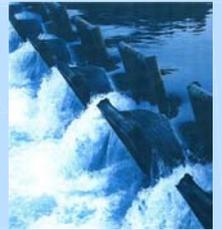




CONSORZIO DEL TICINO

TRAVERSA DELLA MIORINA
COMUNE DI CASTELLETTO SOPRA TICINO (NO)



LAVORI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA PER IL
RIPRISTINO DELLA CAPACITA' D'INVASO DI RITENUTA

INTERVENTO SU CAMPATE 3 E 4 IN SPONDA DESTRA TICINO

PROGETTO ESECUTIVO

INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOELETTRICHE



PROGETTAZIONE, COORDINAMENTO DELLE
ATTIVITÀ SPECIALISTICHE, STRUTTURE
PROVVISIONALI E CANTIERIZZAZIONE

MAJONE & PARTNERS
ENGINEERING

DOTT. ING. DENIS CERLINI
DOTT. ING. NICOLA PESSARELLI
DOTT. ING. BEATRICE MAJONE

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO:
DORIANA BELLANI

CARPENTERIE



DOTT. ING. STEFANO BARBARESI
DOTT. ING. FRANCESCO BARBARESI

VIA DEL MONACO, 3 - 61121 PESARO (PU)
TEL. 0721403695 - FAX 072140895
EMAIL: bbprogetti.barbaresi@gmail.com
P.I. 02304940410

COORDINAMENTO PER LA SICUREZZA

STUDIO DI ARCHITETTURA ED INGEGNERIA

M I C R O N

DOTT. ING. MASSIMO MARSILI
via Brescia n.2 - 20063 Cernusco sul Naviglio (MI)
Tel. 335.67.63.018
E-Mail: massimo.marsili@studiomicron.it

ASPETTI IDRAULICI PAESAGGISTICI E AMBIENTALI



DOTT. ING. MASSIMO SARTORELLI

DATA: REV.1
MAG 2021 REV.2
REV.3

SCALA:
FILE:

TAVOLA:
RGL 08

ANISIG

Associazione Nazionale
Imprese Specializzate
in Indagini Geognostiche

GEODRILL s.r.l.

ASACERT
ASSESSMENT &
CERTIFICATION

ISO 9001
QUALITY MANAGEMENT SYSTEM



8185

INDAGINI GEOGNOSTICHE
Via F.lli Bandiera n° 2 – 24048 TREVIOLO (BG)
Tel.-fax. 0356221296

COMUNE: GOLASECCA

LOCALITA': DIGA MIORINA

PROVINCIA: VARESE

COMMITTENTE: CONSORZIO DEL TICINO

OGGETTO:

INDAGINE GEOGNOSTICA

DATA: AGOSTO 2019



INDICE

1.0	Premessa	Pag. 2
2.0	Attrezzatura utilizzata e metodologia dell'indagine in sito	Pag. 3
	2.1 Sondaggio geognostico	Pag. 3
	2.2 Modalità di stesura delle stratigrafie	Pag. 5
	2.3 Prove di permeabilità	Pag. 6
3.0	Analisi di laboratorio delle terre	Pag. 7

ALLEGATI

1	STRATIGRAFIA DI SONDAGGIO
2	RAPPORTI PROVE DI PERMEABILITA' IN FORO DI SONDAGGIO
3	ANALISI DI LABORATORIO
4	DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

TAVOLE

1. Corografia a scala 1:10.000
2. Ubicazione indagini

1.0 PREMESSA

Per incarico del Consorzio del Ticino la GEODRILL S.r.l. con sede a Treviolo (BG) in via F.lli Bandiera n° 2 ha eseguito in data 25 e 26 luglio 2019 un sondaggio geognostico a carotaggio continuo a profondità di 20 metri da p.c. con esecuzione di prove di permeabilità in foro di sondaggio, prelievo di campioni di terreno rimaneggiati ed analisi fisiche di laboratorio dei campioni di terreno.

Nel corso del sondaggio è stata rilevata la stratigrafia del sottosuolo; la colonna stratigrafica dei sondaggi sono riportate in Allegato n° 1.

L'indagine è stata eseguita in comune di Golasecca presso la Diga Miorina ad una quota di 195.5 m s.l.m. (circa +4.4 m rispetto alla quota media del fondo alveo fluviale) ed ubicata come indicatoci dalla committenza.

Si vedano la Tav. 1 la Corografia a scala 1:10.000 e la documentazione fotografica in Allegato n°4, per una migliore comprensione e visualizzazione di quanto sopra esposto.

2.0 ATTREZZATURA USATA E METODOLOGIA DELL'INDAGINE IN SITO

2.1 Sondaggio geognostico

Per l'esecuzione del sondaggio geognostico è stata utilizzata una sonda idraulica BERETTA T44 dotata di testa di rotazione a 4 velocità con coppia minima di 45 Kgm (45 giri/min) e massima di 803 Kgm (352 giri/min). La testa è munita di martello a percussione idraulica Demoter DM90.

Il tiro spinta teorico della sonda è pari a 5000 Kg.

L'attrezzatura di perforazione consiste in:

- aste di perforazione diam. 76 mm e peso 12 kg/m, lunghezza 1.5 e 3.0 metri;
- carotiere semplice diam. 101 mm e lunghezza 1.5 e 3.0 metri con corona a prismi al widia per pulizia finale del foro;
- carotiere doppio diam. 101 mm con corona diamantata;
- rivestimenti di diam. 127 mm;
- maglio per prove SPT di fabbricazione Nenzi a sganciamento automatico con maglio di peso 63.5 kg ed altezza di caduta libera 75 cm;
- scandaglio per misura della profondità del fondo foro;
- freatometro.

La sonda è equipaggiata con pompa fango triplex da 200 lt a 26 bar usata sia per lubrificare con fluido gli utensili che per le operazioni di scarotaggio.

Le operazioni di carotaggio avvengono nel seguente modo: all'asta di perforazione viene collegato un tubo campionatore cavo chiamato carotiere, capace di contenere il terreno che viene carotato per avanzamento a secco per tratti successivi variabili da pochi decimetri al metro in funzione della densità o consistenza del terreno.

Nel substrato roccioso il carotaggio viene generalmente eseguito con carotiere doppio con eventuale utilizzo di corona diamantata.

Il risultato è una sequenza continua di prelievo di terreno chiamata "carote", a partire dal piano campagna sino alla profondità voluta; le carote vengono conservate in apposite cassette catalogatrici in plastica dotate di coperchio in

scala 1:1. Il foro viene generalmente rivestito, ove necessario, con tubo metallico di diametro 127 mm a seguire per evitare il franamento.

Al termine del sondaggio, una volta recuperata la batteria di aste con l'utensile di perforazione, prima del recupero dei rivestimenti, può essere installato in foro anche un tubo piezometrico con diametro variabile in funzione della perforazione effettuata, successivamente viene quindi effettuato il riempimento dell'intercapedine piezometro – foro con ghiaietto siliceo selezionato di pezzatura 2 – 6 mm in corrispondenza del tratto micro fessurato del piezometro ed infine realizzato un tampone superficiale sigillante contenente argilla rigonfiante a base bentonite.

Al termine di queste operazioni può inoltre essere effettuato lo spurgo dell'eventuale materiale fine rimasto in sospensione mediante elettropompa sommersa sino ad ottenere acqua chiara.

Durante il sondaggio, ove ritenuto necessario ed in caso la litologia del terreno lo permetta, può essere prelevato un campione indisturbato.

In ogni caso può essere sempre prelevato un campione disturbato conservandolo in contenitori ermetici (sacchetti, vaso di vetro) e portandolo successivamente in laboratorio.

2.2 Modalità di stesura delle stratigrafie

Nel corso delle perforazioni vengono rilevate le stratigrafie dei terreni attraversati; in esse compaiono oltre agli elementi relativi ai campionamenti ed alle prove i seguenti dati:

- composizione granulometrica approssimata come indicato nella tabella seguente (secondo raccomandazioni A.G.I, 1977):

DENOMINAZIONE	DIAMETRO DEI GRANI (mm)
Argilla	< 0.002
Limo	0.002 – 0.06
Sabbia	0.06 - 2
Ghiaia	2 – 60
Ciottoli	> 60

Si elenca per primo il nome del costituente principale, seguito dal costituente secondario nella forma:

- preceduto dalla preposizione "con" se rappresenta una percentuale compresa fra il 25% ed il 50%;
- seguito dal suffisso "oso" se rappresenta una percentuale compresa tra il 10% ed il 25%;
- preceduto da "debolmente" e seguito dal suffisso "oso" se rappresenta una percentuale compresa tra il 5% ed il 10%.
- colore prevalente.
- consistenza dei terreni coesivi e semicoesivi, misurando la resistenza al penetrometro tascabile sulla carota appena estratta e scortecciata, il grado di consistenza è definito nella seguente tabella:

DEFINIZIONE	RESISTENZA AL PENETROMETRO TASCABILE (kg/cm ²)
privo di consistenza	< 0.25
poco consistente	0.25-0.5
moderatamente consistente	0.5-1.0
consistente	1.0-2.0
molto consistente	> 2.0

- caratteristiche di addensamento dei terreni granulari, con riferimento orientativo indicato nella seguente tabella:

Nspt	VALUTAZIONE DELLO STATO DI ADDENSAMENTO
0-4	sciolto
4-10	poco addensato
10-30	moderatamente addensato
30-50	addensato
> 50	molto addensato

- presenza di locali fenomeni di cementazione;
- presenza di eventuali sostanze organiche e riporti / rifiuti (non classificabili).

I risultati stratigrafici ottenuti secondo le modalità sopra indicate sono mostrati in Allegato 1.

2.4 Prove di permeabilità in foro

La determinazione del coefficiente di permeabilità (K) in sito è stata condotta nell'ambito del foro di sondaggio eseguito.

Si è operato a carico variabile in foro parzialmente tubato utilizzando un rivestimento con diametro di 127 mm e creando una tasca di prova tramite un carotiere del diametro di 101 mm.

La prova consiste nell'immettere acqua nel foro e registrare gli abbassamenti del battente idrico nel tempo.

I dati registrati nel corso delle prove sono visualizzati nei grafici tempi-abbassamenti riportati in Allegato 2.

3.0 ANALISI DI LABORATORIO DELLE TERRE

Sono state eseguite sui campioni prelevati le determinazioni che seguono:

- Analisi granulometrica per setacciatura e sedimentazione:

L'analisi per i grani di dimensioni fino a 0.074 mm viene eseguita con l'impiego di vagli in numero adeguato per descrivere compiutamente la curva. La parte più fine di 0.074 mm viene analizzata mediante la tecnica della sedimentazione con l'impiego di densimetri.

L'acquisizione dei dati relativi alle prove strumentali si è avvalso del sistema elettronico Cyber Plus Evolution della ditta MATEST di Treviolo (BG).

I risultati delle analisi effettuate sui campioni di terreno prelevati sono mostrati in allegato 3.



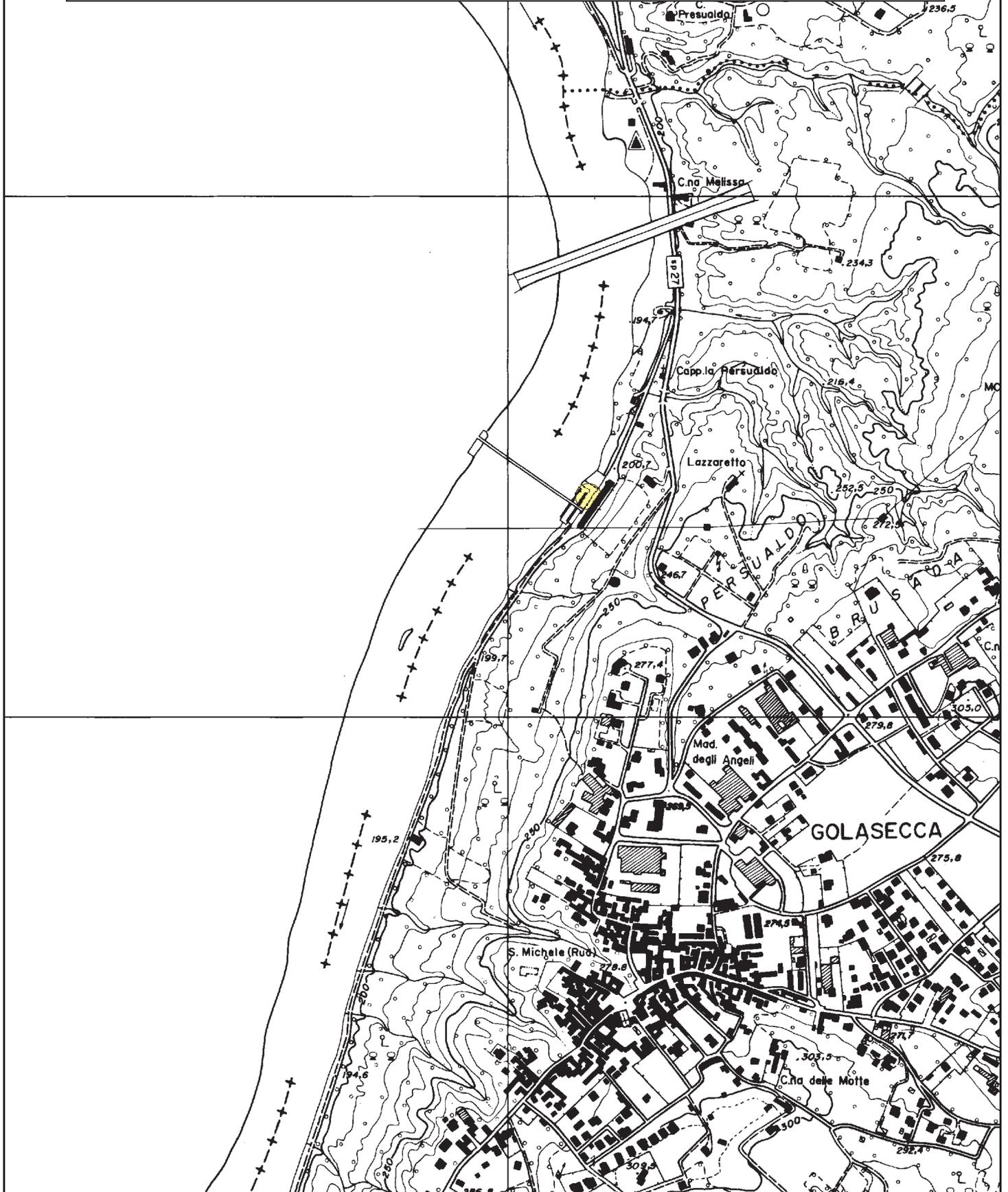
COROGRAFIA

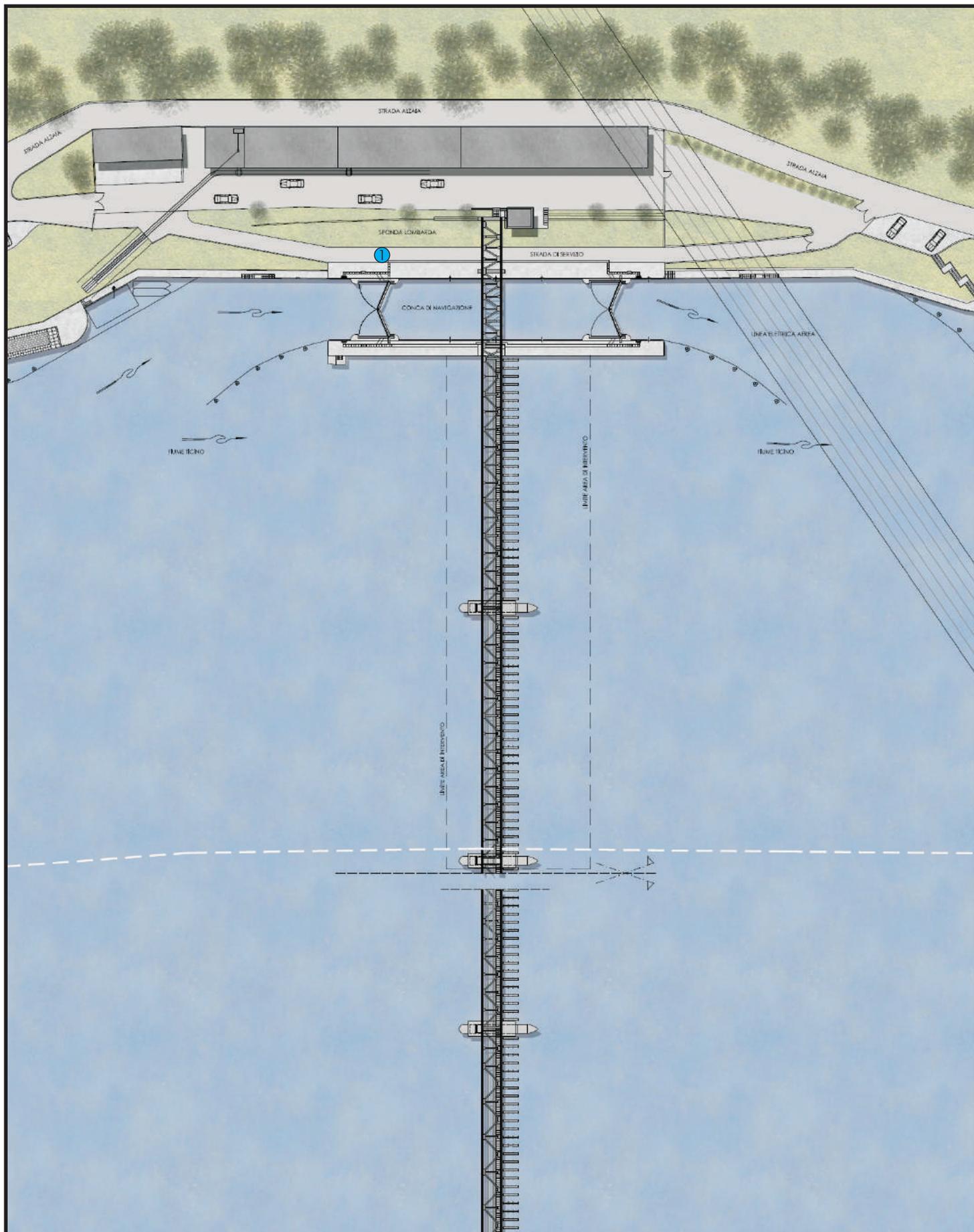
TAVOLA n°1

Stralcio da:
Foglio A5b2 della
Carta Tecnica Regionale

● Area in esame: Golasecca (VA) - Diga Miorina

SCALA 1 : 10.000





Ubicazione indagini geognostiche effettuate

- Sondaggio geognostico a carotaggio continuo

Allegato n° 1

STRATIGRAFIA DI SONDAGGIO

sondaggio n° **1** data inizio: 25/07/2019 data fine: 26/07/2019
 Committente: Consorzio del Ticino
 Comune: Golasecca (VA) Località: Diga Miorina
 quota: p.c. Perforazione: carotaggio continuo
 diametro perforazione: 101/127 mm strumentazione utilizzata: Beretta T44
 Operatore: Giudici Silvano rapporto di prova n°2666 del 01/08/2019

Società autorizzata con Decreto n° 158 del
 19/04/2011 relativo ai laboratori per esecuzione e
 certificazione indagini geognostiche, prelievo di
 campioni e prove in sito ai sensi dell'art. 59 del D.P.R.
 n. 380/01
 Circolare 08 settembre 2010 n° 7619/STC

Ø mm	R v	A r	Pz s	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	S.P.T. S.P.T.	N	ROD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE
				0.1									0.1	Asfalto
				0.8									0.8	Sabbia ghiaiosa limosa marrone Presenza di frammenti di piastrelle e laterizi Clasti da sub arrotondati a angolari Ømax 4 cm
				2									2	Ghiaia con sabbia limosa marrone chiara/grigia Clasti da sub arrotondati a sub angolari Ømax > 8.5 cm Rari ciottoli sparsi Sondaggio eseguito a distruzione tra 2 e 3 m, livello molto addensato, presumibilmente come il livello superiore
				3									3.0	Sabbia ghiaiosa limosa grigio nocciola Clasti da sub arrotondati a sub angolari Ømax 3cm
				4		1) Dis < 4.45 4.96							4	
				5									5.0	Sabbia debolmente limosa debolmente ghiaiosa grigio nocciola Clasti da sub arrotondati a sub angolari Ømax 1-2 cm
				6									6	
				7									7	
				8		2) Dis < 8.01 8.51							8	
				9									9	
				10									10	
				11		3) Dis < 10.96 11.45							11	
				12									12.0	Sabbia con ghiaia limosa grigio nocciola Clasti da sub arrotondati a sub angolari Ømax 3-4 cm
				13									13	
				13.5									13.5	
				14		4) Dis < 13.36 14.46							14.0	Sabbia con limo debolmente ghiaiosa grigio nocciola chiaro Clasti da sub arrotondati a sub angolari Ømax 1-2 cm
				14.5									14.5	Ghiaia con sabbia grigio nocciola Clasti da subarrotondati a sub angolari Ømax 4 cm
				15									15.0	Sabbia limosa, in alternanze decimetriche con limo, debolmente ghiaiosa grigia Clasti da subarrotondati a sub angolari Ømax 2 cm
				16									16	
				16.5									16.5	Sabbia limosa debolmente ghiaiosa grigio nocciola Clasti da subarrotondati a sub angolari Ømax 2cm
				17									17	
				18		3) Dis < 17.97 18.47							18.0	Sabbia con limo debolmente ghiaiosa Clasti subarrotondati Ømax 1cm
				18.5									18.5	Sabbia da ghiaiosa a debolmente ghiaiosa limosa, pasante da grigio a marrone chiaro nocciola Clasti da subarrotondati a sub angolari Ømax 3-4 cm
				19									19	
				20									20.0	

Il Direttore del laboratorio
 Dott. Marco Bellotti



Allegato n° 2

PROVE DI PERMEABILITA' IN FORO DI SONDAGGIO

**PROVA DI PERMEABILITA' IN FORO TIPO LEFRANC - CARICO VARIABILE (AGI 1977)**

sondaggio n° 1 data inizio 25/07/2019 data fine: 25/07/2019
 Committente: Consorzio del Ticino comune: Golasecca (Va)
 località: Diga Miorina
 quota: p.c. 0 m

Società autorizzata con Decreto n° 158 del 19/04/2011
 relativo ai laboratori per esecuzione e certificazione
 indagini geostatiche, prelievo di campioni e prove in sito
 ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n. 380/01
 Circolare 08 settembre 2010 n° 7619/STC

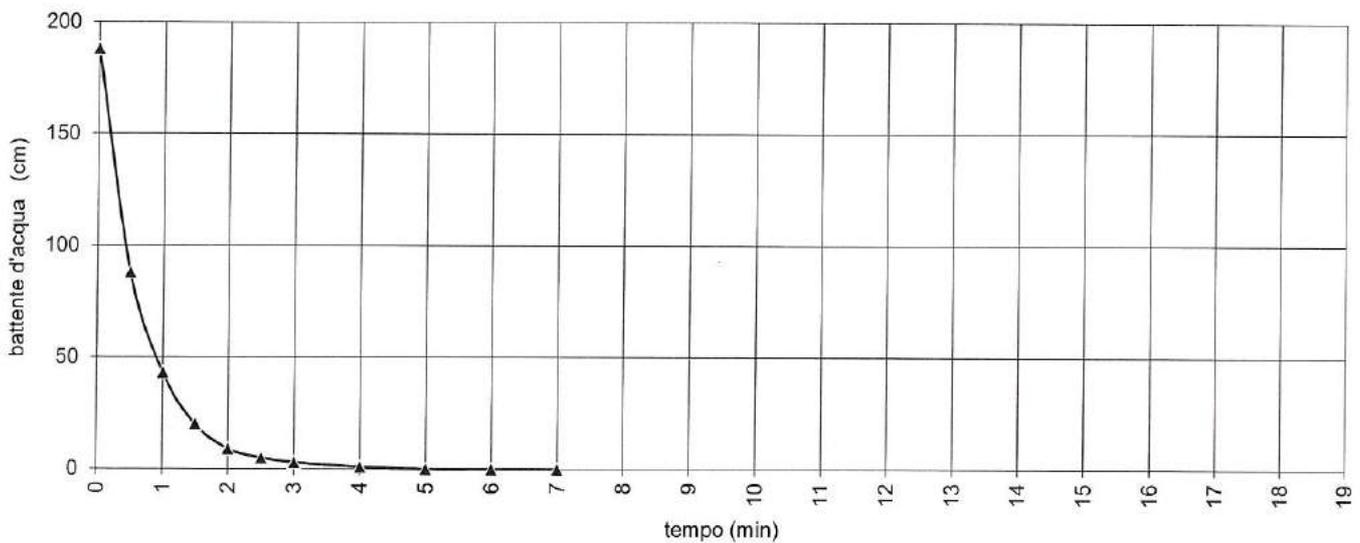
diametro perforazione: 101/riv127 mm strumentazione utilizzata Beretta T44
 Rapporto di prova n° 2661 del 31/07/2019

SONDAGGIO N° 1 PROVA N° 1**CARATTERISTICHE DEL FORO DI PROVA**

TESTA RIVESTIMENTI DA P.C cm 20
 DIAMETRO RIVESTIMENTO cm 12,7
 DIAMETRO TASCA cm 10,1
 AREA TASCA SONDAGGIO cm² 80,12
 PROFONDITA' SONDAGGIO m 4,95
 LUNGHEZZA TASCA cm 50
 PROFONDITA' TASCA da m a m da 4,45 m a 4,95 m
 CARICO IDRAULICO INIZIALE m 188
 QUOTA FALDA DA P.C. (liv. statico) m 1,68



TEMPO / ABBASSAMENTI



tempo (minuti)	battente d'acqua (cm)	tempo (minuti)	battente d'acqua (cm)
0,00	188,0	9,00	
0,50	88,0	10,00	
1,00	43,0	12,00	
1,50	20,0	15,00	
2,00	9,0	19,00	
2,50	5,0	25,00	
3,00	3,0	30,00	
4,00	1,0	35,00	
5,00	0,0	40,00	
6,00	0,0	45,00	
7,00	0,0	50,00	
8,00			

N:B: Il battente d'acqua è riferito al fondo foro o alla superficie freatica se presente all'interno del foro di sondaggio

$$K \text{ (cm/sec)} = \frac{A}{C_L * (t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

A = area tasca sondaggio
 C_L = coefficiente di forma
 h₁ (quota liv. H₂₀ all'istante t₁)
 h₂ (quota liv. H₂₀ all'istante t₂)

COEFFICIENTE DI PERMEABILITA' CALCOLATO

K = 3,50E-02 (cm/sec)

Lo sperimentatore
 Dott. Nicolò Carzaniga
Nicolò Carzaniga



sondaggio n° 1 data inizio 25/07/2019 data fine: 25/07/2019
 Committente: Consorzio del Ticino comune: Golasecca (Va)
 località: Diga Miorina
 quota: p.c. 0 m
 diametro perforazione: 101/riv127 mm strumentazione utilizzata Beretta T44
 Rapporto di prova n° 2662 del 31/07/2019

Società autorizzata con Decreto n° 158 del 19/04/2011
 relativo ai laboratori per esecuzione e certificazione
 indagini geostatiche, prelievo di campioni e prova in silo
 ai sensi dell'art. 50 del D.P.R. n. 380/01
 Circolare 08 settembre 2010 n° 7619/STC

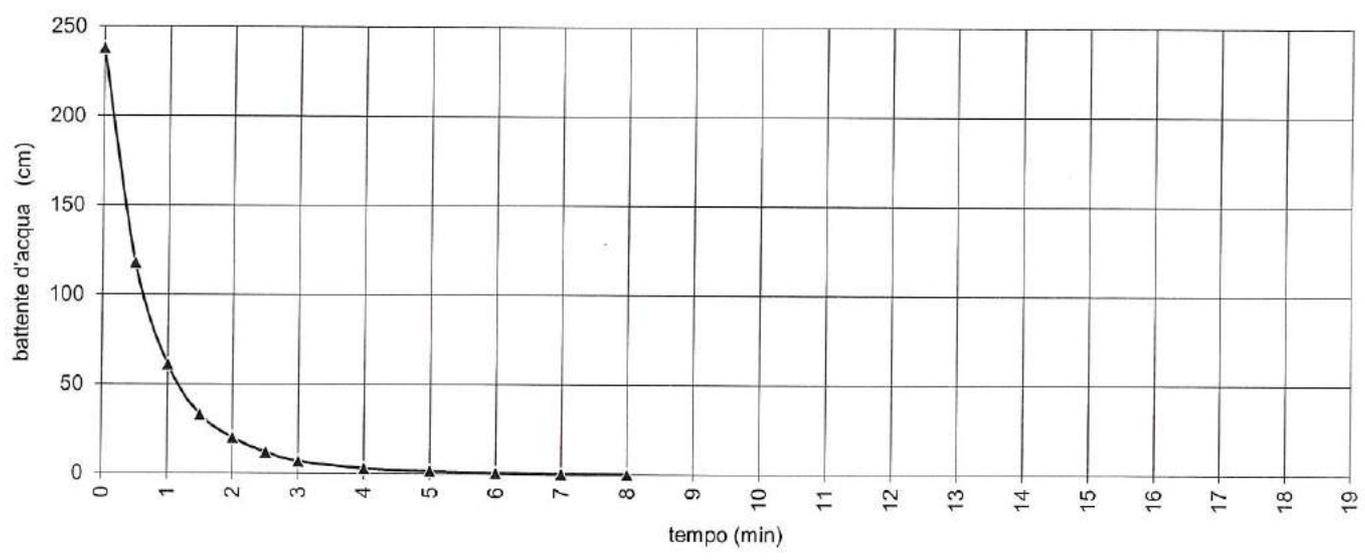
SONDAGGIO N° 1 PROVA N° 2

CARATTERISTICHE DEL FORO DI PROVA

TESTA RIVESTIMENTI DA P.C cm 64
 DIAMETRO RIVESTIMENTO cm 12,7
 DIAMETRO TASCA cm 10,1
 AREA TASCA SONDAGGIO cm² 80,12
 PROFONDITA' SONDAGGIO m 8,51
 LUNGHEZZA TASCA cm 50
 PROFONDITA' TASCA da m a m da 8,01 m a 8,51 m
 CARICO IDRAULICO INIZIALE m 238
 QUOTA FALDA DA P.C. (liv. statico) m 1,74



TEMPO / ABBASSAMENTI



tempo (minuti)	battente d'acqua (cm)	tempo (minuti)	battente d'acqua (cm)
0,00	238,0	9,00	
0,50	118,0	10,00	
1,00	61,0	12,00	
1,50	33,0	15,00	
2,00	20,0	19,00	
2,50	12,0	25,00	
3,00	7,0	30,00	
4,00	3,0	35,00	
5,00	1,5	40,00	
6,00	0,5	45,00	
7,00	0,0	50,00	
8,00	0,0		

$$K \text{ (cm/sec)} = \frac{A}{C_L * (t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

A = area tasca sondaggio
 C_L = coefficiente di forma
 h₁ (quota liv. H₂₀ all'istante t₁)
 h₂ (quota liv. H₂₀ all'istante t₂)

COEFFICIENTE DI PERMEABILITA' CALCOLATO

K = 2,74E-02 (cm/sec)

N:B: Il battente d'acqua è riferito al fondo foro o alla superficie freatica se presente all'interno del foro di sondaggio

Lo sperimentatore
 Dott. Nicolò Carzaniga

Il Direttore del laboratorio
 Dott. Marco Belloni

**PROVA DI PERMEABILITA' IN FORO TIPO LEFRANC - CARICO VARIABILE (AGI 1977)**

sondaggio n° 1 data inizio 25/07/2019 data fine: 25/07/2019
 Committente: Consorzio del Ticino comune: Golasecca (Va)
 località: Diga Miorina
 quota: p.c. 0 m

Società autorizzata con Decreto n° 158 del 19/04/2011
 relativo ai laboratori per esecuzione e certificazione
 indagini geostatiche, prelievo di campioni e prova in sito
 ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n. 380/01
 Circolare 08 settembre 2010 n° 7019/STC

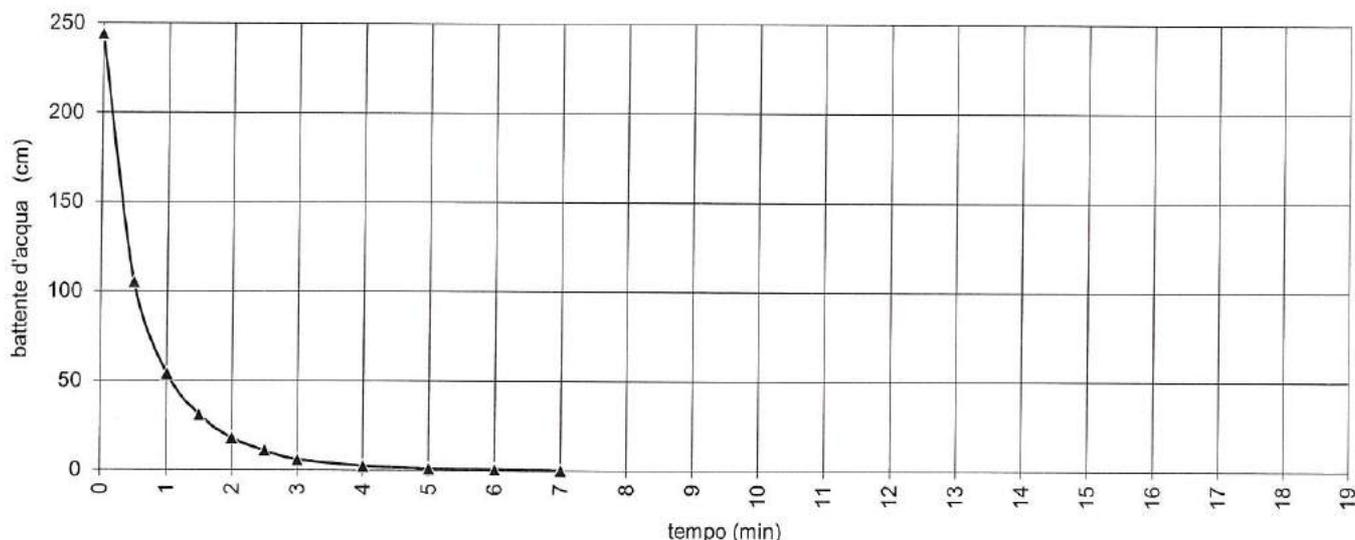
diametro perforazione: 101/riv127 mm strumentazione utilizzata Beretta T44
 Rapporto di prova n° 2663 del 31/07/2019

SONDAGGIO N° 1 PROVA N° 3**CARATTERISTICHE DEL FORO DI PROVA**

TESTA RIVESTIMENTI DA P.C cm 70
 DIAMETRO RIVESTIMENTO cm 12,7
 DIAMETRO TASCA cm 10,1
 AREA TASCA SONDAGGIO cm² 80,12
 PROFONDITA' SONDAGGIO m 11,45
 LUNGHEZZA TASCA cm 50
 PROFONDITA' TASCA da m a m da 10,95 m a 11,45 m
 CARICO IDRAULICO INIZIALE m 244
 QUOTA FALDA DA P.C. (liv. statico) m 1,74



TEMPO / ABBASSAMENTI



tempo (minuti)	battente d'acqua (cm)	tempo (minuti)	battente d'acqua (cm)
0,00	244,0	9,00	
0,50	105,0	10,00	
1,00	54,0	12,00	
1,50	31,0	15,00	
2,00	18,0	19,00	
2,50	11,0	25,00	
3,00	6,0	30,00	
4,00	2,5	35,00	
5,00	1,0	40,00	
6,00	0,5	45,00	
7,00	0,0	50,00	
8,00			

$$K \text{ (cm/sec)} = \frac{A}{C_L * (t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

A = area tasca sondaggio
 C_L = coefficiente di forma
 h₁ (quota liv. H₂₀ all'istante t₁)
 h₂ (quota liv. H₂₀ all'istante t₂)

COEFFICIENTE DI PERMEABILITA' CALCOLATO

K = 2,76E-02 (cm/sec)

N:B: Il battente d'acqua è riferito al fondo foro o alla superficie freatica se presente all'interno del foro di sondaggio

Lo sperimentatore
 Dott. Nicolò Carzaniga
Nicolò Carzaniga

Il Direttore del laboratorio
 Dott. Marco Belloli
Marco Belloli
 ANIG 355

		PROVA DI PERMEABILITA' IN FORO TIPO LEFRANC - CARICO VARIABILE (AGI 1977)			
		sondaggio n° 1	data inizio 26/07/2019	data fine: 26/07/2019	
Società autorizzata con Decreto n° 158 del 19/04/2011 relativo ai laboratori per esecuzione e certificazione indagini geostatiche, prelievo di campioni e prove in sito ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n. 390/01 Circolare 08 settembre 2010 n° 7019/STC		Committente: Consorzio del Ticino	comune: Golasecca (Va)		
	località: Diga Miorina	quota: p.c. 0 m			
	diametro perforazione: 101/riv127 mm	strumentazione utilizzata	Beretta T44		
	Rapporto di prova n° 2664 del 31/07/2019				

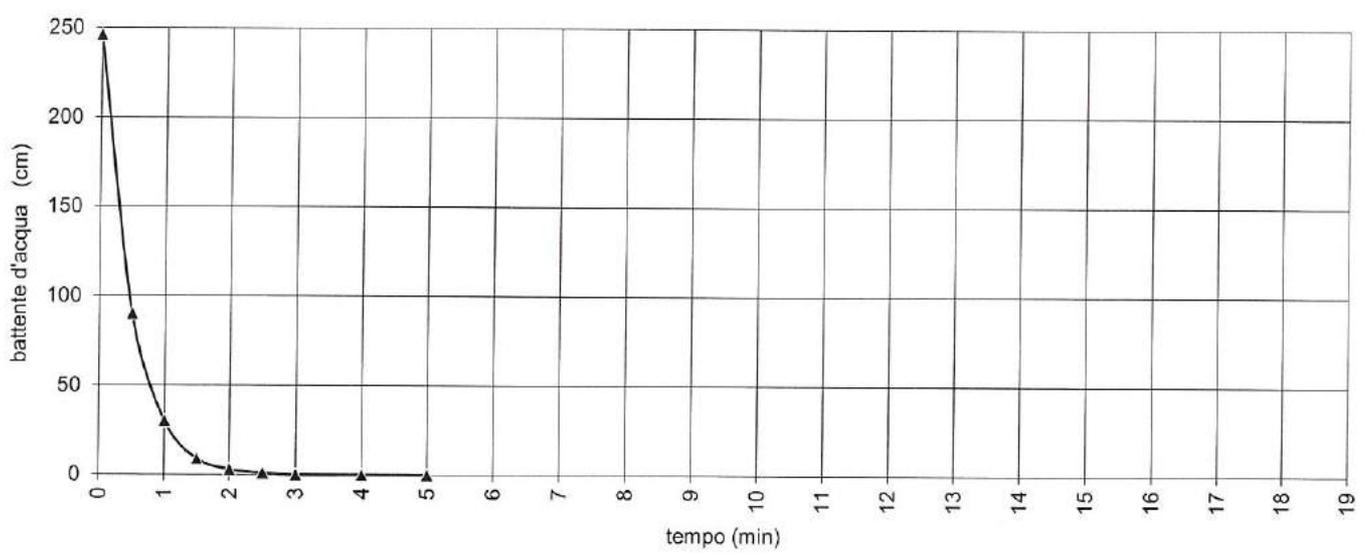
SONDAGGIO N° 1 PROVA N° 4

CARATTERISTICHE DEL FORO DI PROVA

TESTA RIVESTIMENTI DA P.C.	cm	70
DIAMETRO RIVESTIMENTO	cm	12,7
DIAMETRO TASCA	cm	10,1
AREA TASCA SONDAGGIO	cm ²	80,12
PROFONDITA' SONDAGGIO	m	14,45
LUNGHEZZA TASCA	cm	50
PROFONDITA' TASCA da m a m		da 13,95 m a 14,45 m
CARICO IDRAULICO INIZIALE	m	246
QUOTA FALDA DA P.C. (liv. statico)	m	1,76



TEMPO / ABBASSAMENTI



tempo (minuti)	battente d'acqua (cm)	tempo (minuti)	battente d'acqua (cm)
0,00	246,0	9,00	
0,50	90,0	10,00	
1,00	30,0	12,00	
1,50	9,0	15,00	
2,00	3,0	19,00	
2,50	1,0	25,00	
3,00	0,0	30,00	
4,00	0,0	35,00	
5,00			
6,00			
7,00			
8,00			

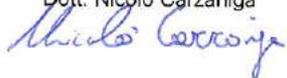
$$K \text{ (cm/sec)} = \frac{A}{C_L * (t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

A = area tasca sondaggio
 C_L = coefficiente di forma
 h₁ (quota liv. H₂₀ all'istante t₁)
 h₂ (quota liv. H₂₀ all'istante t₂)

COEFFICIENTE DI PERMEABILITA' CALCOLATO

K = 5,88E-02 (cm/sec)

N:B: Il battente d'acqua è riferito al fondo foro o alla superficie freatica se presente all'interno del foro di sondaggio

Lo sperimentatore
 Dott. Nicolò Carzaniga


Il Direttore del laboratorio
 Dott. Marco Belloli


sondaggio n° 1 data inizio 26/07/2019 data fine: 26/07/2019
 Committente: Consorzio del Ticino comune: Golasecca (Va)
 località: Diga Miorina
 quota: p.c. 0 m

Società autorizzata con Decreto n° 158 del 19/04/2011
 relativo ai laboratori per esecuzione e certificazione
 indagini geostatiche, prelievo di campioni e prove in sito
 ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n. 380/01
 Circolare 08 settembre 2010 n° 7619/STC

diametro perforazione: 101/riv127 mm strumentazione utilizzata Beretta T44

Rapporto di prova n° 2665 del 31/07/2019

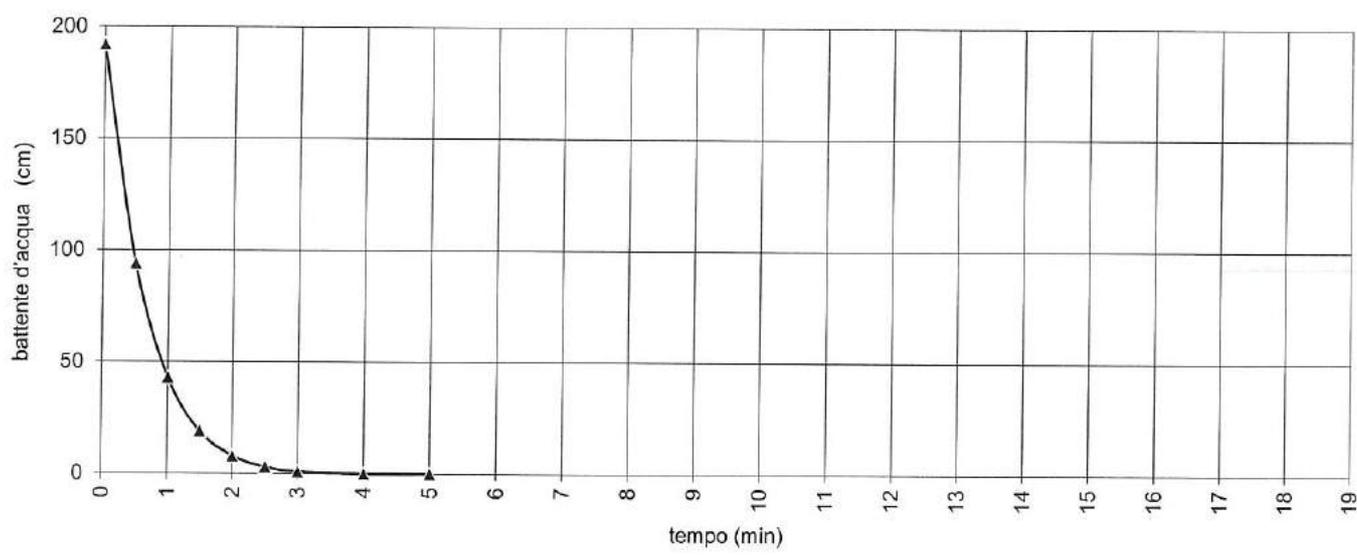
SONDAGGIO N° 1 PROVA N° 5

CARATTERISTICHE DEL FORO DI PROVA

TESTA RIVESTIMENTI DA P.C	cm	18
DIAMETRO RIVESTIMENTO	cm	12,7
DIAMETRO TASCA	cm	10,1
AREA TASCA SONDAGGIO	cm ²	80,12
PROFONDITA' SONDAGGIO	m	18,47
LUNGHEZZA TASCA	cm	50
PROFONDITA' TASCA da m a m		da 17,97 m a 18,47 m
CARICO IDRAULICO INIZIALE	m	192
QUOTA FALDA DA P.C. (liv. statico)	m	1,74



TEMPO / ABBASSAMENTI



tempo (minuti)	battente d'acqua (cm)	tempo (minuti)	battente d'acqua (cm)
0,00	192,0	9,00	
0,50	94,0	10,00	
1,00	43,0	12,00	
1,50	19,0	15,00	
2,00	8,0	19,00	
2,50	3,0	25,00	
3,00	1,0	30,00	
4,00	0,0	35,00	
5,00			
6,00			
7,00			
8,00			

$$K \text{ (cm/sec)} = \frac{A}{C_L * (t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

A = area tasca sondaggio
 C_L = coefficiente di forma
 h₁ (quota liv. H₂₀ all'istante t₁)
 h₂ (quota liv. H₂₀ all'istante t₂)

COEFFICIENTE DI PERMEABILITA' CALCOLATO

K = 4,68E-02 (cm/sec)

N:B: Il battente d'acqua è riferito al fondo foro o alla superficie freatica se presente all'interno del foro di sondaggio

Lo sperimentatore
 Dott. Nicolò Carzaniga

Il Direttore del laboratorio
 Dott. Marco Belloli

Allegato n° 3

ANALISI DI LABORATORIO



GEODRILL S.r.l. - Via F.lli Bandiera n° 2 -TREVIOLO (Bg) - Tel 035-6221296 -
info@geodrill.it
Laboratorio terreni ed aggregati autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
per l'esecuzione e la certificazione di prove su terreni (settore a)
Art.59 DPR n.380/2001 Circ. Min. n° 7618 STC Autorizzazione N° 276 del 5/11/2015 e
successivi rinnovi



CERTIFICATO DI PROVA N° 19/2019
dal 19-01 al 19-05

Data di emissione: 06/08/2019	Pagine totali compresa questa: 6	Verbale di accettazione n°: 98 del 26/07/2019
Commessa: 19/LAB/19 del 16/07/2019	Committente: Consorzio del Ticino	
N° totale campioni analizzati: 5	Località: Diga Miorina - Golasecca (Va)	

provenienza	Campione Profondità	Descrizione: Tipologia campione	Prova Procedura	Data apertura	Data inizio	Data fine
sondaggio S1	C1 rim. 4,45 - 4,95 m	rimaneggiato in sacchetto	granulometria per setacciatura e sedimentazione ASTM D422- Racc. AGI	29/07/2019	31/07/2019	02/08/2019
sondaggio S1	C2 rim. 8,01 - 8,51 m	rimaneggiato in sacchetto	granulometria per setacciatura ASTM D422- Racc. AGI	29/07/2019	31/07/2019	01/08/2019
sondaggio S1	C3 rim. 10,95 - 11,45 m	rimaneggiato in sacchetto	granulometria per setacciatura e sedimentazione ASTM D422- Racc. AGI	29/07/2019	31/07/2019	01/08/2019
sondaggio S1	C4 rim. 13,95 - 14,45 m	rimaneggiato in sacchetto	granulometria per setacciatura e sedimentazione ASTM D422- Racc. AGI	29/07/2019	31/07/2019	01/08/2019
sondaggio S1	C5 rim. 17,97 - 18,47 m	rimaneggiato in sacchetto	granulometria per setacciatura e sedimentazione ASTM D422- Racc. AGI	29/07/2019	31/07/2019	02/08/2019

LO SPERIMENTATORE

dott. Bertasa Michele

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO
dott. Belloli Marco



GEODRILL S.r.l. - Via F.lli Bandiera n°2 -TREVIOLO (Bg) -Tel 035-6221296 - info@geodrill.it
 Laboratorio terreni ed aggregati autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture
 e dei Trasporti per l'esecuzione e la certificazione di prove su terreni (settore a)
 Circ 7618/STC Art.59 DPR n.380/2001 Autorizzazione 276 del 05/11/2015

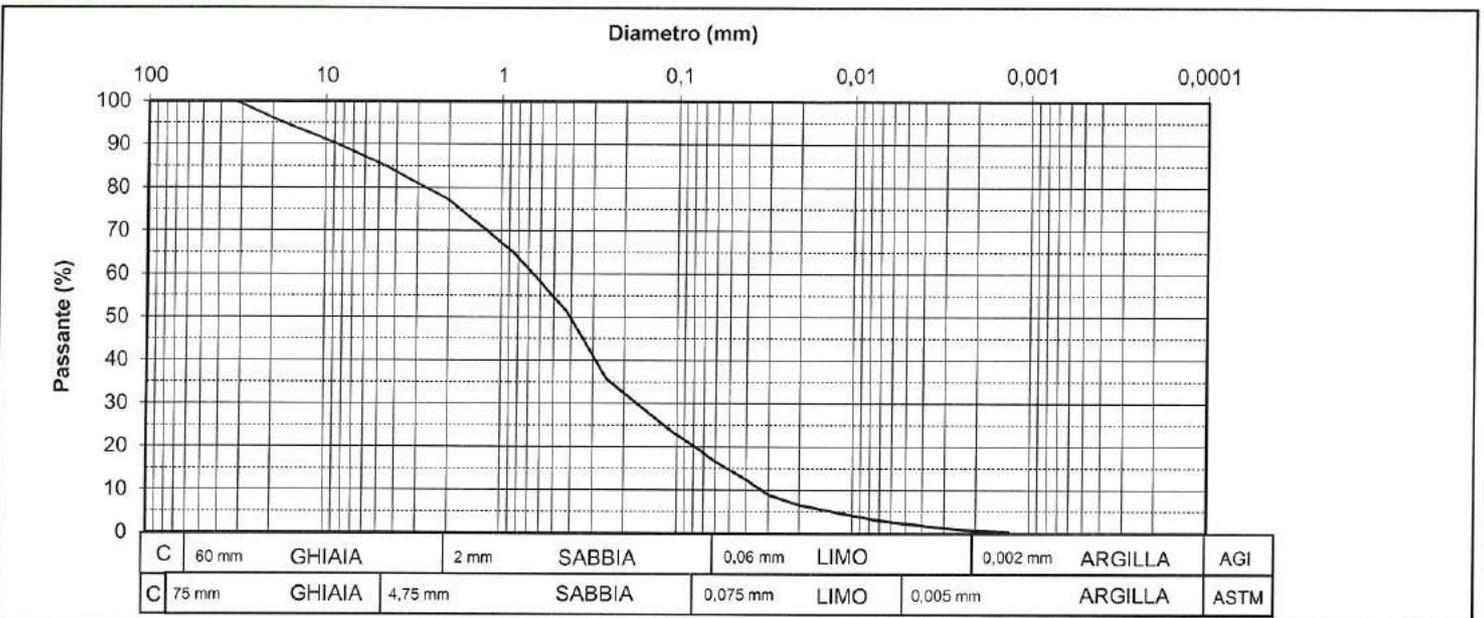


ANALISI GRANULOMETRICA per setacciatura e sedimentazione

ASTM D422 - RACCOMANDAZIONI A.G.I.

CERTIFICATO N°	19-01	ACCETTAZIONE N°	98	COMMESSA N°	19/LAB/19
DEL	06/08/2019	DEL	26/07/2019	DEL	16/07/2019

Committente:	Consorzio del Ticino	Provenienza:	sondaggio S1	Data apertura:	29/07/2019
Località:	Diga Miorina, Golasecca (Va)	Campione n°:	C1 (rim)	Data inizio prova:	31/07/2019
		Profondità:	4,45 - 4,95 m	Data fine prova:	02/08/2019



SETACCIATURA				AEROMETRIA	
diametro mm	% cumulativa trattenuto	% cumulativa passante	% trattenuto	diametro equivalente	% cumulativa passante
75	0,00	100,00	0,00	0,06	16,49
37,5	0,00	100,00	0,00	0,04	12,37
19	4,41	95,59	4,41	0,03	8,83
9,52	9,20	90,80	4,79	0,02	6,48
4,75	14,71	85,29	5,51	0,012	4,71
2	22,93	77,07	8,22	0,007	2,94
0,85	35,09	64,91	12,16	0,0045	2,06
0,425	48,63	51,37	13,54	0,0029	1,18
0,25	64,45	35,55	15,82	0,002	0,59
0,105	76,72	23,28	12,27	0,0013	0,29
0,075	80,57	19,43	3,85		
< 0,075	100,00	0,00	19,43		

DIAMETRO mm		
Diametro massimo D max		32,5
Diametro passante 60% D ₆₀		0,67
Diametro passante 50% D ₅₀		0,4
Diametro passante 30% D ₃₀		0,17
Diametro passante 10% D ₁₀		0,032
COEFFICIENTI		
UNIFORMITA' D ₆₀ /D ₁₀	U =	2,1E+01
CURVATURA D ₃₀ ² /D ₆₀ *D ₁₀	C =	1,3E+00
PERMEAB. (cm/sec) D ₁₀ ²	K =	1,0E-03
PARAMETRI DETERMINATI		
UMIDITA' CAMPIONE % W _n		5,07

A.G.I.	
CLASSE GRANULOMETRICA %	
CIOTTOLI:	
GHIAIA :	22,93
SABBIA :	60,58
LIMO :	15,90
ARGILLA :	0,59
DENOMINAZIONE A.G.I.:	
sabbia ghiaiosa limosa (tracce di argilla)	

ASTM	
CLASSE GRANULOMETRICA %	
CIOTTOLI:	
GHIAIA :	14,71
SABBIA :	65,85
LIMO :	17,20
ARGILLA :	2,24
DENOMINAZIONE ASTM.:	
sabbia limosa ghiaiosa debolmente argillosa	

NOTE - OSSERVAZIONI
 Campione rimaneggiato, in sacchetto.
 Il valore dell'umidità del campione calcolata in Laboratorio potrebbe non corrispondere a quella naturale in sito

LO SPERIMENTATORE

dott. Bertasa Michele

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO

dott. Belloni Marco



GEODRILL S.r.l. - Via F.lli Bandiera n°2 -TREVIOLO (Bg) -Tel 035-6221296 - info@geodril.it
 Laboratorio terreni ed aggregati autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture
 e dei Trasporti per l'esecuzione e la certificazione di prove su terreni (settore a)
 Circ 7618/STC Art.59 DPR n.380/2001 Autorizzazione 276 del 05/11/2015

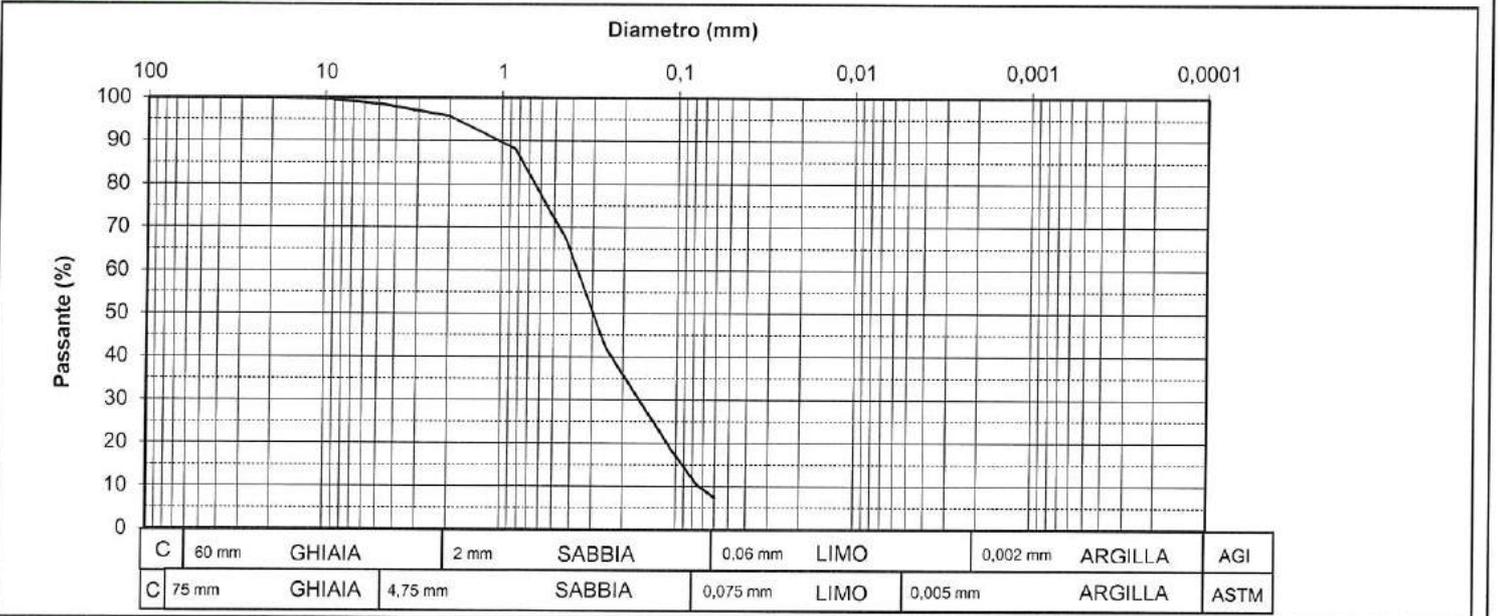


ANALISI GRANULOMETRICA per setacciatura e sedimentazione

ASTM D422 - RACCOMANDAZIONI A.G.I.

CERTIFICATO N°	19-03	ACCETTAZIONE N°	98	COMMESSA N°	19/LAB/19
DEL	06/08/2019	DEL	26/07/2019	DEL	16/07/2019

Committente:	Consorzio del Ticino	Provenienza:	sondaggio S1	Data apertura:	29/07/2019
Località:	Diga Miorina, Golasecca (Va)	Campione n°:	C3 (rim)	Data inizio prova:	31/07/2019
		Profondità:	10,95 - 11,45 m	Data fine prova:	01/08/2019



SETACCIATURA					
diametro mm	% cumulativa trattenuto	% cumulativa passante	% trattenuto	diametro equivalente	% cumulativa passante
75	0,00	100,00	0,00	0,06	7,37
37,5	0,00	100,00	0,00		
19	0,00	100,00	0,00		
9,52	0,35	99,65	0,35		
4,75	1,56	98,44	1,21		
2	4,30	95,70	2,73		
0,85	11,84	88,16	7,54		
0,425	33,10	66,90	21,27		
0,25	58,14	41,86	25,03		
0,105	81,82	18,18	23,68		
0,075	89,86	10,14	8,05		
< 0,075	100,00	0,00	10,14		

DIAMETRO mm	
Diametro massimo D max	17,6
Diametro passante 60% D ₆₀	0,37
Diametro passante 50% D ₅₀	0,29
Diametro passante 30% D ₃₀	0,17
Diametro passante 10% D ₁₀	0,075
COEFFICIENTI	
UNIFORMITA' D ₆₀ / D ₁₀ U =	4,9E+00
CURVATURA D ₃₀ ² / D ₆₀ * D ₁₀ C =	1,0E+00
PERMEAB. (cm/sec) D ₁₀ ² K =	5,6E-03
PARAMETRI DETERMINATI	
UMIDITA' CAMPIONE % W _n	16,20

A.G.I. CLASSE GRANULOMETRICA %	
CIOTTOLI:	
GHIAIA :	4,30
SABBIA :	88,33
LIMO :	7,37
ARGILLA :	0,00
DENOMINAZIONE A.G.I.:	
sabbia debolmente limosa (tracce di ghiaia)	

ASTM CLASSE GRANULOMETRICA %	
CIOTTOLI:	
GHIAIA :	1,56
SABBIA :	88,30
LIMO :	10,14
ARGILLA :	0,00
DENOMINAZIONE ASTM.:	
sabbia limosa debolmente ghiaiosa	

NOTE - OSSERVAZIONI
 Campione rimaneggiato, in sacchetto.
 Il valore dell'umidità del campione calcolata in Laboratorio potrebbe non corrispondere a quella naturale in sito

LO SPERIMENTATORE
 dott. Bertasa Michele

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO
 dott. Belloni Marco



GEODRILL S.r.l. - Via F.lli Bandiera n°2 -TREVIOLO (Bg) -Tel 035-6221296 - info@geodrill.it
 Laboratorio terreni ed aggregati autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture
 e dei Trasporti per l'esecuzione e la certificazione di prove su terreni (settore a)
 Circ 7618/STC Art.59 DPR n.380/2001 Autorizzazione 276 del 05/11/2015

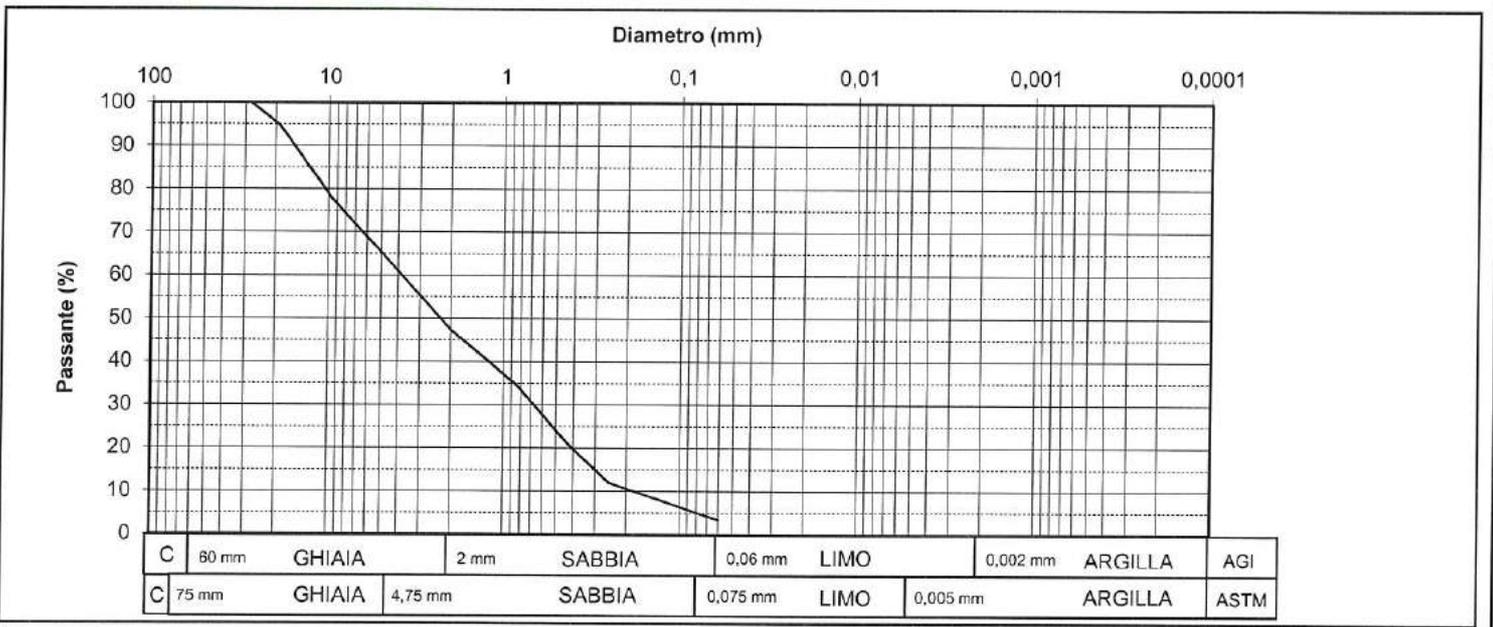


ANALISI GRANULOMETRICA per setacciatura e sedimentazione

ASTM D422 - RACCOMANDAZIONI A.G.I.

CERTIFICATO N°	19-04	ACCETTAZIONE N°	98	COMMESSA N°	19/LAB/19
DEL	06/08/2019	DEL	26/07/2019	DEL	16/07/2019

Committente:	Consorzio del Ticino	Provenienza:	sondaggio S1	Data apertura:	29/07/2019
Località:	Diga Miorina, Golasecca (Va)	Campione n°:	C4 (rim)	Data inizio prova:	31/07/2019
		Profondità:	13,95 - 14,45 m	Data fine prova:	01/08/2019



SETACCIATURA					
diametro mm	% cumulativa trattenuto	% cumulativa passante	% trattenuto	diametro equivalente	% cumulativa passante
75	0,00	100,00	0,00	0,06	3,40
37,5	0,00	100,00	0,00		
19	5,44	94,56	5,44		
9,52	22,40	77,60	16,96		
4,75	35,56	64,44	13,16		
2	52,69	47,31	17,13		
0,85	65,31	34,69	12,62		
0,425	79,30	20,70	13,99		
0,25	88,04	11,96	8,74		
0,105	93,30	6,70	5,26		
0,075	95,33	4,67	2,03		
< 0,075	100,00	0,00	4,67		

DIAMETRO mm		
Diametro massimo D max		27,8
Diametro passante 60% D ₆₀		3,8
Diametro passante 50% D ₅₀		2,2
Diametro passante 30% D ₃₀		0,68
Diametro passante 10% D ₁₀		0,18
COEFFICIENTI		
UNIFORMITA' D ₆₀ /D ₁₀	U =	2,1E+01
CURVATURA D ₃₀ ² /D ₆₀ *D ₁₀	C =	6,8E-01
PERMEAB. (cm/sec) D ₁₀ ²	K =	3,2E-02
PARAMETRI DETERMINATI		
UMIDITA' CAMPIONE %	Wn	9,71

A.G.I.	
CLASSE GRANULOMETRICA %	
CIOTTOLI:	
GHIAIA :	52,69
SABBIA :	43,92
LIMO :	3,40
ARGILLA :	0,00
DENOMINAZIONE A.G.I.:	
ghiaia con sabbia (tracce di limo)	

ASTM	
CLASSE GRANULOMETRICA %	
CIOTTOLI:	
GHIAIA :	35,56
SABBIA :	59,77
LIMO :	4,67
ARGILLA :	0,00
DENOMINAZIONE ASTM.:	
sabbia con ghiaia debolmente limosa	

NOTE - OSSERVAZIONI
 Campione rimaneggiato, in sacchetto.
 Il valore dell'umidità del campione calcolata in Laboratorio potrebbe non corrispondere a quella naturale in sito

LO SPERIMENTATORE
 dott. Bertasa Michele

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO
 dott. Belloni Marco



GEODRILL S.r.l. - Via F.lli Bandiera n°2 -TREVIOLO (Bg) -Tel 035-6221296 - info@geodrill.it
 Laboratorio terreni ed aggregati autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture
 e dei Trasporti per l'esecuzione e la certificazione di prove su terreni (settore a)
 Circ 7618/STC Art.59 DPR n.380/2001 Autorizzazione 276 del 05/11/2015

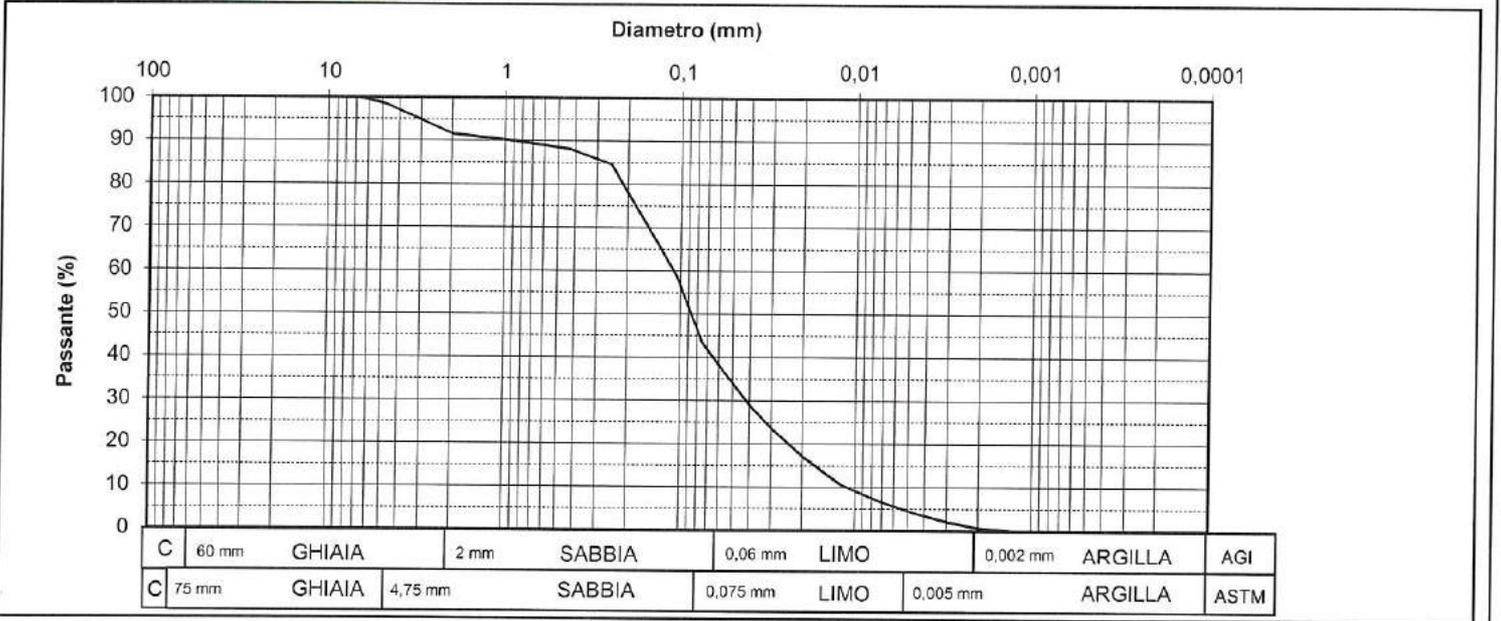


ANALISI GRANULOMETRICA per setacciatura e sedimentazione

ASTM D422 - RACCOMANDAZIONI A.G.I.

CERTIFICATO N°	19-05	ACCETTAZIONE N°	98	COMMESSA N°	19/LAB/19
DEL	06/08/2019	DEL	26/07/2019	DEL	16/07/2019

Committente:	Consorzio del Ticino	Provenienza:	sondaggio S1	Data apertura:	29/07/2019
Località:	Diga Miorina, Golasecca (Va)	Campione n°:	C5 (rim)	Data inizio prova:	31/07/2019
		Profondità:	17,97 - 18,47 m	Data fine prova:	02/08/2019



SETACCIATURA				AEROMETRIA	
diametro mm	% cumulativa trattenuto	% cumulativa passante	% trattenuto	diametro equivalente	% cumulativa passante
75	0,00	100,00	0,00	0,06	38,16
37,5	0,00	100,00	0,00	0,04	28,95
19	0,00	100,00	0,00	0,03	23,68
9,52	0,00	100,00	0,00	0,02	17,11
4,75	1,54	98,46	1,54	0,012	10,53
2	8,44	91,56	6,90	0,007	6,58
0,85	10,09	89,91	1,65	0,0045	3,95
0,425	11,93	88,07	1,84	0,0029	1,97
0,25	15,39	84,61	3,45	0,002	0,66
0,105	41,22	58,78	25,83	0,0013	0,00
0,075	56,58	43,42	15,36		
< 0,075	100,00	0,00	43,42		

DIAMETRO mm		
Diametro massimo D max		6,7
Diametro passante 60% D ₆₀		0,11
Diametro passante 50% D ₅₀		0,088
Diametro passante 30% D ₃₀		0,041
Diametro passante 10% D ₁₀		0,011
COEFFICIENTI		
UNIFORMITA' D ₆₀ / D ₁₀	U =	1,0E+01
CURVATURA D ₃₀ ² / D ₆₀ * D ₁₀	C =	1,4E+00
PERMEAB. (cm/sec) D ₁₀ ²	K =	1,2E-04
PARAMETRI DETERMINATI		
UMIDITA' CAMPIONE % W _n		19,03

A.G.I.	
CLASSE GRANULOMETRICA %	
CIOTTOLI:	
GHIAIA :	8,44
SABBIA :	53,40
LIMO :	37,50
ARGILLA :	0,66
DENOMINAZIONE A.G.I.:	
sabbia con limo debolmente ghiaiosa (tracce di argilla)	

ASTM	
CLASSE GRANULOMETRICA %	
CIOTTOLI:	
GHIAIA :	1,54
SABBIA :	55,04
LIMO :	38,95
ARGILLA :	4,47
DENOMINAZIONE ASTM.:	
sabbia con limo debolmente argillosa debolmente ghiaiosa	

NOTE - OSSERVAZIONI
 Campione rimaneggiato, in sacchetto.
 Il valore dell'umidità del campione calcolata in Laboratorio potrebbe non corrispondere a quella naturale in sito

LO SPERIMENTATORE
 dott. Bertasi Michele

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO
 dott. Belli Marco

Allegato n° 4

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Fig. 1 – Postazione Sondaggio n° 1



Fig. 2 – Sondaggio 1 da 0.0 a 5.0 / da 5.0 a 10.0 m da p.c.



Fig.3 Sondaggio 1 da 10.0 a 15.0/ da 15.0 a 20.0 m da p.c.

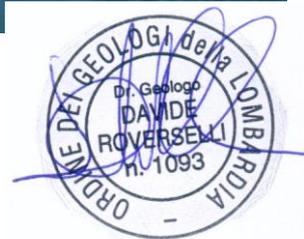


CONSORZIO DEL TICINO

Indagini geofisiche di tipo geoelettrico presso la diga della Miorina nel Comune di Golasecca (VA)



Dr. Geol. Davide Roverselli





Sommario

1	PREMESSA.....	3
1.1	Documentazione fotografica relativa alle fasi di attività in sito.....	5
2	RILIEVO TOMOGRAFICO ELETTRICO	7
2.1	Metodologia	7
2.2	Cenni teorici.....	7
2.3	Modalità di misura.....	7
2.4	Modalità d'intervento	9
2.5	Modalità operative	11
2.6	Elaborazione dati.....	13
2.7	Analisi dei dati	14
2.7.1	Profilo L1.....	15
2.7.2	Profili F1, F2, F3, F4 e F5.....	16
3	OSSERVAZIONI CONCLUSIVE.....	19

Nello specifico elaborato grafico (**All.1** - Scala 1:2000), è stata riportata in dettaglio l'ubicazione dei profili ubicati sia longitudinalmente (L1) sia perpendicolarmente (da F1 a F5) alla traversa della Miorina, come mostrato nell'estratto in formato ridotto di Fig. 2.

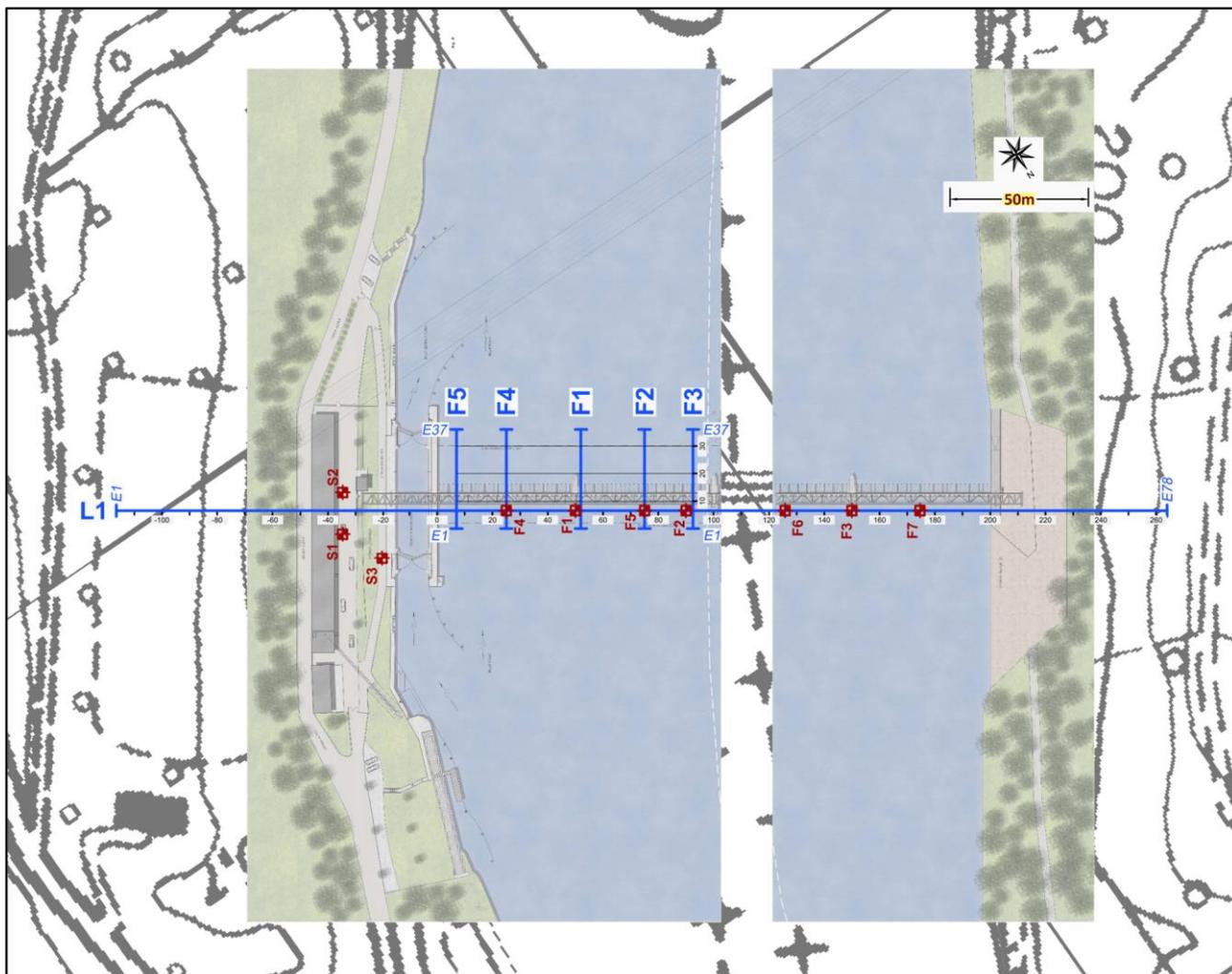


Fig. 2 - Estratto planimetrico con l'ubicazione delle indagini geoelettriche eseguite (in blu) e dei sondaggi geognostici (in rosso) nella zona d'indagine



1.1 Documentazione fotografica relativa alle fasi di attività in sito

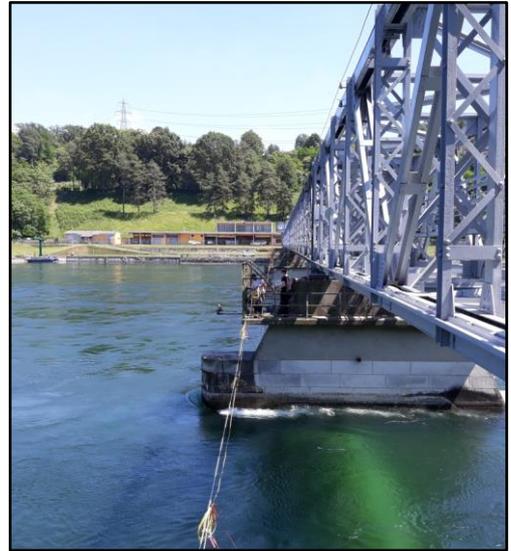


Fig. 3 – Operazioni di allestimento dello stendimento relativo al profilo tomografico elettrico L1, eseguito in attraversamento del F. Ticino

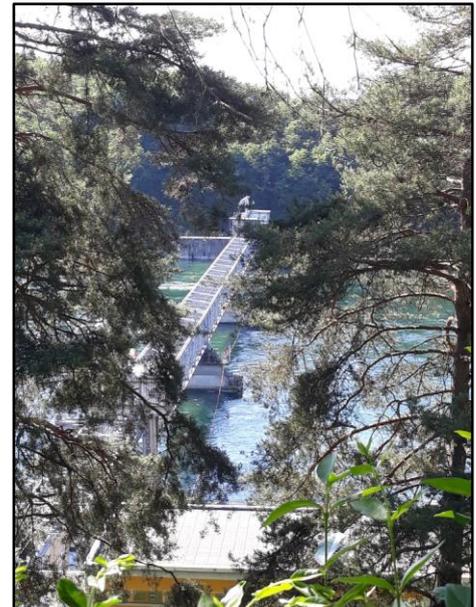
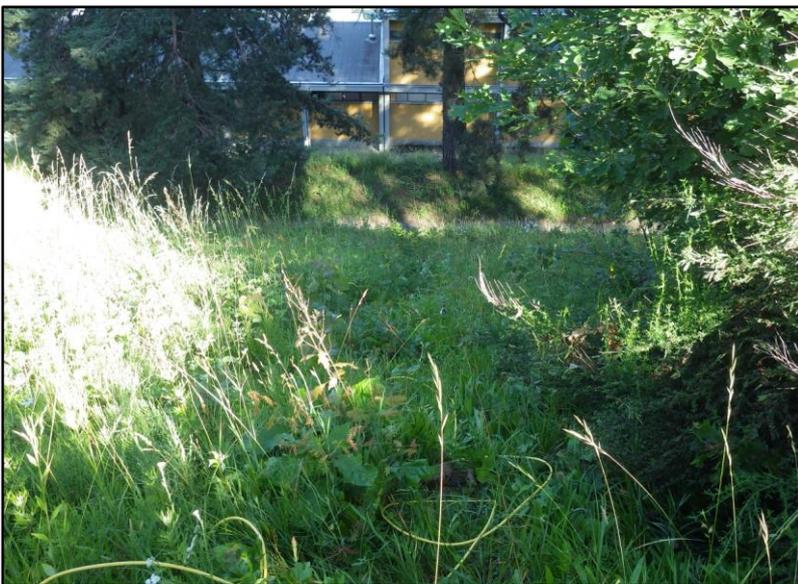


Fig. 4 – Particolare dello stendimento tomografico elettrico L1 (a sinistra) e panoramica (a destra) dalla sponda sinistra del F. Ticino

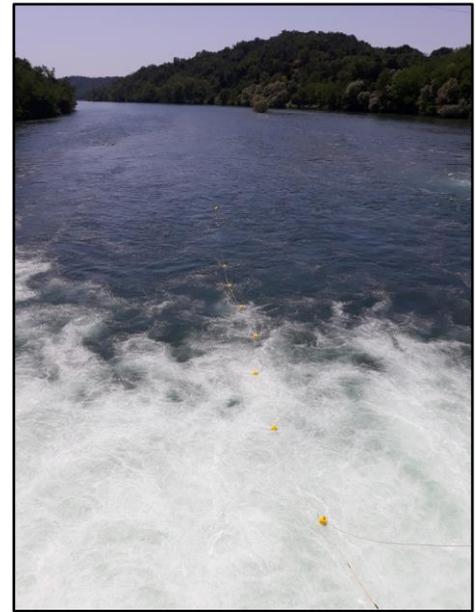


Fig. 5 – Profilo tomografico elettrico eseguito in direzione longitudinale al deflusso idrico del F. Ticino: posizionamento degli elettrodi sospesi nella parte di monte della diga mediante l'uso di un'asta telescopica (a sinistra) e nella parte di valle tramite immersione diretta del cavo elettrico sostenuto da boe galleggianti (a destra)



Fig. 6 – Particolare dello stendimento elettrodico di uno dei profili trasversali alla diga (a sinistra) e fase di registrazione e acquisizione dati (a destra)



2 RILIEVO TOMOGRAFICO ELETTRICO

2.1 Metodologia

La metodologia “geoelettrica” rappresenta uno dei metodi geofisici storicamente più utilizzati per la ricostruzione delle strutture presenti nel sottosuolo con particolare riferimento alle tematiche legate alla caratterizzazione delle diverse formazioni geolitologiche.

I recenti sviluppi dell’elettronica e delle procedure di acquisizione dati gestite via software, hanno consentito di applicare questa metodologia, un tempo lenta e laboriosa, ai più disparati settori dello studio del sottosuolo con tempistiche e dettaglio un tempo impensabili.

2.2 Cenni teorici

Il parametro di base è la “resistività elettrica”, proprietà fisica che esprime la “resistenza” che i materiali offrono al passaggio della corrente elettrica.

Le misure geoelettriche consentono, valutando le deformazioni del flusso di corrente indotte dalle proprietà fisiche dei materiali, di caratterizzare i materiali stessi e ricostruirne la distribuzione spaziale.

La resistività che caratterizza i materiali costituenti il sottosuolo, è determinata essenzialmente dai seguenti fattori:

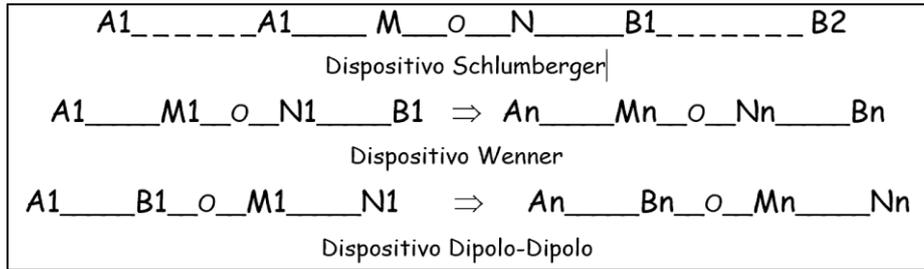
- natura litologica (conducibilità intrinseca dei componenti di base);
- porosità e/o fratturazione e quindi forma, dimensione e continuità dei pori;
- percentuale di presenza di fluidi interstiziali (essenzialmente presenza di acqua);
- grado di salinità dell’acqua di saturazione;
- presenza di matrice fine.

2.3 Modalità di misura

La misura del valore di resistività elettrica dei materiali si realizza creando un campo elettrico artificiale nel mezzo oggetto dell’indagine e studiandone la distribuzione nel sottosuolo.

Il dispositivo di misura è costituito quindi da due coppie di elettrodi metallici (quadripolo) infissi sul terreno o posti, come nel presente studio, a contatto con il pelo libero dell’acqua, con geometrie che si differenziano in funzione del tipo di rilievo da realizzare.





Il dispositivo di misura classico è costituito quindi da due coppie di elettrodi, disposti a distanze opportune (dispositivo quadripolare), in posizioni generalmente simmetriche rispetto ad un punto centrale O, al quale si riferisce il valore di resistività misurato, ad una profondità che è funzione della interdistanza tra le due coppie di elettrodi.

La coppia (A-B) costituisce il circuito con il quale s’immette corrente nel terreno, la coppia (M-N) è il circuito di misura della differenza di potenziale generata nel terreno stesso dal passaggio della corrente.

Si misurano così le variazioni del campo elettrico, indotte dalle eterogeneità litologiche presenti nel sottosuolo; queste variazioni sono più o meno marcate in funzione del contrasto di resistività elettrica esistente fra mezzi con caratteristiche differenti.

La profondità dell’esplorazione è direttamente proporzionale alla distanza tra i due elettrodi A e B e alle caratteristiche intrinseche del mezzo esplorato.

La scelta del dispositivo più opportuno è legata alle condizioni dell’area da indagare, sia in termini strutturali sia di rapporto segnale-rumore (S/N); in questo lavoro è stata utilizzata una combinazione Wenner-Schlumberger.

L’innovazione fondamentale introdotta nell’acquisizione tomografica è rappresentata dall’utilizzo di strumentazioni digitali “multicanale” in grado di gestire automaticamente un gran numero di elettrodi che riducono largamente i tempi di acquisizione e forniscono la misura della resistività in corrispondenza di un elevato numero di punti costituenti la sezione indagata.

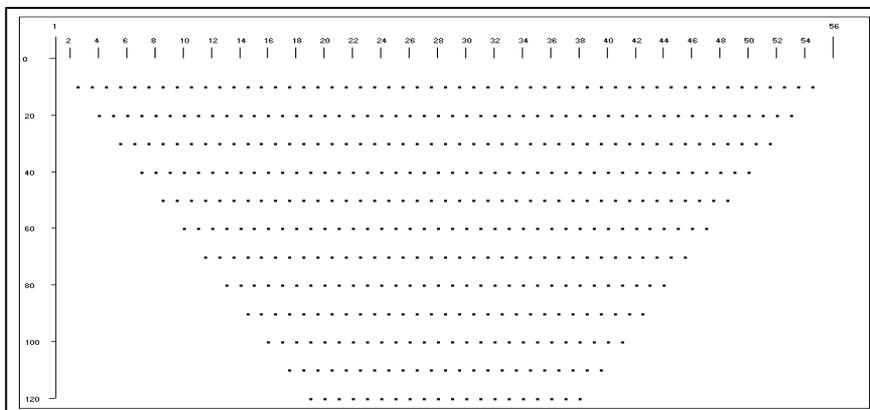


Fig. 7 – Tomografia elettrica – Esempio di distribuzione delle misure



Grazie all'elevata densità dei punti si rende possibile, nella fase di elaborazione, l'applicazione di potenti algoritmi di "inversione" bidimensionale (2D) ricostruendo con estremo dettaglio, la sezione di resistività "vera", definendo in particolare gli effetti delle "variazioni laterali" e quindi restituendo una rappresentazione finale largamente corrispondente alla situazione reale.

2.4 Modalità d'intervento

La capacità della tomografia elettrica di discriminare con grande dettaglio le unità di copertura, le variazioni laterali, nonché le eventuali "inversioni di resistività" (che costituiscono un grande limite per altre metodologie) rappresenta una fondamentale caratteristica del metodo.

Gli elettrodi vengono disposti lungo stendimenti sulla superficie topografica, secondo lo schema rappresentato in Fig. 7.

In tal caso, la profondità di esplorazione è direttamente proporzionale alla lunghezza dello stendimento, mentre il dettaglio è funzione della distanza elettroica. Entrambe queste dimensioni rappresentano quindi un aspetto fondamentale per la progettazione dell'intervento.

In genere le indagini sono volte all'esplorazione secondo sezioni bidimensionali (2D) ma è possibile intervenire con modalità tridimensionale (3D) sia in acquisizione sia in elaborazione. È inoltre possibile l'elaborazione 3D sulla base di una geometria di acquisizione 2D.

I dati sono stati acquisiti tramite due resistivimetri digitali del tipo:

- A.G.I. SUPERSTING STING R1/IP: dotato di sistema automatico di commutazione degli elettrodi attivi di misura (smart electrodes) secondo le diverse configurazioni elettrodiche e pacchetto software dedicato per la gestione di tutte le fasi di rilievo.

Lo strumento è in grado di gestire fino a 254 elettrodi contemporaneamente collegati, gestendo via software tutte le operazioni relative al controllo di qualità dei dati acquisiti attraverso le seguenti fasi:

- controllo del dispositivo di misura tramite verifica della resistenza di contatto degli elettrodi;
- azzeramento dei potenziali spontanei;
- iniezione di corrente in quantità, periodo e sequenza opportune;
- misura della differenza di potenziale e verifica della qualità del dato tramite il calcolo della "deviazione standard";
- memorizzazione di tutti i dati relativi all'acquisizione.





In particolare, l'attrezzatura è stata impiegata per lo svolgimento del profilo tomografico elettrico L1 in attraversamento del F. Ticino, adattata in modo specifico per le finalità dell'indagine in funzione delle condizioni logistiche di intervento.



Fig. 8 – Georesistivimetro digitale del tipo A.G.I. SUPERSTING STING R1/IP (a sinistra) e Smart Electrode (a destra)

- AMBROGEO MANGUSTA SYSTEM MC 96/E: in grado di gestire fino a 96 elettrodi singolarmente indirizzabili secondo le diverse configurazioni elettrodiche. Lo strumento è costituito da una Centralina hardware di controllo, da un Laptop che gestisce il processo di misura, da unità periferiche (elettrodi passivi, cavi impermeabili e picchetti metallici) e da moduli esterni di energizzazione. L'attrezzatura è stata impiegata per lo svolgimento dei profili tomografici longitudinali all'alveo del F. Ticino (da F1 a F5).

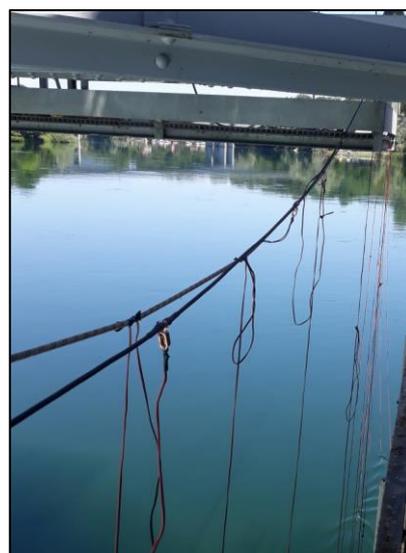


Fig. 9 - Georesistivimetro Mangusta System MC 96/E (a sinistra) ed elettrodi passivi fissati al cavo elettrico impermeabile (a destra)



La principale innovazione introdotta dalla strumentazione utilizzata è rappresentata dalla gestione totalmente automatizzata delle misure che si realizza attraverso l'invio alternato della corrente agli elettrodi e misurata la differenza di potenziale, secondo una sequenza pre-programmata. È quindi possibile l'acquisizione in tempi brevi di un elevato numero di punti.

2.5 Modalità operative

Per la preparazione dello stendimento geoelettrico L1 in attraversamento del F. Ticino, eseguito durante la Fase 1a, è stato impiegato il carro di servizio per la manutenzione di cui è dotato il ponte a traliccio, garantendo lo svolgimento delle operazioni di allestimento in condizioni di sicurezza.

Preliminarmente alla stesura del cavo geoelettrico con gli elettrodi di registrazione si è proceduto all'ancoraggio di un cavo guida in sospensione ogni 50 m, tra le sponde e tra le pile.

Il cavo guida ha avuto una duplice funzionalità:

- consentire il successivo scorrimento del cavo geoelettrico di registrazione mediante l'utilizzo di moschettoni e carrucole ed il posizionamento degli elettrodi a passo regolare di 5 m, appositamente adattati con cavi unipolari per il contatto con l'acqua;
- mantenere la geometria e la linearità del rilievo, data l'intensità della corrente del fiume.

Ai lati della traversa e su entrambe le sponde, viceversa il contatto degli elettrodi al terreno è avvenuto attraverso l'infissione di picchetti di acciaio opportunamente predisposti per sostenere gli "smart electrodes".

Negli adiacenti settori stradali pavimentati in asfalto/cemento, il necessario contatto con il terreno naturale sottostante è stato realizzato con la perforazione di piccoli fori con trapano.

L'elevata versatilità dei cavi geoelettrici utilizzati, dotati di connettori iniziali e finali ha permesso di posizionare la strumentazione di registrazione (georesistivimetro), alimentata da una batteria a 12 V, esternamente alla traversa lungo la sponda sinistra del F. Ticino, in totale condizioni di sicurezza.



Fig. 10 – Operazioni di fissaggio del cavo geoelettrico al cavo guida (a sinistra) e panoramica dello stendimento con i cavi unipolari posti a contatto con il pelo libero dell'acqua

Per quanto concerne, i profili realizzati longitudinalmente all'alveo del F. Ticino perpendicolarmente alla traversa (da F1 a F5), eseguiti durante la Fase 1b, per la registrazione sono stati utilizzati cavi geoelettrici impermeabili con elettrodi passivi equispaziati di 1.0m.

Gli stendimenti sono stati realizzati in corrispondenza della pila 1 (profilo F1), tra le pile 1 e 2 (profili F2 e F3), tra la pila 1 e la banchina della conca di navigazione (profili F4 e F5).

Gli stendimenti sono stati approssimativamente centrati tra la traversa e il manufatto (briglia), oggetto di rilievo nel dettaglio. L'unità di registrazione (georesistivimetro), è stata posta sulla passerella del ponte a traliccio.

Lo sviluppo dello stendimento nel lato a monte della traversa è stato garantito attraverso il fissaggio del cavo geoelettrico di registrazione ad un'asta telescopica con gli elettrodi posti direttamente a contatto del pelo libero dell'acqua attraverso un cavo unipolare, come nella fase 1a.

Nel settore di valle invece il cavo geoelettrico di registrazione con gli elettrodi, essendo impermeabile, è stato posto direttamente a contatto dell'acqua sostenuto da boe galleggianti, sfruttando l'intensità della corrente per l'estensione del cavo.



Fig. 11 – Sostegno del cavo geoelettrico e degli elettrodi passivi a boe galleggianti nella parte di valle della diga (a sinistra) e fissaggio del cavo geoelettrico, con relativi elettrodi appesi, ad un'asta telescopica nella parte di monte

2.6 Elaborazione dati

L'elaborazione dei dati segue il seguente schema:

- editing per l'individuazione e rimozione dei valori caratterizzati da un errore elevato (deviazione standard $> 2\%$);
- ricostruzione della sezione di pseudoresistività apparente misurata;
- definizione delle dimensioni della griglia da utilizzare per l'inversione 2D;
- inversione 2D e la ricostruzione della sezione di resistività tramite iterazioni successive condotte sulla base del confronto delle pseudosezioni di resistività misurata e calcolata.

I passi indicati sono sviluppati tramite l'utilizzo dei seguenti pacchetti software:

- RES2DINV 3.57

Programma che, dai dati di resistività apparente calcolata e utilizzando la tecnica d'inversione *smoothness-constrained least-squares*, produce un modello bidimensionale di

resistenza reale vs profondità. Il programma è completamente automatico ed è stato ottimizzato per essere utilizzato con “*data set*” di grandi dimensioni acquisiti secondo le configurazioni Wenner, Schlumberger, dipolo-dipolo, polo-polo, polo-dipolo, ecc.

Tramite questo programma è inoltre possibile effettuare le adeguate correzioni topografiche. Unitamente al programma RES2DMOD costituisce un avanzato pacchetto di “inversione” e “modeling” bidimensionale. Il programma seleziona automaticamente i migliori parametri d’inversione per ogni particolare set di dati e comunque i parametri che influenzano il processo d’inversione possono essere modificati dall’utente.

Sono forniti tre differenti variazioni del metodo *least-squares*: uno molto veloce “quasi Newton”, uno più lento ma più accurato “Gauss-Newton” e una tecnica ibrida mediamente veloce che include i vantaggi di entrambe i metodi precedenti.

- GOLDEN SOFTWARE – SURFER

Software utilizzato per la rappresentazione dei dati acquisiti tramite un processo *contouring* di curve ad isovalore di resistività.

2.7 Analisi dei dati

Le procedure di lavoro descritte hanno consentito di acquisire dati di un elevato livello qualitativo e pertanto il successivo processo d’inversione per l’elaborazione della sezione finale, ha raggiunto livelli minimi di scostamento nel confronto tra i dati acquisiti (resistività apparente) e modello teorico (resistività calcolata).

Il risultato di tale elaborazione viene quindi rappresentato con la ricostruzione di un modello di distribuzione dei valori di resistività elettrica calcolata per ciascuna sezione registrata ed evidenziata tramite una specifica gradazione di colori (Fig. 12).

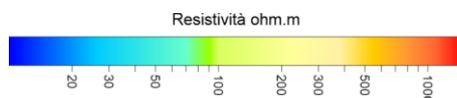


Fig. 12 – Scala colorimetrica dei valori di resistività elettrica

Le Sezioni Elettriche, rappresentate in scala 1:500 (L1) e 1:250 (da F1 a F5), sono allegate nell’elaborato grafico allegato (**All.1**) e in formato ridotto nelle seguenti Fig. 13, Fig. 14 e Fig. 15.



2.7.1 Profilo L1

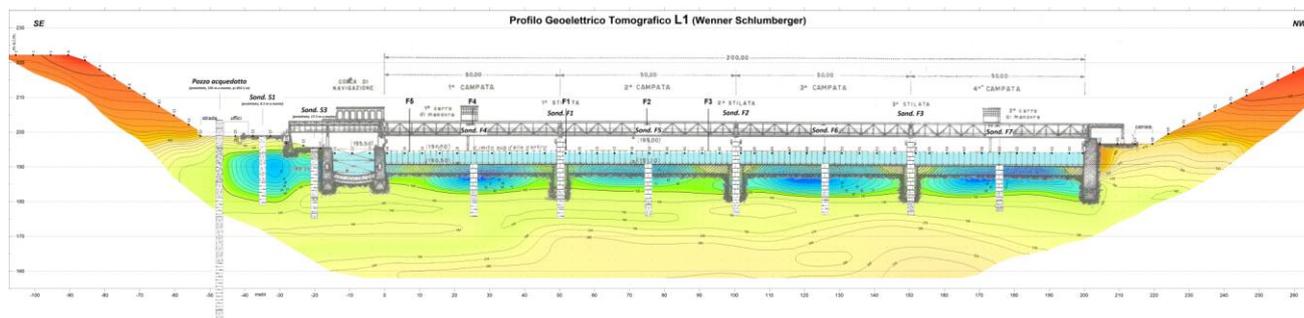


Fig. 13 – Sezione Geoelettrica L1, eseguita longitudinalmente alla Traversa

Modello di resistività – Considerazioni qualitative

1. Il processo d'inversione 2D dei dati misurati di resistività apparente, ha consentito la ricostruzione di un modello costituito dalla sovrapposizione di livelli omogenei dotati di una limitata anisotropia laterale e, viceversa, una maggiore variabilità in verticale.
2. La successione delle unità geofisiche, in livelli sub-orizzontali, risulta del tutto compatibile con il modello geologico di riferimento per l'area (unità quaternarie continentali di origine fluviale e fluvio-glaciale).

Modello di resistività – Considerazioni quantitative

1. I valori di resistività calcolati risultano riferibili ai range di valori attesi per le unità stratigrafiche oggetto dell'indagine:
 - a. acqua del fiume < 50 ohm.m
 - b. depositi alluvionali saturi > 100 ohm.m
2. dal confronto tra i valori di resistività e le informazioni dedotte dalle stratigrafie dei sondaggi meccanici, si osserva un'elevata correlazione tra gli stessi e pertanto, facendo riferimento alla sezione elaborata, è possibile definire un'ottima correlazione, per la lettura del modello geofisico, sintetizzabile come segue:
 - i. GHIAIE > 200 ohm.m
 - ii. SABBIE tra $150 - 200$ ohm.m
 - iii. LIMI SABBIOSI < 150 ohm.m



La sezione mostra, quindi, la sovrapposizione di due unità:

1. Unità superficiale di sabbie e sabbie limose prevalenti, sviluppata fino alla quota di 170 m s.l.m. nel tratto mediano della sezione e che, peraltro, mostra uno sviluppo maggiore nel tratto iniziale (prima campata) fino a circa 165 m s.l.m.
2. Unità sottostante di ghiaie sabbiose prevalenti, sviluppata fino ad almeno 160 m s.l.m. e si evidenzia più superficiale al passaggio tra la terza e la quarta campata.

2.7.2 Profili F1, F2, F3, F4 e F5

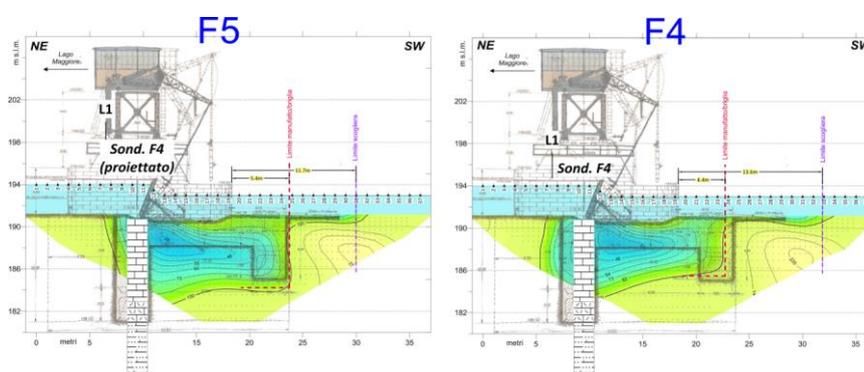


Fig. 14 – Sezioni geoelettriche F5 e F4, eseguite in direzione perpendicolare alla traversa all'interno della Campata 1

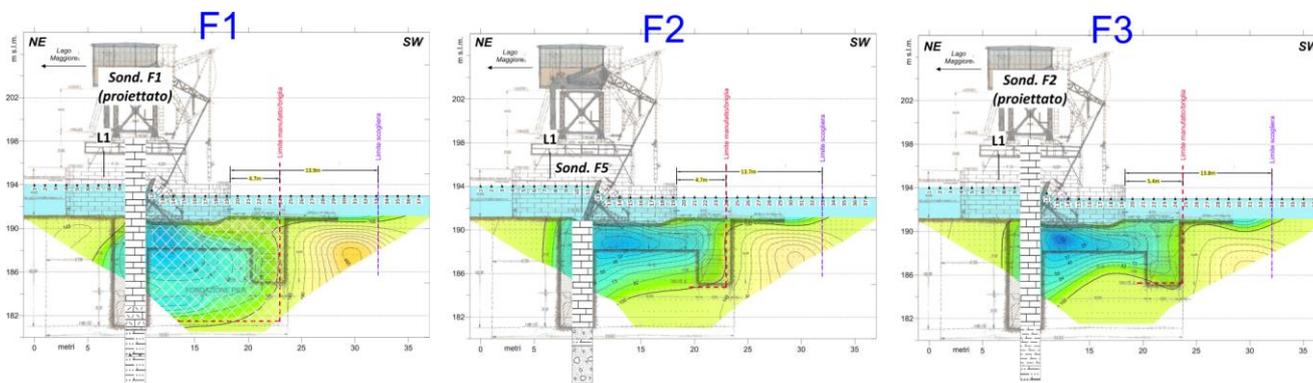


Fig. 15 - Sezioni geoelettriche F1, F2 e F3, eseguite in direzione perpendicolare alla traversa all'interno della Campata 2



Modello di resistività – Considerazioni qualitative

1. Il processo d'inversione 2D dei dati misurati di resistività apparente ha consentito la ricostruzione di un modello costituito da unità geofisiche ben definite e del tutto correlabili tra loro a riprova di una consistente qualità dei dati acquisiti.
2. L'andamento di tali unità geofisiche risulta del tutto compatibile con la natura fisica del complesso briglia/manufatto e della massicciata posta a valle della traversa a protezione della stessa.

Modello di resistività – Considerazioni quantitative

1. I valori di resistività misurati in corrispondenza del nucleo delle sezioni risultano coerenti con il *range* di valori attesi per una struttura in calcestruzzo, quale la briglia oggetto dell'indagine e ne descrivono in dettaglio la geometria. A tale proposito si precisa, peraltro, che i valori di resistività relativamente più bassi, misurati a ridosso delle paratie, ancorate al manufatto, sono riferibili all'influenza generata dalla loro natura metallica.

In sintesi si distinguono, quindi:

- a. manufatto in calcestruzzo < 100 ohm.m
 - b. depositi alluvionali saturi > 100 ohm.m
2. Come già descritto in merito alla sezione trasversale al corso d'acqua, i valori di resistività misurati tramite le sezioni longitudinali, mostrano un'ottima corrispondenza con le informazioni dedotte dalle stratigrafie dei sondaggi meccanici e con i valori di resistività della sezione trasversale stessa (L1). Per i tratti indagati è possibile ipotizzare la seguente distinzione:
 - a. Calcestruzzo < 100 ohm.m
 - b. Sabbie e limi sabbiosi tra $100 - 200$ ohm.m
 - c. Ghiaie e materiale grossolano > 200 ohm.m

Le sezioni mostrano in sintesi la presenza di tre unità:

1. Unità nucleiforme centrale (colore verde-azzurro) riferibile alla briglia in calcestruzzo, sviluppata a partire dal fondo alveo fino ad una quota media di 184 m s.l.m.. Nel dettaglio l'unità è presente in tutte le sezioni indagate indicativamente tra le progr. 5 e 24 m fino a chiudersi repentinamente dopo tale intervallo.





In particolare, lungo i profili F5, F4, F2 e F3 l'unità mostra un andamento caratterizzato da buona conformità allo schema costruttivo di progetto del manufatto, con un evidente approfondimento nella parte di monte in corrispondenza della traversa.

Nella sezione F1, acquisita in prossimità della prima stilata, tra le medesime progressive, l'unità si definisce con omogeneità e si sviluppa per un maggiore spessore, in ragione del maggior volume di calcestruzzo dovuto alla presenza del basamento della pila di fondazione della traversa.

2. Unità laterale e inferiore (colore verde chiaro) riferibile a sabbie e limi sabbiosi, presente a partire da 191 m s.l.m. (fondo alveo). Si definisce lateralmente nel settore di monte tra le a progr. 0 e 5 m e al di sotto del manufatto (briglia) tra le progr. 10 e 25 m (eccetto F1).
3. Unità a valle della briglia (colore giallo-arancione) riferibile al materiale grossolano posto a protezione del manufatto stesso (scogliera), oltre la progr. 25 m.
Nel profilo F1 si osserva per questa unità, un incremento dei valori di resistività oltre 400 ohm.m, presumibilmente dovuto ad un locale aumento di pezzatura granulometrica dei materiali.





3 OSSERVAZIONI CONCLUSIVE

Grazie alle particolari accortezze operative adottate, l'intervento descritto, pur svolto in condizioni logistiche estremamente impegnative, ha consentito di acquisire dati di elevata qualità e sicura valenza tecnica.

I risultati delle indagini geoelettriche condotte hanno permesso di ricostruire, in particolare nella sezione trasversale di attraversamento dell'alveo del F. Ticino (L1), i rapporti stratigrafici e le geometrie bidimensionali finalizzate alla ricostruzione del modello geologico/stratigrafico del sottosuolo definito sulla base della geometria delle unità elettrostratigrafiche individuate.

Il modello geologico dedotto dall'elaborazione dei dati geofisici è risultato decisamente compatibile con i dati forniti dalle indagini dirette (sondaggi geognostici pregressi e attuali), la cui lettura e rielaborazione risulta decisamente corroborata e integrata dall'indagine svolta.

In alcune situazioni, l'inevitabile interferenza esercitata dalla presenza delle strutture metalliche sui valori di resistività, ha prodotto un locale effetto distorsivo, che peraltro non ha inficiato la lettura e interpretazione generale dei risultati.

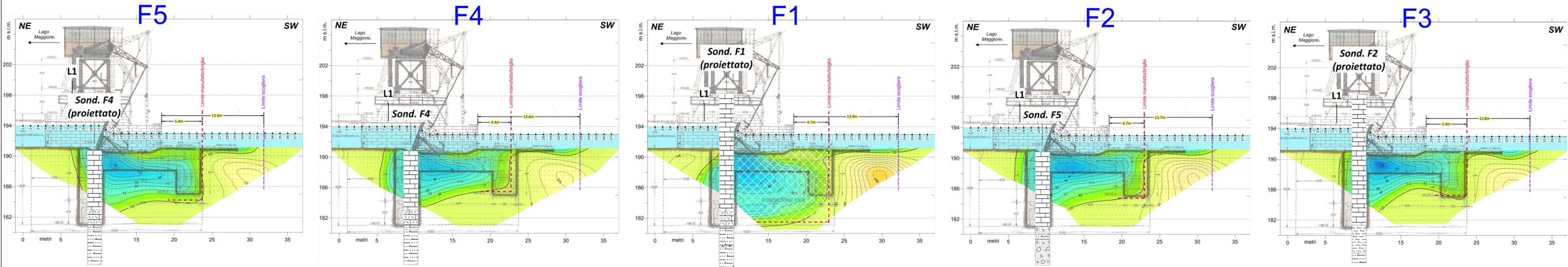
Le sezioni eseguite in direzione perpendicolare alla traversa (da F1 a F5) finalizzate alla ricostruzione di un modello del manufatto (briglia) tra le campate 1 e 2, hanno permesso di confermare sostanzialmente lo schema costruttivo di progetto, di verificare la continuità del manufatto lungo l'intero tratto indagato, esteso con buona omogeneità sia in senso laterale che verticale e di evidenziare la presenza di materiale grossolano (scogliera) nel settore di valle a ridosso della briglia, oggetto anch'esso di verifica.

Nella visione d'insieme dei risultati ottenuti con le sezioni trasversali il limite di valle del manufatto (briglia), evidenziato con tratteggio rosso nelle Fig. 14, Fig. 15 e in All.1, è posto mediamente a 5 m dal bordo di valle delle pile (balcone) mentre il limite della scogliera di protezione del manufatto stesso, evidenziato con tratteggio viola, si definisce per un'estensione massima prossima a 14 m dal medesimo punto di riferimento.

Dott. Geol. Davide Roverselli



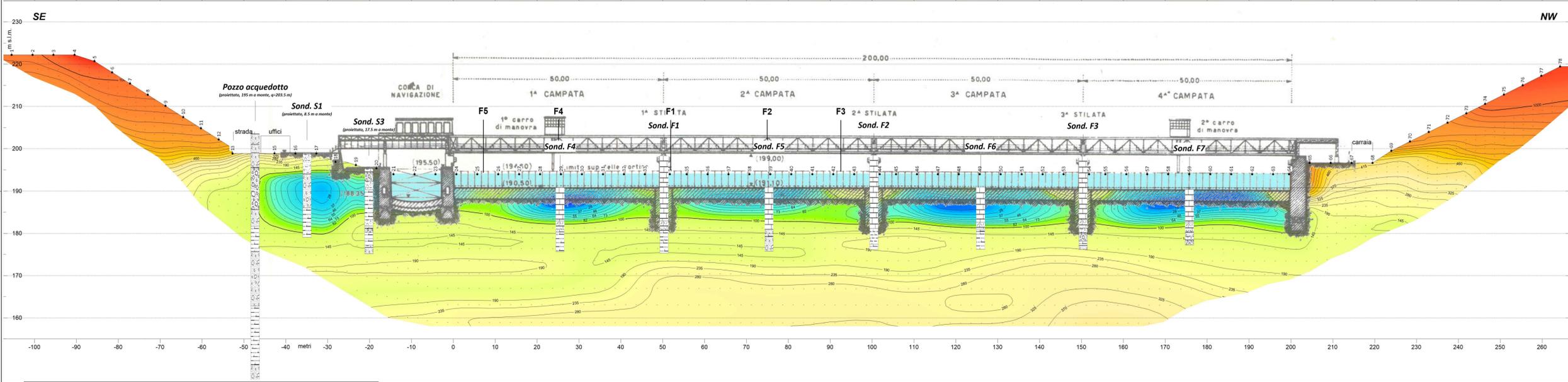
Profili tomografici elettrici perpendicolari alla Traversa - F1, F2, F3, F4 e F5 - Scala 1:250



Stendimento elettrodo nella parte di valle alla diga sostenuto da boe
Profilo F2



Profilo tomografico elettrico longitudinale alla Traversa - L1 - Scala 1:500



Stendimento elettrodo nella parte di monte alla diga - Profilo F5



PLANIMETRIA DI RIFERIMENTO - Scala 1:2.000

TRACCE SEZIONI ELETTRICHE: L1-F5

Elettrodi iniziali e finali stendimento

Progressive di riferimento in metri

Sondaggi geognostici: F1-F7: anno 2004; S1-S2: anno 2016; S3: anno 2019.

RILIEVO TOMOGRAFICO ELETTRICO - Scala 1:250/1:500

ELETTRODI SUL PELO LIBERO DELL'ACQUA

PUNTI DI MISURA

CURVE DI ISORESISTIVITA'

Resistività ohm.m

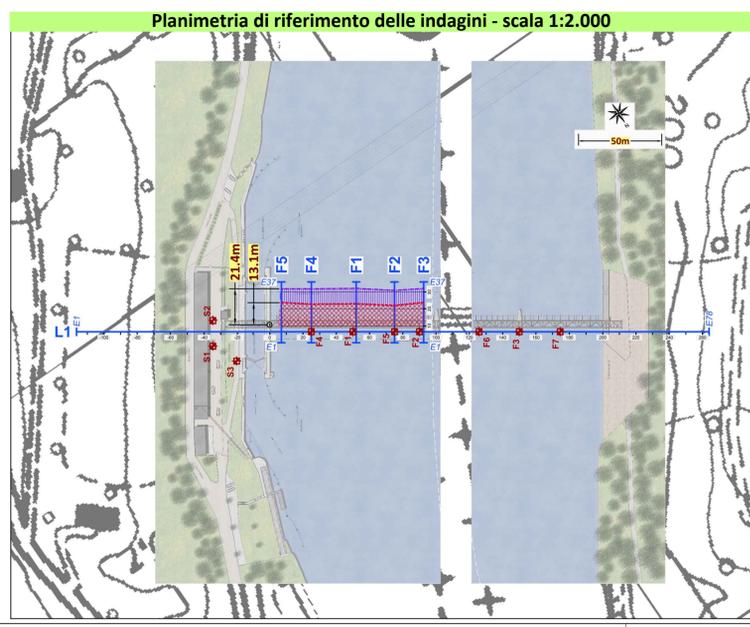
DESCRIZIONE STRATIGRAFICA

Argilla
Calcestruzzo
Calcestruzzo fratturato
Ciotoli
Ghiaia sabbiosa
Ghiaia sabbiosa limosa
Limo argilloso
Limo sabbioso argilloso con ghiaia
Limo sabbioso ghiaioso
Parmentazione
Sabbia ghiaiosa
Sabbia ghiaiosa limosa
Sabbia limosa con ciotoli
Sabbia limosa-argillosa
Sabbia limosa
Terreno agrario

Sezioni perpendicolari alla traversa: F1-F5 limiti definiti dal rilievo geoelettrico

manufatto / briglia

scogliera



CONSORZIO DEL TICINO

Oggetto: Indagini geofisiche di tipo geoelettrico di supporto al progetto di manutenzione straordinaria finalizzato al ripristino della capacità d'invaso di ritenuta della traversa della Miorina, tramite interventi sulle campate 1 e 2 in sponda sinistra del fiume Ticino nel Comune di Golasecca (VA)

PLANIMETRIA DI RIFERIMENTO
scala 1:2.000

SEZIONI TOMOGRAFICHE ELETTRICHE

Longitudinale alla Traversa SE-NW: L1
scala 1:500

Perpendicolari alla Traversa NE-SW: F1, F2, F3, F4 e F5
scala 1:250

AII. 1

GEONVEST s.r.l.
Geologia-Geofisica