NO di Imola l'assetto della superficie è caratterizzato da gradiente idraulico medio pari a 5% e direzione di deflusso O-E; proseguendo verso SE, in asse al tracciato in progetto, l'assetto della superficie cambia sensibilmente presentando una direzione di deflusso orientata prevalentemente SSO-NNE con gradiente idraulico medio < 1%. E' stato possibile modellare tale superficie unicamente per la metà sud-orientale dell'area in esame, dove i dati raccolti e modellati geostatisticamente sono risultati attendibili.

Da notare come in alcuni tratti la superficie piezometrica proposta per questo complesso acquifero evidenzia quote molto simili a quelle rilevate o interpolate per la superficie piezometrica più superficiale; verosimilmente tale comportamento è da ricondurre all'amalgamazione dei complessi acquiferi e quindi alla loro scarsa compartimentazione, caratteristica delle zone prossimali e intermedie dei conoidi che caratterizzano tutta l'area interessata dal progetto.

Si sottolinea che la suddivisione dei dati piezometrici in A0+A1 e A2 (cfr. Tabelle 1 e 2), che ha permesso di definire le due superfici piezometriche elaborate come espressione dei rispettivi Complessi Acquiferi, è stata effettuata confrontando i dati relativi alle quote piezometriche misurate (o recepite dagli enti) e le relative porzioni di acquifero filtrate con i dati idrostratigrafici di letteratura riguardanti le profondità dei Complessi Acquiferi presenti nell'area di studio (cfr. Cap 5).

Di seguito si riporta il confronto tra l'andamento della superficie piezometrica più superficiale (relativa alle misurazioni effettuate tra agosto e settembre 2017) e l'andamento della superficie piezometrica elaborata da ARPA nel 2003 (da Le caratteristiche degli acquiferi della Regione Emilia-Romagna – Report 2003):

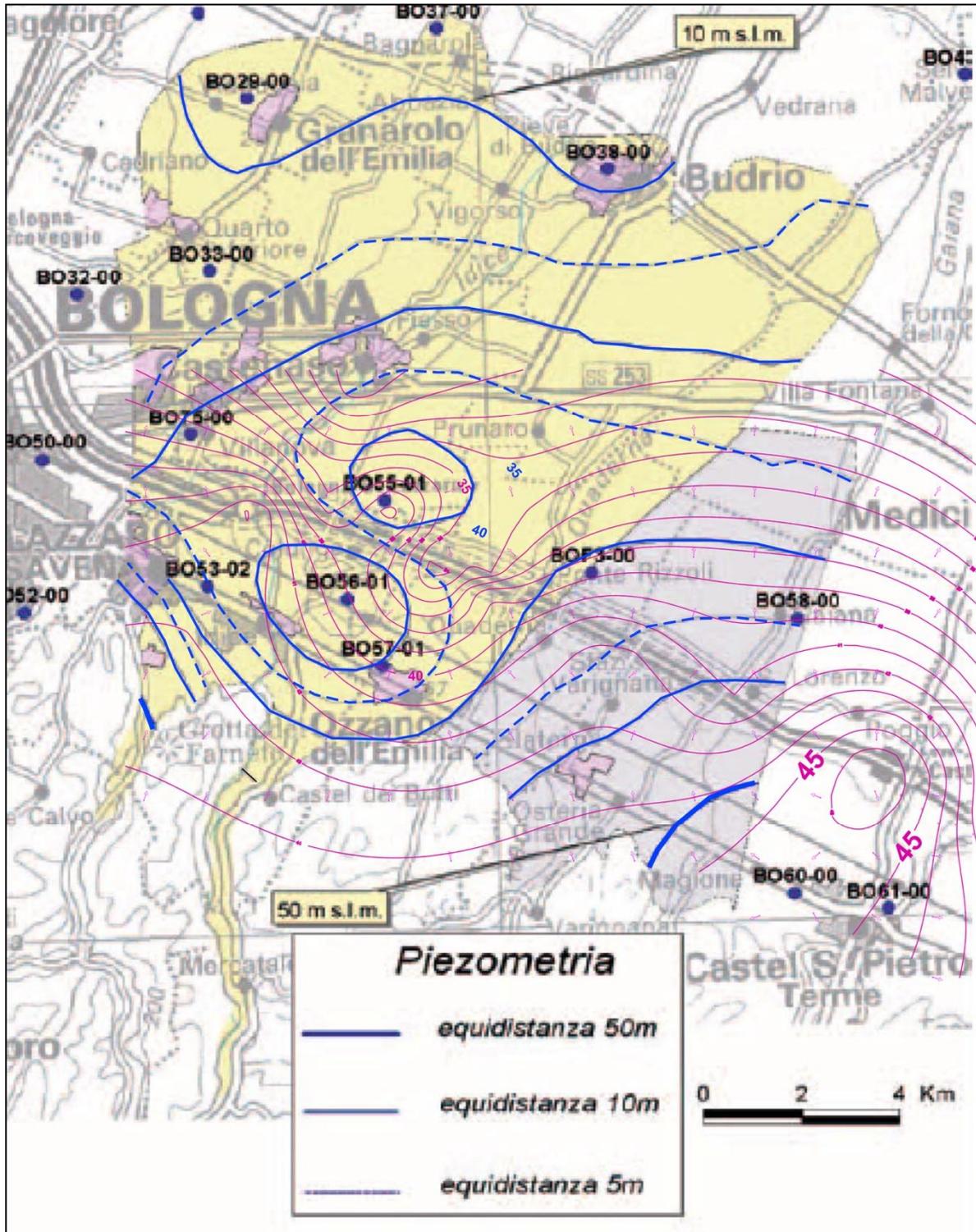


Fig. 10 - Confronto tra piezometrie medie 2003 di ARPA (Report 2003) e modello elaborato per il presente studio (magenta).

Si possono evidenziare, in corrispondenza del conoide dell'Idice, differenze di quota (in sollevamento rispetto al 2003) variabili tra circa 10 m nella porzione intermedia del conoide, e 5 m nella parte più prossimale (Fig. 10).

Anche in corrispondenza del conoide del Sillaro (Fig.11) si riscontrano differenze di quota (in sollevamento rispetto al 2003) variabili tra circa 10 m nella porzione intermedia del conoide, e circa 5 m nella parte più prossimale.

Differenze più evidenti si riscontrano in corrispondenza del conoide del Santerno a est di Imola, la cui superficie piezometrica risulta profondamente perturbata da visibili scambi idrici fiume-falda, in cui il fiume rappresenta la fonte principale di alimentazione della falda.

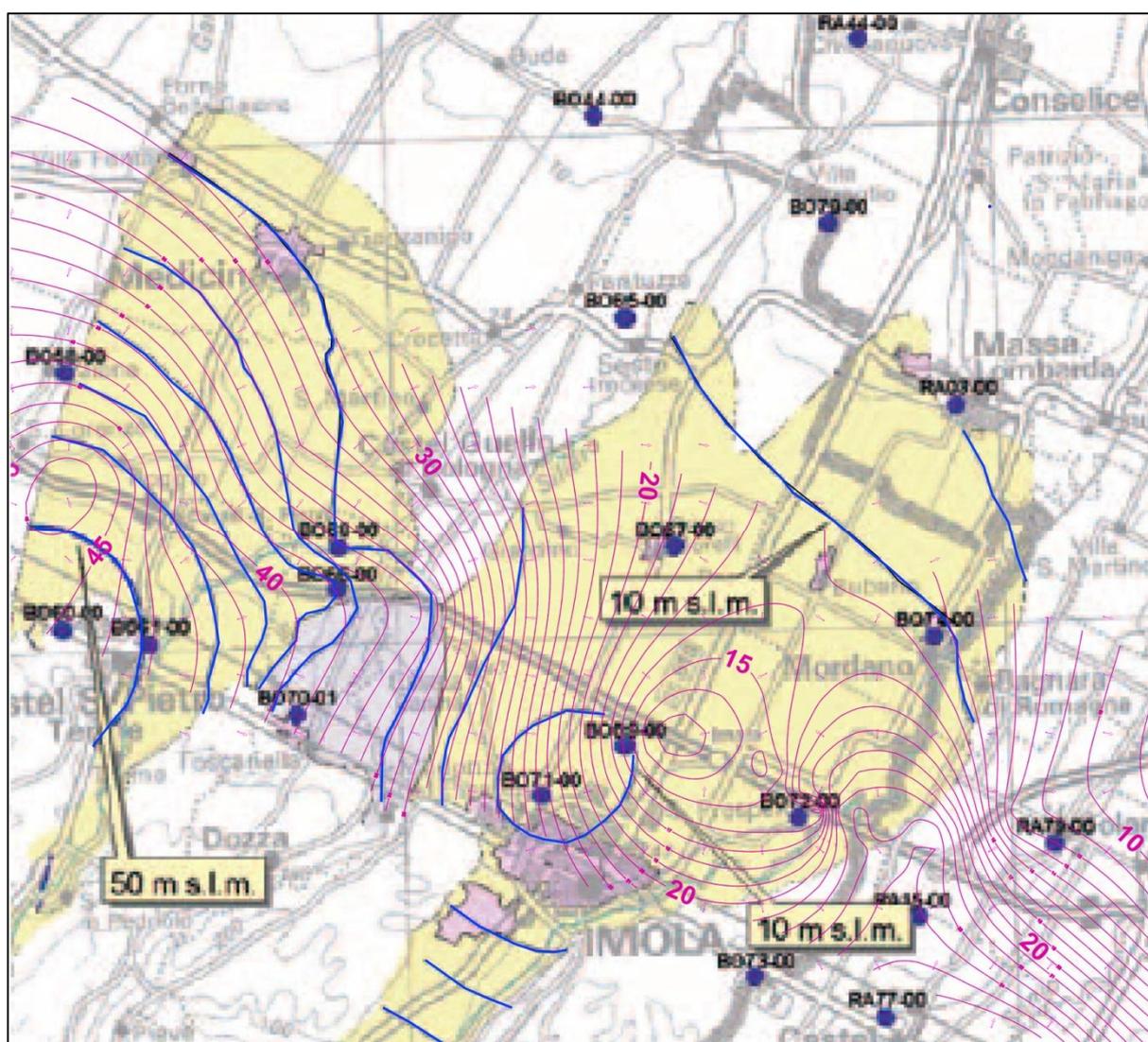


Fig. 11 - Confronto tra piezometrie medie 2003 di ARPA (Report 2003) e modello elaborato per il presente studio (magenta).

A livello comunale, gli unici ad avere sviluppato uno studio sulle acque sotterranee sono i comuni associati della Valle dell'Idice (Castenaso, S. Lazzaro di Savena e Ozzano). Il confronto tra le due geometrie piezometriche (Fig. 12 - si ricorda che il PSC della Valle dell'Idice è stato redatto nel 2008) evidenzia un andamento, anche se leggermente sfasato verso est, conforme a quello rilevato in ambito dello studio idrogeologico a supporto del PSC, con differenze di quota (in abbassamento rispetto al 2008) comprese tra 3 e 7 m.

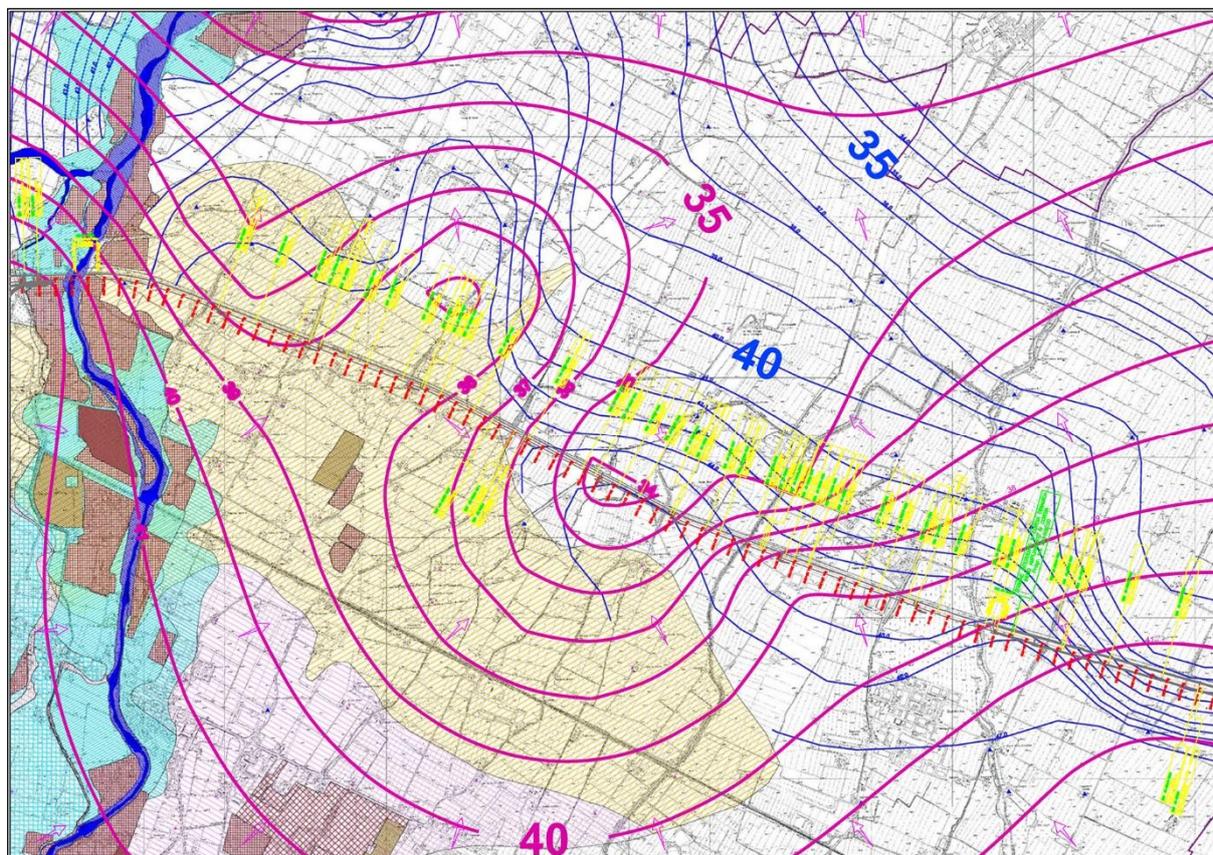


Fig. 12 – Confronto tra piezometrie 2008 (in blu, da PSC comuni della Valle dell'Idice) e modello elaborato per il presente studio (magenta).

Gli approfonditi studi a supporto della pianificazione territoriale definiscono quanto segue:

1) nella zona di margine appenninico sono ancora presenti uno o più fronti di ricarica sotterranei del freatico posizionati a varie quote, che svolgono la loro funzione di ravvenamento, ma evidentemente il loro apporto è insufficiente a compensare i prelievi effettuati, il bilancio idrologico locale è evidentemente negativo. I molti pozzi freatici resi inutilizzabili dal radicale abbassamento del freatico sono stati trasformati in artesiani semplicemente forandone il fondo ed inserendo in profondità una tubazione ed inserendo una pompa sommersa. Il rilevamento non ha potuto appurare le quote raggiunte, comunque molte delle interviste testimoniano di quote superiori ai 30 metri dal p.c. Solamente alcuni pozzi, posizionati in vicinanza della confluenza tra Zena ed Idice presentano ancora acque non salienti, sia pure a profondità superiori a 10 - 14 metri dal p.c, con probabilità legate al subalveo dello Zena;

2) il T. Idice è drenante in tutto il suo corso di alta pianura, solamente in corrispondenza del confine settentrionale di Castenaso le isofreatiche mostrano la tendenza ad invertire la loro geometria. Le quote d'alveo tra Pizzocalvo e Borgatella sono maggiori delle quote di letto degli acquiferi locali, ma il freatico o è assente (non rilevabile) o presente con livello statico più basso. In altre parole il fiume svolge attualmente un semplice ruolo di drenaggio delle falde superficiali, sia nelle stagioni piovose, sia in quelle siccitose. Il T. Savena, nel suo tratto immediatamente a valle dell'autostrada potrebbe svolgere un ruolo infiltrante, verso la pianura in sinistra idrografica, i cui effetti si potrebbero far risentire a sudest di Villanova. Qui infatti una dorsale idrogeologica, corrispondente ad un antico percorso fluviale oggi sepolto, è evidentemente alimentata da sudovest, forse dalle riserve endoreiche della zona pedecollinare;

3) In sinistra idrografica la struttura a dorsale è meno continua, o meno riconoscibile, soprattutto a settentrione. Le estrazioni in alveo (anni cinquanta) e in perialveo, che inseguono i terrazzi recenti del Fiume, hanno determinato una situazione di relativo isolamento del Fiume rispetto alle acque sotterranee. È molto probabile che, all'inizio del millenovecento, quando il letto del fiume era più alto ed il suo perialveo intatto, la morfologia del campo di moto della falda freatica fosse assai meno inciso.

La definizione della falda di progetto e la definizione delle interferenze dell'infrastruttura con la falda idrica, sia come impatto sull'ambiente idrico, sia come ripercussioni ingegneristiche a contrasto delle azioni erosive delle acque di superficie, non è oggetto della presente relazione.

7.1 COMPLESSI ED UNITÀ IDROGEOLOGICHE

Come accennato i Complessi Acquiferi sono unità gerarchicamente inferiori (appartenenti ad un Gruppo Acquifero di ordine superiore) a cui corrisponde un'unità stratigrafica del modello geologico proposto dal progetto CARG.

Si rammenta che:

- il Complesso Acquifero A0 comprende le unità stratigrafiche appartenenti al Subsistema superiore AES8 (Subsistema di Ravenna-AES8 e Unità di Modena-AES8a) e ai Depositi Alluvionali in Evoluzione individuati dai Fogli CARG n° 220 – Casalecchio di Reno e n° 221 – Bologna;
- il Complesso Acquifero A1 comprende le unità stratigrafiche appartenenti al Subsistema inferiore AES7. Anche le età dei depositi appartenenti al Subsistema AES7 (Pleistocene Superiore), espresse nei fogli geologici CARG consultati, corrispondono a quanto indicato nello studio idrogeologico della Regione (Fig. 1);
- Con riferimento a RER & ENI-AGIP (1998) AES6 corrisponde al complesso acquifero A2. Lo spessore massimo nel sottosuolo è di 70 m circa (Parte finale del Pleistocene medio, attribuita da posizione stratigrafica).

Si precisa, inoltre, che per la caratterizzazione idrogeologica, a causa dell'impossibilità di classificare depositi aventi stesse caratteristiche idrogeologiche e tessiturali nei diversi Complessi Acquiferi (spesso infatti amalgamati in un unico corpo acquifero interconnesso) è stato scelto l'approccio di accorpare i depositi aventi stesse caratteristiche tessiturali nella medesima unità idrogeologica.

Pertanto in planimetria si è optato per accorpare gli ambiti di subsistema, e più in generale di ambiente deposizionale, in un unico Complesso idrogeologico superficiale senza distinzioni direttamente correlabili alla permeabilità. Viceversa, nell'ambito dei profili idrogeologici vengono distinte unità su base granulometrica e di permeabilità. E' stato possibile effettuare tali suddivisioni (con esclusione dei riporti antropici e dei depositi alluvionali attuali) utilizzando le stratigrafie dei sondaggi geognostici e le prove di permeabilità eseguite in sito, ovvero i dati reperibili in letteratura.

La tabella seguente associa il grado di permeabilità (da molto basso a molto alto) a classi di valori di k:

Grado di permeabilità			
Molto alto-Alto	Medio	Basso	Molto Basso
1e-02 m/s	1e-03 m/s	1e-05 m/s	1e-07 m/s
	1e-04 m/s	1e-06 m/s	1e-08 m/s
			1e-09 m/s

Sono stati quindi identificate e riportate in profilo idrogeologico 3 unità idrogeologiche:

- unità idrogeologica C1: terreni argilloso-limosi con % variabile di sabbia fine, caratterizzati da permeabilità da molto bassa a bassa, in rapporto alla % di frazione argillosa, con valori calcolati del coefficiente di permeabilità k compresi tra $3.44 \cdot 10^{-8}$ e $3.14 \cdot 10^{-6}$ m/s;
- unità idrogeologica C2: terreni con frazione sabbiosa fine prevalente e matrice limosa in % variabile. Questi depositi sono caratterizzati da permeabilità da bassa a media, con valori calcolati del coefficiente di permeabilità k compresi tra $7.13 \cdot 10^{-6}$ e $4.62 \cdot 10^{-5}$ m/s;
- unità idrogeologica C3: terreni sabbioso-ghiaiosi con % di limo e argilla variabile. Questi depositi sono caratterizzati da permeabilità da medio-bassa ad elevata in rapporto alla % di frazione ghiaiosa, con valori calcolati del coefficiente di permeabilità k compresi tra $1.86 \cdot 10^{-5}$ e $2.08 \cdot 10^{-4}$ m/s.

E' possibile assimilare le suddette unità idrogeologiche, in base al loro comportamento idrodinamico, a:

- corpi acquiferi, relativamente ai terreni sabbioso-ghiaiosi raggruppati nell'unità C3;
- acquitardi per quelli dell'unità C2;
- acquicludi (cioè delle barriere praticamente impermeabili) per quelli dell'unità C1.

8 DESCRIZIONE DEGLI ELEMENTI IDROGEOLOGICI DI MAGGIORE INTERESSE INGEGNERISTICO

Come già sottolineato, a causa della natura fortemente eteropica dei terreni afferenti le unità idrogeologiche individuate, la forma e l'estensione delle lenti riportate in profilo longitudinale deve essere assunta come indicativa.

Si sottolinea inoltre che gli argomenti che presuppongono modellazioni numeriche esulano dalla presente relazione.

Nei seguenti paragrafi si descrivono per tratte omogenee, da nord a sud, le caratteristiche idrogeologiche dell'area di progetto secondo la ricostruzione effettuata nell'ambito del progetto definitivo (campagna piezometrica 2010 - 2011) e nell'ambito del progetto esecutivo (campagna piezometrica agosto-settembre 2017):

8.1 SUPERFICIE PIEZOMETRICA 2011

8.1.1 Dalla progr. Km 29+600 (Inizio intervento) alla progr. Km 36+600 c.a.

L'unità idrogeologica predominante in questa tratta risulta quella ascrivibile a terreni a comportamento di tipo acquicluda (C1), con sporadiche lenti molto sottili di materiale granulare come sabbie e ghiaie.

La soggiacenza della falda riportata in profilo evidenzia un livello piezometrico prossimo a piano campagna (in corrispondenza del sondaggio S-B4 risulta a p.c. in tutte le letture temporali eseguite).

8.1.2 Dalla progr. Km 36+600 c.a. alla progr. Km 42+200 c.a.

In questa tratta le lenti di materiale granulare (unità C3) rinvenute in profondità aumentano di spessore.

La falda, rispetto al tratto precedente, tende ad approfondirsi (nei pressi del sondaggio S-B6 risulta intorno ai 3,5-4m da p.c.), abbassandosi ancora verso il Torrente Sillaro, che evidentemente subisce apporti dalla falda stessa. Dopo il sondaggio S-B3 (soggiacenza di 5-6m da p.c.) la falda tende a risalire verso il p.c. in corrispondenza del sondaggio S-B9 (con una escursione temporale registrata di c.a. 2m fino a p.c.).

8.1.3 Dalla progr. Km 42+200 c.a. alla progr. Km 45+500 c.a.

In questo tratto la soggiacenza della falda tende ad approfondirsi a 3-6m da p.c.; in prossimità dell'intersezione del tracciato autostradale col T. Sellustra, dall'analisi delle letture dei livelli piezometrici nei piezometri OC1S1, OC1S2 e SB-10 si osserva come in quest'ultimo sondaggio la falda risulti leggermente più alta, probabilmente per il fatto che il piezometro è ubicato al bordo del suddetto torrente e che quindi ne subisce l'alimentazione.

Nuovo Svincolo di Toscanella di Dozza (prog. Km 42+555):

Le misure piezometriche disponibili presentano una soggiacenza della falda compresa tra 4,10m e 5,95m da p.c. per la cella di casagrande più superficiale installata in OC1-S2 e tra 1,45m e 7,05m da p.c. per la cella di casagrande più superficiale installata in OC1-S1, pertanto si osserva un'ampia oscillazione della falda stessa, che può arrivare molto vicino al piano campagna.

8.1.4 Dalla progr. Km 45+500 c.a. alla progr. Km 52+500 c.a.

Dopo il sondaggio S-B11 la soggiacenza si abbassa decisamente (probabilmente per effetto di cospicui prelievi idrici nella zona), arrivando nei pressi dei sondaggi S-13 ed S-B14 a 15-16m da p.c., dove si rinvennero in profondità cospicui livelli di sabbie e ghiaie prevalenti (unità C3).

8.1.5 Dalla progr. Km 52+500 c.a. a fine intervento (Km 56+444.92)

In quest'ultima tratta risultano preponderanti i depositi fini (unità C1), che tuttavia possono contenere ampie lenti di materiale misto e granulare (unità C2 e unità C3). La falda si attesta su valori compresi tra 6 e 12m.

Nuovo Svincolo di Solarolo (prog. Km 54+989):

Il nuovo cavalcavia di svincolo si imporrà su terreni granulari (unità C3) fino ad una profondità di 12-14m (sondaggi proiettati S-B15, S-B16), mentre l'area di esazione potrebbe appoggiarsi su terreni fini (unità C1), considerata la forte eteropia dei depositi granulari/fini ed il contesto deposizionale preminentemente coesivo.

Le misure piezometriche disponibili presentano una soggiacenza della falda compresa tra 7,72m e 8,60m da p.c per la cella di casagrande più profonda installata in SB-15 e tra 5,91m e 11,35m da p.c. per la cella di casagrande più profonda installata in SB-16, pertanto si osserva soprattutto in quest'ultimo sondaggio una cospicua oscillazione della falda stessa.

In conclusione, dall'analisi delle diverse campagne di misure piezometriche eseguite da Ottobre 2010 a Marzo 2011 nei sondaggi ubicati in prossimità dell'asse autostradale si può notare come l'andamento della superficie piezometrica subisca una variazione piuttosto eterogenea, andando da minimi di 0.5-1 m fino ad un massimo di 10m nel piezometro OC4-S1 (non proiettato in profilo) evidenziando comunque un generale innalzamento, seppur in maniera variabile, dei livelli di falda.

8.2 SUPERFICIE PIEZOMETRICA 2017

La soggiacenza della superficie piezometrica basata sui dati di agosto-settembre 2017 risulta influenzata dalla scarsa piovosità registrata nel corso del presente anno e, per questo motivo, tale modello si riferisce pertanto ad un periodo specifico e non rappresenta la cosiddetta "falda di progetto", che deve essere definita dal punto di vista ingegneristico tenendo conto sia della piovosità del periodo monitorato sia delle caratteristiche delle opere progettate. Infatti, bisogna introdurre un adeguato fattore di sicurezza che innalzi i livelli piezometrici del modello ad una quota tale per cui sia garantita la funzionalità / fattibilità delle opere progettate anche nel caso in cui si verificassero escursioni stagionali eccezionali.

Le soggiacenze variano in modo sensibile lungo il tracciato: da pk 29+600 e pk 45+200 con valori massimi pari a 4-9 m tra pk 36+600 e pk 39+300 c.a.; successivamente la superficie piezometrica si approfondisce fino alla pk 53+600, con valori massimi registrati intorno alla pk 50+000 pari a 15-16 m da p.c.; fino a fine intervento le soggiacenze rimangono su valori mediamente pari a 5-6 m da p.c.

Di seguito si descrivono per tratte omogenee, da nord a sud, le caratteristiche idrogeologiche dell'area di progetto secondo la ricostruzione effettuata nell'ambito del progetto definitivo (campagna piezometrica realizzata tra agosto e settembre 2017) con particolare riferimento a:

Falda più superficiale (Acquifero A0+A1):

8.2.1 Dalla progr. km 29+600 (Inizio intervento) alla progr. km 36+600 c.a.

L'unità idrogeologica predominante in questa tratta risulta quella ascrivibile a terreni a comportamento di tipo acquiclude (C1), con sporadiche lenti molto sottili di materiale granulare come sabbie e ghiaie. La soggiacenza della falda riportata in profilo evidenzia un livello piezometrico prossimo a piano campagna con profondità massime registrate di 4-5 m da p.c.

8.2.2 Dalla progr. km 36+600 c.a. alla progr. km 39+300 c.a.

In questa tratta l'unità idrogeologica predominante è ancora la C1 con rinvenimento, però, di ampie lenti di materiale granulare a profondità comprese tra i 10 e i 30 m da p.c. In questo tratto la falda tende ad approfondirsi progressivamente fino a circa 9 m da p.c.

8.2.3 Dalla progr. km 39+300 c.a. alla progr. km 40+800 c.a.

In questa tratta il tracciato attraversa i depositi di conoide del Torrente Sillaro, ed è caratterizzata da depositi granulari appartenenti all'unità idrogeologica C3. La falda si mantiene su quote piezometriche costanti (c.a. 75-76 m s.l.m.), ma le incisioni in alveo e soprattutto il gradiente topografico riducono progressivamente le soggiacenze verso E, con valori minimi misurati pari a 2-3 m e valori prossimi al p.c. in corrispondenza dell'alveo attivo del Torrente Sillaro.

8.2.4 Dalla progr. km 40+800 c.a. alla progr. km 42+300 c.a.

L'unità idrogeologica predominante è la C1 con soggiacenze della falda massime pari a 2-3 m; si sottolinea che le escursioni stagionali del livello piezometrico hanno fatto registrare (S-B9 campagna marzo 2011) valori pari al piano campagna con affioramento o subaffioramento, quindi, della superficie piezometrica.

8.2.5 Dalla progr. km 42+300 c.a. alla progr. km 43+900 c.a.

Il tracciato attraversa i depositi granulari del conoide minore del Torrente Sellustra con soggiacenze stabili intorno a 4.5-6 m da p.c.

Nuovo Svincolo di Toscanella di Dozza (prog. Km 42+555):

Le misure piezometriche disponibili presentano una soggiacenza della falda pari a 4,60 m in entrambe le celle di Casagrande installate in OC1-S2; si sottolinea che il monitoraggio piezometrico (campagna marzo 2011) ha registrato valori di 1,45m.

8.2.6 Dalla progr. km 43+900 c.a. alla progr. km 50+900 c.a.

Il tracciato attraversa a profondità variabili tra 1.5-10 m da p.c. i depositi granulari del conoide del Sellustra-Santerno; in affioramento si rilevano depositi fini dell'unità C1. La superficie piezometrica si approfondisce progressivamente partendo da valori prossimi al p.c. (-0.90 m misurati in S-B11 durante

l'agosto 2017, con evidenze di affioramento durante la campagna piezometrica di marzo 2011), fino ai valori massimi registrati in S-B14 pari a 15-17 m da p.c.

8.2.7 Dalla progr. km 50+900 c.a. a fine intervento (km 56+444.92)

In quest'ultima tratta risultano prevalenti i depositi fini (unità C1), che tuttavia incorporano a diverse profondità ampie lenti di materiale misto e granulare (unità C2 e unità C3). La falda risale progressivamente dai valori minimi registrati in S-B14 fino a valori di circa 2.5-3 m da p.c. a fine intervento.

Falda più profonda (Acquifero A2):

Relativamente alla superficie piezometrica proposta per il complesso acquifero più profondo (A2) ed interpretata sulla base sui dati forniti da ARPAE, si riassume di seguito il suo andamento:

- da pk 41+700 c.a. (5-6m da p.c.) si approfondisce fino alla pk 46+600 c.a., con massimi di 20-23m;
- da pk 50+600 c.a. fino a 53+200 c.a. tende a sovrapporsi all'andamento ricostruito per la superficie piezometrica superficiale (A0+A1), con soggiacenza media di c.a. 15m.

Il trend morfologico della superficie più profonda rispecchia il complesso sistema deposizionale conoide-interconoide: nelle porzioni prossime agli assi dei conoidi (Sillaro e Santerno), caratterizzate da corpi granulari amalgamati tra loro, l'acquifero assume tipico carattere monostrato; nelle porzioni di interconoide, invece, dove i corpi fini si interpongono tra i diversi lobi di conoide parzialmente sovrapposti e separano tra loro i corpi ghiaiosi, si nota l'instaurarsi di un sistema multifalda, progressivamente compartimentato, caratterizzato da zone da falda libera soprastanti una falda confinata più profonda.

9 VALUTAZIONE QUALITATIVA DELLE INTERFERENZE ATTESE FRA OPERE IN PROGETTO E ACQUE SOTTERRANEE

Oltre alle implicazioni geotecniche ed idrodinamiche connesse alle acque ipogee, per le quali si rimanda agli specifici elaborati ingegneristici, per quanto attiene le potenziali interferenze tra le opere e le acque sotterranee si evidenzia quanto segue:

- in generale, le interferenze più probabili tra le opere autostradali in progetto e l'acquifero superficiale potranno presentarsi verosimilmente in prossimità dei corsi d'acqua principali, dove la falda è in comunicazione con il reticolo idrico superficiale; di conseguenza le fondazioni trovarsi anche costantemente sottofalda.
- il tratto autostradale che si presenta maggiormente soggetto ad interferenza con la falda più prossima a p.c. è quello compreso tra inizio intervento e la pk 45+500 c.a. e tra la pk 55+300 c.a. e fine intervento. Sarà quindi necessario porre particolare attenzione nei confronti di quelle opere per le quali sono preventivabili fondazioni sottofalda, anche se per via di escursioni piezometriche cospicue; in particolare sarà necessario prevedere appropriati sistemi di impermeabilizzazione, drenaggio e smaltimento delle acque;
- per quanto attiene le principali opere di scavalco previste (Ponte Torrente Sillaro, Ponte Torrente Sellustra, Ponte Fiume Santerno, Ponte Rio Sanguinario) esiste la possibilità che si verifichino impatti sulla falda, vista la ridotta soggiacenza e la localizzata presenza di depositi granulari. Questi impatti potranno essere mitigati mediante sistemi di raccolta e canalizzazione delle acque volti ad impedire il sopraggiungere di eventuali sostanze inquinanti accidentalmente sversate.
- per quanto attiene l'opera di Sottovia SS610 SP Selice, posto alla progressiva 49+800 c.a. si evidenzia che la falda si attesta a 12-15m c.a. da p.c. ma che può essere soggetta ad escursioni verso il p.c. stimabili in c.a. 6-10m sulla base dei dati di monitoraggio del pozzo ARPA BO69 e del sondaggio S-B14 (strumentato con datalogger), ubicati nelle vicinanze del sottovia. Questi dati evidenziano infatti escursioni nell'ordine dei 10-11m nel periodo gennaio 1982-gennaio 2014 per il pozzo BO69, e di 6m (in risalita) per il piezometro S-B14 nel periodo 2012-2016. Inoltre, si segnala che l'opera si trova nelle immediate vicinanze dell'ampia depressione piezometrica dovuta al pompaggio di una serie di pozzi con "epicentro" alla progressiva 51+300 c.a., pertanto è legittimo ipotizzare importanti innalzamenti della tavola d'acqua nel caso in cui venga ridotto il regime di pompaggio causa dismissione-ridimensionamento dei pozzi.

Si rammenta inoltre che in questo ambito si ravvisa la presenza di depositi granulari sotto pochi metri di terreno coesivo. Pertanto, esiste anche la possibilità che si verifichino impatti sulla falda qualora venissero veicolate sostanze tossiche e/o inquinanti durante i lavori di realizzazione dell'ampliamento. Durante l'esercizio dell'autostrada è altresì possibile un inquinamento dovuto a fenomeni di infiltrazione delle acque provenienti dalla piattaforma stradale. Tale impatto potrà pertanto essere mitigato attraverso sistemi di raccolta e canalizzazione delle acque stradali volti ad impedire l'arrivo di eventuali sostanze inquinanti accidentalmente sversate.

Nella seguente tabella sono riportati i fattori d'impatto principali per l'area di intervento:

ZONA D'INTERESSE	LOCALITA'	ACQUIFERI INTERCETTATI	ELEMENTI DI CRITICITA' O RISCHIO	FATTORI D'IMPATTO IN FASE DI COSTRUZIONE	FATTORI D'IMPATTO IN FASE DI ESERCIZIO	TIPOLOGIE DI INTERVENTO DI MITIGAZIONE
Ampliamento alla 4 ^a corsia (dal Km. 29+600 al Km. 56+444.92) dell'Autostrada A14 Bologna - Bari - Taranto	da inizio intervento a pk 45+500 c.a.	A0+A1	Livello di falda prossimo al piano campagna; eventuali pozzi ad uso domestico, irriguo, zootecnico posti all'interno di una fascia di 1 km a cavallo del tratto in oggetto	Possibile inquinamento per fenomeni di infiltrazione di sostanze nocive in falda dovuto al transito e allo scarico dei mezzi d'opera e all'uso di sostanze sintetiche nel corso dei lavori.	Possibile inquinamento della falda per fenomeni di infiltrazione ad opera delle acque provenienti dalla piattaforma stradale, e di sostanze nocive in coincidenza con fenomeni di sversamento accidentale sulla carreggiata.	Sistemi di raccolta e canalizzazione delle acque stradali tese ad impedire l'arrivo di eventuali sostanze inquinanti accidentalmente riversate sulla sede.
Ampliamento alla 4 ^a corsia (dal Km. 29+600 al Km. 56+444.92) dell'Autostrada A14 Bologna - Bari - Taranto	Ponte Torrente Sillaro da pk 39+783 a pk 39+879	A0+A1	Livello di falda posto a pochi metri dal p.c.: possibile interferenza con le opere fondazionali; pozzi ad uso potabile pubblico ed irriguo posti all'interno di una fascia di c.a. 500m dalla nuova opera	Possibile inquinamento per fenomeni di infiltrazione di sostanze nocive in falda dovuto al transito e allo scarico dei mezzi d'opera e all'uso di sostanze sintetiche nel corso dei lavori.	Possibile inquinamento della falda per fenomeni di infiltrazione ad opera delle acque provenienti dalla piattaforma stradale, e di sostanze nocive in coincidenza con fenomeni di sversamento accidentale sulla carreggiata.	Sistemi di raccolta e canalizzazione delle acque stradali tese ad impedire l'arrivo di eventuali sostanze inquinanti accidentalmente riversate sulla sede.
Ampliamento alla 4 ^a corsia (dal Km. 29+600 al Km. 56+444.92) dell'Autostrada A14 Bologna - Bari - Taranto	Ponte Torrente Sellustra da pk 42+844 a pk 42+876	A0+A1	Livello di falda posto a pochi metri dal p.c.: possibile interferenza con le opere fondazionali; pozzi ad uso irriguo e potabile posti all'interno di una fascia di c.a. 500m dalla nuova opera	Possibile inquinamento per fenomeni di infiltrazione di sostanze nocive in falda dovuto al transito e allo scarico dei mezzi d'opera e all'uso di sostanze sintetiche nel corso dei lavori.	Possibile inquinamento della falda per fenomeni di infiltrazione ad opera delle acque provenienti dalla piattaforma stradale, e di sostanze nocive in coincidenza con fenomeni di sversamento accidentale sulla carreggiata.	Sistemi di raccolta e canalizzazione delle acque stradali tese ad impedire l'arrivo di eventuali sostanze inquinanti accidentalmente riversate sulla sede.
Ampliamento alla 4 ^a corsia (dal Km. 29+600 al Km. 56+444.92) dell'Autostrada A14 Bologna - Bari - Taranto	Sottovia SS610 SP Selice da pk 49+814 a pk 49+830	A0+A1	Livello di falda posto ad alcuni metri dal p.c.: possibile interferenza con le opere di ampliamento del sottovia; pozzi ad uso irriguo, igienico-sanitario, potabile, altro, posti all'interno di una fascia di c.a. 500m dalla nuova opera	Possibile inquinamento per fenomeni di infiltrazione di sostanze nocive in falda dovuto al transito e allo scarico dei mezzi d'opera e all'uso di sostanze sintetiche nel corso dei lavori.	Possibile inquinamento della falda per fenomeni di infiltrazione ad opera delle acque provenienti dalla piattaforma stradale, e di sostanze nocive in coincidenza con fenomeni di sversamento accidentale sulla carreggiata.	Sistemi di raccolta e canalizzazione delle acque stradali tese ad impedire l'arrivo di eventuali sostanze inquinanti accidentalmente riversate sulla sede.

Ampliamento alla 4 ^a corsia (dal Km. 29+600 al Km. 56+444.92) dell'Autostrada A14 Bologna - Bari - Taranto	Ponte Fiume Santerno da pk 53+992 a pk 54+045	A0+A1	Livello di falda posto ad alcuni metri dal p.c.: possibile interferenza con le opere fondazionali; pozzi ad uso irriguo posti all'interno di una fascia di c.a. 500m dalla nuova opera	Possibile inquinamento per fenomeni di infiltrazione di sostanze nocive in falda dovuto al transito e allo scarico dei mezzi d'opera e all'uso di sostanze sintetiche nel corso dei lavori.	Possibile inquinamento della falda per fenomeni di infiltrazione ad opera delle acque provenienti dalla piattaforma stradale, e di sostanze nocive in coincidenza con fenomeni di sversamento accidentale sulla carreggiata.	Sistemi di raccolta e canalizzazione delle acque stradali tese ad impedire l'arrivo di eventuali sostanze inquinanti accidentalmente riversate sulla sede.
Ampliamento alla 4 ^a corsia (dal Km. 29+600 al Km. 56+444.92) dell'Autostrada A14 Bologna - Bari - Taranto	Ponte Rio Sanguinario da pk 54+423 a pk 54+447	A0+A1	Livello di falda posto ad alcuni metri dal p.c.: possibile interferenza con le opere fondazionali; pozzi ad uso irriguo posti all'interno di una fascia di c.a. 500m dalla nuova opera	Possibile inquinamento per fenomeni di infiltrazione di sostanze nocive in falda dovuto al transito e allo scarico dei mezzi d'opera e all'uso di sostanze sintetiche nel corso dei lavori.	Possibile inquinamento della falda per fenomeni di infiltrazione ad opera delle acque provenienti dalla piattaforma stradale, e di sostanze nocive in coincidenza con fenomeni di sversamento accidentale sulla carreggiata.	Sistemi di raccolta e canalizzazione delle acque stradali tese ad impedire l'arrivo di eventuali sostanze inquinanti accidentalmente riversate sulla sede.
Ampliamento alla 4 ^a corsia (dal Km. 29+600 al Km. 56+444.92) dell'Autostrada A14 Bologna - Bari - Taranto	da pk 55+300 c.a. a fine intervento	A0+A1	Livello di falda prossimo al piano campagna; eventuali pozzi ad uso domestico, irriguo, zootecnico posti all'interno di una fascia di 1 km a cavallo del tratto in oggetto	Possibile inquinamento per fenomeni di infiltrazione di sostanze nocive in falda dovuto al transito e allo scarico dei mezzi d'opera e all'uso di sostanze sintetiche nel corso dei lavori.	Possibile inquinamento della falda per fenomeni di infiltrazione ad opera delle acque provenienti dalla piattaforma stradale, e di sostanze nocive in coincidenza con fenomeni di sversamento accidentale sulla carreggiata.	Sistemi di raccolta e canalizzazione delle acque stradali tese ad impedire l'arrivo di eventuali sostanze inquinanti accidentalmente riversate sulla sede.

Tab. 9 – Matrice degli impatti attesi sulla risorsa idrica

ALLEGATI

ALLEGATO A:
TABULATI DELLE MISURE EFFETTUATE DURANTE LE
CAMPAGNE PIEZOMETRICHE

TABELLA LETTURE PIEZOMETRICHE NEI SONDAGGI

BOLOGNA - DIRAM. RAVENNA PIEZOMETRI														
Pag.1/5		TUBO APERTO			CASAGRANDE					CASAGRANDE				
					CELLA 1					CELLA 2				
		FONDO TUBO		MISURA	FONDO TUBO	TUBO 1		TUBO 2		FONDO TUBO	TUBO 3		TUBO 4	
COD. STRUM	LETTURA	PREVISTO	RILEVATO	ACQUA	PREVISTO	FONDO FORO	MISURA	FONDO FORO	MISURA	PREVISTO	FONDO FORO	MISURA	FONDO FORO	MISURA
SA3	13/03/2009				17,50		7,55		7,55	34,50		13,10		13,10
	28/11/2010						11,40	16,80	14,50			10,50		11,20
	20/01/2011					17,00	11,40	16,80	14,45		34,00	10,50	34,00	11,00
	28/03/2011					17,20	3,55	16,80	3,26		34,00	9,94	34,00	9,94
	23/08/2017					17.14	4.55	17.15	4.53		34.43	11	34.33	10.97
SB17	14/10/2010				12,00		8,62		8,62	26,00		9,30		9,30
	27/11/2010					12,00	8,20	12,00	8,25		26,00	8,70	26,00	8,80
	20/01/2011					12,00	8,15	12,00	8,20		26,00	8,70	26,00	8,70
	28/03/2011					12,00	7,94	12,00	7,90		26,00	8,54	26,00	8,49
	23/08/2017					12.00	8.63	11.80	8.30		26.00	8.73	26.00	8.63
SA2	13/03/2009	14,50		9,60	22,50		10,40		10,40					
	28/11/2010			8,50			8,50		8,50					
	20/01/2011	POZZETTO ROTTO												
	28/03/2011	INACCESSIBILE												
	23/08/2017		7.7	secco		22.50	7.75	22.47	7.75					
SB15	14/10/2010				12,00		6,76		6,76	22,00		8,60		8,60
	28/11/2010					11,00	SECCO	11,00	SECCO		22,00	8,20	22,00	8,25
	20/01/2011					11,00	SECCO	11,00	SECCO		22,00	8,15	22,00	8,15
	28/03/2011					11,00	SECCO	11,30	6,51		22,00	7,72	22,00	7,75
	23/08/2017					10.20	8.7	INTASATO			22.00	7.45	INTASATO	
SB16	14/10/2010				12,00		4,98		4,98	35,00		5,91		5,91
	27/11/2010	NON RITROVATO												
	20/01/2011					12,65	6,95	12,85	7,02		34,00	11,25	34,00	11,35
	28/03/2011	NON RITROVATO												
	23/08/2017					12.65	6.43	12.60	6.4		33.9	7.88	18.8	6.2

Pag.2/5		TUBO APERTO			CASAGRANDE						CASAGRANDE			
					CELLA 1						CELLA 2			
		FONDO TUBO		MISURA	FONDO TUBO	TUBO 1		TUBO 2		FONDO TUBO	TUBO 3		TUBO 4	
COD. STRUM	LETTURA	PREVISTO	RILEVATO	ACQUA	PREVISTO	FONDO FORO	MISURA	FONDO FORO	MISURA	PREVISTO	FONDO FORO	MISURA	FONDO FORO	MISURA
SA1	13/03/2009	25,00		14,90										
	28/11/2010			12,50										
	20/01/2011		25,00	12,60										
	28/03/2011		25,00	11,81										
	23/08/2017	INACCESSIBILE												
SB14	14/10/2010	30,00		16,92										
	28/11/2010		30,00	16,55										
	20/01/2011		30,00	16,50										
	28/03/2011		30,00	15,89										
	28/02/2013		-	17,78										
	19/02/2015		-	14,80										
	25/01/2017		-	13,45										
	06/07/2017		-	14,26										
	23/08/2017		-	15,12										
	14/09/2017		29,61	14,97										
15/11/2017		29,6	14,86											
SB13	14/10/2010	35,00	-	17,22										
	27/11/2010	CEMENTATO												
	20/01/2011	CEMENTATO												
	28/03/2011	CEMENTATO												
SB12	14/10/2010				29,00		6,78		6,78					
	28/11/2010	NON ESEGUITO												
	20/01/2011					29,50	4,90	29,50	5,05					
	28/03/2011					29,50	4,69	29,50	4,80					
	23/08/2017					29,5	3,50	29,50	3,50					
SB11	14/10/2010				17		1,19		1,19	29		3,39		3,39
	28/11/2010					17,60	0,70	17,60	0,70		30,2	3,00	30,30	3,00
	20/01/2011					17,60	0,70	17,60	0,70		30,2	3,05	30,30	3,00
	28/03/2011					17,60	SATURO	17,60	SATURO		30,10	1,20	30,30	1,22
	23/08/2017					17,60	0,90	17,60	0,90		30,20	1,05	30,25	1,00

Pag.5/5		TUBO APERTO			CASAGRANDE					CASAGRANDE				
		FONDO TUBO		MISURA	CELLA 1					CELLA 2				
					FONDO TUBO	TUBO 1		TUBO 2		FONDO TUBO	TUBO 3		TUBO 4	
COD. STRUM	LETTURA	PREVISTO	RILEVATO	ACQUA	PREVISTO	FOND FORO	MISURA	FOND FORO	MISURA	PREVISTO	FOND FORO	MISURA	FOND FORO	MISURA
SB6	14/10/2010	15,00		3,74	29,00		3,98		3,98					
	27/11/2010	NON RITROVATO												
	20/01/2011		14,50	3,50		24,25	8,20	29,10	5,05					
	29/03/2011		14,50	2,78		28,80	3,20	28,90	3,10					
	23/08/2017		14.50	4.19		INTASATO								
SB7	14/10/2010				5,5		4,12		4,12	25		2,86		2,86
	27/11/2010	NON RITROVATO												
	20/01/2011					3,40	SECCO	3,50	3,40		24,70	2,80	24,70	3,25
	29/03/2011					3,40	2,74	3,40	2,74		24,60	1,85	24,50	1,90
	23/08/2017					3.40	SECCO	3.40	SECCO		24.70	4.58	24.50	4.60
SB8	14/10/2010				14		1,57		1,57	39		0		0
	27/11/2010				NON RITROVATO									
	20/01/2011					14	1	14	1		39	0,5	39	0,5
	29/03/2011					14	SATURO	14	SATURO		39	SATURO	39	SATURO
	23/08/2017				NON RITROVATO									
SB3	14/10/2010	12		6,22	25,50		5,37		5,37					
	27/11/2010		11	8,4		26,00	5,60	26,00	5,10					
	20/01/2011		11	8,5		26,00	5,60	26,00	5,10					
	29/03/2011		10,50	5,24		26,00	3,83	26,00	3,90					
	23/08/2017		8.05	SECCO		26.00	6.60	INTASATO						
OC4S1	11/10/2010	18,00		4,9	26,50	26,00	5,60	26,00	5,60					
	28/11/2010	18		13		26,00	12,90	26,00	12,90					
	20/01/2011	18		12,8		26,00	12,90	26,00	12,90					
	29/03/2011	17,80		3,71		25,90	2,80	25,90	2,82					
	23/08/2017									NON RITROVATO				

ALLEGATO B:
TABULATI DELLE MISURE PIEZOMETRICHE HERA

	Pozzo Poggio Piccolo		Pozzo 12		Pozzo 16		Pozzo 17		Pozzo 18		Pozzo 26		Pozzo 27		Pozzo 28	
	STATICO	DINAMICO	STATICO	DINAMICO	STATICO	DINAMICO	STATICO	DINAMICO	STATICO	DINAMICO	STATICO	DINAMICO	STATICO	DINAMICO	STATICO	DINAMICO
gennaio-2014	n.d.	n.d.	-18,13	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	-23,50	n.d.						
febbraio-2014	n.d.	n.d.	-17,96	-18,88	n.d.	-24,92	n.d.	-19,28	-23,96	-26,27	n.d.	-45,35	n.d.	-27,79	n.d.	n.d.
marzo-2014	n.d.	n.d.	-17,74	-18,79	n.d.	-24,76	n.d.	-19,21	-24,37	-26,06	n.d.	-45,49	n.d.	-27,72	n.d.	n.d.
aprile-2014	n.d.	n.d.	-17,52	-18,70	n.d.	-24,61	n.d.	-19,13	-24,75	-25,85	n.d.	-45,64	n.d.	-27,65	n.d.	n.d.
maggio-2014	-37,45	n.d.	-17,30	-18,61	-23,80	-24,46	-17,70	-19,05	-25,10	-25,65	-32,25	-45,78	-26,45	-27,59	-24,00	-25,11
giugno-2014	n.d.	n.d.	-17,42	-18,52	n.d.	-24,31	n.d.	-18,98	n.d.	n.d.	n.d.	-45,92	n.d.	-27,52	n.d.	-25,11
luglio-2014	n.d.	n.d.	-17,50	-18,43	n.d.	-24,15	n.d.	-18,90	n.d.	n.d.	n.d.	-46,06	n.d.	-27,45	n.d.	-25,11
agosto-2014	n.d.	n.d.	-17,44	-18,34	n.d.	-24,00	n.d.	-18,83	n.d.	n.d.	n.d.	-46,21	n.d.	-27,39	n.d.	-25,11
settembre-2014	n.d.	n.d.	-16,98	n.d.												
ottobre-2014	n.d.	n.d.	-16,49	n.d.												
novembre-2014	-21,50	n.d.	-16,10	n.d.	n.d.	n.d.	-15,60	n.d.	-21,15	n.d.	-26,30	n.d.	-18,80	n.d.	-17,37	n.d.
dicembre-2014	n.d.	n.d.	-15,89	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	-20,95	n.d.						
gennaio-2015	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
febbraio-2015	n.d.	-45,48	n.d.	-18,25	n.d.	-23,85	n.d.	-18,75	n.d.	-24,83	n.d.	-46,35	n.d.	-27,32	n.d.	n.d.
marzo-2015	n.d.	n.d.	n.d.	-18,16	n.d.	-23,70	n.d.	-18,67	n.d.	-24,62	n.d.	-46,49	n.d.	-27,25	n.d.	n.d.
aprile-2015	n.d.	n.d.	n.d.	-18,07	n.d.	-23,55	n.d.	-18,60	n.d.	-24,41	n.d.	-46,64	n.d.	-27,19	n.d.	n.d.
maggio-2015	n.d.	n.d.	n.d.	-17,98	n.d.	-23,39	n.d.	-18,52	n.d.	-24,21	n.d.	-46,78	n.d.	-27,12	n.d.	-25,12
giugno-2015	n.d.	n.d.	n.d.	-17,89	n.d.	-23,24	n.d.	-18,45	n.d.	-24,00	n.d.	-46,92	n.d.	-27,05	n.d.	-25,12
luglio-2015	n.d.	n.d.	n.d.	-17,80	n.d.	-23,09	n.d.	-18,37	n.d.	-23,80	n.d.	-47,06	n.d.	-26,99	n.d.	-25,12
agosto-2015	n.d.	n.d.	n.d.	-17,71	n.d.	-22,94	n.d.	-18,29	n.d.	-23,59	n.d.	-47,21	n.d.	-26,92	n.d.	-25,12
settembre-2015	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
ottobre-2015	-33,10	-55,50	-14,80	-16,19	-16,90	-22,60	-15,10	-16,90	-20,10	-23,70	-26,00	-46,60	-17,95	-26,00	-16,60	-22,80
novembre-2015	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
dicembre-2015	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
gennaio-2016	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
febbraio-2016	-19,80	-42,00	-14,45	-15,70	-16,00	-21,10	-14,10	-15,70	-19,60	-23,27	-25,00	-45,50	-17,20	-25,30	-18,50	n.d.
marzo-2016	n.d.	-24,50	n.d.	-15,20	n.d.	-20,70	n.d.	-15,40	n.d.	-22,75	n.d.	-45,80	n.d.	-24,95	n.d.	n.d.
aprile-2016	n.d.	n.d.	n.d.	-15,10	n.d.	-22,30	n.d.	-15,40	n.d.	-21,10	n.d.	n.d.	n.d.	-26,00	n.d.	-21,70
maggio-2016	n.d.	n.d.	n.d.	-14,90	n.d.	-21,40	n.d.	-15,10	n.d.	-22,00	n.d.	n.d.	n.d.	-24,90	n.d.	-21,40
giugno-2016	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	-26,50	n.d.	n.d.
luglio-2016	n.d.	-44,40	n.d.	n.d.	n.d.	-22,40	n.d.	-16,70	n.d.	-23,20	n.d.	-47,50	n.d.	-26,50	n.d.	-22,20
agosto-2016	n.d.	-44,00	n.d.	n.d.	n.d.	-22,50	n.d.	-16,60	n.d.	-22,80	n.d.	-45,30	n.d.	-26,20	n.d.	-22,40
settembre-2016	n.d.	-34,80	n.d.	n.d.	n.d.	-22,40	n.d.	-16,30	n.d.	-22,70	n.d.	-45,30	n.d.	-26,60	n.d.	-22,40
ottobre-2016	n.d.	-33,40	n.d.	n.d.	n.d.	-22,50	n.d.	-16,10	n.d.	-22,50	n.d.	-45,00	n.d.	-26,30	n.d.	-22,40
novembre-2016	n.d.	-24,30	n.d.	n.d.	n.d.	-21,30	n.d.	-16,00	n.d.	-22,70	n.d.	-44,60	n.d.	-26,20	n.d.	n.d.
dicembre-2016	n.d.	-24,00	n.d.	n.d.	n.d.	-21,30	n.d.	-16,00	n.d.	-22,60	n.d.	-48,40	n.d.	-26,60	n.d.	n.d.
gennaio-2017	n.d.	-22,50	n.d.	n.d.	n.d.	-21,45	n.d.	-15,90	n.d.	-22,20	n.d.	-48,00	n.d.	-26,40	n.d.	n.d.
febbraio-2017	n.d.	n.d.	n.d.	-15,70	n.d.	-21,40	n.d.	-15,80	n.d.	-22,00	n.d.	-47,80	n.d.	-26,20	n.d.	n.d.
marzo-2017	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
aprile-2017	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
maggio-2017	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
giugno-2017	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
luglio-2017	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
agosto-2017	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
settembre-2017	n.d.	n.d.	n.d.	-17,80	n.d.	-23,80	n.d.	-17,80	n.d.	n.d.	n.d.	-46,50	n.d.	-28,90	n.d.	-23,70

NOTE TECNICHE

Quota Pozzo Poggio Piccolo: 49,50 m s.l.m.

Quota Pozzo 12: 31,53 m s.l.m.

Quota Pozzo 16: 29,13 m s.l.m.

Quota Pozzo 17: 31,53 m s.l.m.

Quota Pozzo 18: 33,25 m s.l.m.

Quota Pozzo 26: 38,85 m s.l.m.

Quota Pozzo 27: 32,70 m s.l.m.

Quota Pozzo 28: 29,1 m s.l.m.

La misura dei livelli statici e dinamici viene effettuata direttamente nel pozzo.

Lecture piezometriche riferite alla bocca pozzo.

Lecture non disponibili: n.d.

ALLEGATO C:
DATI RELATIVI ALLE PROVE DI PERMEABILITÀ
ESEGUITE NEI FORI DI SONDAGGIO

PROVA DI PERMEABILITA' LEFRANC A CARICO VARIABILE - UNI EN ISO 22282-2:2012
(per immissione di acqua in foro di sondaggio)

Committente	SPEA ENGINEERING S.p.A.
Commessa	A14 Bologna-Diramazione Ravenna, ampliamento alla quarta corsia
Località	-
Data	04/11/2017

Sondaggio n°	OC1-S1
Prova di permeabilità n°	LF1
Profondità da p.c.	15

Geometria della cavità	4	Filtro cilindrico in terreno uniforme
-------------------------------	---	---------------------------------------

Diametro del tratto di prova	D [m]	0,127
Lunghezza del tratto di prova	L [m]	0,50
Rapporto di forma	L/D [-]	3,94

Coefficiente di forma	F [m]	1,511
------------------------------	-------	-------

Area della sezione di prova	A [m ²]	0,013
------------------------------------	---------------------	-------

Altezza della colonna del rivestimento rispetto a p.c. (livello di riferimento)	h_r [m]	0,00
Dislivello tra livello piezometrico e livello di riferimento	z_r [m]	3,55
Profondità del livello piezometrico da p.c.	z_w [m]	3,550

Profondità del livello dell'acqua nel foro rispetto al livello di riferimento, a inizio prova	z [m]	0,000
Carico idraulico a inizio prova	h_o [m]	3,550

Tempo inizio prova (ora e minuti)	
--	--

Metodo di interpretazione	B.4.1 - Velocity graph method
----------------------------------	-------------------------------

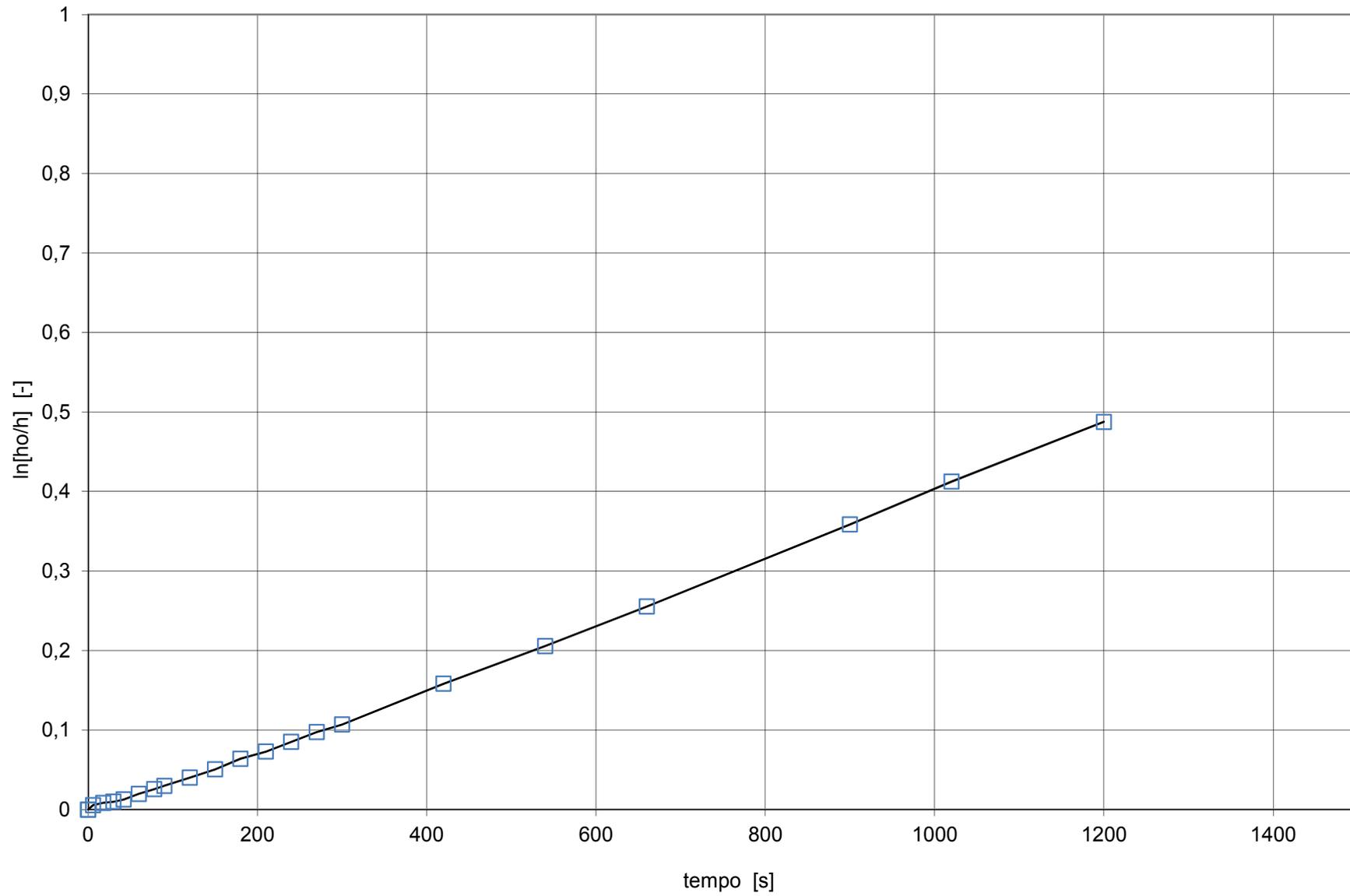
Lecture		Elaborazioni			
Tempo [min.]	Profondità del livello dell'acqua nel foro [m]	Tempo [s]	Carico idraulico h [m]	ho/h [-]	ln[ho/h] [-]
	0,000	0	3,550	1,000	0,000
	0,000	0	3,550	1,000	0,000
	0,020	6	3,530	1,006	0,006
	0,030	18	3,520	1,009	0,008
	0,035	30	3,515	1,010	0,010
	0,045	42	3,505	1,013	0,013
	0,070	60	3,480	1,020	0,020
	0,090	78	3,460	1,026	0,026
	0,105	90	3,445	1,030	0,030
	0,140	120	3,410	1,041	0,040
	0,175	150	3,375	1,052	0,051
	0,220	180	3,330	1,066	0,064
	0,250	210	3,300	1,076	0,073
	0,290	240	3,260	1,089	0,085
	0,330	270	3,220	1,102	0,098
	0,360	300	3,190	1,113	0,107
	0,520	420	3,030	1,172	0,158
	0,660	540	2,890	1,228	0,206
	0,800	660	2,750	1,291	0,255
	1,070	900	2,480	1,431	0,359
	1,200	1020	2,350	1,511	0,413
	1,370	1200	2,180	1,628	0,488

Coefficiente angolare α	[-]	3,95E-04
--	-----	----------

Coefficiente di conducibilità idraulica k	[m/s]	3,31E-06
--	-------	----------

**Prova di permeabilità Lefranc
a carico variabile**

OC1-S1 LF1



PROVA DI PERMEABILITA' LEFRANC A CARICO VARIABILE - UNI EN ISO 22282-2:2012
(per immissione di acqua in foro di sondaggio)

Committente	SPEA ENGINEERING S.p.A.
Commessa	A14 Bologna-Diramazione Ravenna, ampliamento alla quarta corsia
Località	-
Data	04/11/2017

Sondaggio n°	OC1-S2
Prova di permeabilità n°	LF1
Profondità da p.c.	10,5

Geometria della cavità	4	Filtro cilindrico in terreno uniforme
-------------------------------	---	---------------------------------------

Diametro del tratto di prova	D [m]	0,127
Lunghezza del tratto di prova	L [m]	0,50
Rapporto di forma	L/D [-]	3,94

Coefficiente di forma	F [m]	1,511
------------------------------	-------	-------

Area della sezione di prova	A [m ²]	0,013
------------------------------------	---------------------	-------

Altezza della colonna del rivestimento rispetto a p.c. (livello di riferimento)	h_r [m]	0,00
Dislivello tra livello piezometrico e livello di riferimento	z_r [m]	6,75
Profondità del livello piezometrico da p.c.	z_w [m]	6,750

Profondità del livello dell'acqua nel foro rispetto al livello di riferimento, a inizio prova	z [m]	0,000
Carico idraulico a inizio prova	h_o [m]	6,750

Tempo inizio prova (ora e minuti)	
--	--

Metodo di interpretazione	B.4.1 - Velocity graph method
----------------------------------	-------------------------------

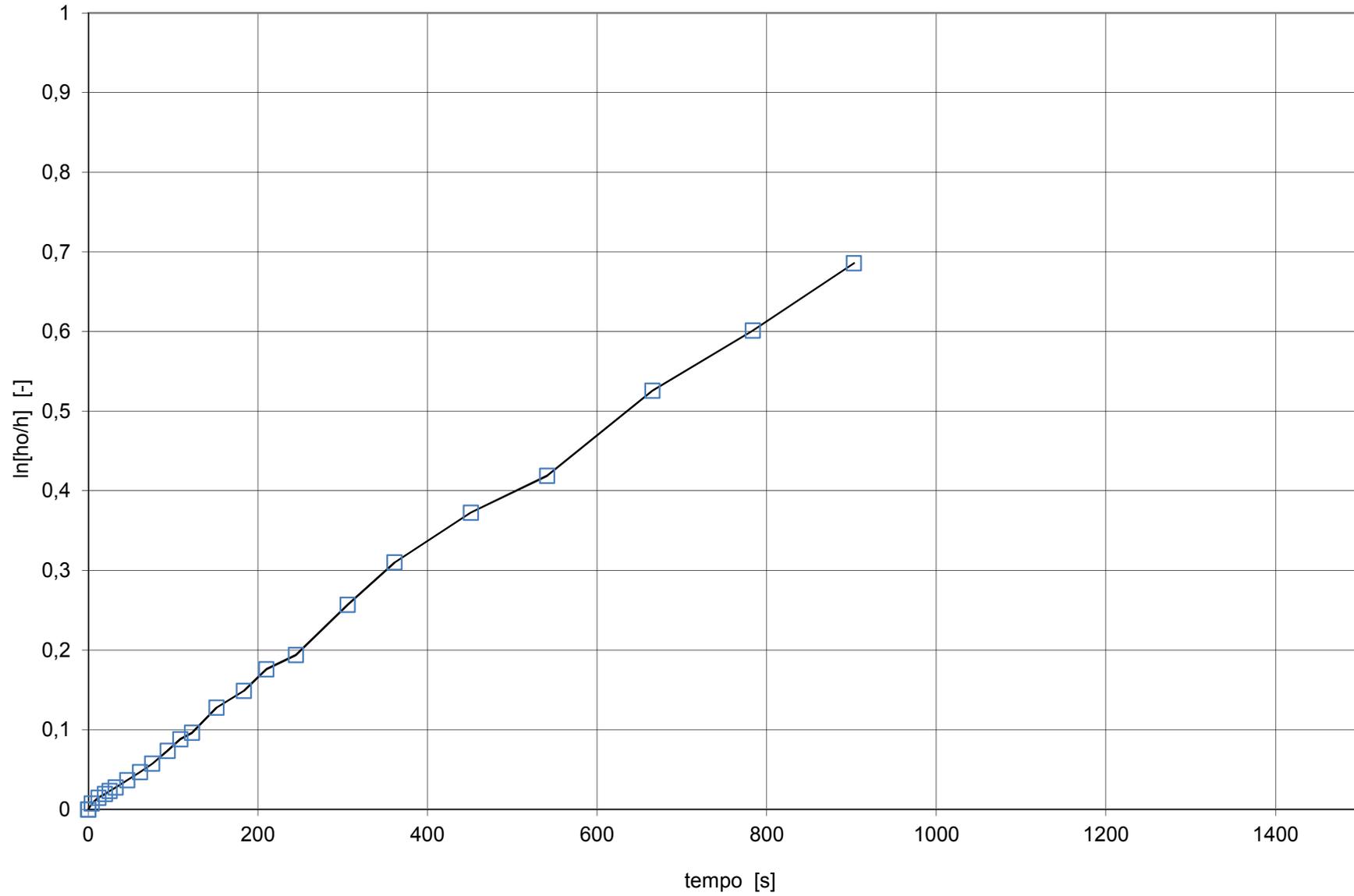
Letture		Elaborazioni			
Tempo [min.]	Profondità del livello dell'acqua nel foro [m]	Tempo [s]	Carico idraulico h [m]	ho/h [-]	ln[ho/h] [-]
	0,000	0	6,750	1,000	0,000
	0,000	0	6,750	1,000	0,000
	0,050	4,2	6,700	1,007	0,007
	0,100	12	6,650	1,015	0,015
	0,130	19,8	6,620	1,020	0,019
	0,155	25,2	6,595	1,024	0,023
	0,184	32,4	6,566	1,028	0,028
	0,245	46,2	6,505	1,038	0,037
	0,310	61,2	6,440	1,048	0,047
	0,377	75,6	6,373	1,059	0,057
	0,480	93,6	6,270	1,077	0,074
	0,570	108,6	6,180	1,092	0,088
	0,620	122,4	6,130	1,101	0,096
	0,810	151,2	5,940	1,136	0,128
	0,935	183,6	5,815	1,161	0,149
	1,090	210	5,660	1,193	0,176
	1,190	244,8	5,560	1,214	0,194
	1,530	306	5,220	1,293	0,257
	1,800	361,2	4,950	1,364	0,310
	2,100	451,2	4,650	1,452	0,373
	2,310	541,2	4,440	1,520	0,419
	2,760	665,4	3,990	1,692	0,526
	3,050	783,6	3,700	1,824	0,601
	3,350	903	3,400	1,985	0,686

Coefficiente angolare α	[-]	8,32E-04
--	-----	----------

Coefficiente di conducibilità idraulica k	[m/s]	6,97E-06
--	-------	----------

**Prova di permeabilità Lefranc
a carico variabile**

OC1-S2 LF1



PROVA DI PERMEABILITA' LEFRANC A CARICO COSTANTE - UNI EN ISO 22282-2:2012
 (per immissione di acqua in foro di sondaggio)

Committente	SPEA ENGINEERING S.p.A.
Commessa	A14 Bologna-Diramazione Ravenna, ampliamento alla quarta corsia
Località	-
Data	04/11/2017

Sondaggio n°	OC1S2
Prova di permeabilità n°	LF2
Profondità da p.c.	21,00

Geometria della cavità	4	Filtro cilindrico in terreno uniforme
-------------------------------	---	---------------------------------------

Diametro del tratto di prova	D	[m]	0,127
Lunghezza del tratto di prova	L	[m]	0,30
Rapporto di forma	L/D	[-]	2,36

Coefficiente di forma	F	[m]	1,182
-----------------------	---	-----	-------

Altezza della colonna del rivestimento rispetto a p.c. (livello di riferimento)	h_r	[m]	0,00
Dislivello tra livello piezometrico e livello di riferimento	z_r	[m]	0,00
Profondità del livello piezometrico da p.c.	z_w	[m]	0,00

Profondità del livello dell'acqua nel foro rispetto al livello di riferimento	z	[m]	6,55
Carico piezometrico (costante)	h	[m]	6,55

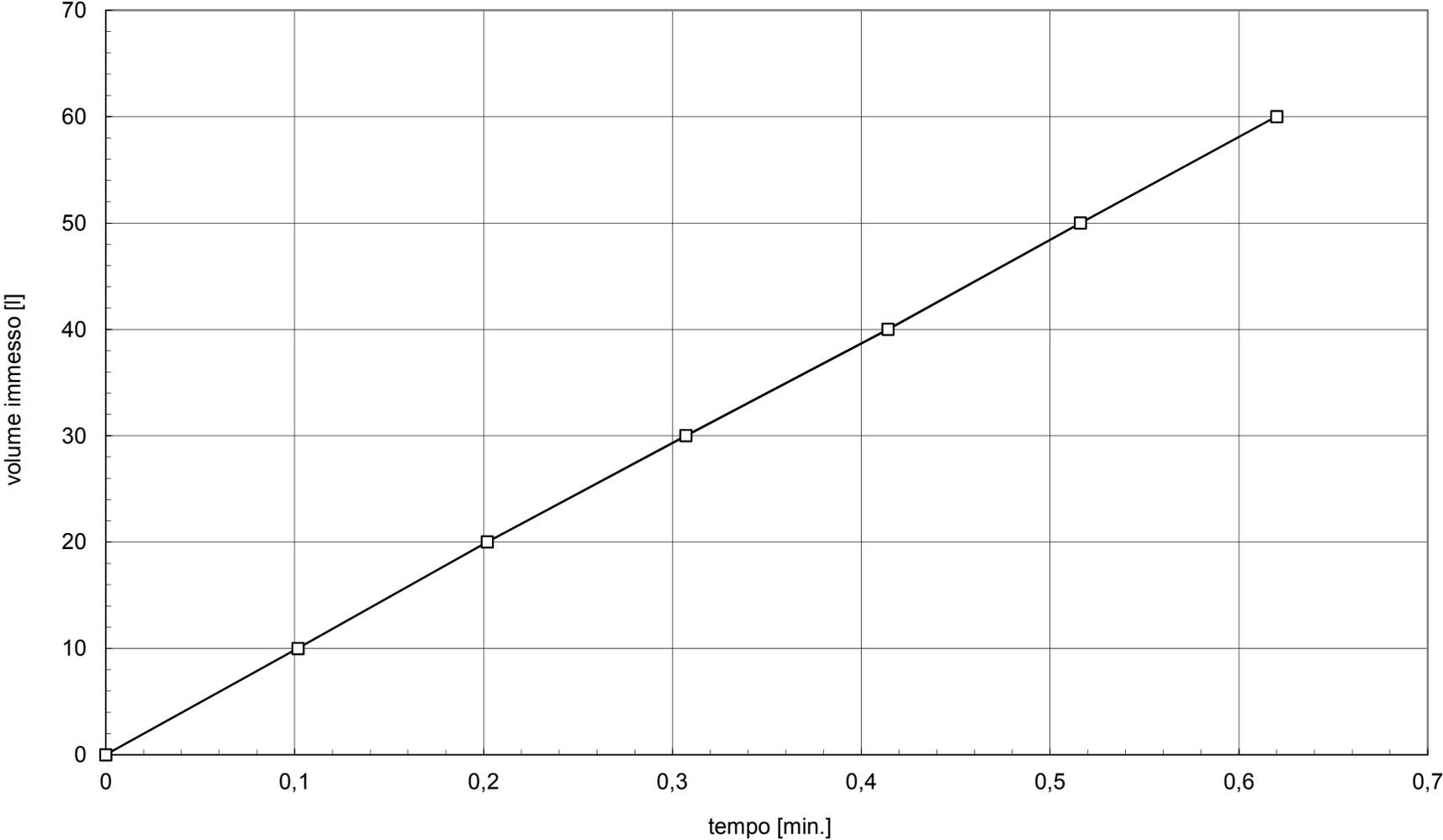
Tempo inizio prova (ora e minuti)	-
-----------------------------------	---

Lecture		Elaborazioni					
Tempo	Volume immesso	Tempo	Volume immesso		Portata specifica	Coefficiente di permeabilità K	
[min.]	[l]	[s]	[l]	[m ³]	[m ³ /s]	[m/s]	[cm/s]
0	0	0	0	0,000			
0,10	10,0	6,1	10,00	0,010	1,64E-03	2,12E-04	2,12E-02
0,20	20,0	12,1	20,00	0,020	1,66E-03	2,15E-04	2,15E-02
0,31	30,0	18,4	30,00	0,030	1,58E-03	2,05E-04	2,05E-02
0,41	40,0	24,9	40,00	0,040	1,56E-03	2,01E-04	2,01E-02
0,52	50,0	31,0	50,00	0,050	1,63E-03	2,11E-04	2,11E-02
0,62	60,0	37,2	60,00	0,060	1,61E-03	2,07E-04	2,07E-02
						2,08E-04	2,08E-02

Prova di permeabilità Lefranc

a carico costante

OC1-S2 LF2



PROVA DI PERMEABILITA' LEFRANC A CARICO COSTANTE - UNI EN ISO 22282-2:2012
 (per immissione di acqua in foro di sondaggio)

Committente	SPEA ENGINEERING S.p.A.
Commessa	A14 Bologna-Diramazione Ravenna, ampliamento alla quarta corsia
Località	-
Data	04/11/2017

Sondaggio n°	OC3S1
Prova di permeabilità n°	LF1
Profondità da p.c.	10,50

Geometria della cavità	4	Filtro cilindrico in terreno uniforme
-------------------------------	---	---------------------------------------

Diametro del tratto di prova	D	[m]	0,127
Lunghezza del tratto di prova	L	[m]	0,50
Rapporto di forma	L/D	[-]	3,94

Coefficiente di forma	F	[m]	1,511
-----------------------	---	-----	-------

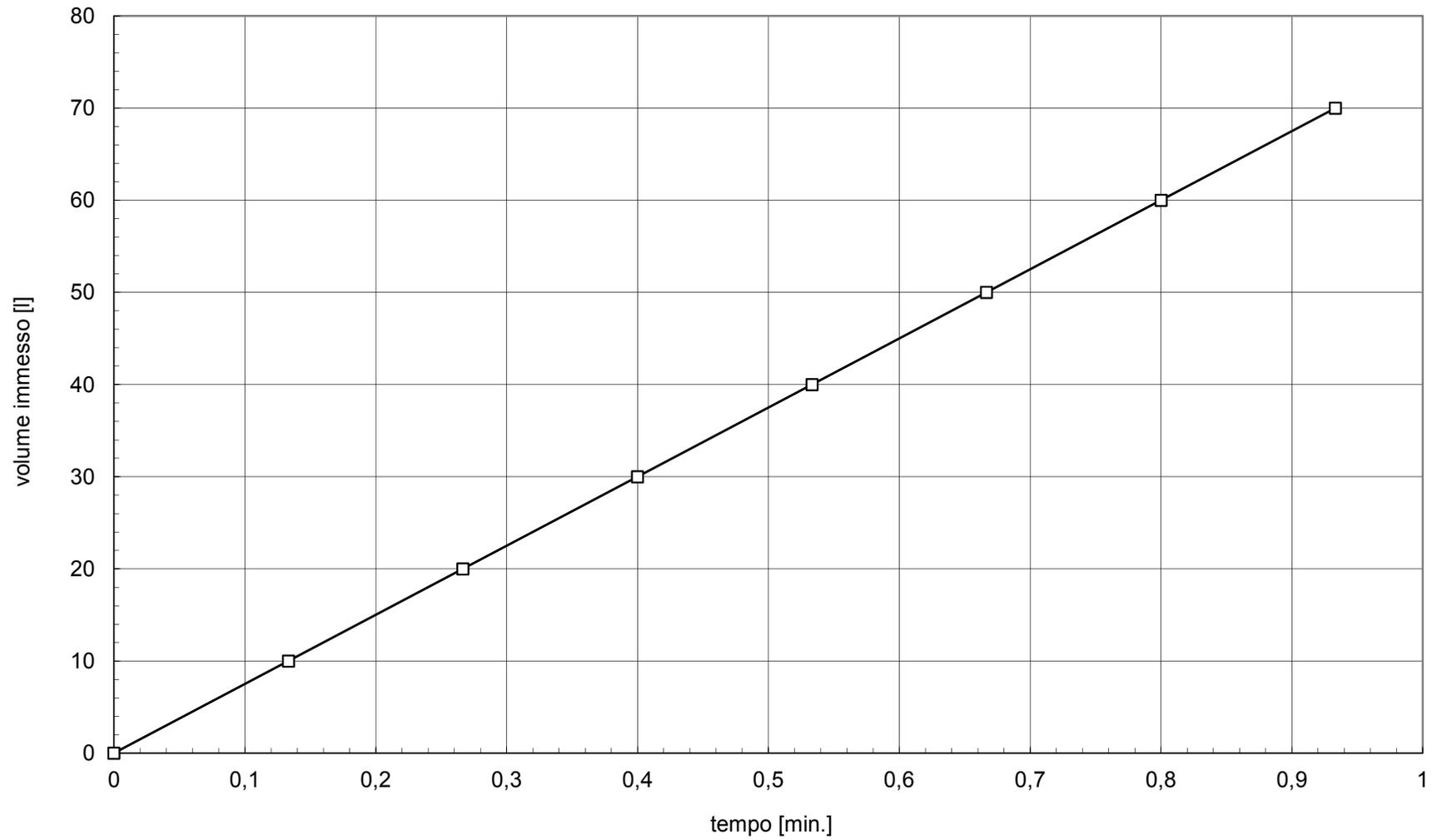
Altezza della colonna del rivestimento rispetto a p.c. (livello di riferimento)	h_r	[m]	0,00
Dislivello tra livello piezometrico e livello di riferimento	z_r	[m]	0,00
Profondità del livello piezometrico da p.c.	z_w	[m]	0,00

Profondità del livello dell'acqua nel foro rispetto al livello di riferimento	z	[m]	10,25
Carico piezometrico (costante)	h	[m]	10,25

Tempo inizio prova (ora e minuti)	-
-----------------------------------	---

Lecture		Elaborazioni					
Tempo	Volume immesso	Tempo	Volume immesso		Portata specifica	Coefficiente di permeabilità K	
[min.]	[l]	[s]	[l]	[m ³]	[m ³ /s]	[m/s]	[cm/s]
0	0	0	0	0,000			
0,13	10,0	8,0	10,00	0,010	1,25E-03	8,07E-05	8,07E-03
0,27	20,0	16,0	20,00	0,020	1,25E-03	8,07E-05	8,07E-03
0,40	30,0	24,0	30,00	0,030	1,25E-03	8,07E-05	8,07E-03
0,53	40,0	32,0	40,00	0,040	1,25E-03	8,07E-05	8,07E-03
0,67	50,0	40,0	50,00	0,050	1,25E-03	8,07E-05	8,07E-03
0,80	60,0	48,0	60,00	0,060	1,25E-03	8,07E-05	8,07E-03
0,93	70,0	56,0	70,00	0,070	1,25E-03	8,07E-05	8,07E-03
						8,07E-05	8,07E-03

**Prova di permeabilità Lefranc
a carico costante
OC3S1 LF1**



PROVA DI PERMEABILITA' LEFRANC A CARICO COSTANTE - UNI EN ISO 22282-2:2012
 (per immissione di acqua in foro di sondaggio)

Committente	SPEA ENGINEERING S.p.A.
Commessa	A14 Bologna-Diramazione Ravenna, ampliamento alla quarta corsia
Località	-
Data	04/11/2017

Sondaggio n°	OC3S1
Prova di permeabilità n°	LF2
Profondità da p.c.	16,50

Geometria della cavità	4	Filtro cilindrico in terreno uniforme
-------------------------------	---	---------------------------------------

Diametro del tratto di prova	D	[m]	0,127
Lunghezza del tratto di prova	L	[m]	0,50
Rapporto di forma	L/D	[-]	3,94

Coefficiente di forma	F	[m]	1,511
-----------------------	---	-----	-------

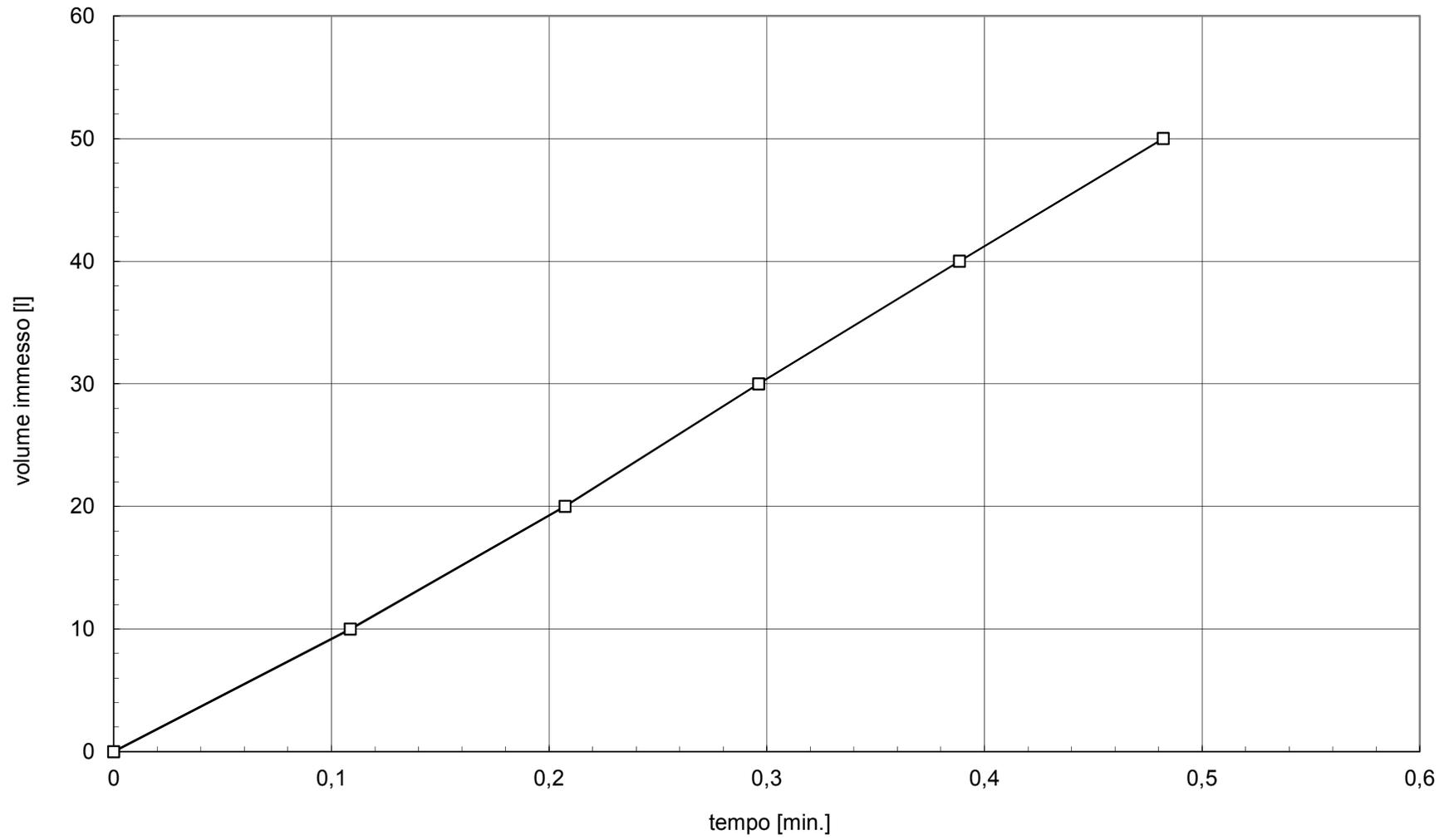
Altezza della colonna del rivestimento rispetto a p.c. (livello di riferimento)	h_r	[m]	0,00
Dislivello tra livello piezometrico e livello di riferimento	z_r	[m]	0,00
Profondità del livello piezometrico da p.c.	z_w	[m]	0,00

Profondità del livello dell'acqua nel foro rispetto al livello di riferimento	z	[m]	10,25
Carico piezometrico (costante)	h	[m]	10,25

Tempo inizio prova (ora e minuti)	-
-----------------------------------	---

Letture		Elaborazioni					
Tempo	Volume immesso	Tempo	Volume immesso		Portata specifica	Coefficiente di permeabilità K	
[min.]	[l]	[s]	[l]	[m ³]	[m ³ /s]	[m/s]	[cm/s]
0	0	0	0	0,000			
0,11	10,0	6,5	10,00	0,010	1,53E-03	9,90E-05	9,90E-03
0,21	20,0	12,4	20,00	0,020	1,69E-03	1,09E-04	1,09E-02
0,30	30,0	17,8	30,00	0,030	1,87E-03	1,21E-04	1,21E-02
0,39	40,0	23,3	40,00	0,040	1,81E-03	1,17E-04	1,17E-02
0,48	50,0	28,9	50,00	0,050	1,78E-03	1,15E-04	1,15E-02
						1,12E-04	1,12E-02

**Prova di permeabilità Lefranc
a carico costante
OC3S1 LF2**



PROVA DI PERMEABILITA' LEFRANC A CARICO VARIABILE - UNI EN ISO 22282-2:2012
(per immissione di acqua in foro di sondaggio)

Committente	SPEA ENGINEERING S.p.A.
Commessa	A14 Bologna-Diramazione Ravenna, ampliamento alla quarta corsia
Località	-
Data	04/11/2017

Sondaggio n°	OC3-S2
Prova di permeabilità n°	LF1
Profondità da p.c.	13,5

Geometria della cavità	4	Filtro cilindrico in terreno uniforme
-------------------------------	---	---------------------------------------

Diametro del tratto di prova	D [m]	0,127
Lunghezza del tratto di prova	L [m]	0,50
Rapporto di forma	L/D [-]	3,94

Coefficiente di forma	F [m]	1,511
------------------------------	-------	-------

Area della sezione di prova	A [m ²]	0,013
------------------------------------	---------------------	-------

Altezza della colonna del rivestimento rispetto a p.c. (livello di riferimento)	h_r [m]	0,00
Dislivello tra livello piezometrico e livello di riferimento	z_r [m]	8,65
Profondità del livello piezometrico da p.c.	z_w [m]	8,650

Profondità del livello dell'acqua nel foro rispetto al livello di riferimento, a inizio prova	z [m]	0,000
Carico idraulico a inizio prova	h_o [m]	8,650

Tempo inizio prova (ora e minuti)	
--	--

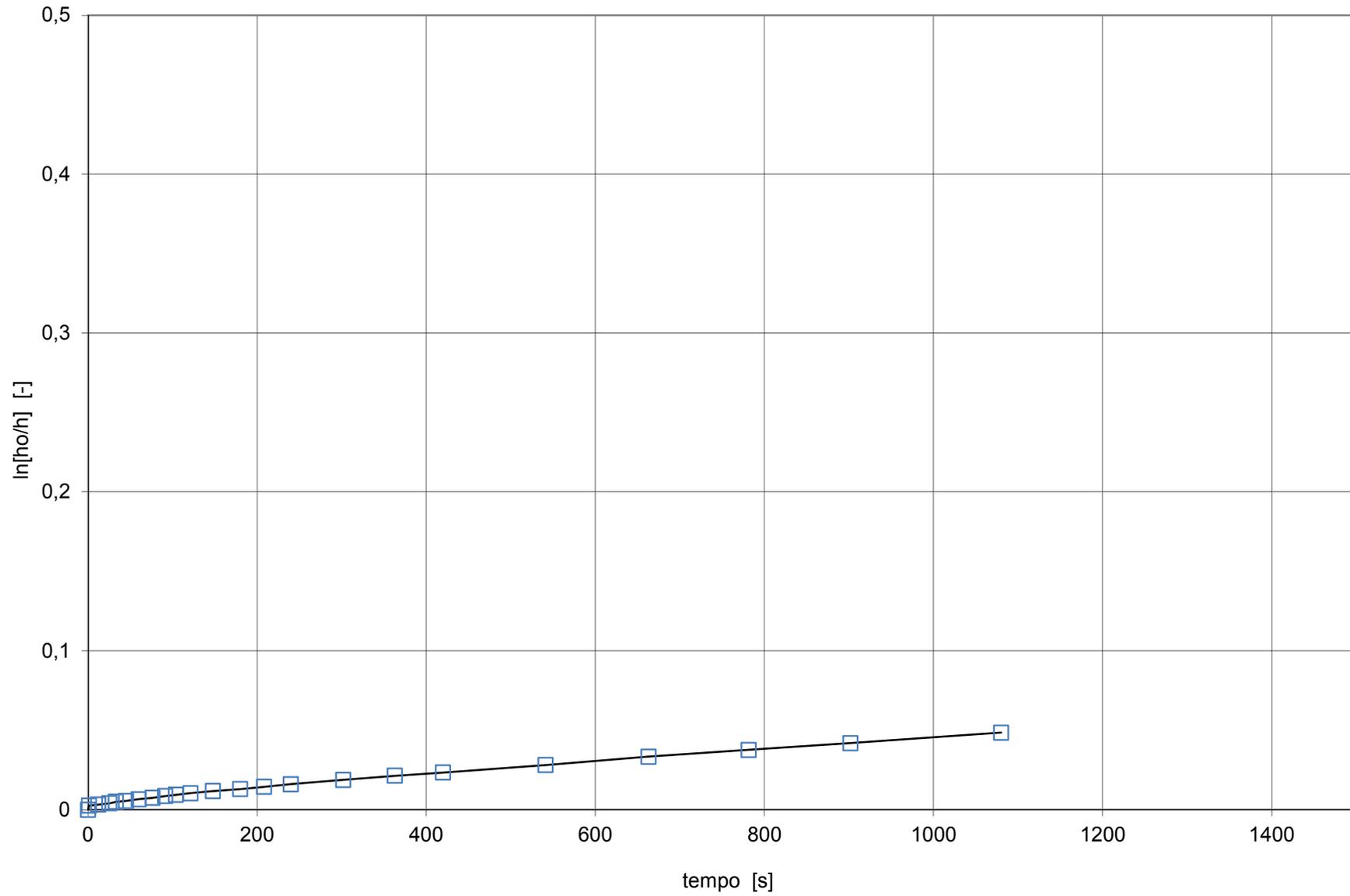
Metodo di interpretazione	B.4.1 - Velocity graph method
----------------------------------	-------------------------------

Letture		Elaborazioni			
Tempo [min.]	Profondità del livello dell'acqua nel foro [m]	Tempo [s]	Carico idraulico h [m]	ho/h [-]	ln[ho/h] [-]
	0,000	0	8,650	1,000	0,000
	0,023	1,2	8,627	1,003	0,003
	0,028	12	8,622	1,003	0,003
	0,035	25,2	8,615	1,004	0,004
	0,043	33	8,607	1,005	0,005
	0,048	45	8,602	1,006	0,006
	0,057	60	8,593	1,007	0,007
	0,065	76,2	8,585	1,008	0,008
	0,074	91,2	8,576	1,009	0,009
	0,081	103,8	8,569	1,009	0,009
	0,090	121,2	8,560	1,011	0,010
	0,101	147,6	8,549	1,012	0,012
	0,112	180	8,538	1,013	0,013
	0,124	208,2	8,526	1,015	0,014
	0,138	240	8,512	1,016	0,016
	0,161	301,8	8,489	1,019	0,019
	0,183	363	8,467	1,022	0,021
	0,200	420	8,450	1,024	0,023
	0,240	541,2	8,410	1,029	0,028
	0,284	663	8,366	1,034	0,033
	0,320	781,2	8,330	1,038	0,038
	0,355	901,8	8,295	1,043	0,042
	0,410	1080	8,240	1,050	0,049

Coefficiente angolare α	[-]	4,58E-05
--	-----	----------

Coefficiente di conducibilità idraulica k	[m/s]	3,84E-07
--	-------	----------

Prova di permeabilità Lefranc
a carico variabile
OC3S2 LF1



PROVA DI PERMEABILITA' LEFRANC A CARICO VARIABILE - UNI EN ISO 22282-2:2012
(per immissione di acqua in foro di sondaggio)

Committente	SPEA ENGINEERING S.p.A.
Commessa	A14 Bologna-Diramazione Ravenna, ampliamento alla quarta corsia
Località	-
Data	04/11/2017

Sondaggio n°	OC3-S2
Prova di permeabilità n°	LF2
Profondità da p.c.	19,3

Geometria della cavità	4	Filtro cilindrico in terreno uniforme
-------------------------------	---	---------------------------------------

Diametro del tratto di prova	D [m]	0,127
Lunghezza del tratto di prova	L [m]	0,50
Rapporto di forma	L/D [-]	3,94

Coefficiente di forma	F [m]	1,511
------------------------------	-------	-------

Area della sezione di prova	A [m ²]	0,013
------------------------------------	---------------------	-------

Altezza della colonna del rivestimento rispetto a p.c. (livello di riferimento)	h_r [m]	0,00
Dislivello tra livello piezometrico e livello di riferimento	z_r [m]	8,85
Profondità del livello piezometrico da p.c.	z_w [m]	8,850

Profondità del livello dell'acqua nel foro rispetto al livello di riferimento, a inizio prova	z [m]	0,000
Carico idraulico a inizio prova	h_o [m]	8,850

Tempo inizio prova (ora e minuti)	
--	--

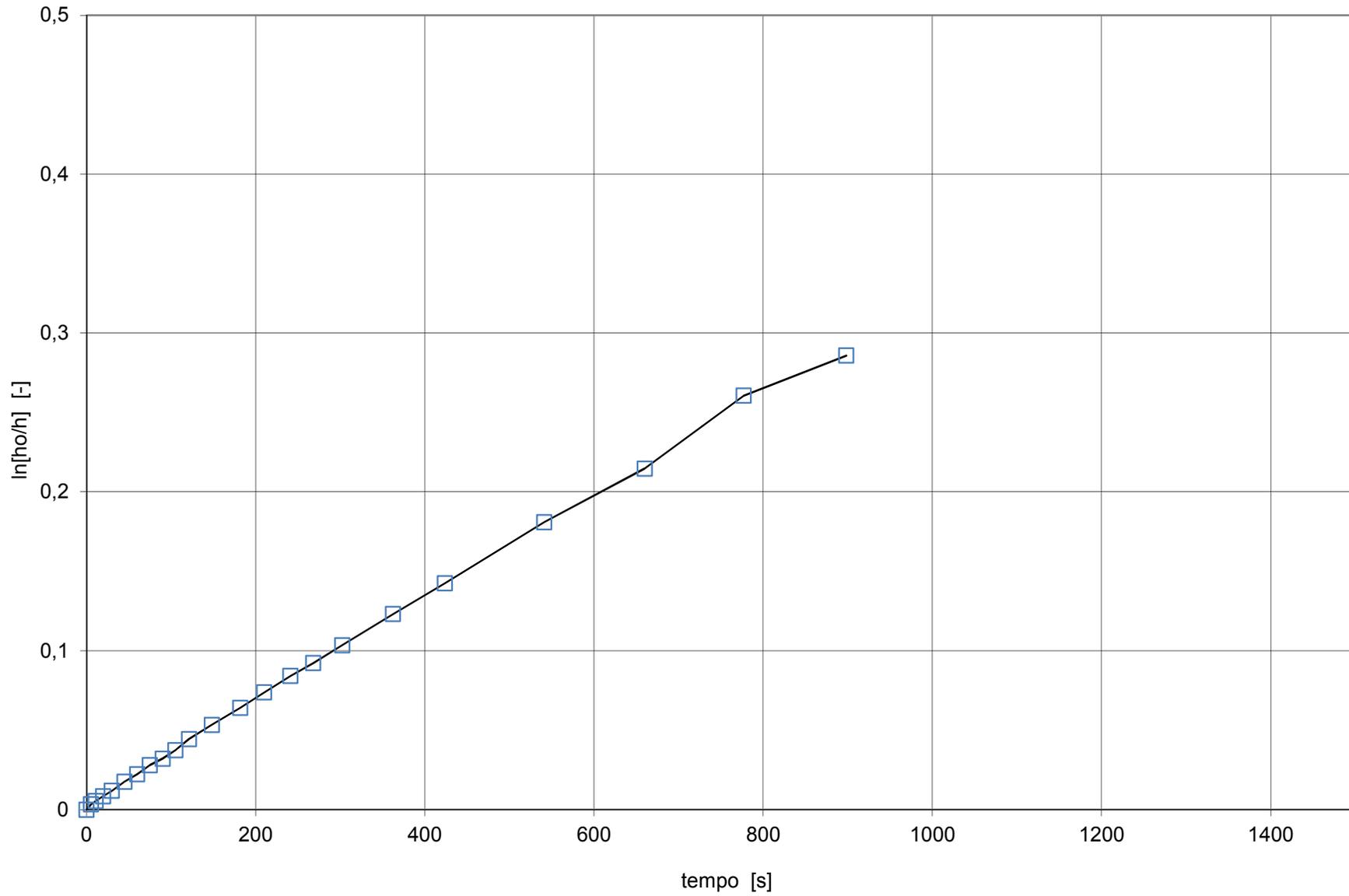
Metodo di interpretazione	B.4.1 - Velocity graph method
----------------------------------	-------------------------------

Letture		Elaborazioni			
Tempo [min.]	Profondità del livello dell'acqua nel foro [m]	Tempo [s]	Carico idraulico h [m]	ho/h [-]	ln[ho/h] [-]
	0,000	0	8,850	1,000	0,000
	0,030	5,4	8,820	1,003	0,003
	0,048	10,8	8,802	1,005	0,005
	0,075	19,8	8,775	1,009	0,009
	0,105	30	8,745	1,012	0,012
	0,155	45	8,695	1,018	0,018
	0,195	60	8,655	1,023	0,022
	0,245	75	8,605	1,028	0,028
	0,280	90	8,570	1,033	0,032
	0,325	105	8,525	1,038	0,037
	0,385	121,2	8,465	1,045	0,044
	0,460	148,2	8,390	1,055	0,053
	0,550	181,8	8,300	1,066	0,064
	0,630	210	8,220	1,077	0,074
	0,715	241,2	8,135	1,088	0,084
	0,780	268,2	8,070	1,097	0,092
	0,870	302,4	7,980	1,109	0,103
	1,025	362,4	7,825	1,131	0,123
	1,175	423,6	7,675	1,153	0,142
	1,465	541,2	7,385	1,198	0,181
	1,710	660	7,140	1,239	0,215
	2,030	777	6,820	1,298	0,261
	2,200	898,2	6,650	1,331	0,286

Coefficiente angolare α	[-]	3,31E-04
--	-----	----------

Coefficiente di conducibilità idraulica k	[m/s]	2,78E-06
--	-------	----------

**Prova di permeabilità Lefranc
a carico variabile
OC3S2 LF2**



PROVA DI PERMEABILITA' LEFRANC A CARICO VARIABILE - UNI EN ISO 22282-2:2012
(per immissione di acqua in foro di sondaggio)

Committente	SPEA ENGINEERING S.p.A.
Commessa	A14 Bologna-Diramazione Ravenna, ampliamento alla quarta corsia
Località	-
Data	04/11/2017

Sondaggio n°	OC3-S3
Prova di permeabilità n°	LF1
Profondità da p.c.	4,5

Geometria della cavità	4	Filtro cilindrico in terreno uniforme
-------------------------------	---	---------------------------------------

Diametro del tratto di prova	D [m]	0,127
Lunghezza del tratto di prova	L [m]	0,50
Rapporto di forma	L/D [-]	3,94

Coefficiente di forma	F [m]	1,511
------------------------------	-------	-------

Area della sezione di prova	A [m ²]	0,013
------------------------------------	---------------------	-------

Altezza della colonna del rivestimento rispetto a p.c. (livello di riferimento)	h_r [m]	0,00
Dislivello tra livello piezometrico e livello di riferimento	z_r [m]	10,75
Profondità del livello piezometrico da p.c.	z_w [m]	10,750

Profondità del livello dell'acqua nel foro rispetto al livello di riferimento, a inizio prova	z [m]	0,000
Carico idraulico a inizio prova	h_o [m]	4,500

Tempo inizio prova (ora e minuti)	
--	--

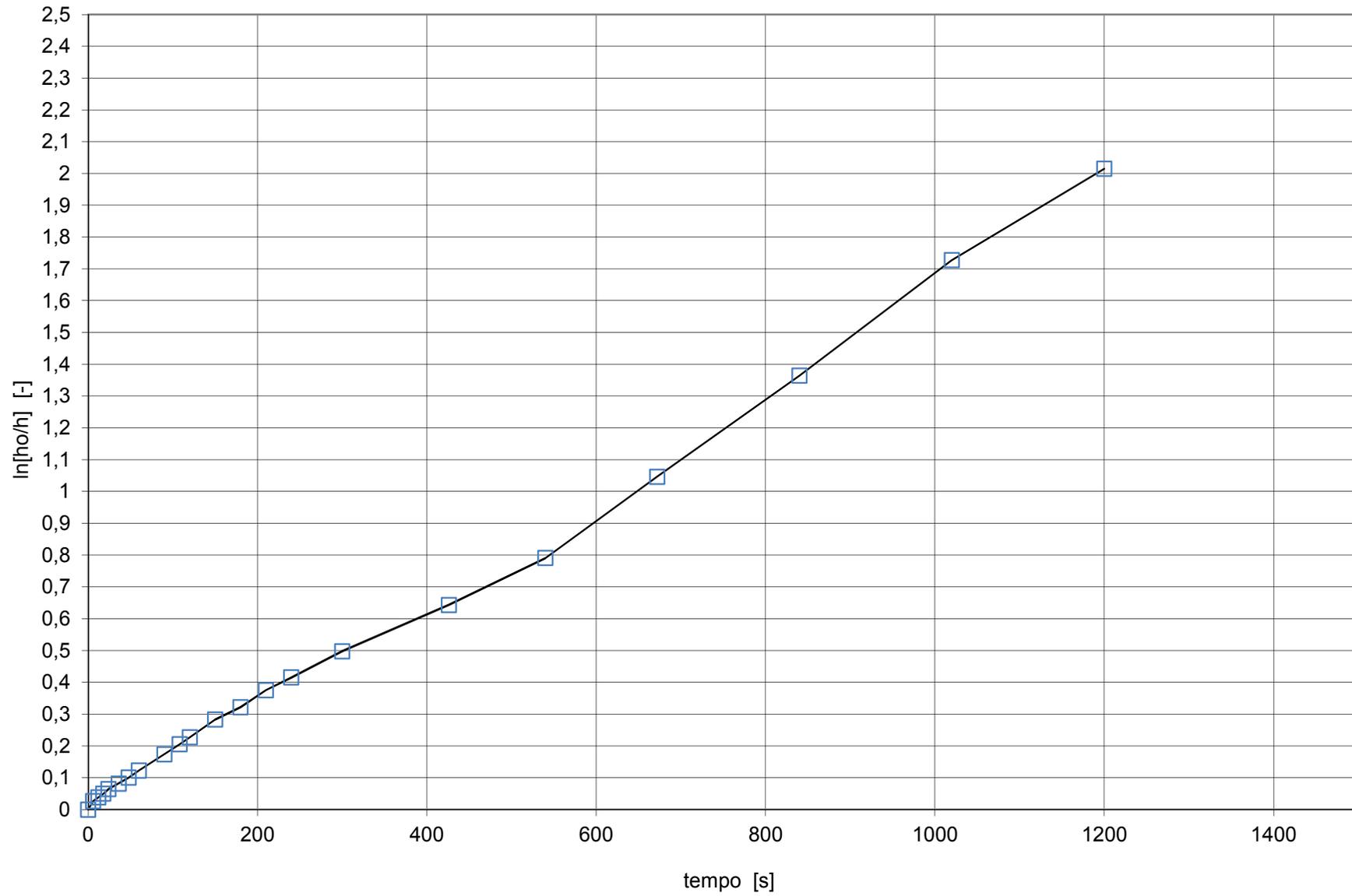
Metodo di interpretazione	B.4.1 - Velocity graph method
----------------------------------	-------------------------------

Letture		Elaborazioni			
Tempo [min.]	Profondità del livello dell'acqua nel foro [m]	Tempo [s]	Carico idraulico h [m]	ho/h [-]	ln[ho/h] [-]
	0,000	0	4,500	1,000	0,000
	0,120	6	4,380	1,027	0,027
	0,170	12	4,330	1,039	0,039
	0,220	18	4,280	1,051	0,050
	0,280	24	4,220	1,066	0,064
	0,355	36	4,145	1,086	0,082
	0,430	48	4,070	1,106	0,100
	0,520	60	3,980	1,131	0,123
	0,720	90	3,780	1,190	0,174
	0,835	108	3,665	1,228	0,205
	0,915	120	3,585	1,255	0,227
	1,110	150	3,390	1,327	0,283
	1,240	180	3,260	1,380	0,322
	1,410	210	3,090	1,456	0,376
	1,530	240	2,970	1,515	0,416
	1,765	300	2,735	1,645	0,498
	2,135	426	2,365	1,903	0,643
	2,460	540	2,040	2,206	0,791
	2,920	672	1,580	2,848	1,047
	3,350	840	1,150	3,913	1,364
	3,700	1020	0,800	5,625	1,727
	3,900	1200	0,600	7,500	2,015

Coefficiente angolare α	[-]	1,46E-03
--	-----	----------

Coefficiente di conducibilità idraulica k	[m/s]	1,22E-05
--	-------	----------

Prova di permeabilità Lefranc
a carico variabile
OC3S3 LF1



PROVA DI PERMEABILITA' LEFRANC A CARICO COSTANTE - UNI EN ISO 22282-2:2012
 (per immissione di acqua in foro di sondaggio)

Committente	SPEA ENGINEERING S.p.A.
Commessa	A14 Bologna-Diramazione Ravenna, ampliamento alla quarta corsia
Località	-
Data	04/11/2017

Sondaggio n°	OC3S3
Prova di permeabilità n°	LF2
Profondità da p.c.	13,50

Geometria della cavità	4	Filtro cilindrico in terreno uniforme
-------------------------------	---	---------------------------------------

Diametro del tratto di prova	D	[m]	0,127
Lunghezza del tratto di prova	L	[m]	0,50
Rapporto di forma	L/D	[-]	3,94

Coefficiente di forma	F	[m]	1,511
-----------------------	---	-----	-------

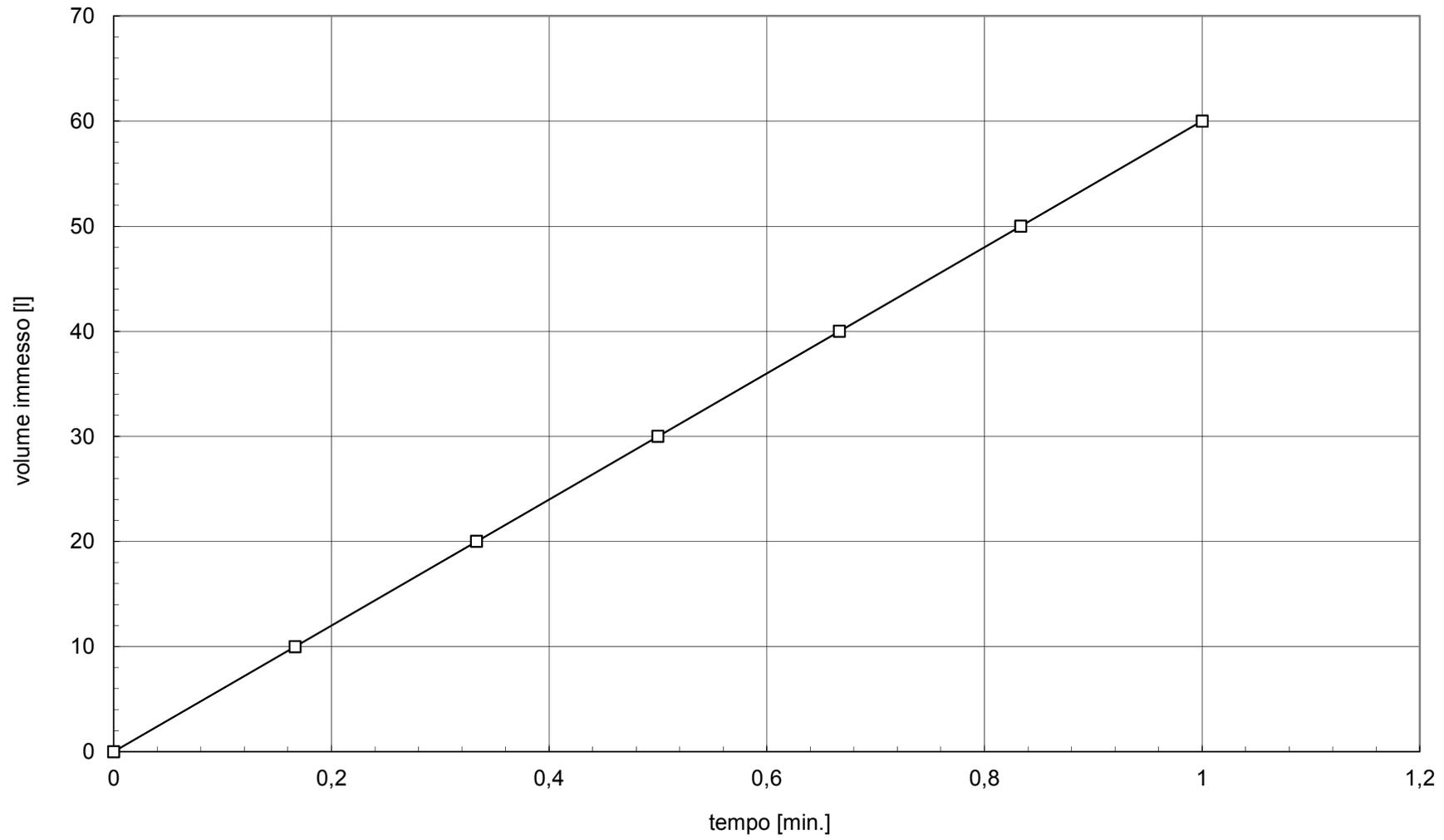
Altezza della colonna del rivestimento rispetto a p.c. (livello di riferimento)	h_r	[m]	0,00
Dislivello tra livello piezometrico e livello di riferimento	z_r	[m]	0,00
Profondità del livello piezometrico da p.c.	z_w	[m]	0,00

Profondità del livello dell'acqua nel foro rispetto al livello di riferimento	z	[m]	10,75
Carico piezometrico (costante)	h	[m]	10,75

Tempo inizio prova (ora e minuti)	-
-----------------------------------	---

Letture		Elaborazioni					
Tempo	Volume immesso	Tempo	Volume immesso		Portata specifica	Coefficiente di permeabilità K	
[min.]	[l]	[s]	[l]	[m ³]	[m ³ /s]	[m/s]	[cm/s]
0	0	0	0	0,000			
0,17	10,0	10,0	10,00	0,010	1,00E-03	6,16E-05	6,16E-03
0,33	20,0	20,0	20,00	0,020	1,00E-03	6,16E-05	6,16E-03
0,50	30,0	30,0	30,00	0,030	1,00E-03	6,16E-05	6,16E-03
0,67	40,0	40,0	40,00	0,040	1,00E-03	6,16E-05	6,16E-03
0,83	50,0	50,0	50,00	0,050	1,00E-03	6,16E-05	6,16E-03
1,00	60,0	60,0	60,00	0,060	1,00E-03	6,16E-05	6,16E-03
						6,16E-05	6,16E-03

**Prova di permeabilità Lefranc
a carico costante
OC3S3 LF2**



PROVA DI PERMEABILITA' LEFRANC A CARICO VARIABILE - UNI EN ISO 22282-2:2012
(per immissione di acqua in foro di sondaggio)

Committente	SPEA ENGINEERING S.p.A.
Commessa	A14 Bologna-Diramazione Ravenna, ampliamento alla quarta corsia
Località	-
Data	04/11/2017

Sondaggio n°	OC6-S1
Prova di permeabilità n°	LF1
Profondità da p.c.	12

Geometria della cavità	4	Filtro cilindrico in terreno uniforme
-------------------------------	---	---------------------------------------

Diametro del tratto di prova	D [m]	0,127
Lunghezza del tratto di prova	L [m]	0,50
Rapporto di forma	L/D [-]	3,94

Coefficiente di forma	F [m]	1,511
------------------------------	-------	-------

Area della sezione di prova	A [m ²]	0,013
------------------------------------	---------------------	-------

Altezza della colonna del rivestimento rispetto a p.c. (livello di riferimento)	h_r [m]	0,00
Dislivello tra livello piezometrico e livello di riferimento	z_r [m]	7,65
Profondità del livello piezometrico da p.c.	z_w [m]	7,650

Profondità del livello dell'acqua nel foro rispetto al livello di riferimento, a inizio prova	z [m]	0,000
Carico idraulico a inizio prova	h_o [m]	7,650

Tempo inizio prova (ora e minuti)	
--	--

Metodo di interpretazione	B.4.1 - Velocity graph method
----------------------------------	-------------------------------

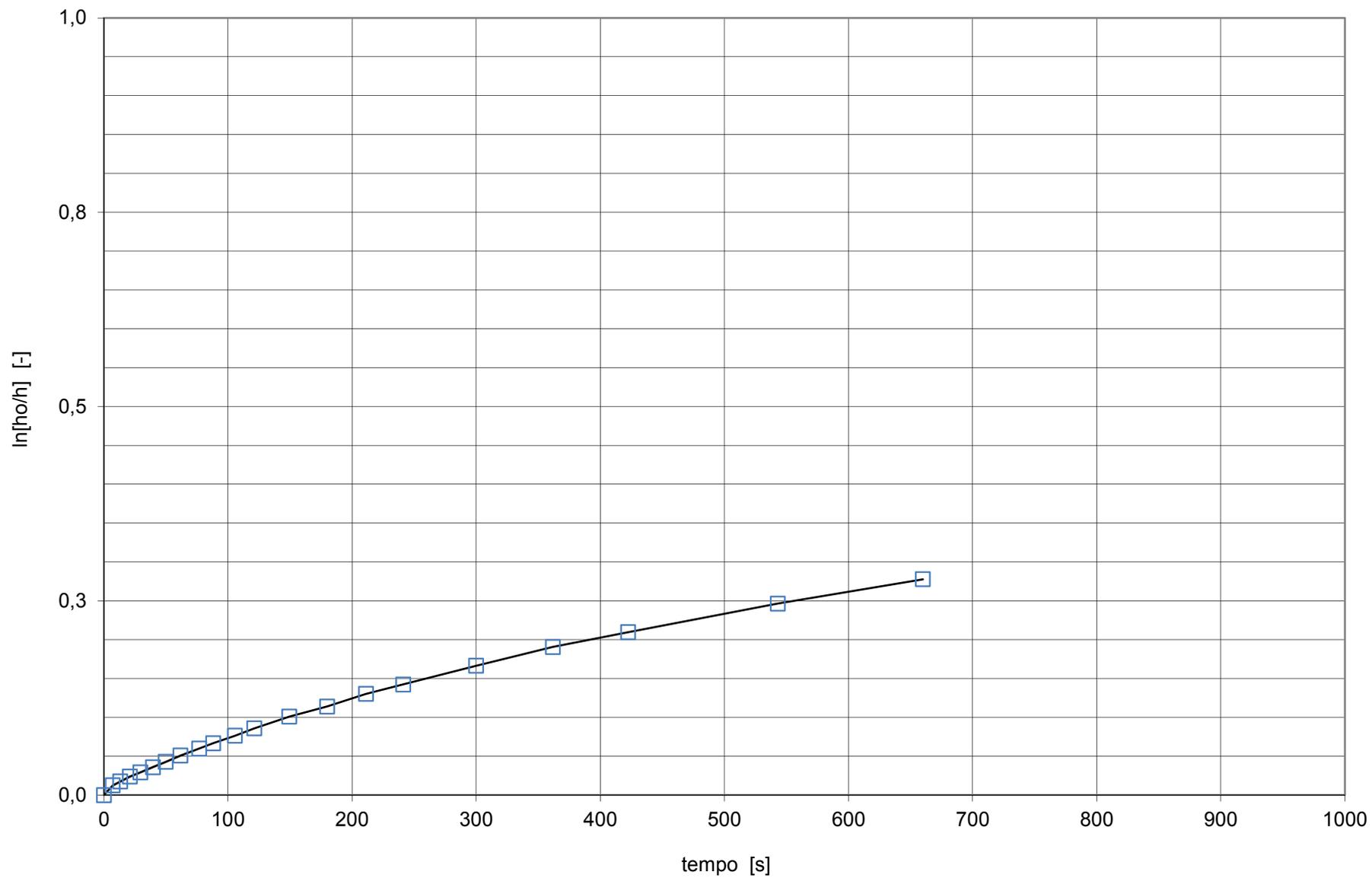
Letture		Elaborazioni			hst	5,786
Tempo [min.]	Profondità del livello dell'acqua nel foro [m]	Tempo [s]	Carico idraulico h [m]	ho/h [-]	ln[ho/h] [-]	ln[(ho+hst)/(h-hst)] [-]
	0,000	0	7,650	1,000	0,000	
	0,095	7	7,555	1,013	0,012	2,027
	0,133	13	7,517	1,018	0,018	2,049
	0,180	21	7,470	1,024	0,024	2,077
	0,220	29	7,430	1,030	0,029	2,101
	0,270	40	7,380	1,037	0,036	2,132
	0,320	50	7,330	1,044	0,043	2,163
	0,380	62	7,270	1,052	0,051	2,203
	0,445	77	7,205	1,062	0,060	2,248
	0,495	88	7,155	1,069	0,067	2,284
	0,563	106	7,087	1,079	0,076	2,335
	0,630	121	7,020	1,090	0,086	2,388
	0,735	149	6,915	1,106	0,101	2,476
	0,825	180	6,825	1,121	0,114	2,560
	0,935	211	6,715	1,139	0,130	2,671
	1,015	241	6,635	1,153	0,142	2,761
	1,173	300	6,477	1,181	0,166	2,967
	1,328	362	6,322	1,210	0,191	3,221
	1,447	422	6,203	1,233	0,210	3,472
	1,670	543	5,980	1,279	0,246	4,237
	1,855	660	5,795	1,320	0,278	7,293

Coefficiente angolare α	[-]	3,43E-03
--	-----	----------

Coefficiente di conducibilità idraulica k	[m/s]	2,88E-05
--	-------	----------

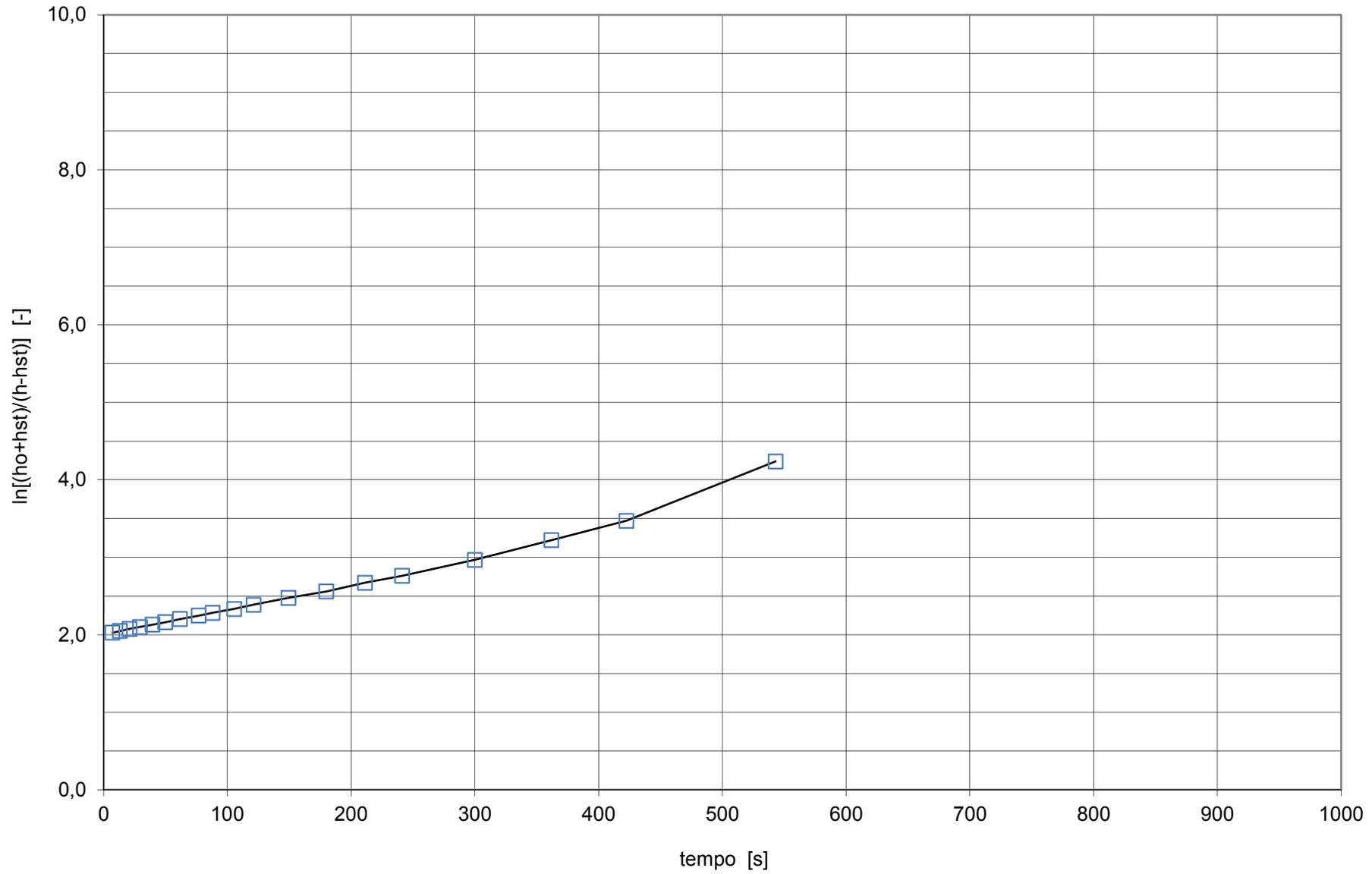
Prova di permeabilità Lefranc
a carico variabile

OC6-S1 LF1



Prova di permeabilità Lefranc
a carico variabile

OC6-S1 LF1_corretto



PROVA DI PERMEABILITA' LEFRANC A CARICO VARIABILE - UNI EN ISO 22282-2:2012
(per immissione di acqua in foro di sondaggio)

Committente	SPEA ENGINEERING S.p.A.
Commessa	A14 Bologna-Diramazione Ravenna, ampliamento alla quarta corsia
Località	-
Data	04/11/2017

Sondaggio n°	SA2
Prova di permeabilità n°	LF1
Profondità da p.c.	6,5

Geometria della cavità	4	Filtro cilindrico in terreno uniforme
-------------------------------	---	---------------------------------------

Diametro del tratto di prova	D [m]	0,127
Lunghezza del tratto di prova	L [m]	0,50
Rapporto di forma	L/D [-]	3,94

Coefficiente di forma	F [m]	1,511
------------------------------	-------	-------

Area della sezione di prova	A [m ²]	0,013
------------------------------------	---------------------	-------

Altezza della colonna del rivestimento rispetto a p.c. (livello di riferimento)	h_r [m]	0,20
Dislivello tra livello piezometrico e livello di riferimento	z_r [m]	9,60
Profondità del livello piezometrico da p.c.	z_w [m]	9,400

Profondità del livello dell'acqua nel foro rispetto al livello di riferimento, a inizio prova	z [m]	0,000
Carico idraulico a inizio prova	h_o [m]	6,700

Tempo inizio prova (ora e minuti)	
--	--

Metodo di interpretazione	B.4.1 - Velocity graph method
----------------------------------	-------------------------------

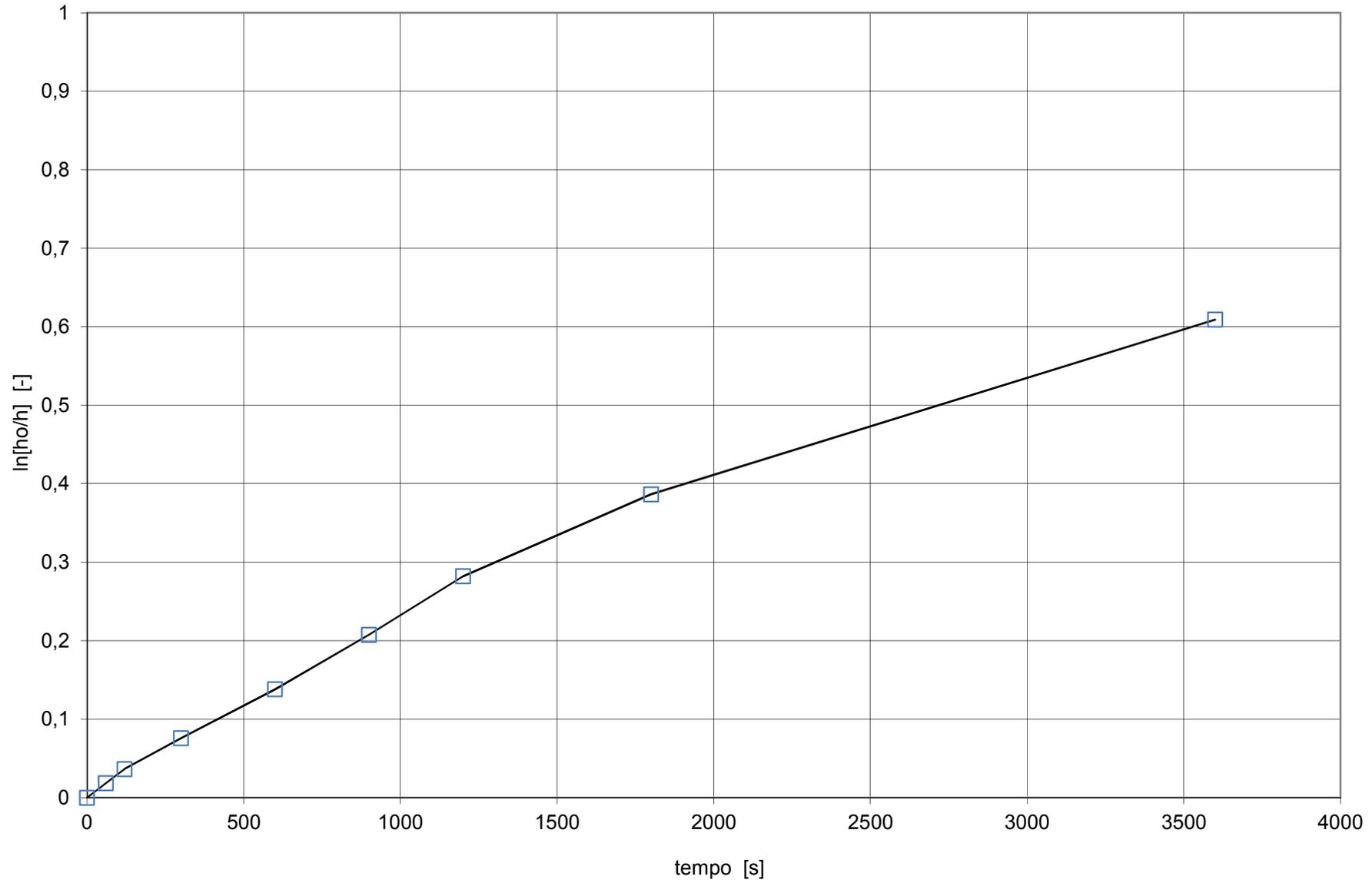
Letture		Elaborazioni			
Tempo [min.]	Profondità del livello dell'acqua nel foro [m]	Tempo [s]	Carico idraulico h [m]	ho/h [-]	ln[ho/h] [-]
	0,000	0	6,700	1,000	0,000
	0,123	60	6,577	1,019	0,019
	0,241	120	6,459	1,037	0,037
	0,489	300	6,211	1,079	0,076
	0,865	600	5,835	1,148	0,138
	1,256	900	5,444	1,231	0,208
	1,647	1200	5,053	1,326	0,282
	2,148	1800	4,552	1,472	0,387
	3,056	3600	3,644	1,839	0,609

Coefficiente angolare α	[-]	2,26E-04
--	-----	----------

Coefficiente di conducibilità idraulica k	[m/s]	1,89E-06
--	-------	----------

Prova di permeabilità Lefranc
a carico variabile

SA2 LF1



PROVA DI PERMEABILITA' LEFRANC A CARICO VARIABILE - UNI EN ISO 22282-2:2012
(per immissione di acqua in foro di sondaggio)

Committente	SPEA ENGINEERING S.p.A.
Commessa	A14 Bologna-Diramazione Ravenna, ampliamento alla quarta corsia
Località	-
Data	04/11/2017

Sondaggio n°	SA2
Prova di permeabilità n°	LF2
Profondità da p.c.	15,8

Geometria della cavità	4	Filtro cilindrico in terreno uniforme
-------------------------------	---	---------------------------------------

Diametro del tratto di prova	D [m]	0,127
Lunghezza del tratto di prova	L [m]	0,80
Rapporto di forma	L/D [-]	6,30

Coefficiente di forma	F [m]	1,979
------------------------------	-------	-------

Area della sezione di prova	A [m ²]	0,013
------------------------------------	---------------------	-------

Altezza della colonna del rivestimento rispetto a p.c. (livello di riferimento)	h_r [m]	0,20
Dislivello tra livello piezometrico e livello di riferimento	z_r [m]	9,60
Profondità del livello piezometrico da p.c.	z_w [m]	9,400

Profondità del livello dell'acqua nel foro rispetto al livello di riferimento, a inizio prova	z [m]	0,000
Carico idraulico a inizio prova	h_o [m]	9,600

Tempo inizio prova (ora e minuti)	
--	--

Metodo di interpretazione	B.4.1 - Velocity graph method
----------------------------------	-------------------------------

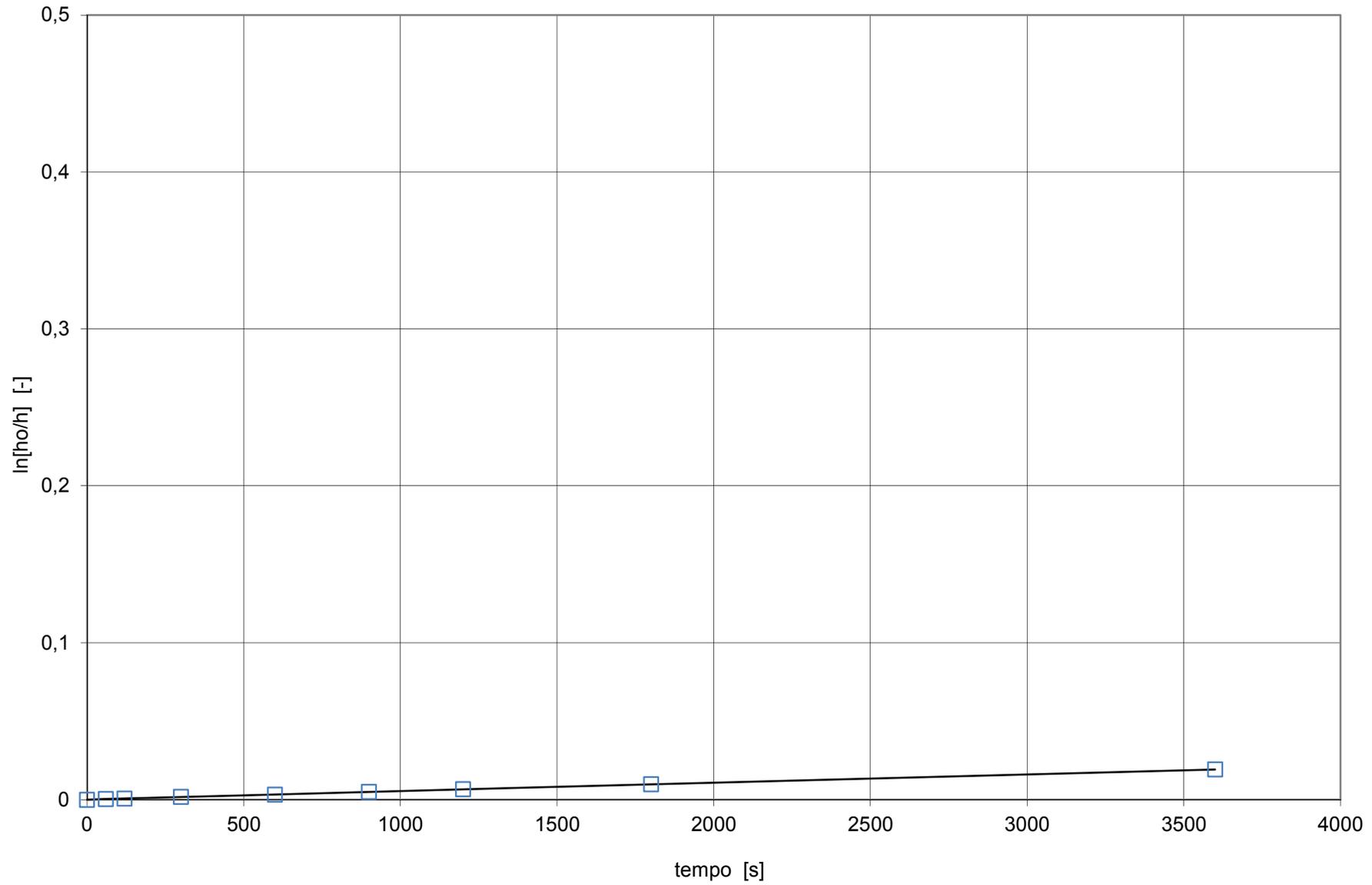
Letture		Elaborazioni			
Tempo [min.]	Profondità del livello dell'acqua nel foro [m]	Tempo [s]	Carico idraulico h [m]	ho/h [-]	ln[ho/h] [-]
	0,000	0	9,600	1,000	0,000
	0,005	60	9,595	1,001	0,001
	0,008	120	9,592	1,001	0,001
	0,018	300	9,582	1,002	0,002
	0,032	600	9,568	1,003	0,003
	0,048	900	9,552	1,005	0,005
	0,064	1200	9,536	1,007	0,007
	0,094	1800	9,506	1,010	0,010
	0,184	3600	9,416	1,020	0,019

Coefficiente angolare α	[-]	5,38E-06
--	-----	----------

Coefficiente di conducibilità idraulica k	[m/s]	3,44E-08
--	-------	----------

Prova di permeabilità Lefranc
a carico variabile

SA2 LF2



PROVA DI PERMEABILITA' LEFRANC A CARICO VARIABILE - UNI EN ISO 22282-2:2012
(per immissione di acqua in foro di sondaggio)

Committente	SPEA ENGINEERING S.p.A.
Commessa	A14 Bologna-Diramazione Ravenna, ampliamento alla quarta corsia
Località	-
Data	04/11/2017

Sondaggio n°	SA3
Prova di permeabilità n°	LF1
Profondità da p.c.	12

Geometria della cavità	4	Filtro cilindrico in terreno uniforme
-------------------------------	---	---------------------------------------

Diametro del tratto di prova	D [m]	0,127
Lunghezza del tratto di prova	L [m]	0,80
Rapporto di forma	L/D [-]	6,30

Coefficiente di forma	F [m]	1,979
------------------------------	-------	-------

Area della sezione di prova	A [m ²]	0,013
------------------------------------	---------------------	-------

Altezza della colonna del rivestimento rispetto a p.c. (livello di riferimento)	h_r [m]	0,00
Dislivello tra livello piezometrico e livello di riferimento	z_r [m]	7,55
Profondità del livello piezometrico da p.c.	z_w [m]	7,550

Profondità del livello dell'acqua nel foro rispetto al livello di riferimento, a inizio prova	z [m]	0,000
Carico idraulico a inizio prova	h_o [m]	7,550

Tempo inizio prova (ora e minuti)	
--	--

Metodo di interpretazione	B.4.1 - Velocity graph method
----------------------------------	-------------------------------

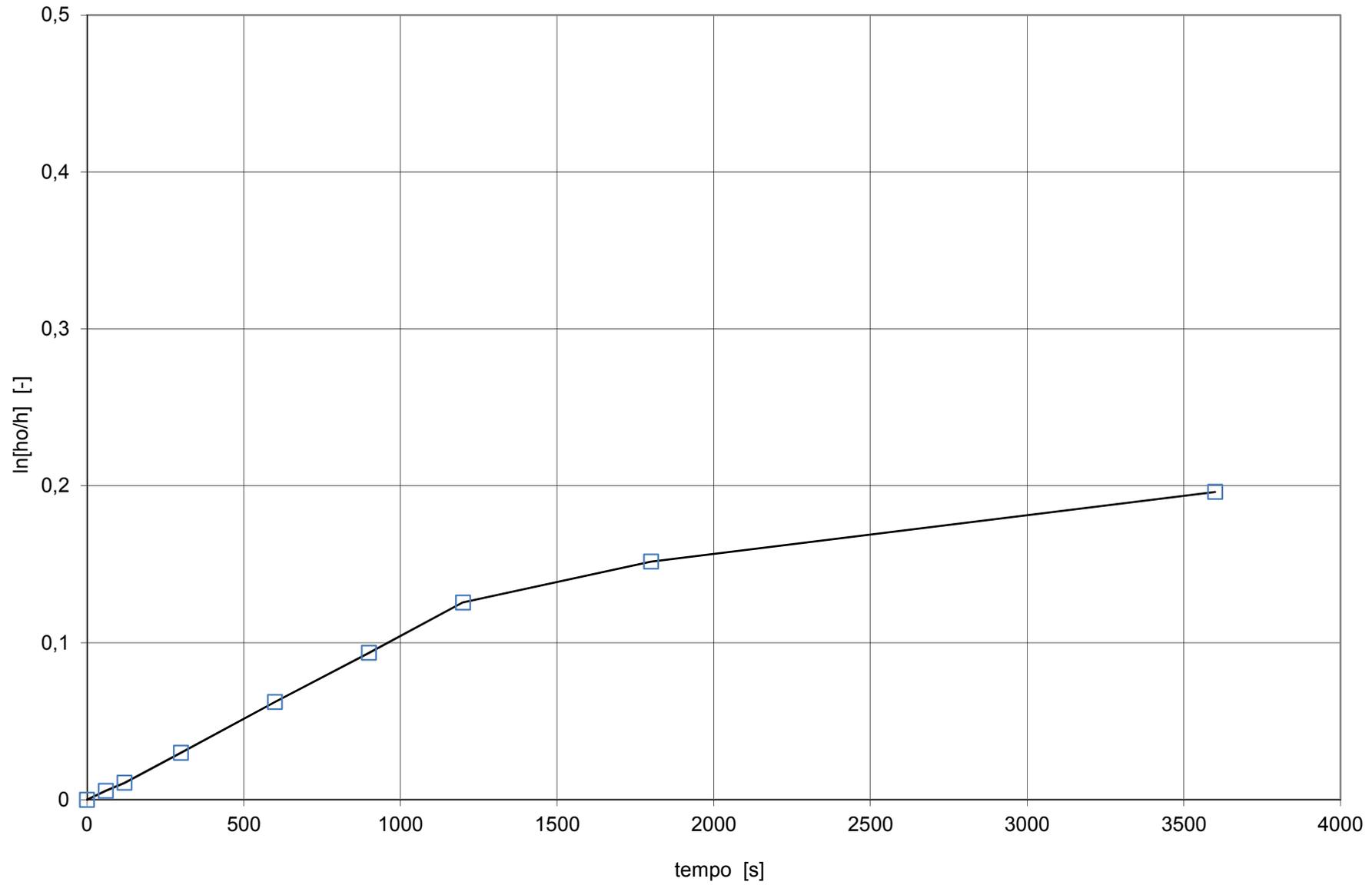
Letture		Elaborazioni			
Tempo [min.]	Profondità del livello dell'acqua nel foro [m]	Tempo [s]	Carico idraulico h [m]	ho/h [-]	ln[ho/h] [-]
	0,000	0	7,550	1,000	0,000
	0,043	60	7,507	1,006	0,006
	0,081	120	7,469	1,011	0,011
	0,223	300	7,327	1,030	0,030
	0,456	600	7,094	1,064	0,062
	0,675	900	6,875	1,098	0,094
	0,892	1200	6,658	1,134	0,126
	1,063	1800	6,487	1,164	0,152
	1,345	3600	6,205	1,217	0,196

Coefficiente angolare α	[-]	1,06E-04
--	-----	----------

Coefficiente di conducibilità idraulica k	[m/s]	6,81E-07
--	-------	----------

Prova di permeabilità Lefranc
a carico variabile

SA3 LF1



PROVA DI PERMEABILITA' LEFRANC A CARICO COSTANTE - UNI EN ISO 22282-2:2012
 (per immissione di acqua in foro di sondaggio)

Committente	SPEA ENGINEERING S.p.A.
Commessa	A14 Bologna-Diramazione Ravenna, ampliamento alla quarta corsia
Località	-
Data	04/11/2017

Sondaggio n°	SB2
Prova di permeabilità n°	LF1
Profondità da p.c.	15,00

Geometria della cavità	4	Filtro cilindrico in terreno uniforme
-------------------------------	---	---------------------------------------

Diametro del tratto di prova	D	[m]	0,101
Lunghezza del tratto di prova	L	[m]	1,00
Rapporto di forma	L/D	[-]	9,90

Coefficiente di forma	F	[m]	2,103
-----------------------	---	-----	-------

Altezza della colonna del rivestimento rispetto a p.c. (livello di riferimento)	h_r	[m]	0,00
Dislivello tra livello piezometrico e livello di riferimento	z_r	[m]	0,00
Profondità del livello piezometrico da p.c.	z_w	[m]	0,00

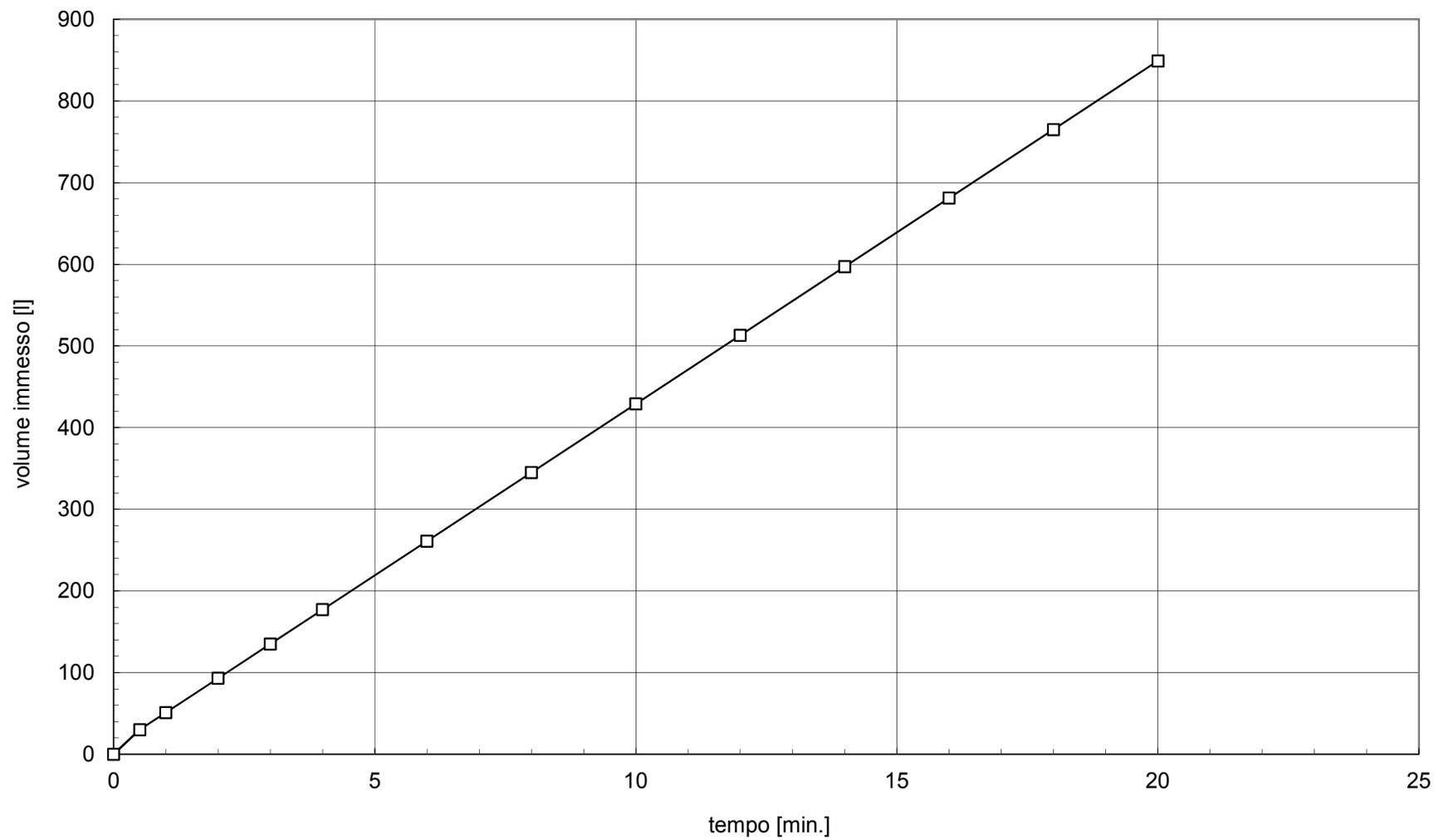
Profondità del livello dell'acqua nel foro rispetto al livello di riferimento	z	[m]	7,45
Carico piezometrico (costante)	h	[m]	7,45

Tempo inizio prova (ora e minuti)	-
-----------------------------------	---

Letture		Elaborazioni					
Tempo	Volume immesso	Tempo	Volume immesso		Portata specifica	Coefficiente di permeabilità K	
[min.]	[l]	[s]	[l]	[m ³]	[m ³ /s]	[m/s]	[cm/s]
0	0	0	0	0,000			
0,50	30,0	30,0	30,00	0,030	1,00E-03	6,38E-05	6,38E-03
1,00	51,0	60,0	51,00	0,051	7,00E-04	4,47E-05	4,47E-03
2,00	93,0	120,0	93,00	0,093	7,00E-04	4,47E-05	4,47E-03
3,00	135,0	180,0	135,00	0,135	7,00E-04	4,47E-05	4,47E-03
4,00	177,0	240,0	177,00	0,177	7,00E-04	4,47E-05	4,47E-03
6,00	261,0	360,0	261,00	0,261	7,00E-04	4,47E-05	4,47E-03
8,00	345,0	480,0	345,00	0,345	7,00E-04	4,47E-05	4,47E-03
10,00	429,0	600,0	429,00	0,429	7,00E-04	4,47E-05	4,47E-03
12,00	513,0	720,0	513,00	0,513	7,00E-04	4,47E-05	4,47E-03
14,00	597,0	840,0	597,00	0,597	7,00E-04	4,47E-05	4,47E-03
16,00	681,0	960,0	681,00	0,681	7,00E-04	4,47E-05	4,47E-03
18,00	765,0	1080,0	765,00	0,765	7,00E-04	4,47E-05	4,47E-03
20,00	849,0	1200,0	849,00	0,849	7,00E-04	4,47E-05	4,47E-03
						4,62E-05	4,62E-03

**Prova di permeabilità Lefranc L1
a carico costante**

SB2 LF1



PROVA DI PERMEABILITA' LEFRANC A CARICO VARIABILE - UNI EN ISO 22282-2:2012
(per immissione di acqua in foro di sondaggio)

Committente	SPEA ENGINEERING S.p.A.
Commessa	A14 Bologna-Diramazione Ravenna, ampliamento alla quarta corsia
Località	-
Data	04/11/2017

Sondaggio n°	SB-2
Prova di permeabilità n°	LF2
Profondità da p.c.	19,5

Geometria della cavità	4	Filtro cilindrico in terreno uniforme
-------------------------------	---	---------------------------------------

Diametro del tratto di prova	D [m]	0,101
Lunghezza del tratto di prova	L [m]	1,00
Rapporto di forma	L/D [-]	9,90

Coefficiente di forma	F [m]	2,103
------------------------------	-------	-------

Area della sezione di prova	A [m ²]	0,008
------------------------------------	---------------------	-------

Altezza della colonna del rivestimento rispetto a p.c. (livello di riferimento)	h_r [m]	0,00
Dislivello tra livello piezometrico e livello di riferimento	z_r [m]	8,65
Profondità del livello piezometrico da p.c.	z_w [m]	8,650

Profondità del livello dell'acqua nel foro rispetto al livello di riferimento, a inizio prova	z [m]	0,000
Carico idraulico a inizio prova	h_o [m]	8,650

Tempo inizio prova (ora e minuti)	
--	--

Metodo di interpretazione	B.4.1 - Velocity graph method
----------------------------------	-------------------------------

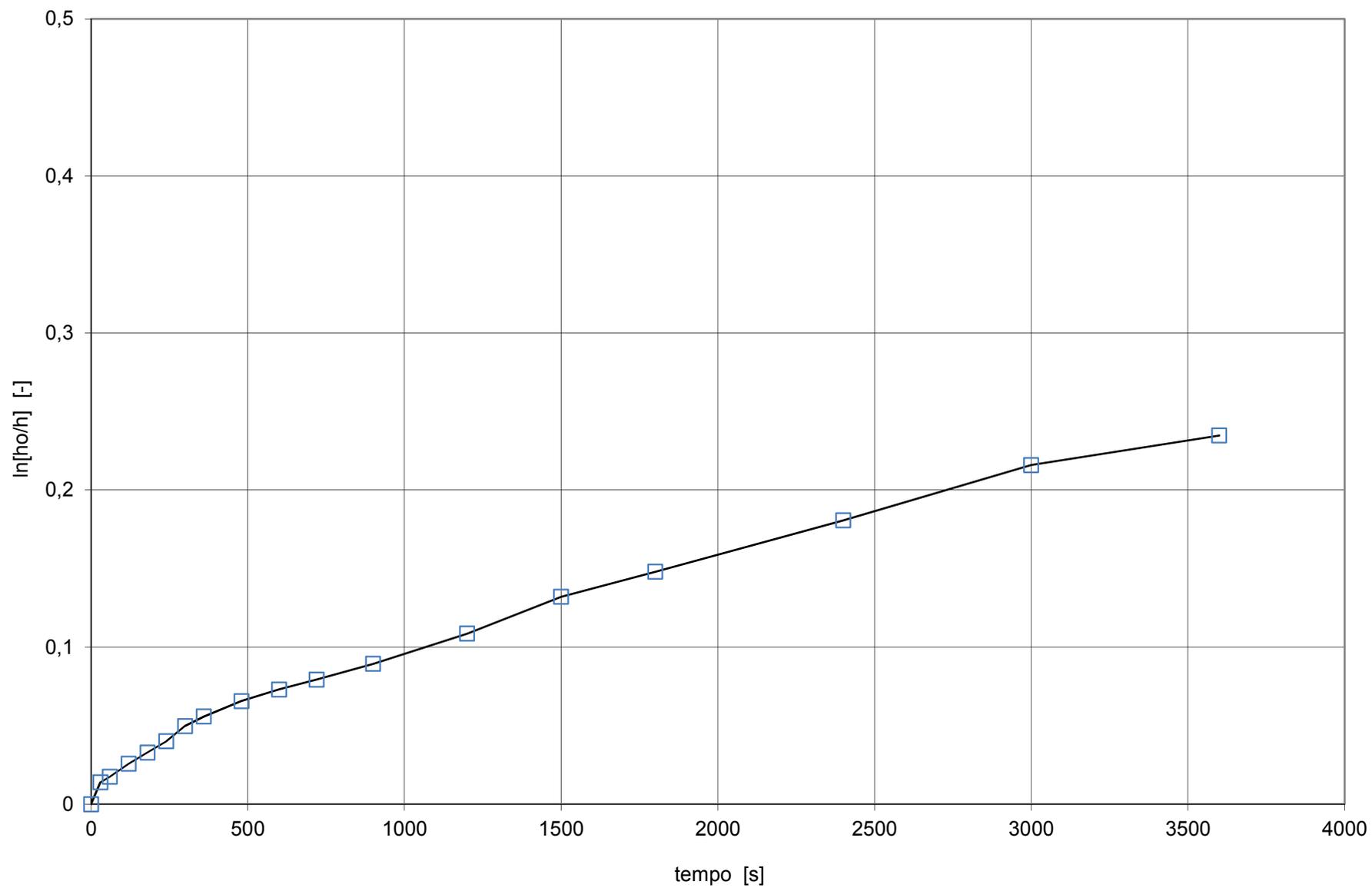
Letture		Elaborazioni			
Tempo [min.]	Profondità del livello dell'acqua nel foro [m]	Tempo [s]	Carico idraulico h [m]	ho/h [-]	ln[ho/h] [-]
	0,000	0	8,650	1,000	0,000
	0,120	30	8,530	1,014	0,014
	0,150	60	8,500	1,018	0,017
	0,220	120	8,430	1,026	0,026
	0,280	180	8,370	1,033	0,033
	0,340	240	8,310	1,041	0,040
	0,420	300	8,230	1,051	0,050
	0,470	360	8,180	1,057	0,056
	0,550	480	8,100	1,068	0,066
	0,610	600	8,040	1,076	0,073
	0,660	720	7,990	1,083	0,079
	0,740	900	7,910	1,094	0,089
	0,890	1200	7,760	1,115	0,109
	1,070	1500	7,580	1,141	0,132
	1,190	1800	7,460	1,160	0,148
	1,430	2400	7,220	1,198	0,181
	1,680	3000	6,970	1,241	0,216
	1,810	3600	6,840	1,265	0,235

Coefficiente angolare α	[-]	5,59E-05
--	-----	----------

Coefficiente di conducibilità idraulica k	[m/s]	2,13E-07
--	-------	----------

Prova di permeabilità Lefranc
a carico variabile

SB2 LF2



PROVA DI PERMEABILITA' LEFRANC A CARICO VARIABILE - UNI EN ISO 22282-2:2012
(per immissione di acqua in foro di sondaggio)

Committente	SPEA ENGINEERING S.p.A.
Commessa	A14 Bologna-Diramazione Ravenna, ampliamento alla quarta corsia
Località	-
Data	04/11/2017

Sondaggio n°	SB7
Prova di permeabilità n°	LF1
Profondità da p.c.	18

Geometria della cavità	4	Filtro cilindrico in terreno uniforme
-------------------------------	---	---------------------------------------

Diametro del tratto di prova	D [m]	0,101
Lunghezza del tratto di prova	L [m]	1,50
Rapporto di forma	L/D [-]	14,85

Coefficiente di forma	F [m]	2,779
------------------------------	-------	-------

Area della sezione di prova	A [m ²]	0,008
------------------------------------	---------------------	-------

Altezza della colonna del rivestimento rispetto a p.c. (livello di riferimento)	h_r [m]	0,00
Dislivello tra livello piezometrico e livello di riferimento	z_r [m]	3,50
Profondità del livello piezometrico da p.c.	z_w [m]	3,500

Profondità del livello dell'acqua nel foro rispetto al livello di riferimento, a inizio prova	z [m]	0,000
Carico idraulico a inizio prova	h_o [m]	3,500

Tempo inizio prova (ora e minuti)	
--	--

Metodo di interpretazione	B.4.1 - Velocity graph method
----------------------------------	-------------------------------

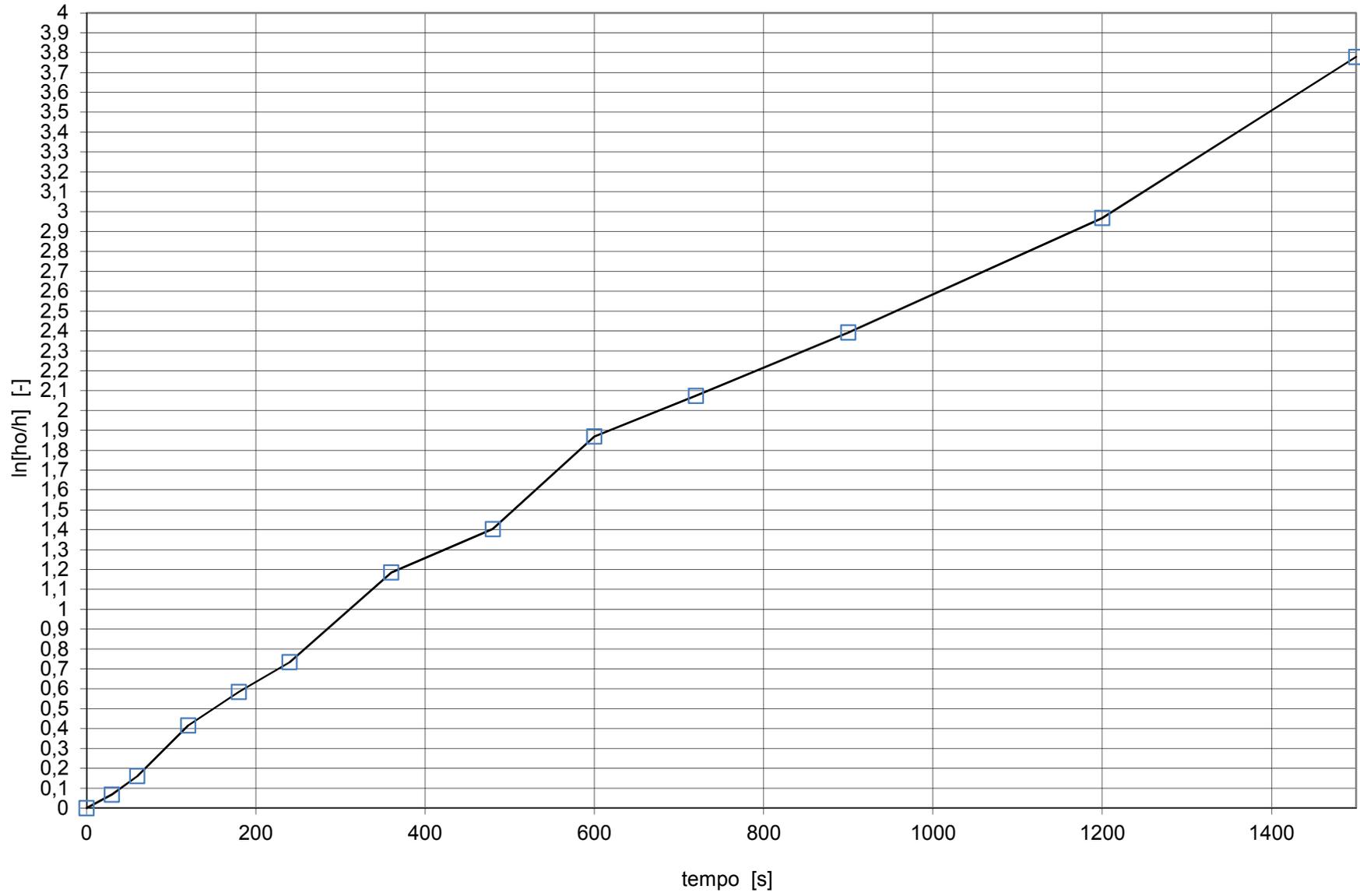
Letture		Elaborazioni			
Tempo [min.]	Profondità del livello dell'acqua nel foro [m]	Tempo [s]	Carico idraulico h [m]	ho/h [-]	ln[ho/h] [-]
	0,000	0	3,500	1,000	0,000
	0,230	30	3,270	1,070	0,068
	0,520	60	2,980	1,174	0,161
	1,190	120	2,310	1,515	0,416
	1,550	180	1,950	1,795	0,585
	1,820	240	1,680	2,083	0,734
	2,430	360	1,070	3,271	1,185
	2,640	480	0,860	4,070	1,404
	2,960	600	0,540	6,481	1,869
	3,060	720	0,440	7,955	2,074
	3,180	900	0,320	10,938	2,392
	3,320	1200	0,180	19,444	2,968
	3,420	1500	0,080	43,750	3,778

Coefficiente angolare α	[-]	2,47E-03
--	-----	----------

Coefficiente di conducibilità idraulica k	[m/s]	7,13E-06
--	-------	----------

Prova di permeabilità Lefranc a carico variabile

SB7 LF1



PROVA DI PERMEABILITA' LEFRANC A CARICO COSTANTE - UNI EN ISO 22282-2:2012
 (per immissione di acqua in foro di sondaggio)

Committente	SPEA ENGINEERING S.p.A.
Commessa	A14 Bologna-Diramazione Ravenna, ampliamento alla quarta corsia
Località	-
Data	04/11/2017

Sondaggio n°	SB8
Prova di permeabilità n°	LF1
Profondità da p.c.	13,00

Geometria della cavità	4	Filtro cilindrico in terreno uniforme
-------------------------------	---	---------------------------------------

Diametro del tratto di prova	D	[m]	0,101
Lunghezza del tratto di prova	L	[m]	1,00
Rapporto di forma	L/D	[-]	9,90

Coefficiente di forma	F	[m]	2,103
-----------------------	---	-----	-------

Altezza della colonna del rivestimento rispetto a p.c. (livello di riferimento)	h_r	[m]	0,00
Dislivello tra livello piezometrico e livello di riferimento	z_r	[m]	0,00
Profondità del livello piezometrico da p.c.	z_w	[m]	0,00

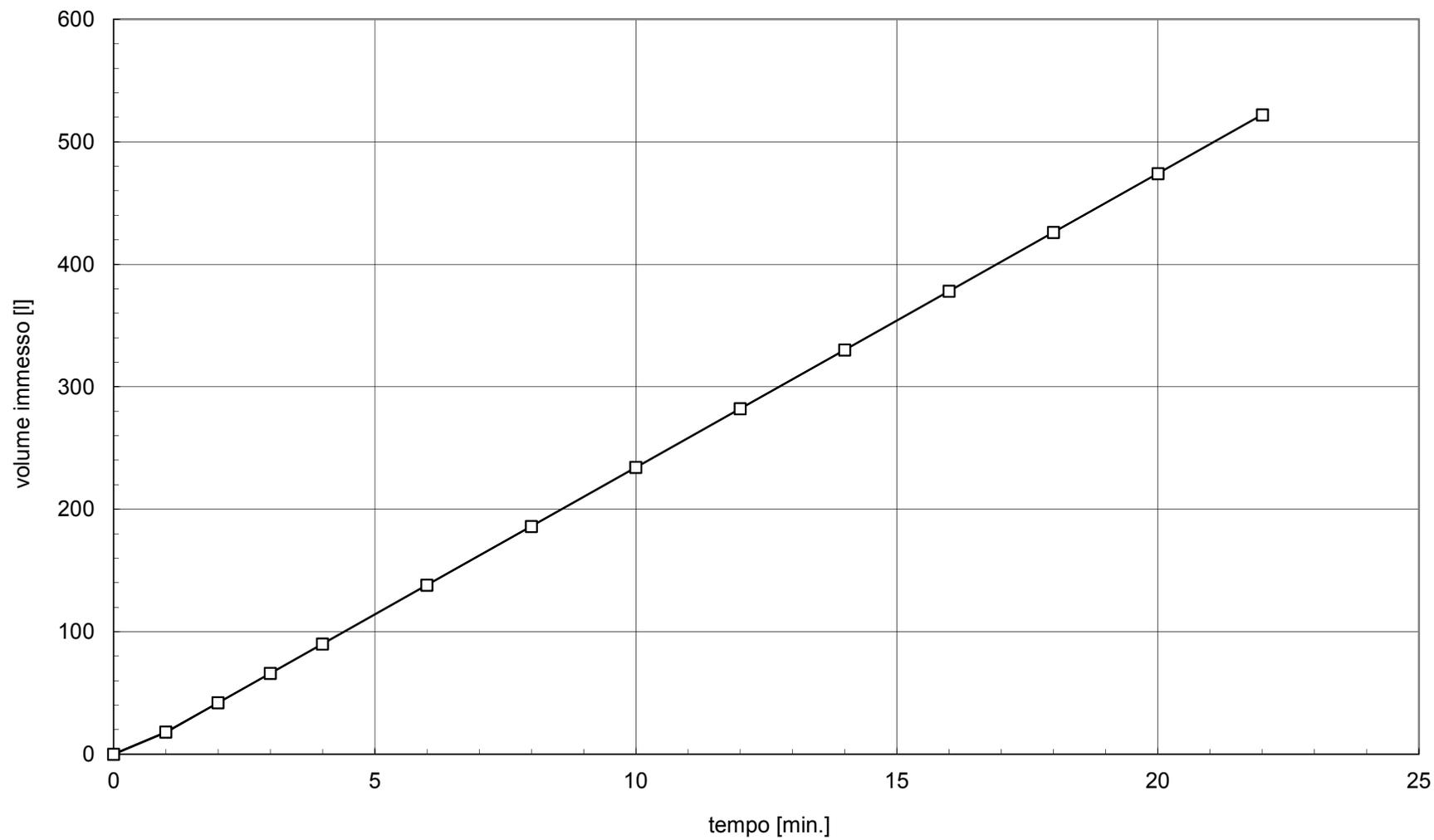
Profondità del livello dell'acqua nel foro rispetto al livello di riferimento	z	[m]	9,20
Carico piezometrico (costante)	h	[m]	9,20

Tempo inizio prova (ora e minuti)	-
-----------------------------------	---

Letture		Elaborazioni					
Tempo	Volume immesso	Tempo	Volume immesso		Portata specifica	Coefficiente di permeabilità K	
[min.]	[l]	[s]	[l]	[m ³]	[m ³ /s]	[m/s]	[cm/s]
0	0	0	0	0,000			
1,00	18,0	60,0	18,00	0,018	3,00E-04	1,55E-05	1,55E-03
2,00	42,0	120,0	42,00	0,042	4,00E-04	2,07E-05	2,07E-03
3,00	66,0	180,0	66,00	0,066	4,00E-04	2,07E-05	2,07E-03
4,00	90,0	240,0	90,00	0,090	4,00E-04	2,07E-05	2,07E-03
6,00	138,0	360,0	138,00	0,138	4,00E-04	2,07E-05	2,07E-03
8,00	186,0	480,0	186,00	0,186	4,00E-04	2,07E-05	2,07E-03
10,00	234,0	600,0	234,00	0,234	4,00E-04	2,07E-05	2,07E-03
12,00	282,0	720,0	282,00	0,282	4,00E-04	2,07E-05	2,07E-03
14,00	330,0	840,0	330,00	0,330	4,00E-04	2,07E-05	2,07E-03
16,00	378,0	960,0	378,00	0,378	4,00E-04	2,07E-05	2,07E-03
18,00	426,0	1080,0	426,00	0,426	4,00E-04	2,07E-05	2,07E-03
20,00	474,0	1200,0	474,00	0,474	4,00E-04	2,07E-05	2,07E-03
22,00	522,0	1320,0	522,00	0,522	4,00E-04	2,07E-05	2,07E-03
						2,03E-05	2,03E-03

**Prova di permeabilità Lefranc L1
a carico costante**

SB8 LF1



PROVA DI PERMEABILITA' LEFRANC A CARICO VARIABILE - UNI EN ISO 22282-2:2012
(per immissione di acqua in foro di sondaggio)

Committente	SPEA ENGINEERING S.p.A.
Commessa	A14 Bologna-Diramazione Ravenna, ampliamento alla quarta corsia
Località	-
Data	04/11/2017

Sondaggio n°	SB8
Prova di permeabilità n°	LF2
Profondità da p.c.	21,8

Geometria della cavità	4	Filtro cilindrico in terreno uniforme
-------------------------------	---	---------------------------------------

Diametro del tratto di prova	D [m]	0,101
Lunghezza del tratto di prova	L [m]	0,80
Rapporto di forma	L/D [-]	7,92

Coefficiente di forma	F [m]	1,817
------------------------------	-------	-------

Area della sezione di prova	A [m ²]	0,008
------------------------------------	---------------------	-------

Altezza della colonna del rivestimento rispetto a p.c. (livello di riferimento)	h_r [m]	0,00
Dislivello tra livello piezometrico e livello di riferimento	z_r [m]	8,70
Profondità del livello piezometrico da p.c.	z_w [m]	8,700

Profondità del livello dell'acqua nel foro rispetto al livello di riferimento, a inizio prova	z [m]	0,000
Carico idraulico a inizio prova	h_o [m]	8,700

Tempo inizio prova (ora e minuti)	
--	--

Metodo di interpretazione	B.4.1 - Velocity graph method
----------------------------------	-------------------------------

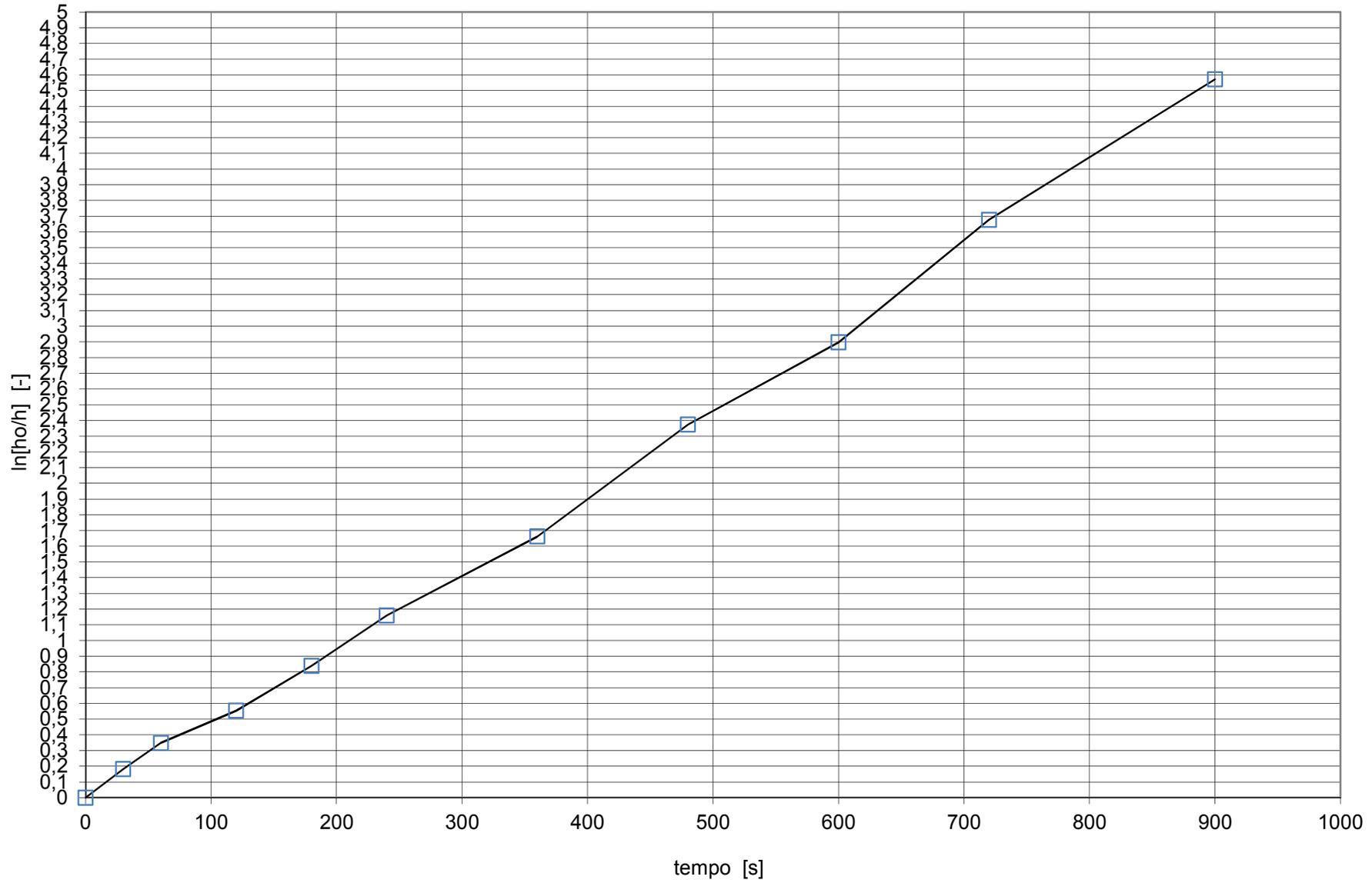
Letture		Elaborazioni			
Tempo [min.]	Profondità del livello dell'acqua nel foro [m]	Tempo [s]	Carico idraulico h [m]	ho/h [-]	ln[ho/h] [-]
	0,000	0	8,700	1,000	0,000
	1,450	30	7,250	1,200	0,182
	2,560	60	6,140	1,417	0,348
	3,700	120	5,000	1,740	0,554
	4,940	180	3,760	2,314	0,839
	5,970	240	2,730	3,187	1,159
	7,050	360	1,650	5,273	1,663
	7,890	480	0,810	10,741	2,374
	8,220	600	0,480	18,125	2,897
	8,480	720	0,220	39,545	3,677
	8,610	900	0,090	96,667	4,571

Coefficiente angolare α	[-]	5,05E-03
--	-----	----------

Coefficiente di conducibilità idraulica k	[m/s]	2,23E-05
--	-------	----------

Prova di permeabilità Lefranc
a carico variabile

SB8 LF2



PROVA DI PERMEABILITA' LEFRANC A CARICO VARIABILE - UNI EN ISO 22282-2:2012
(per immissione di acqua in foro di sondaggio)

Committente	SPEA ENGINEERING S.p.A.
Commessa	A14 Bologna-Diramazione Ravenna, ampliamento alla quarta corsia
Località	-
Data	04/11/2017

Sondaggio n°	SB10
Prova di permeabilità n°	LF1
Profondità da p.c.	9

Geometria della cavità	2	Fondo filtrante piano in terreno uniforme
-------------------------------	---	---

Diametro del tratto di prova	D [m]	0,101 0,00
Rapporto di forma	L/D [-]	0,00

Coefficiente di forma	F [m]	0,278
------------------------------	-------	-------

Area della sezione di prova	A [m ²]	0,008
------------------------------------	---------------------	-------

Altezza della colonna del rivestimento rispetto a p.c. (livello di riferimento)	h_r [m]	0,00
Dislivello tra livello piezometrico e livello di riferimento	z_r [m]	2,40
Profondità del livello piezometrico da p.c.	z_w [m]	2,400

Profondità del livello dell'acqua nel foro rispetto al livello di riferimento, a inizio prova	z [m]	0,000
Carico idraulico a inizio prova	h_o [m]	2,400

Tempo inizio prova (ora e minuti)	
--	--

Metodo di interpretazione	B.4.1 - Velocity graph method
----------------------------------	-------------------------------

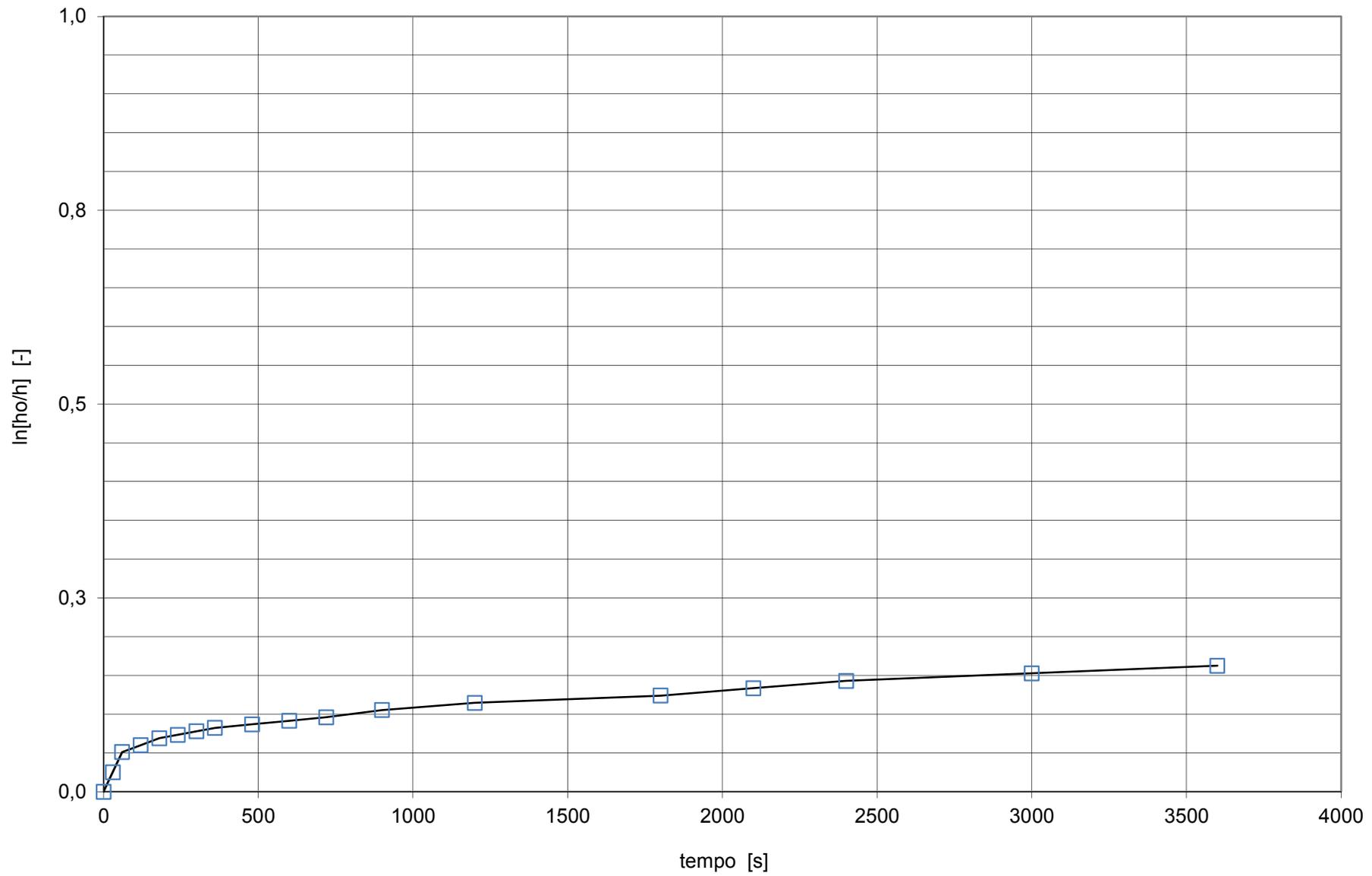
Lecture		Elaborazioni			hst	1,613
Tempo [min.]	Profondità del livello dell'acqua nel foro [m]	Tempo [s]	Carico idraulico h [m]	ho/h [-]	ln[ho/h] [-]	ln[(ho+hst)/(h-hst)] [-]
	0,000	0	2,400	1,000	0,000	
	0,060	30	2,340	1,026	0,025	1,708
	0,120	60	2,280	1,053	0,051	1,794
	0,140	120	2,260	1,062	0,060	1,824
	0,160	180	2,240	1,071	0,069	1,856
	0,170	240	2,230	1,076	0,073	1,872
	0,180	300	2,220	1,081	0,078	1,888
	0,190	360	2,210	1,086	0,082	1,905
	0,200	480	2,200	1,091	0,087	1,922
	0,210	600	2,190	1,096	0,092	1,939
	0,220	720	2,180	1,101	0,096	1,956
	0,240	900	2,160	1,111	0,105	1,992
	0,260	1200	2,140	1,121	0,115	2,029
	0,280	1800	2,120	1,132	0,124	2,068
	0,300	2100	2,100	1,143	0,134	2,108
	0,320	2400	2,080	1,154	0,143	2,150
	0,340	3000	2,060	1,165	0,153	2,194
	0,360	3600	2,040	1,176	0,163	2,240

Coefficiente angolare α	[-]	1,09E-04
--	-----	----------

Coefficiente di conducibilità idraulica k	[m/s]	3,14E-06
--	-------	----------

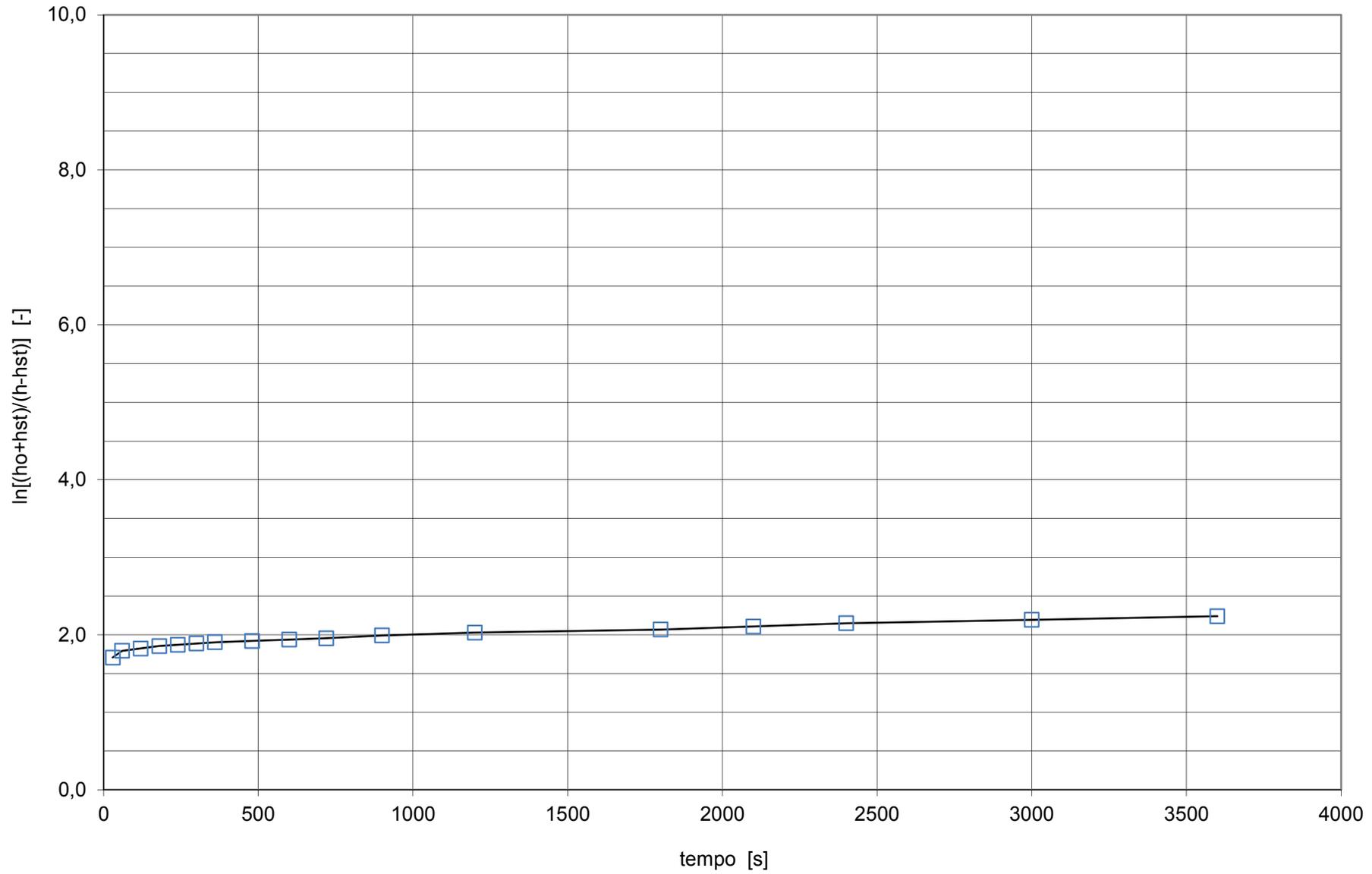
Prova di permeabilità Lefranc
a carico variabile

SB10 LF1



Prova di permeabilità Lefranc
a carico variabile

SB10 LF1_corretto



PROVA DI PERMEABILITA' LEFRANC A CARICO COSTANTE - UNI EN ISO 22282-2:2012
 (per immissione di acqua in foro di sondaggio)

Committente	SPEA ENGINEERING S.p.A.
Commessa	A14 Bologna-Diramazione Ravenna, ampliamento alla quarta corsia
Località	-
Data	04/11/2017

Sondaggio n°	SB10
Prova di permeabilità n°	LF2
Profondità da p.c.	22,00

Geometria della cavità	4	Filtro cilindrico in terreno uniforme
-------------------------------	---	---------------------------------------

Diametro del tratto di prova	D	[m]	0,101
Lunghezza del tratto di prova	L	[m]	1,00
Rapporto di forma	L/D	[-]	9,90

Coefficiente di forma	F	[m]	2,103
-----------------------	---	-----	-------

Altezza della colonna del rivestimento rispetto a p.c. (livello di riferimento)	h_r	[m]	0,00
Dislivello tra livello piezometrico e livello di riferimento	z_r	[m]	0,00
Profondità del livello piezometrico da p.c.	z_w	[m]	0,00

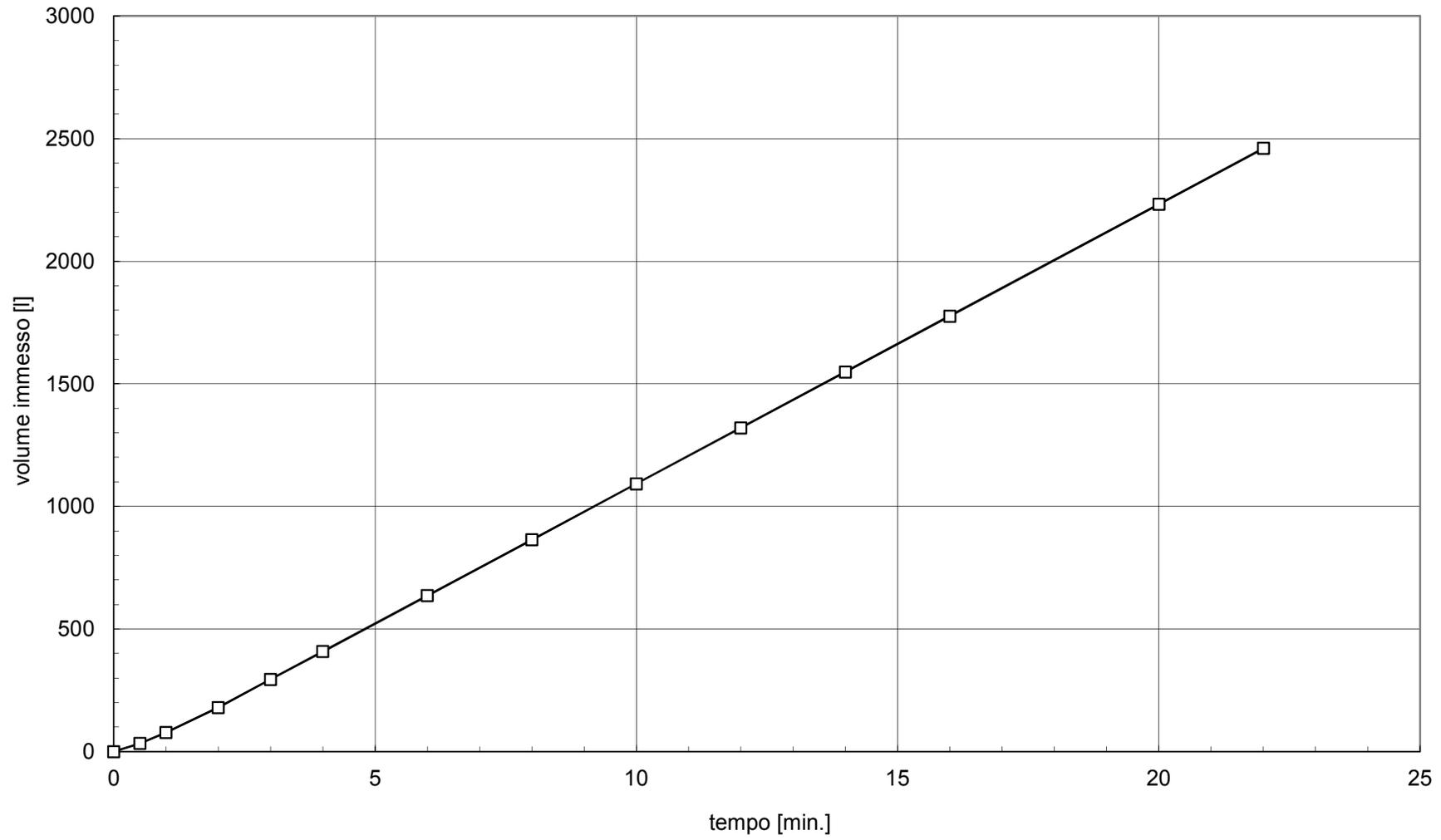
Profondità del livello dell'acqua nel foro rispetto al livello di riferimento	z	[m]	15,78
Carico piezometrico (costante)	h	[m]	15,78

Tempo inizio prova (ora e minuti)	-
-----------------------------------	---

Lecture		Elaborazioni					
Tempo	Volume immesso	Tempo	Volume immesso		Portata specifica	Coefficiente di permeabilità K	
[min.]	[l]	[s]	[l]	[m ³]	[m ³ /s]	[m/s]	[cm/s]
0	0	0	0	0,000			
0,50	33,0	30,0	33,00	0,033	1,10E-03	3,32E-05	3,32E-03
1,00	78,0	60,0	78,00	0,078	1,50E-03	4,52E-05	4,52E-03
2,00	180,0	120,0	180,00	0,180	1,70E-03	5,12E-05	5,12E-03
3,00	294,0	180,0	294,00	0,294	1,90E-03	5,73E-05	5,73E-03
4,00	408,0	240,0	408,00	0,408	1,90E-03	5,73E-05	5,73E-03
6,00	636,0	360,0	636,00	0,636	1,90E-03	5,73E-05	5,73E-03
8,00	864,0	480,0	864,00	0,864	1,90E-03	5,73E-05	5,73E-03
10,00	1092,0	600,0	1092,00	1,092	1,90E-03	5,73E-05	5,73E-03
12,00	1320,0	720,0	1320,00	1,320	1,90E-03	5,73E-05	5,73E-03
14,00	1548,0	840,0	1548,00	1,548	1,90E-03	5,73E-05	5,73E-03
16,00	1776,0	960,0	1776,00	1,776	1,90E-03	5,73E-05	5,73E-03
20,00	2232,0	1200,0	2232,00	2,232	1,90E-03	5,73E-05	5,73E-03
22,00	2460,0	1320,0	2460,00	2,460	1,90E-03	5,73E-05	5,73E-03
						5,40E-05	5,40E-03

**Prova di permeabilità Lefranc L1
a carico costante**

SB10 LF2



PROVA DI PERMEABILITA' LEFRANC A CARICO VARIABILE - UNI EN ISO 22282-2:2012
(per immissione di acqua in foro di sondaggio)

Committente	SPEA ENGINEERING S.p.A.
Commessa	A14 Bologna-Diramazione Ravenna, ampliamento alla quarta corsia
Località	-
Data	04/11/2017

Sondaggio n°	SB13
Prova di permeabilità n°	LF1
Profondità da p.c.	22

Geometria della cavità	4	Filtro cilindrico in terreno uniforme
-------------------------------	---	---------------------------------------

Diametro del tratto di prova	D [m]	0,101
Lunghezza del tratto di prova	L [m]	1,00
Rapporto di forma	L/D [-]	9,90

Coefficiente di forma	F [m]	2,103
------------------------------	-------	-------

Area della sezione di prova	A [m ²]	0,008
------------------------------------	---------------------	-------

Altezza della colonna del rivestimento rispetto a p.c. (livello di riferimento)	h _r [m]	0,00
Dislivello tra livello piezometrico e livello di riferimento	z _r [m]	18,21
Profondità del livello piezometrico da p.c.	z _w [m]	18,210

Profondità del livello dell'acqua nel foro rispetto al livello di riferimento, a inizio prova	z [m]	0,350
Carico idraulico a inizio prova	h _o [m]	18,560

Tempo inizio prova (ora e minuti)	
--	--

Metodo di interpretazione	B.4.1 - Velocity graph method
----------------------------------	-------------------------------

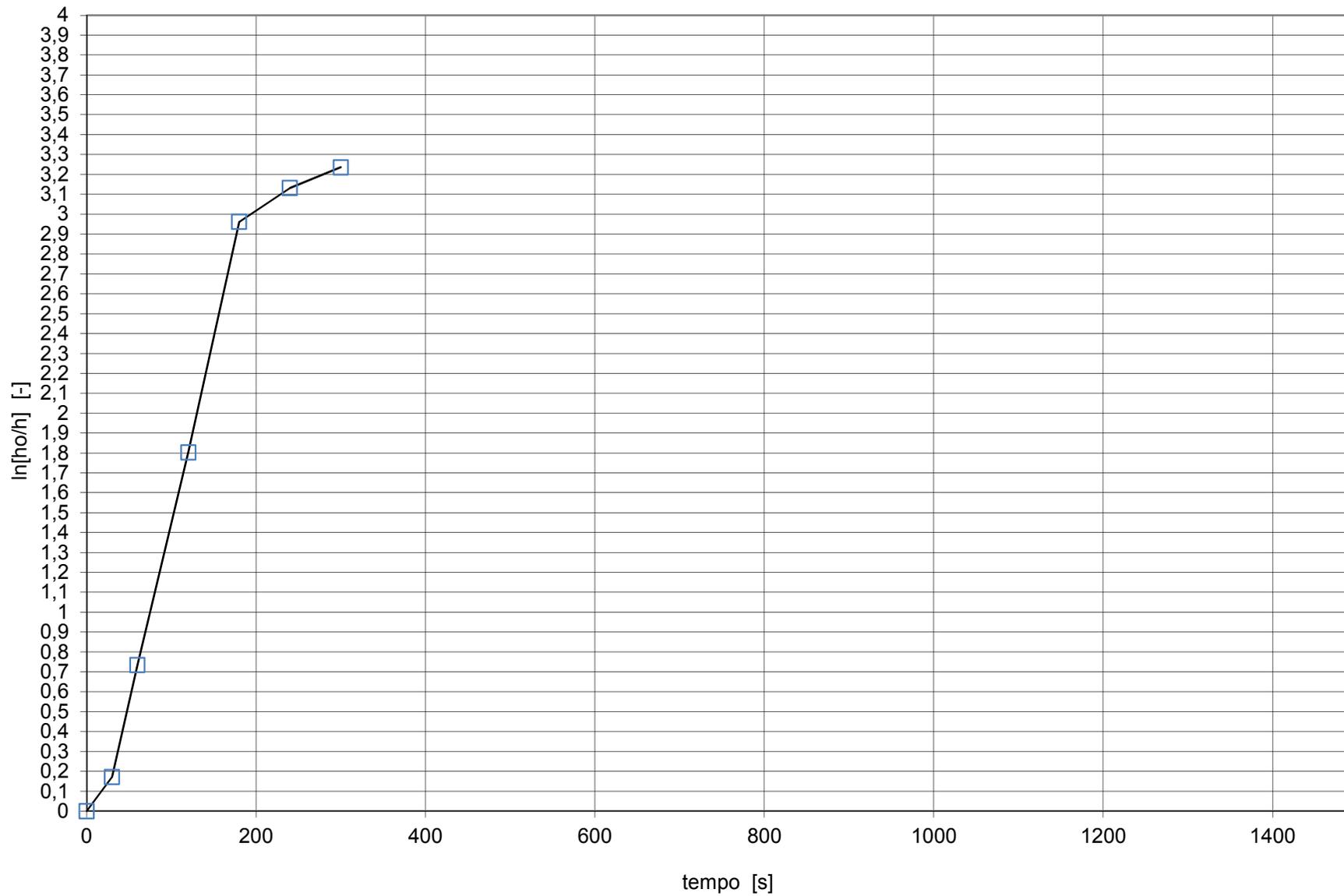
Letture		Elaborazioni			
Tempo [min.]	Profondità del livello dell'acqua nel foro [m]	Tempo [s]	Carico idraulico h [m]	ho/h [-]	ln[ho/h] [-]
	0,350	0	18,560	1,000	0,000
	2,930	30	15,630	1,187	0,172
	9,650	60	8,910	2,083	0,734
	15,500	120	3,060	6,065	1,803
	17,600	180	0,960	19,333	2,962
	17,750	240	0,810	22,914	3,132
	17,830	300	0,730	25,425	3,236

Coefficiente angolare α	[-]	1,85E-02
--------------------------------	-----	----------

Coefficiente di conducibilità idraulica k	[m/s]	7,06E-05
--	-------	----------

Prova di permeabilità Lefranc
a carico variabile

SB13 LF1



PROVA DI PERMEABILITA' LEFRANC A CARICO VARIABILE - UNI EN ISO 22282-2:2012
(per immissione di acqua in foro di sondaggio)

Committente	SPEA ENGINEERING S.p.A.
Commessa	A14 Bologna-Diramazione Ravenna, ampliamento alla quarta corsia
Località	-
Data	04/11/2017

Sondaggio n°	SB15
Prova di permeabilità n°	LF1
Profondità da p.c.	13

Geometria della cavità	4	Filtro cilindrico in terreno uniforme
-------------------------------	---	---------------------------------------

Diametro del tratto di prova	D [m]	0,101
Lunghezza del tratto di prova	L [m]	1,00
Rapporto di forma	L/D [-]	9,90

Coefficiente di forma	F [m]	2,103
------------------------------	-------	-------

Area della sezione di prova	A [m ²]	0,008
------------------------------------	---------------------	-------

Altezza della colonna del rivestimento rispetto a p.c. (livello di riferimento)	h_r [m]	0,00
Dislivello tra livello piezometrico e livello di riferimento	z_r [m]	10,20
Profondità del livello piezometrico da p.c.	z_w [m]	10,200

Profondità del livello dell'acqua nel foro rispetto al livello di riferimento, a inizio prova	z [m]	0,000
Carico idraulico a inizio prova	h_o [m]	10,200

Tempo inizio prova (ora e minuti)	
--	--

Metodo di interpretazione	B.4.1 - Velocity graph method
----------------------------------	-------------------------------

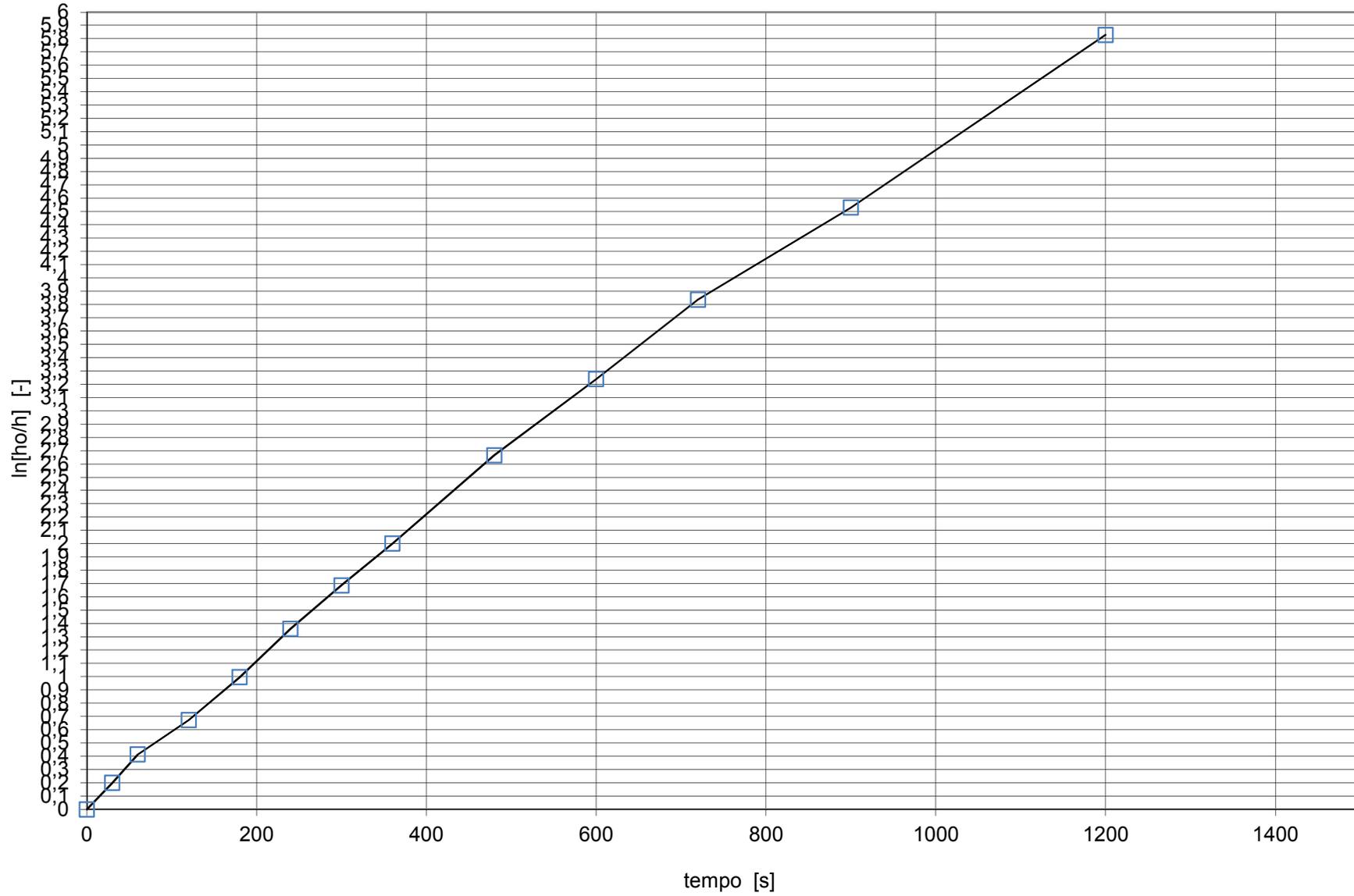
Letture		Elaborazioni			
Tempo [min.]	Profondità del livello dell'acqua nel foro [m]	Tempo [s]	Carico idraulico h [m]	ho/h [-]	ln[ho/h] [-]
	0,000	0	10,200	1,000	0,000
	1,850	30	8,350	1,222	0,200
	3,450	60	6,750	1,511	0,413
	4,990	120	5,210	1,958	0,672
	6,430	180	3,770	2,706	0,995
	7,580	240	2,620	3,893	1,359
	8,310	300	1,890	5,397	1,686
	8,820	360	1,380	7,391	2,000
	9,490	480	0,710	14,366	2,665
	9,800	600	0,400	25,500	3,239
	9,980	720	0,220	46,364	3,837
	10,090	900	0,110	92,727	4,530
	10,170	1200	0,030	340,000	5,829

Coefficiente angolare α	[-]	4,88E-03
--	-----	----------

Coefficiente di conducibilità idraulica k	[m/s]	1,86E-05
--	-------	----------

Prova di permeabilità Lefranc a carico variabile

SB15 LF1



PROVA DI PERMEABILITA' LEFRANC A CARICO VARIABILE - UNI EN ISO 22282-2:2012
(per immissione di acqua in foro di sondaggio)

Committente	SPEA ENGINEERING S.p.A.
Commessa	A14 Bologna-Diramazione Ravenna, ampliamento alla quarta corsia
Località	-
Data	04/11/2017

Sondaggio n°	SB15
Prova di permeabilità n°	LF2
Profondità da p.c.	22,5

Geometria della cavità	4	Filtro cilindrico in terreno uniforme
-------------------------------	---	---------------------------------------

Diametro del tratto di prova	D [m]	0,101
Lunghezza del tratto di prova	L [m]	1,50
Rapporto di forma	L/D [-]	14,85

Coefficiente di forma	F [m]	2,779
------------------------------	-------	-------

Area della sezione di prova	A [m ²]	0,008
------------------------------------	---------------------	-------

Altezza della colonna del rivestimento rispetto a p.c. (livello di riferimento)	h_r [m]	0,00
Dislivello tra livello piezometrico e livello di riferimento	z_r [m]	9,50
Profondità del livello piezometrico da p.c.	z_w [m]	9,500

Profondità del livello dell'acqua nel foro rispetto al livello di riferimento, a inizio prova	z [m]	0,000
Carico idraulico a inizio prova	h_o [m]	9,500

Tempo inizio prova (ora e minuti)	
--	--

Metodo di interpretazione	B.4.1 - Velocity graph method
----------------------------------	-------------------------------

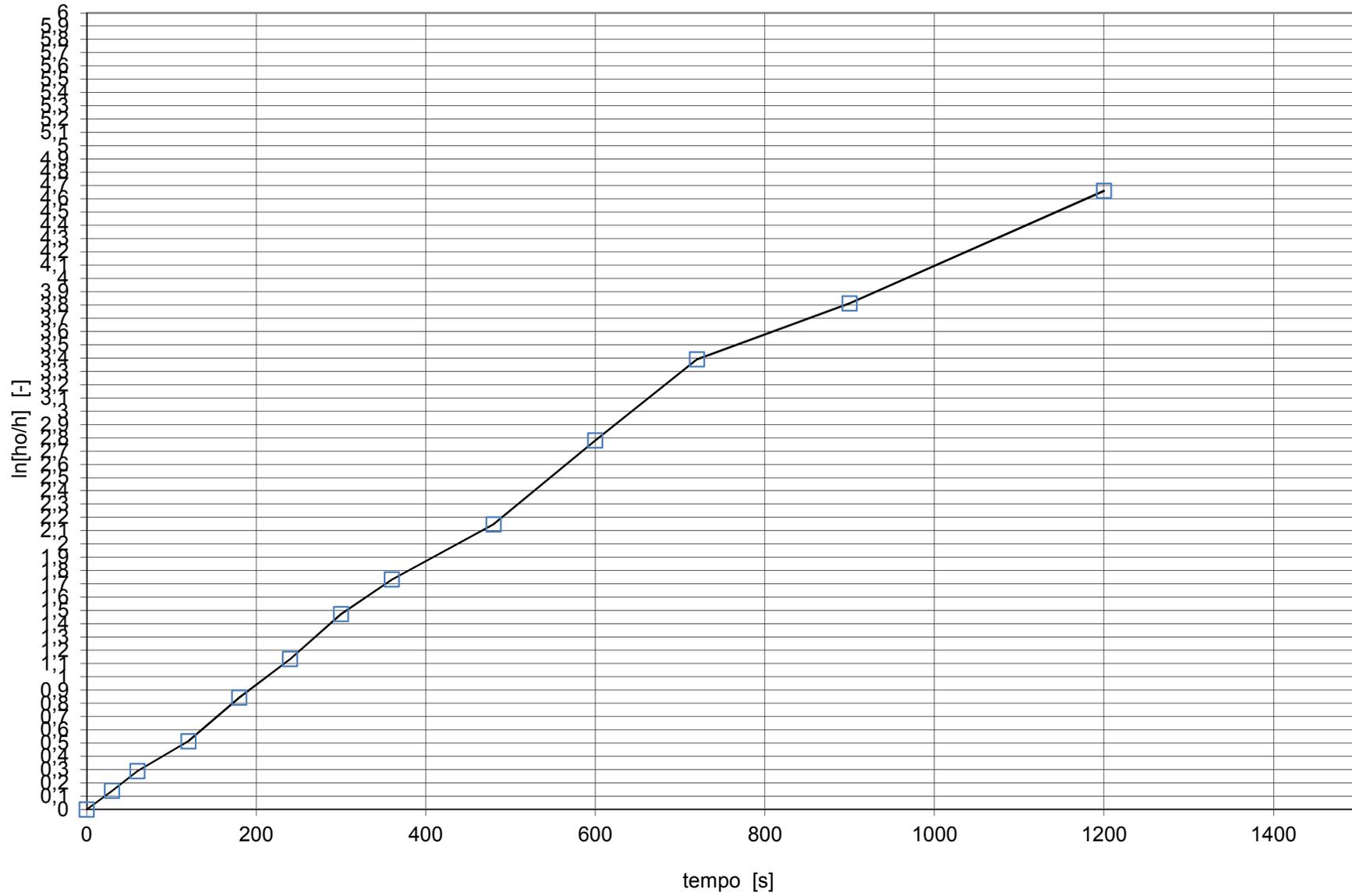
Letture		Elaborazioni			
Tempo [min.]	Profondità del livello dell'acqua nel foro [m]	Tempo [s]	Carico idraulico h [m]	ho/h [-]	ln[ho/h] [-]
	0,000	0	9,500	1,000	0,000
	1,250	30	8,250	1,152	0,141
	2,390	60	7,110	1,336	0,290
	3,820	120	5,680	1,673	0,514
	5,410	180	4,090	2,323	0,843
	6,440	240	3,060	3,105	1,133
	7,320	300	2,180	4,358	1,472
	7,820	360	1,680	5,655	1,732
	8,390	480	1,110	8,559	2,147
	8,910	600	0,590	16,102	2,779
	9,180	720	0,320	29,688	3,391
	9,290	900	0,210	45,238	3,812
	9,410	1200	0,090	105,556	4,659

Coefficiente angolare α	[-]	4,04E-03
--	-----	----------

Coefficiente di conducibilità idraulica k	[m/s]	1,16E-05
--	-------	----------

Prova di permeabilità Lefranc a carico variabile

SB15 LF2



PROVA DI PERMEABILITA' LEFRANC A CARICO VARIABILE - UNI EN ISO 22282-2:2012
(per immissione di acqua in foro di sondaggio)

Committente	SPEA ENGINEERING S.p.A.
Commessa	A14 Bologna-Diramazione Ravenna, ampliamento alla quarta corsia
Località	-
Data	04/11/2017

Sondaggio n°	SB16
Prova di permeabilità n°	LF1
Profondità da p.c.	13,3

Geometria della cavità	4	Filtro cilindrico in terreno uniforme
-------------------------------	---	---------------------------------------

Diametro del tratto di prova	D [m]	0,101
Lunghezza del tratto di prova	L [m]	1,30
Rapporto di forma	L/D [-]	12,87

Coefficiente di forma	F [m]	2,515
------------------------------	-------	-------

Area della sezione di prova	A [m ²]	0,008
------------------------------------	---------------------	-------

Altezza della colonna del rivestimento rispetto a p.c. (livello di riferimento)	h_r [m]	0,00
Dislivello tra livello piezometrico e livello di riferimento	z_r [m]	7,10
Profondità del livello piezometrico da p.c.	z_w [m]	7,100

Profondità del livello dell'acqua nel foro rispetto al livello di riferimento, a inizio prova	z [m]	0,000
Carico idraulico a inizio prova	h_o [m]	7,100

Tempo inizio prova (ora e minuti)	
--	--

Metodo di interpretazione	B.4.1 - Velocity graph method
----------------------------------	-------------------------------

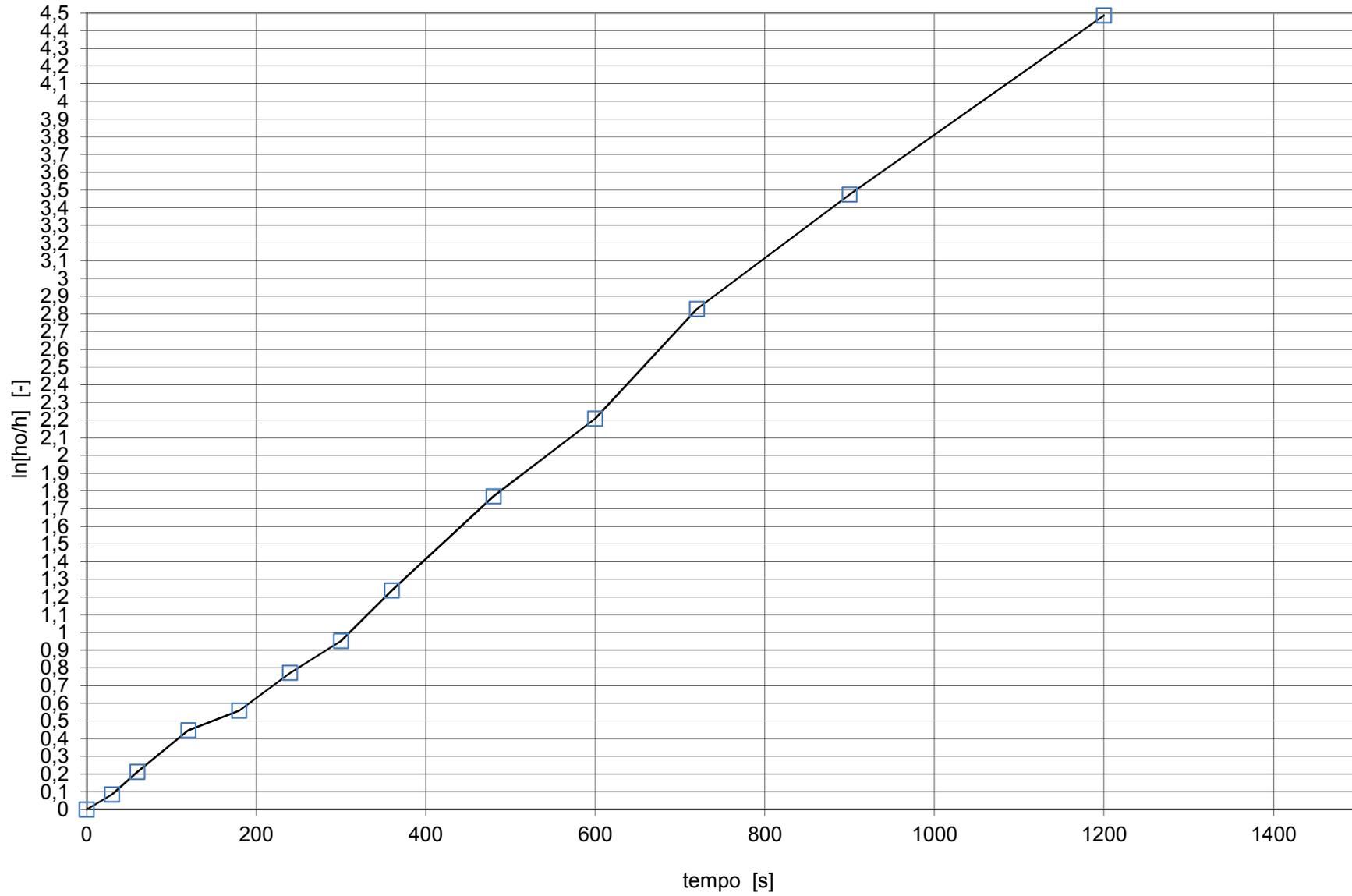
Letture		Elaborazioni			
Tempo [min.]	Profondità del livello dell'acqua nel foro [m]	Tempo [s]	Carico idraulico h [m]	ho/h [-]	ln[ho/h] [-]
	0,000	0	7,100	1,000	0,000
	0,580	30	6,520	1,089	0,085
	1,360	60	5,740	1,237	0,213
	2,560	120	4,540	1,564	0,447
	3,040	180	4,060	1,749	0,559
	3,820	240	3,280	2,165	0,772
	4,360	300	2,740	2,591	0,952
	5,040	360	2,060	3,447	1,237
	5,890	480	1,210	5,868	1,769
	6,320	600	0,780	9,103	2,209
	6,680	720	0,420	16,905	2,828
	6,880	900	0,220	32,273	3,474
	7,020	1200	0,080	88,750	4,486

Coefficiente angolare α	[-]	3,86E-03
--	-----	----------

Coefficiente di conducibilità idraulica k	[m/s]	1,23E-05
--	-------	----------

Prova di permeabilità Lefranc
a carico variabile

SB16 LF1



PROVA DI PERMEABILITA' LEFRANC A CARICO VARIABILE - UNI EN ISO 22282-2:2012
(per immissione di acqua in foro di sondaggio)

Committente	SPEA ENGINEERING S.p.A.
Commessa	A14 Bologna-Diramazione Ravenna, ampliamento alla quarta corsia
Località	-
Data	04/11/2017

Sondaggio n°	SB17
Prova di permeabilità n°	LF1
Profondità da p.c.	7,5

Geometria della cavità	4	Filtro cilindrico in terreno uniforme
-------------------------------	---	---------------------------------------

Diametro del tratto di prova	D [m]	0,101
Lunghezza del tratto di prova	L [m]	1,50
Rapporto di forma	L/D [-]	14,85

Coefficiente di forma	F [m]	2,779
------------------------------	-------	-------

Area della sezione di prova	A [m ²]	0,008
------------------------------------	---------------------	-------

Altezza della colonna del rivestimento rispetto a p.c. (livello di riferimento)	h_r [m]	0,00
Dislivello tra livello piezometrico e livello di riferimento	z_r [m]	4,20
Profondità del livello piezometrico da p.c.	z_w [m]	4,200

Profondità del livello dell'acqua nel foro rispetto al livello di riferimento, a inizio prova	z [m]	0,000
Carico idraulico a inizio prova	h_o [m]	4,200

Tempo inizio prova (ora e minuti)	
--	--

Metodo di interpretazione	B.4.1 - Velocity graph method
----------------------------------	-------------------------------

Letture		Elaborazioni			
Tempo [min.]	Profondità del livello dell'acqua nel foro [m]	Tempo [s]	Carico idraulico h [m]	ho/h [-]	ln[ho/h] [-]
	0,000	0	4,200	1,000	0,000
	0,320	30	3,880	1,082	0,079
	0,680	60	3,520	1,193	0,177
	1,390	120	2,810	1,495	0,402
	1,980	180	2,220	1,892	0,638
	2,440	240	1,760	2,386	0,870
	2,910	300	1,290	3,256	1,180
	3,250	360	0,950	4,421	1,486
	3,510	480	0,690	6,087	1,806
	3,780	600	0,420	10,000	2,303
	3,910	720	0,290	14,483	2,673
	4,020	900	0,180	23,333	3,150
	4,080	1200	0,120	35,000	3,555
	4,130	1500	0,070	60,000	4,094
	4,170	1800	0,030	140,000	4,942

Coefficiente angolare α	[-]	3,16E-03
--	-----	----------

Coefficiente di conducibilità idraulica k	[m/s]	9,11E-06
--	-------	----------

Prova di permeabilità Lefranc
a carico variabile

SB17 LF1

