



**S.G.M. Geologia e Ambiente S.r.l.**  
Via M. M. Plattis, 21 - 44124 FERRARA  
internet: [www.sgm-ambiente.it](http://www.sgm-ambiente.it)  
e-mail: [info@sgm-ambiente.it](mailto:info@sgm-ambiente.it)

Tel 0532/977899  
Fax 0532/906907  
C.F. e Partita Iva 01299560381

## COMMITTENTE

### Regione Toscana



## CAMPAGNA DI INDAGINE AMBIENTALE MEDIANTE TECNOLOGIA MI-HPT (Membrane Interface & Hydraulic Profiling Tool)

OGGETTO: **Relazione**

LOCALITA': Casalguidi, Serravalle Pistoiese (PT)

Data emissione documento  
**Luglio 2020**

N° Archivio  
**46-2020/--**

Coordinatore e Redazione di progetto:  
Dott. Giovanni Rossi





**CAMPAGNA DI INDAGINE AMBIENTALE MEDIANTE  
TECNOLOGIA TECNOLOGIA MI-HPT  
(Membrane Interface & Hydraulic Profiling Tool)  
Località: Casalguidi, Serravalle Pistoiese (PT)  
Committente: Regione Toscana**

## SOMMARIO

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
1.1 OGGETTO DEL PRESENTE DOCUMENTO .....	2
1.2 DOCUMENTAZIONE RACCOLTA E PRODOTTA .....	2
1.3 STATO QUALITATIVO DEI LUOGHI E OBIETTIVO DELL'INDAGINE .....	3
<b>2. UBICAZIONE DELL'AREA.....</b>	<b>5</b>
2.1 LOCALIZZAZIONE DELL'AREA .....	5
<b>3. DESCRIZIONE DELLA TECNOLOGIA M.I.P. E MI-HPT.....</b>	<b>6</b>
3.1 CARATTERISTICHE TECNICHE PUNTA M.I.P. ....	6
3.2 CARATTERISTICHE TECNICHE PUNTA M.I.H.P.T .....	9
3.3 SISTEMA DI ACQUISIZIONE E CONTROLLO DATI .....	11
3.3.1 MIP Controller MP6500 – FI6000 .....	11
3.3.2 Gascromatografo SRI 8610C e sensori .....	11
3.3.3 HPT Flow Controller.....	12
3.4 SENSIBILITÀ DEL SISTEMA .....	13
3.5 STIMA DELLA CONDUCIBILITÀ IDRAULICA (K) CON IL SISTEMA MI-HPT .....	13
3.6 INFORMAZIONI RICAVABILI DAI LOG PRODOTTI .....	14
<b>4. DESCRIZIONE DELLE INDAGINI ESEGUITE.....</b>	<b>16</b>
4.1 ESECUZIONE VERTICALI MIP .....	16
<b>5. RISULTATI OTTENUTI.....</b>	<b>17</b>
5.1 SENSORI PID, FID E XSD .....	17
5.1.1 Dati registrati dal sensore XSD .....	19
5.1.2 Dati registrati dai sensori FID e PID.....	22
5.1.3 Considerazioni relative alle caratteristiche litologiche e idrogeologiche .....	24

## 1. Premessa

### 1.1 Oggetto del presente documento

La scrivente Società è stata incaricata dalla Regione Toscana di eseguire un'indagine ad alta risoluzione con tecnologia combinata M.I.P (Membrane Interface Probe) e MI-HPT (Membrane Interface Hydraulic Profiling Tool), presso la zona industriale di Via del Redolone a Casalguidi nel Comune di Serravalle Pistoiese.

Le indagini sono state realizzate secondo quanto previsto dalle indicazioni internazionali in merito all'utilizzo di sistemi MIP e MI-HPT:

- ASTM (2007) D7352-07 Direct Push Technology for Volatile Contaminant Logging with the Membrane Interface Probe (MIP). Standard Practice;
- Geoprobe (2003/2009, Maggio/Giugno) Technical Bulletin n. MK3010 – Geoprobe Membrane Interface Probe. Standard Operating Procedure.
- Geoprobe Hydraulic Profiling Tool (HPT) System (Gennaio 2015) Standard Operating Procedure. Technical Bulletin No. MK3137.
- Geoprobe (Novembre 2010) Tech Guide for Calculation of Estimated Hydraulic Conductivity (Est. K) Log from HPT Data.

Nel seguente documento verranno forniti:

- la descrizione della tecnologia di indagine adottata;
- l'elaborazione e la presentazione dei risultati ottenuti.

### 1.2 Documentazione raccolta e prodotta

Nelle seguenti tabelle è riportato l'elenco della documentazione raccolta e/o elaborata ai fini dell'indagine in oggetto.

Tab. 1.1 – Documentazione cartografica allegata		
N.	Tavole prodotte	Oggetto e/o osservazioni
Tav. 1	Tavola ubicazione indagini eseguite	Elaborato

Tab. 1.2 – Documentazione allegata		
N.	Estremi documenti	Oggetto e/o osservazioni
All. 1	Log tracciati MI-HPT	Elaborato dagli Scriventi

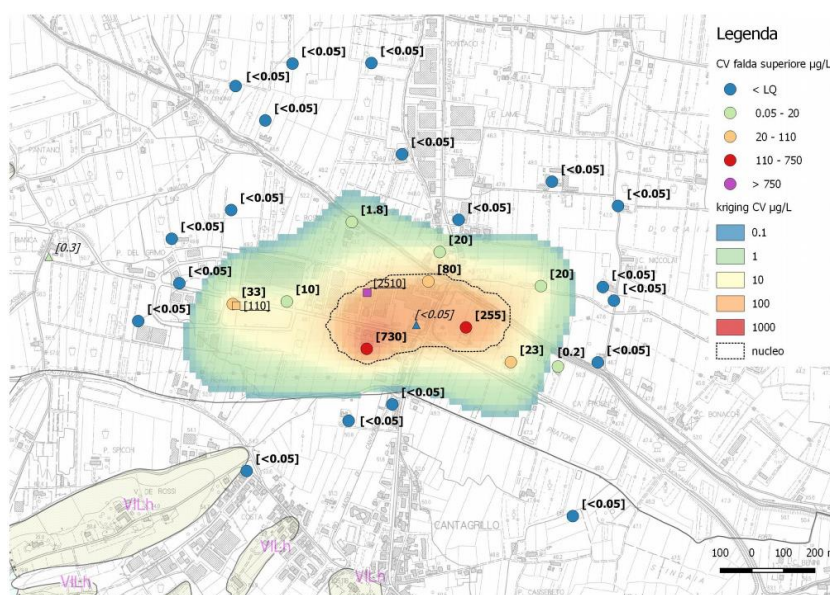
### 1.3 Stato qualitativo dei luoghi e obiettivo dell'indagine

Il monitoraggio ambientale regionale svolto da ARPAT sulle acque sotterranee nella zona del Redolone, in località Ponte Stella a Serravalle Pistoiese (PT), ha evidenziato in passato frequenti superamenti delle CSC per i parametri Cloruro di Vinile Monomero (CVM) e Dicloroetilene (DCE).

Come dettagliato da ARPAT, i dati analitici disponibili mostrano una presenza diffusa di CVM e DCE già a partire dal 2010, per tale ragione, nel mese di Dicembre 2018, ARPAT ha effettuato una campagna di campionamenti delle acque di falda nei pozzi presenti nella zona di Via del Redolone per stabilire l'estensione della contaminazione.

Questa ha mostrato e confermato tale presenza e sulla base dell'andamento dei rapporti tra questi due contaminanti è stata effettuata una prima ipotesi sulla loro origine, ovvero derivanti dalla degradazione di inquinanti primari costituiti da organoalogenati maggiormente complessi, come Percloroetilene (PCE) e Tricloroetilene "triellina" (TCE).

L'indagine ha permesso inoltre di valutare l'estensione di tale contaminazione, individuando quale potenziale sorgente di contaminazione secondaria il settore compreso tra i pozzi TS01 e D (si veda area rosso-arancione nella figura seguente).



*Figura 1.1 – Area interessata dalla contaminazione*

fonte: <http://www.arp.at.toscana.it/notizie/arp.atnews/2019/048-19/cloruro-di-vinile-nelle-falde-della-zona-di-via-del-redolone-a-serravalle-pistoiese>

Nel mese di Dicembre 2019 e Gennaio 2020, dal confronto tra i risultati analitici del campionamento del 2018 e quelli svolti nel 2019/2020 è emersa una leggera diminuzione della concentrazione del parametro CVM, miglioramento che comunque non modifica lo stato di contaminazione dell'area, come riportato nell'articolo di ARPAT del 25/02/2020 pubblicato sul



proprio sito istituzionale e intitolato “Nuova campagna di monitoraggio dei pozzi contaminati da Cloruro di Vinile a Casalguidi (PT)”, come si può osservare nell’immagine riportata di seguito.



Figura 1.2 – Campionamento anno 2019-2020

fonte: <http://www.arpat.toscana.it/notizie/arpatnews/2020/059-20/serravalle-pistoiese-pozzi-contaminati-da-cloruro-di-vinile-a-casalguidi?searchterm=casalguidi>

Essendo necessario localizzare con precisione la fonte di contaminazione, la Regione Toscana, con il supporto di ARPAT, ha pianificato la presente campagna di indagine mediante tecnologia ad alta risoluzione del tipo MiHPT.

Il presente elaborato, pertanto, tratterà della suddetta indagine eseguita con tecnologia DirectView con tecnologia Membrane Interface Probe (MIP) combinata con la tecnologia Hydraulic Profiling Tool (HPT).

## 2. Ubicazione dell'area

### 2.1 Localizzazione dell'area

L'area oggetto dell'indagine si trova nella zona industriale di Casalguidi, in via del Redolone, nel comune di Serravalle Pistoiese.

Nelle figure 2.1 e 2.2 (evidenziato in rosso) si può osservare la corretta localizzazione dell'area d'indagine.



Fig. 2.1 – Localizzazione dell'area di studio (fonte Google Maps)



Fig. 2.2 – Vista aerea dell'area di studio (fonte Google Maps)



### 3. Descrizione della Tecnologia M.I.P. e MI-HPT

Nel capitolo seguente verranno descritte le principali caratteristiche della tecnologia M.I.P (Membrane Interface Probe - Sonda con Membrana d'Interfaccia) e MI-HPT (Membrane Interface Hydraulic Profiling Tool), entrambi sviluppati da Geoprobe Systems.

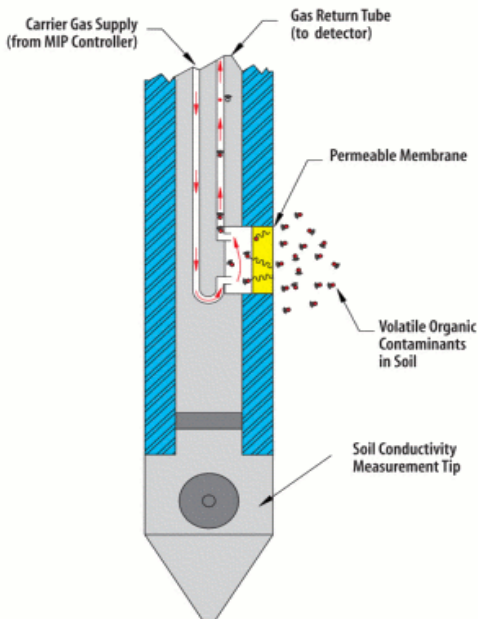

#### 3.1 Caratteristiche tecniche Punta M.I.P.

Il sistema M.I.P. (U.S. Patent N° 5.639.956) è in grado di rilevare in modo semi-quantitativo la concentrazione dei VOC nel sottosuolo in funzione della profondità. Lo strumento è inoltre dotato di un sensore in grado di rilevare la conducibilità elettrica del suolo, ottenendo informazioni sulle litologie attraversate.

In questo modo è possibile:

- il rilevamento dei VOC nel sottosuolo in tempo reale, in tutti i tipi di terreni (granulari e fini, saturi e non saturi);
- l'individuazione e mappatura in tempo reale dei plume contaminanti, composti organici e organo clorurati;
- indagare e mappare la litologia del sottosuolo.

La punta M.I.P. è costituita da un corpo principale in acciaio con un diametro di 1,75 pollici (4,4 cm) e una lunghezza di circa 12 pollici (30 cm) dotato di una particolare membrana riscaldabile fino a circa 120°C che, attraverso una batteria di aste, viene infissa nel terreno fino alla profondità prefissata.

Tab. 3.1 – Caratteristiche tecniche	
Sezione interna della Punta MIP	Gascromatografo da campo
	

L'attrezzatura può essere divisa in:

- sensori a diretto contatto con le matrici ambientali;
- strumentazione analitica in superficie.

Le principali componenti dello strumento sono visibili in Tabella 3.1, mentre le figure seguenti indicano i particolari tecnici della strumentazione, di cui si riporta una breve descrizione.



Figura 3.1 - Punta MIP

L'estremità inferiore della punta M.I.P. è dotata di un dipolo per la misura della conducibilità del suolo. Il processo di misura consiste in una corrente alternata immessa nel terreno attraverso due contatti isolati presenti sulla punta, provocando un ritorno sul corpo della stessa così che la misura della conducibilità rappresenta il voltaggio di corrente generata tra questi due punti (contatti isolati e corpo punta in Fig. 3.2).

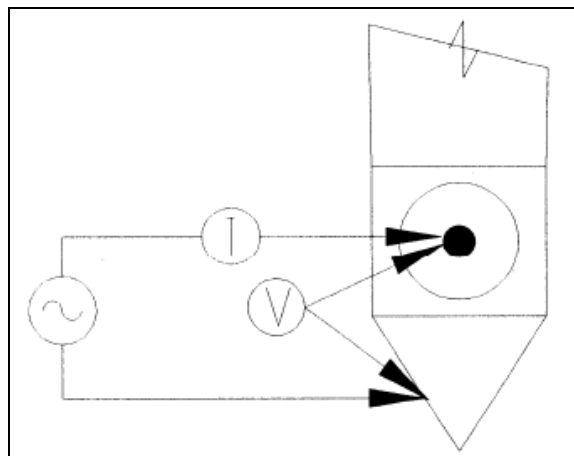


Figura 3.2 - Particolare del dipolo montato sulla punta MIP

Al di sopra del dipolo si trova la membrana idrofobica formata da un composto in metallo e polimeri (Fig. 3.3), che consente il passaggio dei VOCs (Volatile Organic Compounds) trattenendo l'acqua eventualmente presente nel terreno. Durante l'avanzamento la membrana riscaldata entra in contatto con i contaminanti presenti nel terreno i quali verranno "assorbiti" dal polimero della membrana. Una volta assorbiti, le molecole dei VOC passeranno (tramite propagazione) in una piccola camera interna e, poiché la membrana è riscaldata (temperatura di lavoro da 80° a 120° C) e molto sottile, il passaggio avviene in modo pressoché istantaneo.





*Fig. 3.3 – Membrana idrofobica*

Dopo la propagazione attraverso la membrana, i VOC vengono condotti in superficie sospinti da un *carrier gas* (gas inerte di trasporto, nel caso specifico azoto N<sub>2</sub>) fino al sistema di rilevamento costituito da un Gascromatografo da campo, equipaggiato con sensori FID (*Flame Ionization Detector*), PID (*Photo Ionization Detector*) e XSD (*Halogen-Specific Detector*).

Il flusso del gas impiega circa 35-40 secondi per attraversare una linea di 100 piedi (30 metri circa) e permettere che i VOC trasportati siano così rilevati dai sensori installati nel gascromatografo da campo.

### 3.2 Caratteristiche tecniche Punta M.I.H.P.T

Il sistema MI-HPT (*Membrane Interface & Hydraulic Profiling Tool*) consiste nell'integrare lo strumento HPT (*Hydraulic Profiling Tool*) alle caratteristiche della punta MIP precedentemente descritta.

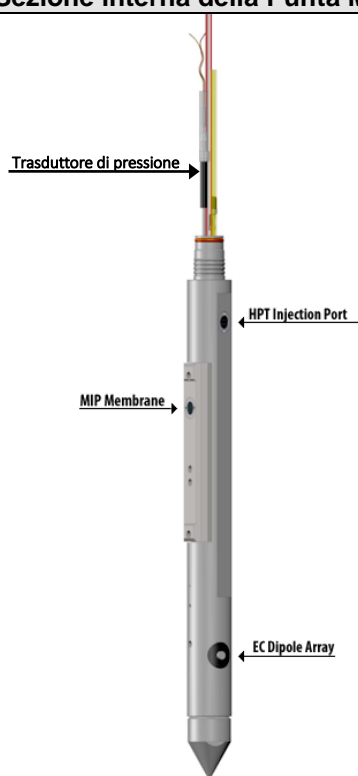

Pertanto, il sistema MI-HPT permette di definire la conducibilità idraulica (K) del sottosuolo e la profondità della tavola d'acqua in aggiunta alla determinazione simultanea dei VOC presenti nel sottosuolo e alla misura della conducibilità elettrica.

La punta MI-HPT può essere considerata come l'insieme di due punte (MIP e HPT) poste in un unico corpo dotato di:

- una membrana riscaldabile fino a circa 120°C per la rilevazione dei VOC (MIP);
- un dipolo per la misura della conducibilità elettrica EC (MIP e HPT);
- una membrana per l'iniezione di acqua, durante l'avanzamento della sonda, connessa ad un trasduttore di pressione (HPT).

Così come la sonda MIP, anche la punta MI-HPT viene infissa nel terreno fino alla profondità prefissata attraverso una batteria di aste.

**Tab. 3.2 – Caratteristiche tecniche**

Sezione interna della Punta MI-HPT	Strumentazione di superficie
	

Per quanto riguarda il funzionamento e le caratteristiche della membrana d'interfaccia e del dipolo elettrico si rimanda al precedente paragrafo.

Nel dettaglio, il sistema HPT permette, durante l'infissione nel terreno della punta, di registrare la pressione necessaria ad iniettare un flusso di acqua nel sottosuolo attraverso una membrana rimovibile in acciaio (diametro di 7,6 mm). Tale membrana è posizionata sopra al dipolo elettrico e alla membrana d'interfaccia, così che l'acqua iniettata non interferisca con le misure di VOC e EC.



*Fig. 3.4 – Flusso di acqua attraverso la membrana rimovibile in acciaio*

Attraverso una batteria di aste, l'operatore fa avanzare la punta ad una velocità di circa 2 cm/sec all'interno del terreno indagato, per cui il sistema di acquisizione dei dati raccoglie e permette di visualizzare in tempo reale le informazioni relative ai VOC, alla Conducibilità Elettrica (EC) e le informazioni relative alla pressione HPT e al flusso di acqua iniettato.

Una volta che la punta si trova al di sotto della tavola d'acqua (visibile in tempo reale grazie al software DI Acquisition), è necessario selezionare l'intervallo in cui effettuare un “*dissipation test*”.

Il test di dissipazione è necessario per determinare con precisione il livello statico della tavola d'acqua e, in post processing con i log di flusso e pressione, determinare la conducibilità idraulica dei terreni attraversati. L'esecuzione del test richiede di interrompere l'infissione della punta e il flusso di acqua iniettato, in modo da misurare il tempo necessario per dissipare, fino alla stabilizzazione, le pressioni indotte dal sistema HPT nel terreno. La pressione stabilizzata rappresenta la pressione idrostatica alla profondità alla quale è stato eseguito il test. Quindi, conoscendo la pressione stabilizzata, la pressione atmosferica e la profondità alla quale è stato effettuato il test, sarà possibile calcolare la profondità della tavola d'acqua.

Il “*dissipation test*” potrà essere ripetuto più volte lungo la verticale di infissione per valutare le variazioni di carico piezometrico della tavola d'acqua ed eventualmente individuare corpi acquiferi isolati o confinati.



### 3.3 Sistema di acquisizione e controllo dati

Il sistema di acquisizione e controllo dati della tecnologia M.I.P. e M.I.-H.P.T. è costituito da una serie di strumenti separati che lavorano contemporaneamente durante l'acquisizione dei dati di campo. Nei paragrafi seguenti si riporta una breve descrizione dei controller M.I.P. e M.I.-H.P.T., del Gascromatografo da campo e il sistema di acquisizione dei dati.

#### 3.3.1 MIP Controller MP6500 – FI6000

Lo strumento MP6500 (Fig. 3.5) regola e misura la pressione e il flusso del carrier gas di trasporto all'interno della punta M.I.P. e ne controlla il riscaldamento mediante una termocoppia. Il carrier gas è mantenuto normalmente ad una pressione di circa 90 – 100 PSI e ad un flusso costante compreso tra 40 e 50 ml/min. (come indicato nella ASTM D7352-07).

I dati misurati dal MP6500, dai sensori installati sul gascromatografo (PID, FID, XSD) e dal trasduttore di pressione della punta MI-HPT vengono inviati al sistema di acquisizione FI6000 (Fig. 3.6) tramite un cavo dati, per poi essere successivamente inviati al computer da campo attraverso una connessione USB.



Fig. 3.5 - Controller MP6500 series



Fig. 3.6 - Controller FI6000 series

#### 3.3.2 Gascromatografo SRI 8610C e sensori

I contaminanti volatilizzati all'interno della membrana sono diretti ai sensori installati all'interno del Gascromatografo. I sensori standard installati sono un rilevatore a ionizzazione di fiamma (FID), un fotoionizzatore (PID) e un rilevatore specifico per composti alogenati (XSD).

Ogni sensore emette un segnale espresso in mV, il quale viene inviato al controller FI6000 per la visualizzazione real-time attraverso il software.

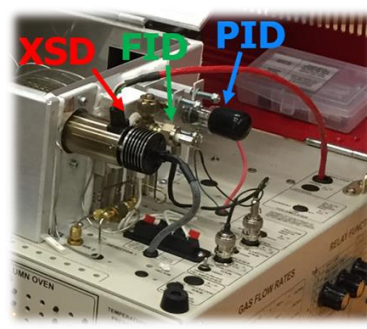


Fig. 3.7 - GC SRI 8610C con dettaglio della configurazione dei sensori utilizzati

Il sensore **PID** è composto da una lampada UV montata su una cella termostata (fino a 250°C) di basso volume (100µl) e basso flusso; poiché viene definito “rilevatore non distruttivo” viene posizionato per primo su una serie di sensori per analisi multiple tramite una singola iniezione. Il fotoionizzatore (PID) risulta essere particolarmente sensibile agli idrocarburi aromatici (BTEx) e a sostanze con legame covalente semplice e doppio nonché a sostanze con potenziale di ionizzazione uguale od inferiore al potenziale della lampada PID montata.

Il sensore **FID** è il rilevatore più comunemente utilizzato sui gascromatografi perché presenta una risposta lineare alle basse concentrazioni, una stabilità da giorno a giorno e non risente dello sporco eventualmente presente nella colonna capillare o sulla linea del gas. Il FID, anche detto rilevatore a ionizzazione di fiamma, utilizza una fiamma che sfrutta l'idrogeno per bruciare i composti e ionizzarli, consentendo l'identificazione di composti molecolari aventi legami carbonio-idrogeno ed idrocarburi alifatici. Lo svantaggio di tale rilevatore è l'incapacità di fornire informazioni relativamente a composti come ad esempio H<sub>2</sub>S (Idrogeno solforato), CCl<sub>4</sub> o NH<sub>3</sub> (Ammoniaca).

Infine il sensore **XSD** opera attraverso la combustione di un gas cromatografico il quale produce dei composti alogenati che reagiscono con gli atomi alcalini presenti sulla superficie di una piastra di platino carica elettricamente. La piastra funziona come emettitore di elettroni: una volta avvenuta la reazione tra il composto alogenato e la piastra stessa, dalla misura della corrente elettrica generata è possibile determinare le specie alogenate in modo selettivo. Il sensore XSD è quindi idoneo per idrocarburi clorurati, solventi clorurati e composti alogenati.

### 3.3.3 HPT Flow Controller

La punta MI-HPT oltre agli strumenti di superficie già descritti precedentemente è collegata ad un ulteriore controller (fig. 3.8), necessario per regolare il flusso dell'acqua iniettata e controllare le pressioni della sonda.



Fig. 3.8 - HPT Flow Module K6303



### 3.4 Sensibilità del sistema

Per una corretta valutazione della risposta del sistema è importante conoscere la sensibilità dello stesso verso il/i composto/i sito specifico da ricercare. Nel caso in esame, la potenziale contaminazione era da associare alla presenza di composti clorurati, in particolare CVM e DCE, per cui è plausibile aspettarsi di ottenere risposte (picchi) significative in particolare dai sensori FID e XSD.

In linea con tale premessa si procede alla verifica del corretto funzionamento del sistema e della stabilità dei segnali attraverso l'esecuzione di specifici Response Test, preliminarmente e posteriormente ad ogni verticale. Il test è stato effettuato per ogni prova con una soluzione ad 1 ppm e 5ppm di TCE, composto chimico affine a quanto si andava a ricercare nei suoli.

La valutazione delle risposte dei sensori, del dipolo elettrico e dell'intera componentistica del sistema, infatti, risulta fondamentale per assicurare la qualità dei dati restituiti.

Allo stesso scopo, nel caso di punta Mi-HPT, in aggiunta a quanto precedentemente descritto, viene effettuato l'“HPT Reference Test”, al fine di valutare lo stato della linea di iniezione dell'acqua e per calcolare la pressione atmosferica di riferimento necessaria alla determinazione del livello statico della tavola d'acqua e la stima della conducibilità idraulica dei terreni.

### 3.5 Stima della Conducibilità idraulica (k) con il sistema MI-HPT

Come già anticipato, il sistema MI-HPT, oltre alla possibilità di indagare le caratteristiche ambientali del sottosuolo, permette anche di effettuare una stima della conducibilità idraulica (K) attraverso un modello empirico utilizzato dal software “DI Viewer”, sviluppato da Geoprobe (McCal & Christy 2010<sup>1</sup>, Geoprobe 2010<sup>2</sup>).

Questo modello empirico, che mette in relazione il flusso di acqua (Q) e la pressione corretta (P\*) determinati attraverso il “Dissipation Test”, permette di effettuare una stima della Conducibilità Idraulica (K) per i livelli di terreno saturi.

Nell'immagine seguente si riporta il modello di calcolo applicato al sistema HPT per la stima della Conducibilità idraulica k, dove Q o  $Q_{avg}$  è la portata attraverso la membrana della punta HPT e P\* o  $P_{corr}$  è la pressione misurata dal sistema HPT corretta per la pressione idrostatica assoluta.

<sup>1</sup> McCall, Wesley and Thomas Christy, 2010. Development of a Hydraulic Conductivity Estimate for the Hydraulic Profiling Tool (HPT). Abstract and Presentation, The 2010 North American Environmental Field Conference & Exposition. The Nierlsen Environmental Field School, Las Cruces, NM. January

<sup>2</sup> Geoprobe 2010. Application of the HPT logging System for Geo-Environmental Investigations. Technical Bulletin, Kejr Inc., Salina, KS.



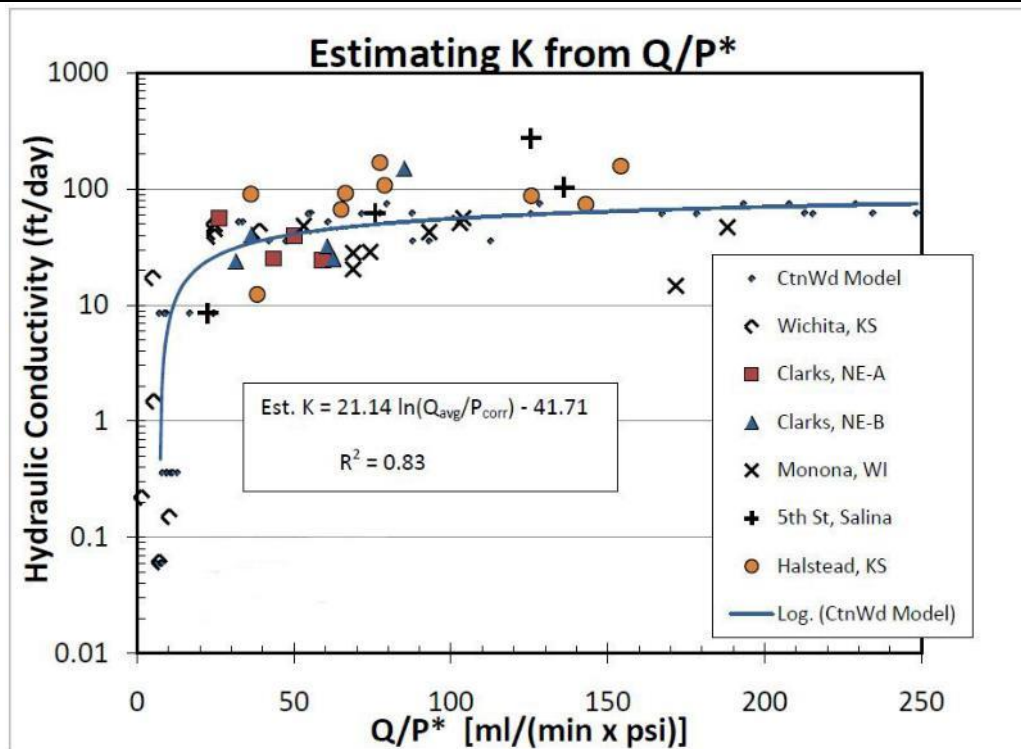


Fig. 3.9 – Modello di calcolo per la stima della Conducibilità Idraulica ( $k$ )

(fonte: Tech Guide for Calculation of Estimated Hydraulic Conductivity (Est.  $K$ ) log from HPT Data, We Mc Call, Geologist KS28, November 8, 2010)

### 3.6 Informazioni ricavabili dai LOG prodotti

Ogni LOG (tracciato) MIP può includere fino a sei grafici che visualizzano tipologie di dati diversi. Di seguito vengono elencati i grafici che si possono ottenere:

- **ROP** (Rate of Probe) che rappresenta la velocità di avanzamento della punta espressa in m/min., informazione utile per definire la consistenza del terreno e l'eventuale presenza di acqua;
- **EC** (Electrical Conductivity) rappresenta la conducibilità elettrica del terreno espressa in millisimens al metro (mS/m), informazione utile per una stima della litologia incontrata durante l'avanzamento della sonda. Generalmente una bassa EC è caratteristica di un terreno grossolano quale sabbia e ghiaia mentre una conducibilità alta risulta da un terreno coesivo quale limo e argilla;
- **TEMPERATURA** (Gradi Celsius): relativa alla membrana, utilizzata per verifica del corretto funzionamento della sonda in avanzamento e in alcuni casi per determinare l'eventuale presenza della falda nei terreni attraversati;
- **PID** risultati espressi in  $\mu V$ ;
- **FID** risultati espressi in  $\mu V$ ;
- **XSD** risultati espressi in  $\mu V$ .

  	<p><b>CAMPAGNA DI INDAGINE AMBIENTALE MEDIANTE TECNOLOGIA TECNOLOGIA MI-HPT (Membrane Interface &amp; Hydraulic Profiling Tool)</b> Località: Casalgudi, Serravalle Pistoiese (PT) Committente: Regione Toscana</p>
---	---

I log MI-HPT, includono, oltre a quanto descritto per il tracciato MIP, ulteriori grafici:

- **HPT Pressure** rappresenta la pressione dell'acqua iniettata contemporaneamente all'infissione della punta. Generalmente una pressione elevata indica la presenza di materiali fini con scarse caratteristiche di permeabilità idrauliche, mentre una pressione bassa indica la presenza di materiali grossolani con buone caratteristiche idrauliche;
- **HPT Flow** individua il flusso dell'acqua iniettato durante l'infissione della punta;
- **Estimated K** rappresenta il grafico della conducibilità idraulica stimata.

I log delle verticali eseguite presso l'area di indagine sono riportati in Allegato 1, in particolare per ogni verticale vengono rappresentati i parametri di conducibilità elettrica (EC), PID, FID, XSD, HPT Pressure, HPT Flow, K.

## 4. Descrizione delle indagini eseguite

### 4.1 Esecuzione verticali MIP

L'indagine, eseguita nel periodo tra il 22/06/2020 e 26/06/2020, ha riguardato il sottosuolo dell'area commerciale/industriale di Via del Redolone in località Casalguidi a Serravalle Pistoiese.

- valutare a livello qualitativo lo stato di contaminazione delle matrici indagate;
- fornire una stima della conducibilità idraulica del sottosuolo.

L'attività è consistita nella realizzazione di n. 8 verticali MI-HPT (diam. 2,25"), eseguite fino al raggiungimento di una profondità massima di circa 20,0 m da piano campagna; nella tabella seguente sono riportate le verticali effettuate, le modalità operative utilizzate, le profondità raggiunte nonché la data di esecuzione:

Tab. 4.1 – Indagini eseguite			
ID/Modalità esecutiva	Data di esecuzione	Profondità (m da p.c.)	Coordinate
MIHPT1	24/06/2020	20,437	X=653586,5259; Y=4860896,7817
MIHPT2	24/06/2020	20,467	X=653510,8751; Y=4860784,4336
MIHPT3	25/06/2020	20,361	X= 653388,504; Y=4860752,508
MIHPT4	25/06/2020	20,376	X=653764,6415; Y=4860801,3351
MIHPT5	23/06/2020	19,233	X=653779,1252; Y=4860621,2018
MIHPT6	23/06/2020	20,483	X=653875,5942; Y=4860689,4823
MIHPT7	22/06/2020	20,437	X=653447,326; Y=4860690,3586
MIHPT8	26/06/2020	19,842	X=653313,4601; Y=4860631,6636

L'indagine è composta da n.8 verticali, ha preso il via dalla posizione in cui ARPAT presumeva essere presente la potenziale sorgente di contaminazione secondaria (MIHPT1), da questa ci si è allargati verso SUD al fine di individuare la presunta estensione dell'area a maggiore presenza di composti clorurati.

Tutte le verticali, preliminarmente alla loro esecuzione, sono state improntate mediante prescavo della profondità di circa 1,5 m da p.c., eseguito mediante elica a rotazione. Il prescavo così realizzato ha permesso di oltrepassare lo strato superficiale costituito da materiali grossolani di difficile penetrazione.



## 5. Risultati ottenuti

L'obiettivo principale di questa indagine è stato quello di individuare la presenza di contaminazioni nelle matrici indagate (suolo, sottosuolo e acque sotterranee).

Le verticali eseguite sono state spinte fino ad una profondità massima pari a circa -20,0 m da pc. e ubicate come riportato in Tavola 1.

Come si evince dalla ricostruzione effettuata in premessa nonché dalla documentazione fornita da ARPAT, la contaminazione attesa nel sottosuolo risultava essere costituita dalla presenza di Composti alifatici Clorurati ed in particolare si evidenzia la presenza diffusa sul territorio di Cloruro di Vinile Monomero (CVM) e Dicloroetilene (DCE). Prodotti, presumibilmente, generati dalla degradazione di composti a maggiore numero di atomi di cloro quali TCE (Trielina) e PCE (Tetracloroetano), in passato di largo utilizzo nell'industria meccanica e tessile.

I risultati forniti dal sistema MIP/MI-HPT, semi-quantitativi per definizione, sono stati rappresentati sia sotto forma di grafici che riportano i segnali in funzione della profondità, che sotto forma di rappresentazioni tridimensionali per un più rapido confronto ed interpretazione.

I dati di conducibilità elettrica (EC) e i valori di conducibilità idraulica (K), calcolata dai parametri input registrati dal sistema HPT, sono riportati in forma di Log 2D e confrontati tra loro per una migliore comprensione del dato.

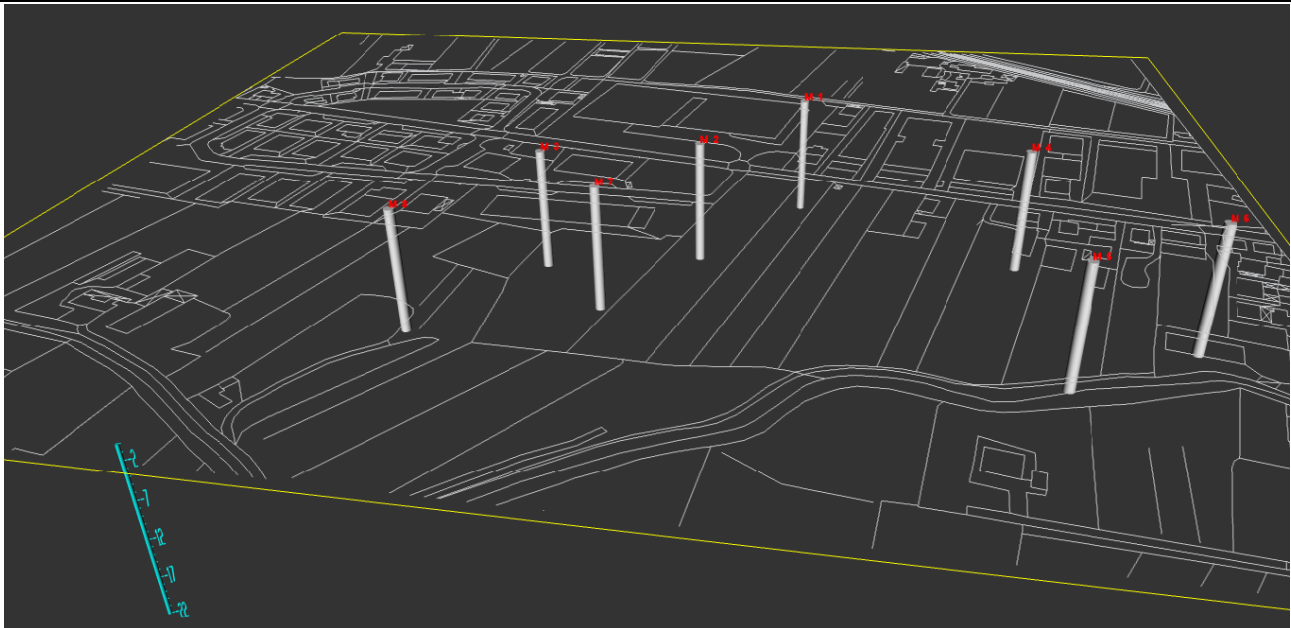
### 5.1 Sensori PID, FID e XSD

Nel paragrafo seguente vengono riportate le interpretazioni dei log ottenuti dall'indagine ad Alta Risoluzione (HRSC – High Resolution Site Characterization).

Per favorire una più rapida comprensione dei risultati ottenuti, si richiama in sintesi il paragrafo 3.3.2:

- Sensore PID: risponde in modo evidente a tutti quei composti con potenziale di ionizzazione uguale od inferiore al voltaggio della lampada PID (10,6 eV), tra cui principalmente idrocarburi aromatici (BTEX) e, seppur in maniera più moderata, composti clorurati e non clorurati con potenziale di ionizzazione non elevato (ad esempio CVM).
- Sensore FID: è tipicamente sensibile alla maggior parte dei composti contaminanti che di norma si ricercano nella pratica ambientale. Risulta particolarmente adatto alla conferma dei risultati ottenuti dagli altri sensori utilizzati dal sistema MIP, poiché risulta sensibile sia agli idrocarburi aromatici (conferma dei segnali PID), sia ai composti clorurati (conferma dei segnali XSD), e mantiene un'ottima stabilità di segnale durante l'investigazione.
- Sensore XSD: questo sensore è particolarmente sensibile a tutti i composti clorurati, sia alto sia basso potenziale di ionizzazione.

Nell'immagine seguente si riporta il posizionamento delle verticali eseguite nel sito di indagine, mantenuto per tutte le elaborazioni e rappresentazioni 3D riportate nei paragrafi seguenti. Si sottolinea che eventuali pseudo-spostamenti delle verticali rispetto alla base cartografica del sito di indagine sono dovuti all'inclinazione data alle immagini, necessaria per enfatizzare la terza dimensione.



*Fig. 5.1 – Posizionamento delle verticali MIP/MI-HPT - eventuali pseudo-spostamenti delle verticali rispetto alla base cartografica del sito di indagine sono dovuti all'inclinazione data alle immagini, necessaria per enfatizzare la terza dimensione*



*Fig. 5.2 – Posizionamento delle verticali MIP/MI-HPT in pianta (base Google Earth)*

### 5.1.1 Dati registrati dal sensore XSD

In base alle conoscenze pregresse sulla tipologia di contaminanti presenti nell'area di indagine, risultano particolarmente interessanti le risposte registrate dal sensore XSD, utilizzato in maniera selettiva per la ricerca di composti clorurati.

A livello interpretativo è possibile delineare un'area a maggiore risposta elettrica del suddetto sensore ed un'area dove si rilevano segnali di modesta intensità.

La prima area è riconducibile alle verticali MIHPT1, MIHPT2 e MIHPT3, posizionate nei pressi di alcuni compendi industriali. Tra queste verticali, si osserva come i segnali maggiormente significativi dal punto di vista della potenziale presenza di composti clorurati nel terreno è da rilevare in corrispondenza della verticale MIHPT1, la quale a partire da circa 10,0 m da p.c. mostra segnali elettrici via via crescenti con la profondità di indagine, con i massimi rilevati tra 11,0 e 18,0 m da p.c. (picchi compresi tra  $1,5 \text{ E}+05 \mu\text{V}$  e  $3,2 \text{ E}+05 \mu\text{V}$ ), sintomo di una presenza massiccia di composti della famiglia dei clorurati.

Allo stesso modo, seppure con valori assoluti inferiori, le verticali MIHPT2 e MIHPT3 mostrano un incremento dei segnali elettrici associati alla presenza di composti clorurati a partire da circa 11,0 m da p.c. sino ad arrivare a circa 18,0 m da p.c. Come detto, in tal caso, i segnali sono di minore intensità (picchi massimi compresi tra  $9,0 \text{ E}+05 \mu\text{V}$  e  $1,0 \text{ E}+05 \mu\text{V}$ ), indicando pertanto una minore presenza di composti clorurati nell'intorno di tali verticali di indagine.

La seconda area individuabile grazie ai segnali raccolti dal sensore XSD è quella posta a Sud rispetto alle verticali summenzionate, dove ricadono le restanti verticali effettuate. Queste hanno mostrato segnali elettrici massimi significativamente inferiori a quanto individuato dalle verticali descritte in precedenza, compresi tra  $5,0 \text{ E}+04 \mu\text{V}$  e  $6 \text{ E}+04 \mu\text{V}$ . Ciò nonostante risulta interessante osservare come tali segnali elettrici siano rilevabili tutti, e sempre, nella porzione di terreno compresa tra 11,0 e 18,0 m da p.c., ovvero nella porzione di terreno dove si presume essere presente l'acquifero superficiale locale.

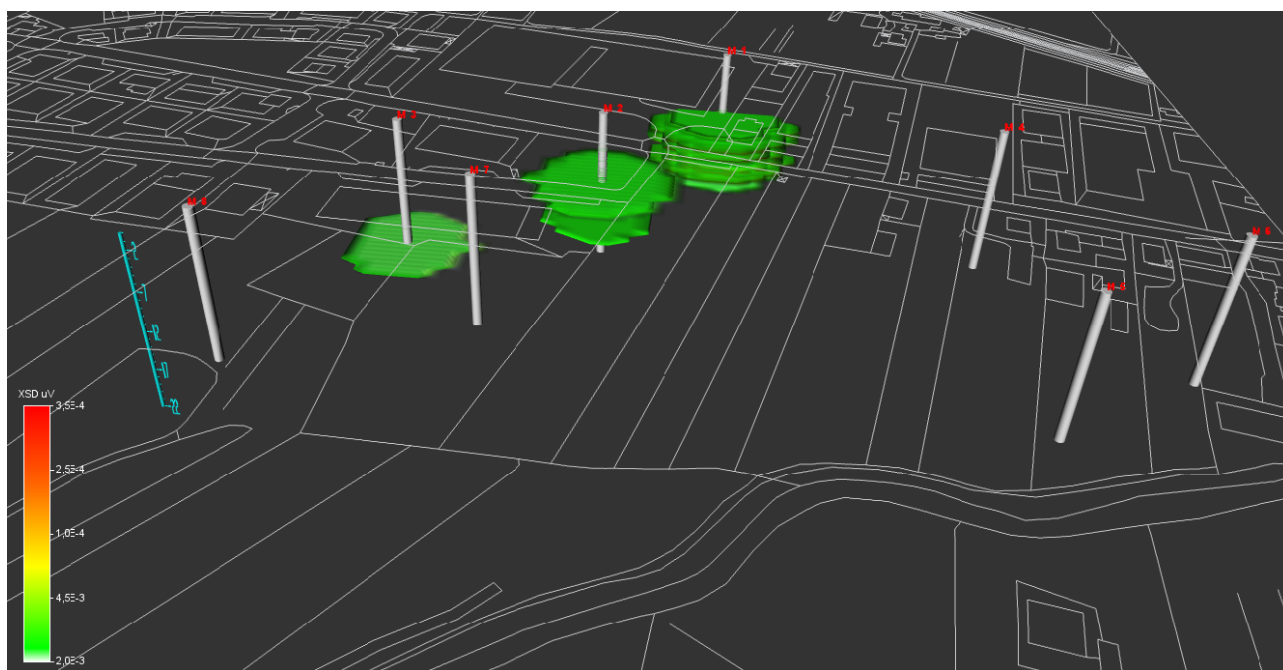
Quanto discusso trova evidente riscontro nella rappresentazione tridimensionale (Fig. 5.3 e 5.4) delle verticali effettuate ed i picchi elettrici del sensore XSD. Si nota come le verticali indicate con sigla M1, M2 e M3 mostrino i colori più accesi, dal verde all'arancione/rosso, indice di segnali elettrici elevati e della potenziale presenza di composti clorurati nell'intorno di tali verticali.

Da un confronto con le informazioni relative alla conducibilità idraulica ed elettrica del terreno indagato ed i segnali elettrici registrati dal sensore, si osserva come questi ultimi risultino principalmente associati a conducibilità idrauliche comprese tra  $2\text{E}-04 \text{ m/s}$  e  $3\text{E}-04 \text{ m/s}$ , e conducibilità elettriche comprese tra 10 e 40 mS/cm. Ciò indica che la contaminazione risulta concentrata nell'acquifero locale, il quale risulta caratterizzato principalmente da materiali sabbiosi e sabbioso-limosi con qualche lente limosa e limoso-argillosa. A tal proposito, è interessante osservare come i picchi elettrici massimi registrati in corrispondenza della verticale MIHPT1, MIHPT2 e MIHPT3 siano associati ai valori di conducibilità elettrica maggiori ( $\sim 40 \text{ mS/cm}$ ), e conducibilità idraulica inferiore. Questo comportamento è dovuto alla presenza di materiali fini (coesivi) in lenti, frammisti ai terreni granulari, che si comportano come "barriere" nei confronti di

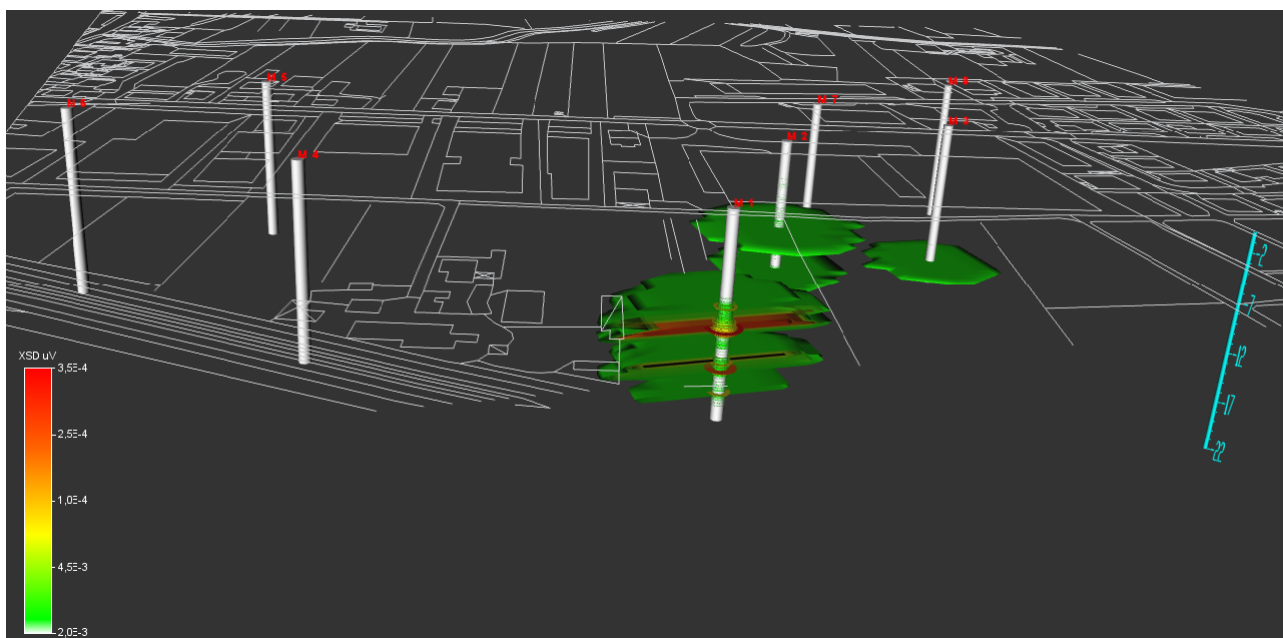


composti quali i clorurati, più pesanti dell'acqua, formando quindi piccoli accumuli che determinano i suddetti segnali elettrici di maggiore intensità.

Nelle immagini successive si riportano le elaborazioni 3D dei risultati ottenuti dal sensore XSD.



*Fig. 5.3 – Log verticali MIP-MIHPT sensore XSD vista da SUD*



*Fig. 5.4 – Log verticali MIP-MIHPT sensore XSD vista da NORD*



**CAMPAGNA DI INDAGINE AMBIENTALE MEDIANTE  
TECNOLOGIA TECNOLOGIA MI-HPT  
(Membrane Interface & Hydraulic Profiling Tool)  
Località: Casalguidi, Serravalle Pistoiese (PT)  
Committente: Regione Toscana**

In definitiva, le informazioni ottenute attraverso l'elaborazione dei dati del sensore XSD hanno permesso di confermare quanto ipotizzato da ARPAT rispetto all'ubicazione della potenziale sorgente secondaria di contaminazione, la quale con ogni probabilità risulta localizzata in corrispondenza dell'areale indagato dalla verticale MIHPT1.

A tal proposito si ricorda, come descritto da ARPAT, che la succitata verticale di indagine è stata infissa nel terreno in una porzione di sito dove nel passato erano presenti vasche di sgrassaggio, attività che in passato era effettuata con prodotti quali "Trielina" e/o "Percloroetilene". Come detto in premessa, la presenza di CVM è probabilmente da legare all'uso dei suddetti prodotti, i quali nel tempo, grazie alla naturale degradazione, generano prodotti che presentano minor numero di atomi di cloro, tra i quali il Cloruro di Vinile Monomero.

L'elaborazione dei dati derivanti dal sensore alogeno specifico ha permesso anche di individuare l'estensione massima dell'area di potenziale sorgente di contaminazione, la quale risulta estesa tra le verticali MIHPT1, MIHPT2 e MIHPT3, con una progressiva diminuzione delle risposte elettriche del sensore da MIHPT1 verso MIHPT3.

In fine, i dati mostrano come le restanti verticali di indagine mostrino solo deboli e sporadici segnali elettrici significativi dal punto di vista della potenziale contaminazione; indicando, presumibilmente una marcata diminuzione dei tenori di composti clorurati allontanandosi dall'area individuata quale potenziale sorgente di contaminazione.



### 5.1.2 Dati registrati dai sensori FID e PID

Come precedentemente anticipato, i sensori FID e PID risultano anch'essi sensibili alla presenza di prodotti della famiglia dei Composti Alifatici Clorurati, seppure con alcune limitazioni.

In particolare, il sensore FID risulta utile alla verifica dei segnali del sensore XSD e sensibile alla presenza di composti che possono bruciare (FID: flame ionization detector), mentre il sensore PID risulta utile nella rilevazione di quei composti a potenziale di ionizzazione inferiore o al più uguale a quello della detector stesso (10,6eV). Per completezza, di seguito si riporta l'elenco dei composti clorurati caratterizzati da potenziale di ionizzazione individuabile dal sensore PID:

*Cloroetene;  
Cloruro di vinile  
1,1-Dicloroetene  
Trans-1,2-Dicloroetene  
Tricloroetene  
Cis-1,3-Dicloropropene  
Trans-1,3- Dicloropropene*

*Tetracloroetene  
Clorobenzene  
1,3-Diclorobenzene  
1,4-Diclorobenzene  
1,2-Diclorobenzene  
1,2,4-Triclorobenzene*

Come per il sensore precedente, i dati sono stati plottati in 3D, al fine di ottimizzare e visualizzare i dati in modo più efficace e di immediata interpretazione.

I due sensori FID e PID, come detto, non essendo due sensori alogeni specifici, ovvero non essere sensori specifici per composti della famiglia dei composti clorurati, risultano particolarmente utili per confermare quando rilevato e mostrato dal sensore XSD.

Pertanto, dall'interpretazione dei risultati ottenuti dai suddetti sensori si è osservato quanto segue:

- FID: il sensore a ionizzazione di fiamma ha mostrato le risposte elettriche principali in corrispondenza dei livelli di terreno saturi in cui anche il sensore XSD mostrava segnali significativi dal punto di vista della potenziale presenza di contaminazione. Tale comportamento permette, quindi, di confermare l'interpretazione effettuata sulla base dei risultati del sensore alogeno specifico ed in particolare ci permette di affermare come la presenza di tali composti sia maggiore nell'area delle verticali MI-HPT 1, MIP2 e MIP3, dove i segnali del sensore FID mostravano valori compresi tra  $1,5 \text{ E}+05 \mu\text{V}$  e  $3,0 \text{ E}+05 \mu\text{V}$ . Mentre nelle restanti verticali, così come detto per il sensore XSD, si rilevano principalmente segnali inferiori, compresi tra  $1,5 +05 \mu\text{V}$  e  $2,0+05 \mu\text{V}$ , indice di una minore presenza di composti della famiglia dei clorurati.

Inoltre si sottolinea, come il sensore FID, essendo particolarmente sensibile anche a basse e bassissime concentrazioni, mostra segnali diffusi su tutte le verticali, indice di una diffusione della potenziale contaminazione, seppure con tenori inferiori, su tutto l'areale indagato.

In fine si sottolinea che, in alcune verticali eseguite, si rilevano segnali di potenziale elettrico maggiori rispetto a quanto sopra descritto; tali segnali risultano per lo più compresi entro i primi -1,5 m da p.c. Questi sono da associare alle operazioni eseguite preliminarmente all'infissione della punta MIHPT, ovvero connessi alle operazioni di prescavo e riempimento con bentonite degli scavi stessi, pertanto non sono da associare a potenziale presenza di contaminazione negli strati superficiali di terreno indagato.

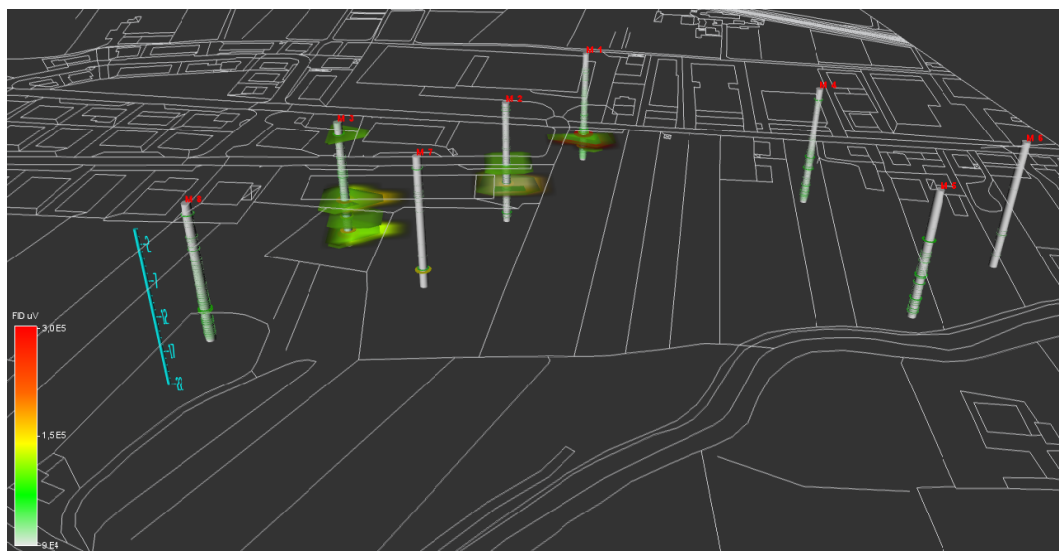
- PID: quest'ultimo sensore, come descritto in premessa al presente paragrafo, risulta principalmente adatto alla rilevazione di composti idrocarburi organici quali BTEX. Ciò nonostante, alcuni composti clorurati, oggetto della presente ricerca, a basso potenziale di ionizzazione possono essere rilevati anche da questo sensore.

Questo è il caso del progetto in descrizione, infatti il sensore PID mostra segnali significativi proprio in corrispondenza dei picchi rilevati dal sensore XSD, ciò risulta particolarmente evidente in corrispondenza della verticale MIHPT1, MIHPT2 e localmente negli strati profondi della verticale MIHPT3.

Ritornando alla premessa, si legge che il sensore PID risulta sensibile ad uno stretto numero di composti clorurati, tra i quali ricade, per l'appunto, il Cloruro di Vinile, composto che, dalle informazioni ricavate dalla documentazione di ARPAT, risulta maggiormente presente nelle acque sotterranee dell'area di indagine.

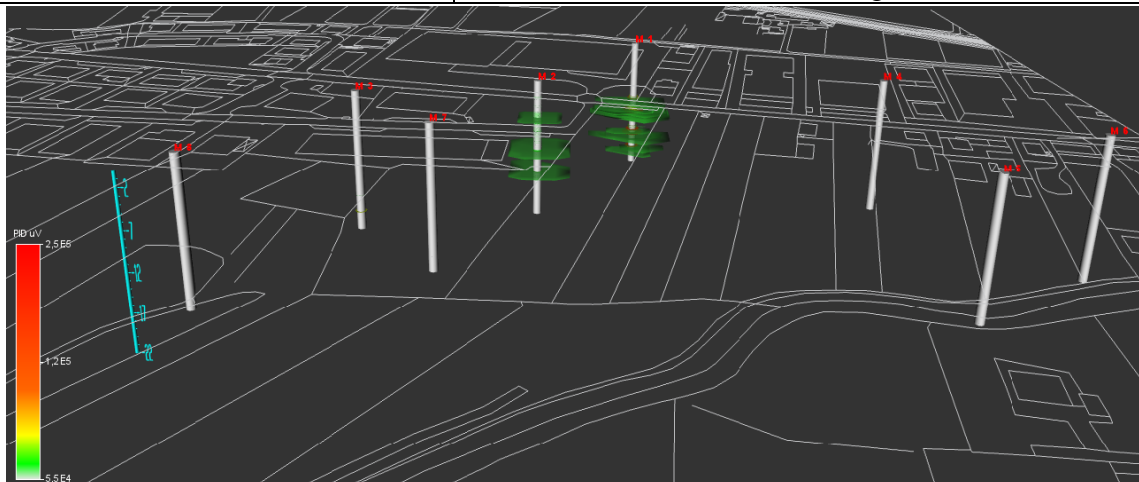
Pertanto, i sensori in oggetto permettono di confermare quanto ipotizzato dai risultati ottenuti dal sensore alogeno specifico XSD, sia dal punto di vista dell'estensione areale della contaminazione (MIHPT1, MIHPT2 e MIHPT3) sia dal punto di vista della distribuzione verticale. Inoltre, in linea con le risultanze analitiche di ARPAT, il sensore PID, permette di confermare la presenza di composti clorurati a basso potenziale di ionizzazione tra i quali spicca il Cloruro di Vinile.

Di seguito si riportano le elaborazioni 3D dei sensori suddetti.



*Fig. 5.5 – Log verticali MIP-MIHPT sensore FID*





*Fig. 5.6 – Log verticali MIP-MIHPT sensore PID*

### **5.1.3 Considerazioni relative alle caratteristiche litologiche e idrogeologiche**

L'impiego del sistema HPT (Hydraulic Profiling Tool) e la misura di conducibilità elettrica (EC) hanno permesso di raccogliere importanti informazioni sull'assetto litostratigrafico dei terreni attraversati.

Si sottolinea che l'interpretazione dei dati raccolti è stata effettuata in primo luogo sulla base delle informazioni di conducibilità idraulica (non influenzata dalle caratteristiche chimiche e geochemiche delle matrici attraversate) e successivamente confrontate, a conferma, con i dati di conducibilità elettrica; si sottolinea, comunque, come questi ultimi risultino coerenti con la ricostruzione, a meno di piccole differenze.

La sequenza litologica generale presente nel sito di studio, dedotta dalla combinazione dei risultati ottenuti dal sensore EC e dall'elaborazione dei test effettuati con il sistema HPT, risulta grossomodo la seguente:

- Primo livello: 0,00 ÷ 1,50 m da p.c. circa, costituito da materiali di riempimento e/o sottofondo stradale, oggetto di prescavo preliminare all'infissione delle batterie di aste MIP;
- Secondo livello: 1,50 ÷ 10,0 m da p.c. circa, costituito da un alternanza di limi, limi sabbiosi e limi argillosi, all'interno dei quali sono probabilmente presenti livelli acquiferi sospesi di scarsa importanza. Tale livello presenta una conducibilità elettrica compresa tra 40 mS/m e 80 mS/m;
- Terzo livello: 10,0 ÷ 18,0 m da p.c. circa, sabbie e sabbie limose con lenti centimetriche di limi e limi debolmente argillosi. Tale livello presenta una conducibilità idraulica media dell'ordine di  $10^{-4}$  pertanto assimilabile a materiali granulari e granulari fini, ciò è confermato dalla conducibilità elettrica, la quale presenta valori medi compresi tra 10 mS/m e 30 mS/m, valori classici di materiali granulari. All'interno di questo livello risulta essere contenuto l'acquifero principale superficiale dell'area.

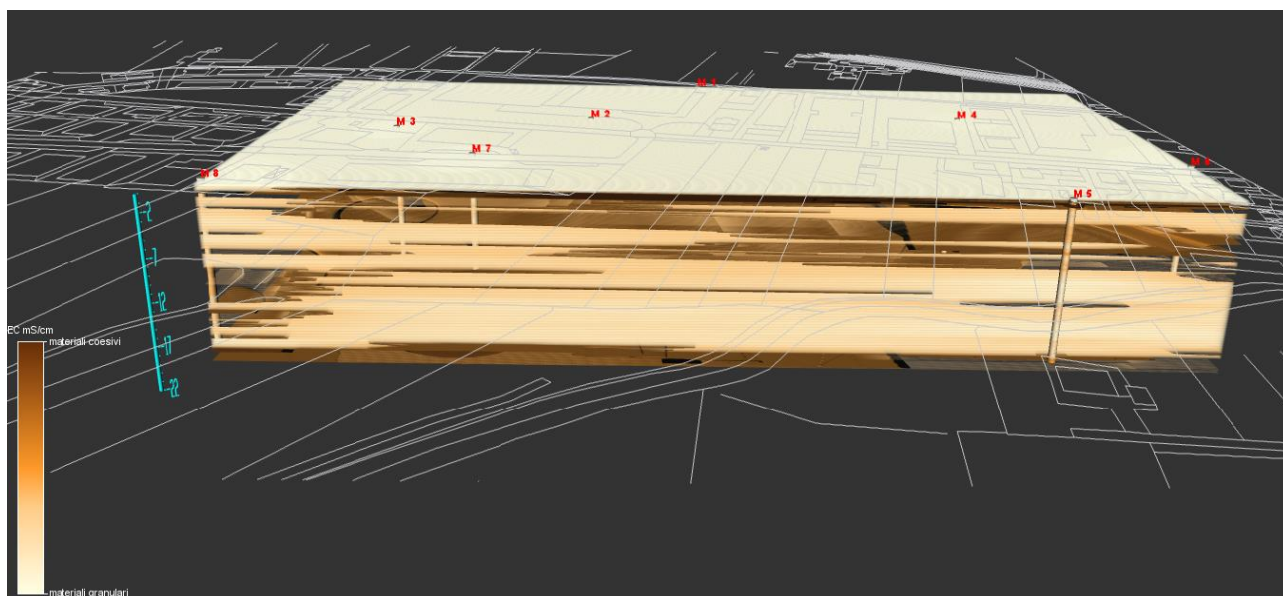
Da sottolineare la presenza di sporadiche lenti debolmente coesive, con conducibilità idraulica di due ordini di grandezza inferiore rispetto al livello medio e conducibilità

elettrica massima che raggiunge 50 mS/m. Tali livelli giocano un ruolo fondamentale dal punto di vista della contaminazione, infatti, proprio in loro corrispondenza si notano i picchi di segnale elettrico del sensore XSD maggiori.

- Quarto livello: 18,0 m da p.c. alla massima profondità di indagine, presenta conducibilità elettriche maggiori di 50 mS/m, indice della presenza di limi e limi argillosi. Tale ultimo livello descritto può essere considerato quale livello basale, di chiusura, dell'acquifero indagato (acquiclude e/o acquitardo).

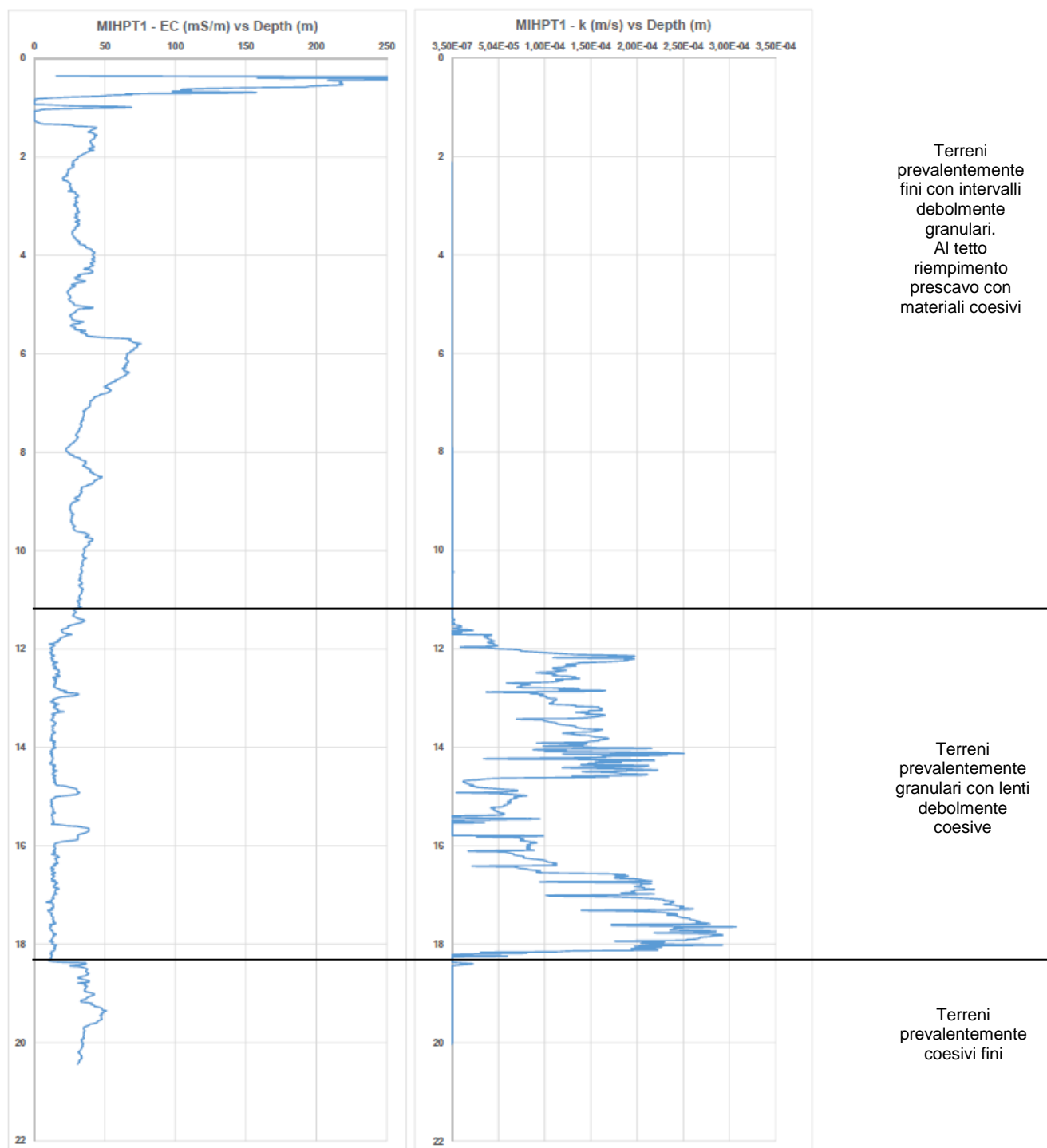
Nell'immagine seguente si riporta la ricostruzione 3D del modello stratigrafico del sito, così come dettagliato ai punti precedenti.

Come si può osservare, nella parte superficiale e profonda del modello 3D prevalgono i toni scuri, appartenenti a conducibilità elettriche elevate, pertanto caratteristiche di materiali coesivi, mentre nella parte centrale prevalgono i toni chiari corrispondenti ai materiali granulari caratterizzati da conducibilità elettriche inferiori.



*Fig. 5.7 – Render Volumetrico Conducibilità Elettrica*

Nelle immagini seguenti si riportano i grafici della conducibilità elettrica (EC) e dalla conducibilità idraulica stimata (k). Si sottolinea che il limite inferiore di misura di k per il sistema HPT è approssimativamente pari a  $3,5 \text{ E-}07 \text{ m/s}$  ( $0,03 \text{ m/day}$ ) (Wes McCall, 2010<sup>1</sup>). Per una più rapida interpretazione, le conducibilità idrauliche (K), sotto riportate, sono state espresse in m/s, mentre nei log di Allegato 1 sono riportate in m/day.



*Fig. 5.8 – Grafico EC vs Depth (SX) e k vs Depth (DX) – verticale MIHPT1*

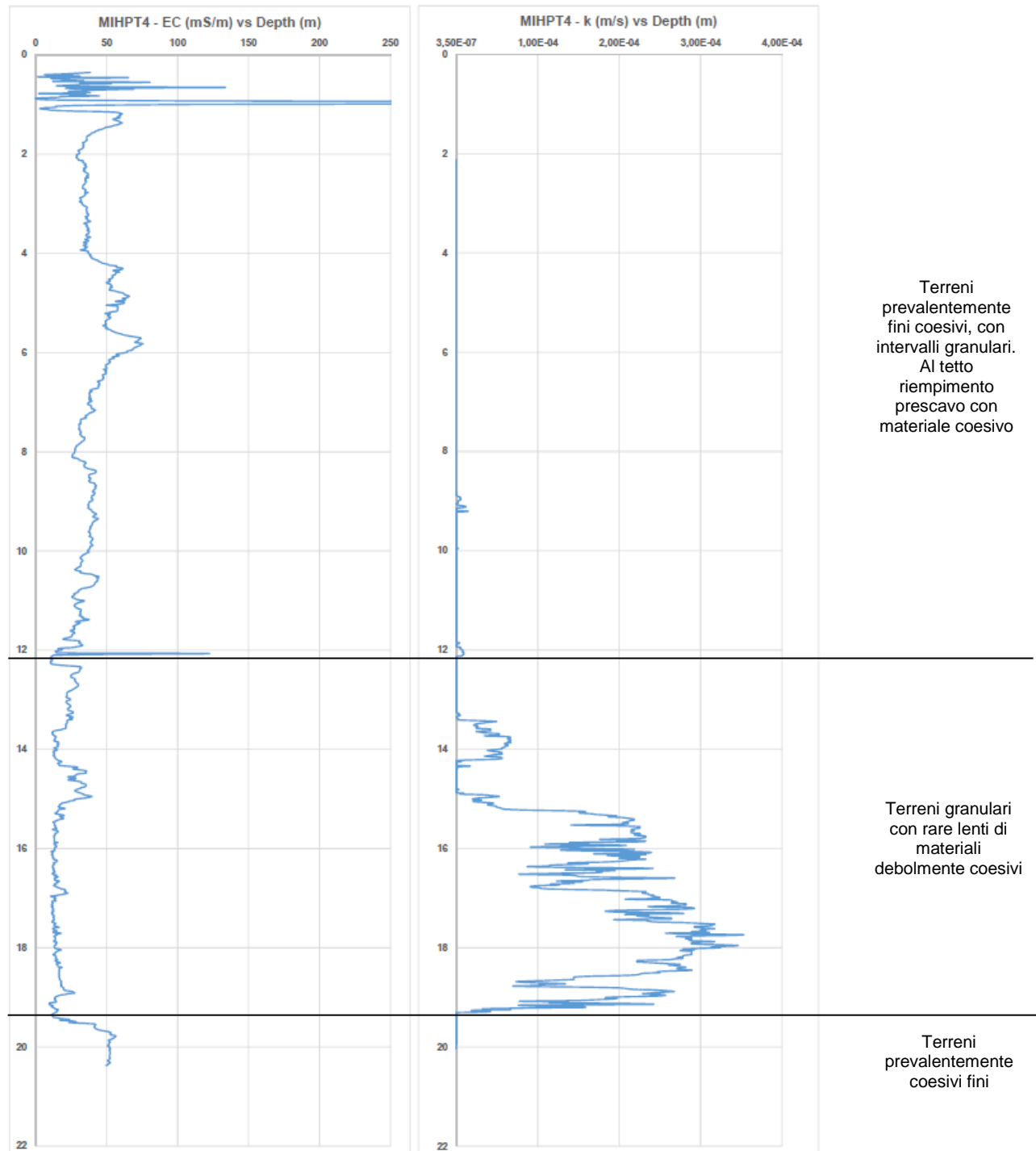


Fig. 5.9 – Grafico EC vs Depth (SX) e k vs Depth (DX) – verticale MIHPT4



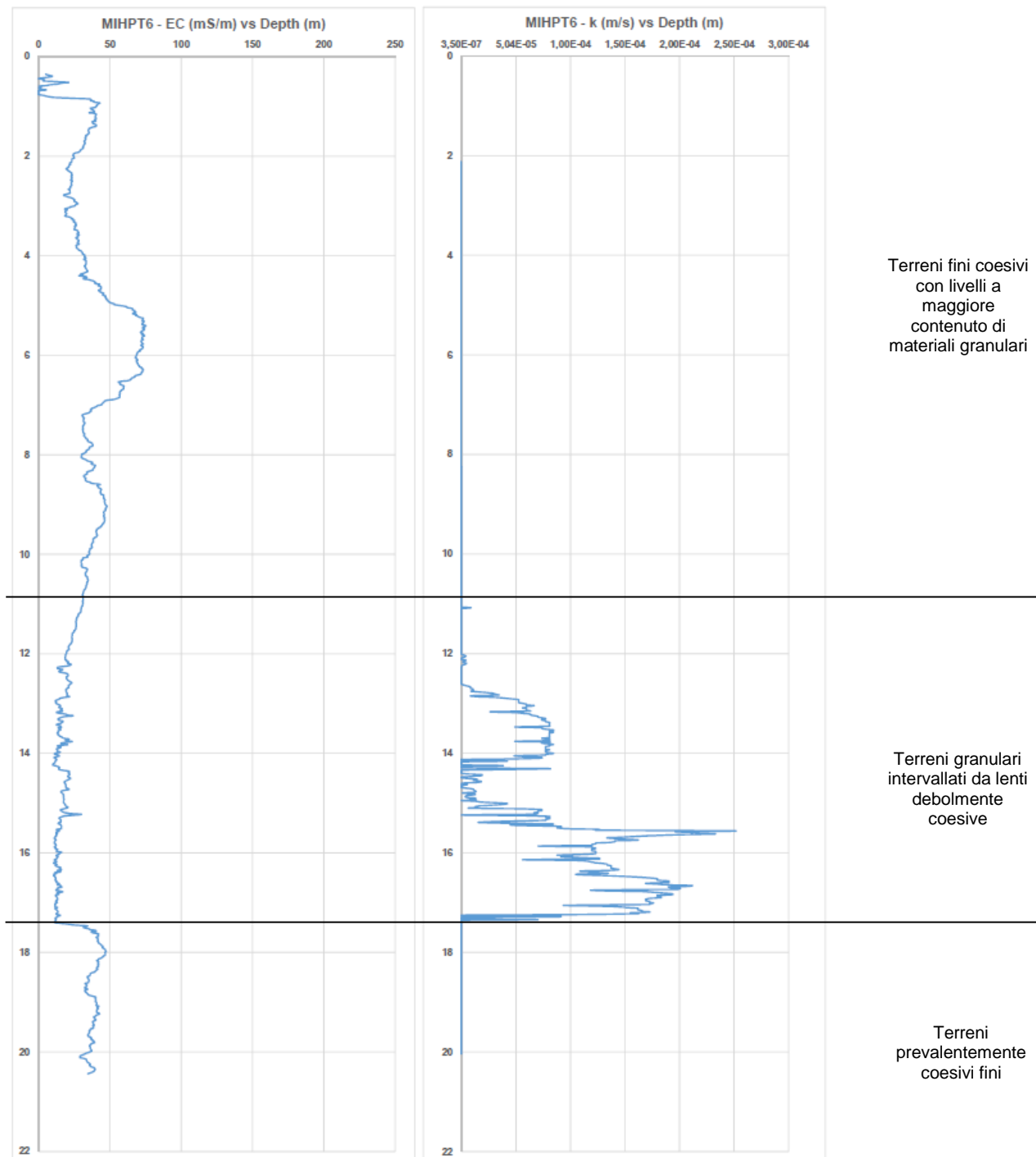


Fig. 5.10 – Grafico EC vs Depth (SX) e k vs Depth (DX) – verticale MIHPT6

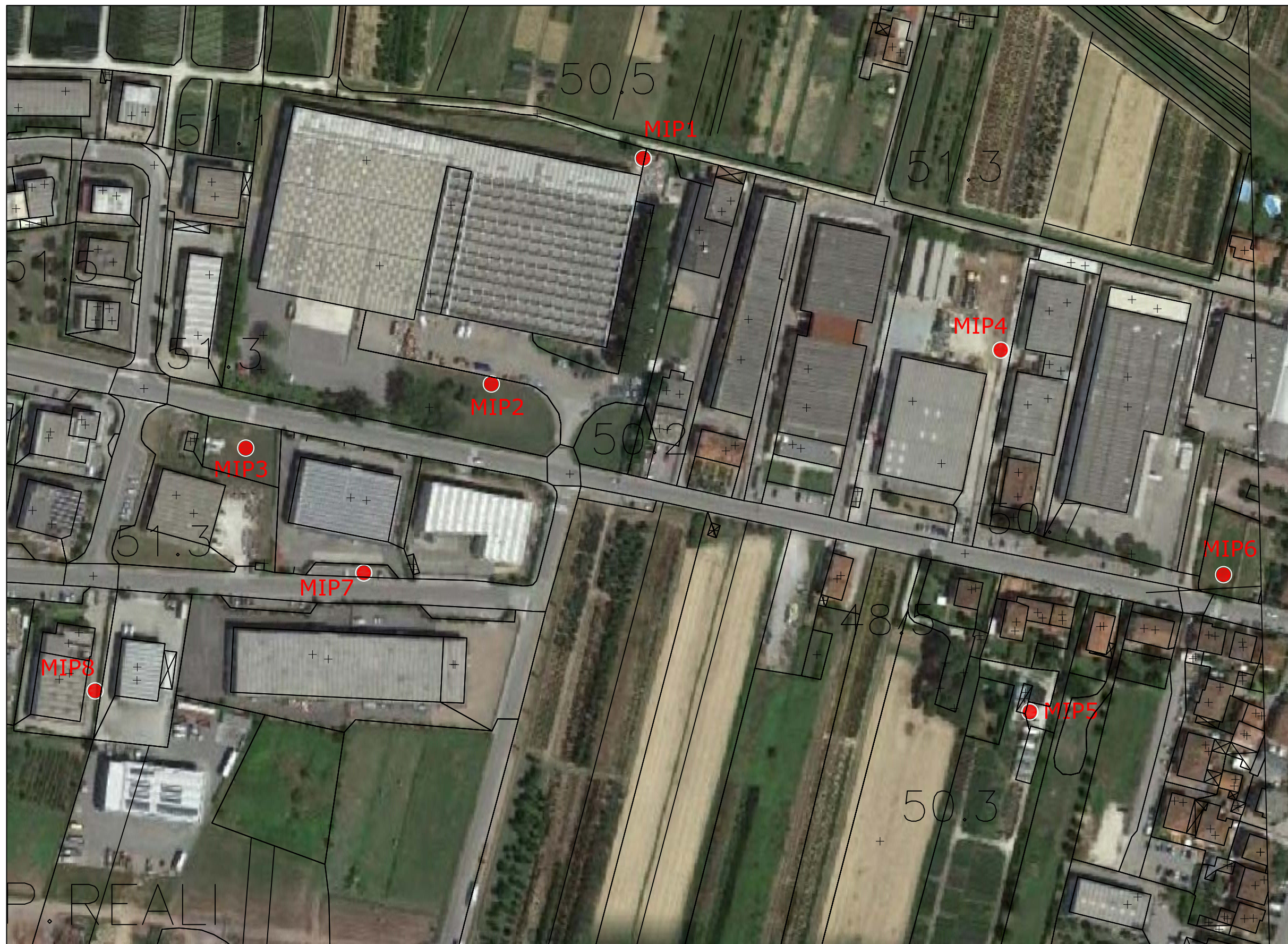
Ferrara Luglio 2020

Dott. Giovanni Rossi



**TAVOLA**

Serravalle Pistoiese (PT) – Via del Redolone



**LEGENDA**

● Indagine MIP

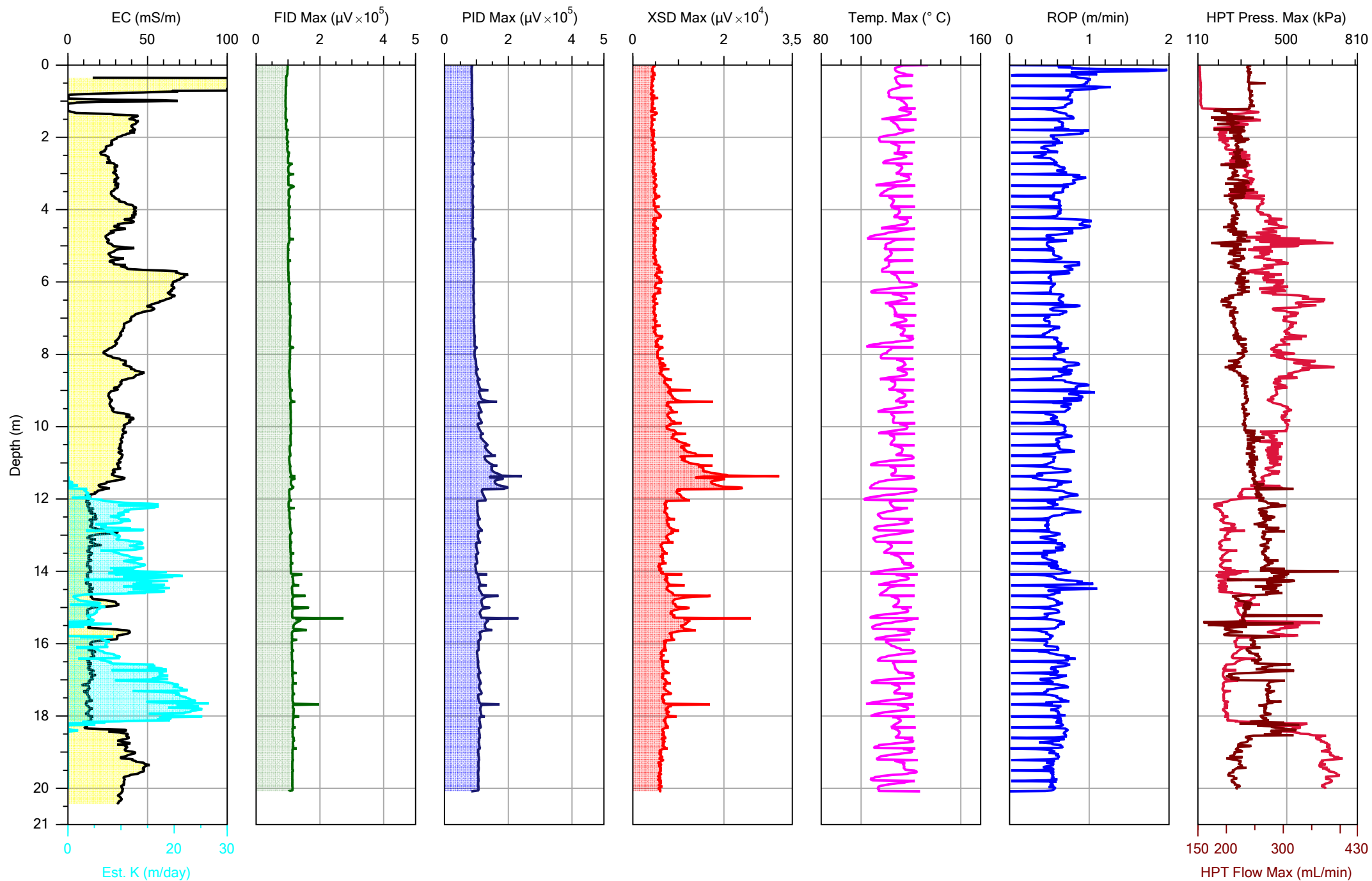
**TAVOLA UBICAZIONE  
INDAGINI ESEGUITE**

Campagna d'indagine  
giugno 2020



## ALLEGATO 1

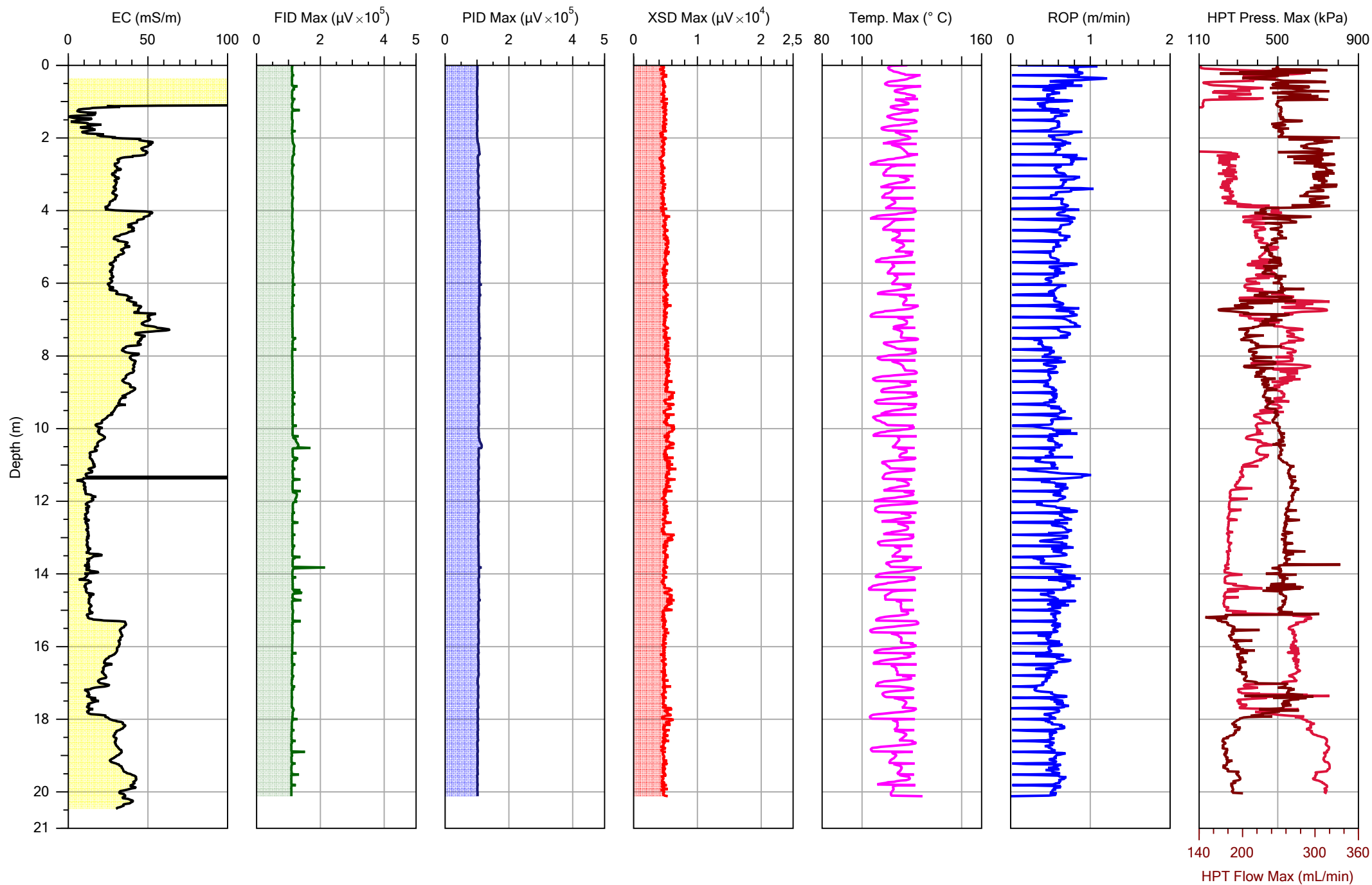




Company:  
S.G.M. Geologia e Ambiente Srl  
Project ID:  
Serravalle P.se

Operator:  
Nicolo Lonardi  
Client:  
Regione Toscana

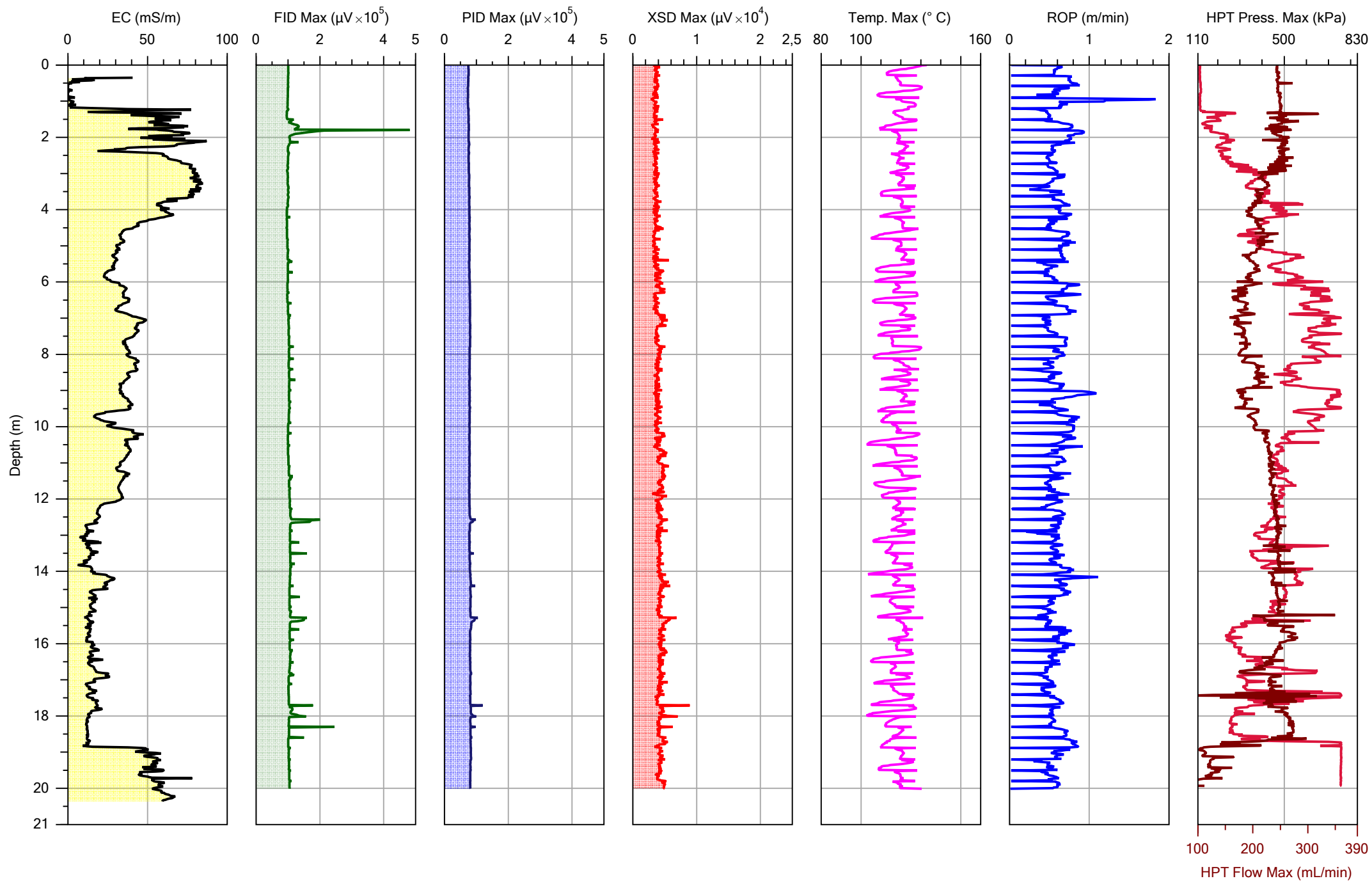
File:	MIP_01
Date:	24/06/2020
Location:	Casalguidi



Company:  
S.G.M. Geologia e Ambiente Srl  
Project ID:  
Serravalle P.se

Operator:  
Nicolo Lonardi  
Client:  
Regione Toscana

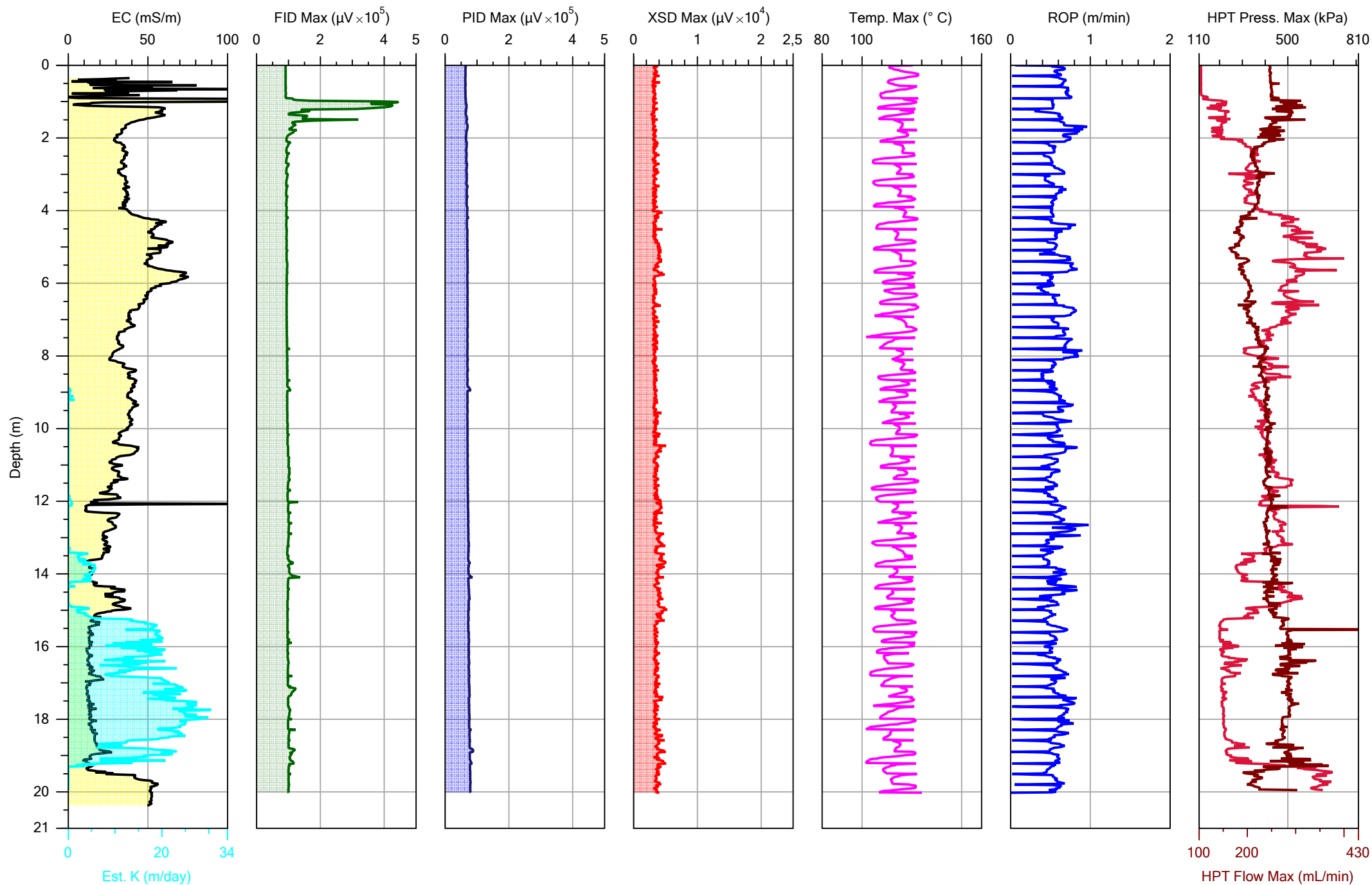
File:	MIP_02
Date:	24/06/2020
Location:	Casalguidi



Company:  
S.G.M. Geologia e Ambiente Srl  
Project ID:  
Serravalle P.se

Operator:  
Nicolo Lonardi  
Client:  
Regione Toscana

File:	MIP_03
Date:	25/06/2020
Location:	Casalguidi



Company:  
S.G.M. Geologia e Ambiente Srl

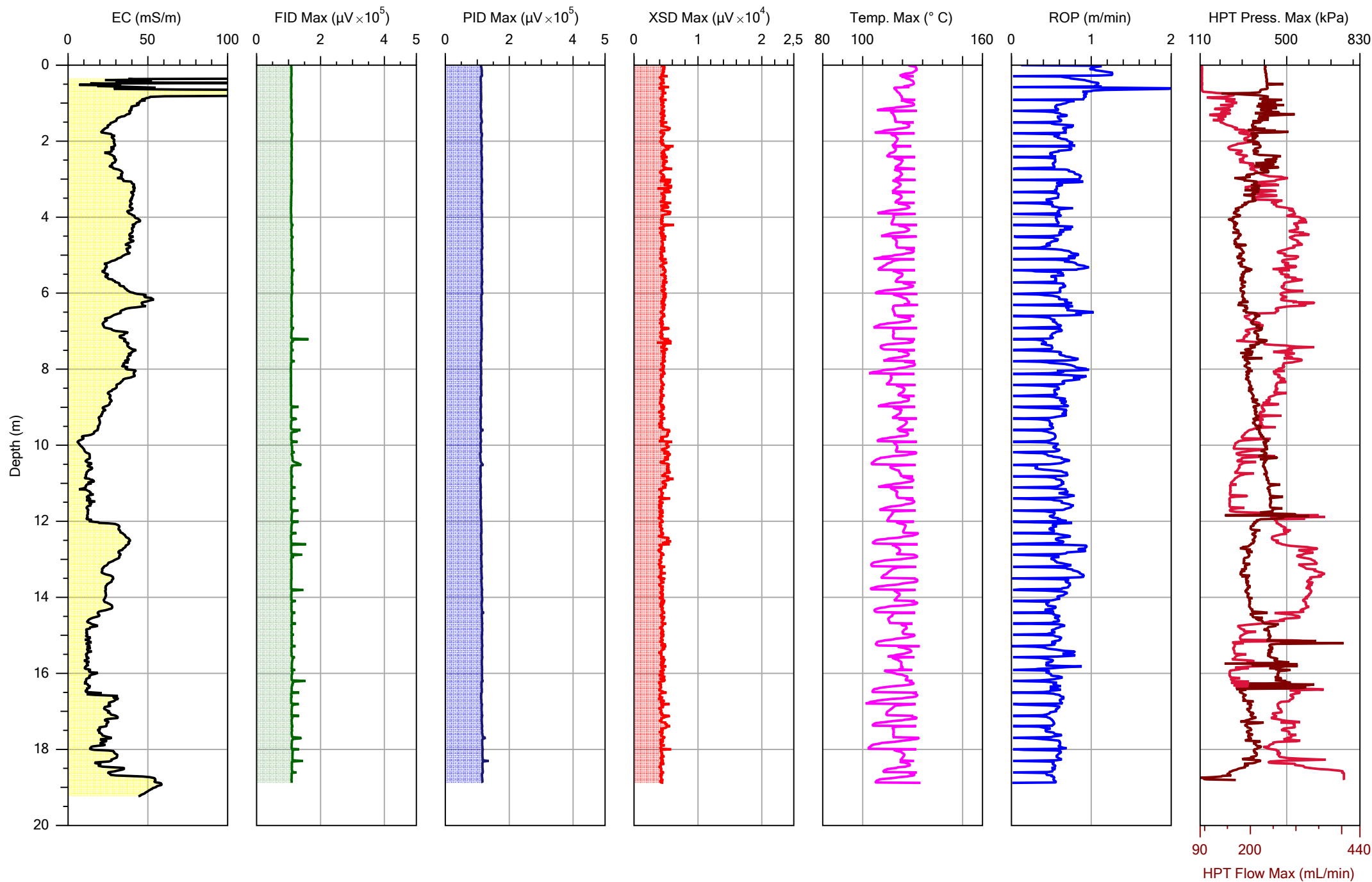
Project ID:  
Serravalle P.se

Operator:  
Nicolo Lonardi

Client:  
Regione Toscana

File:	MIP_04
Date:	25/06/2020
Location:	Casalguidi

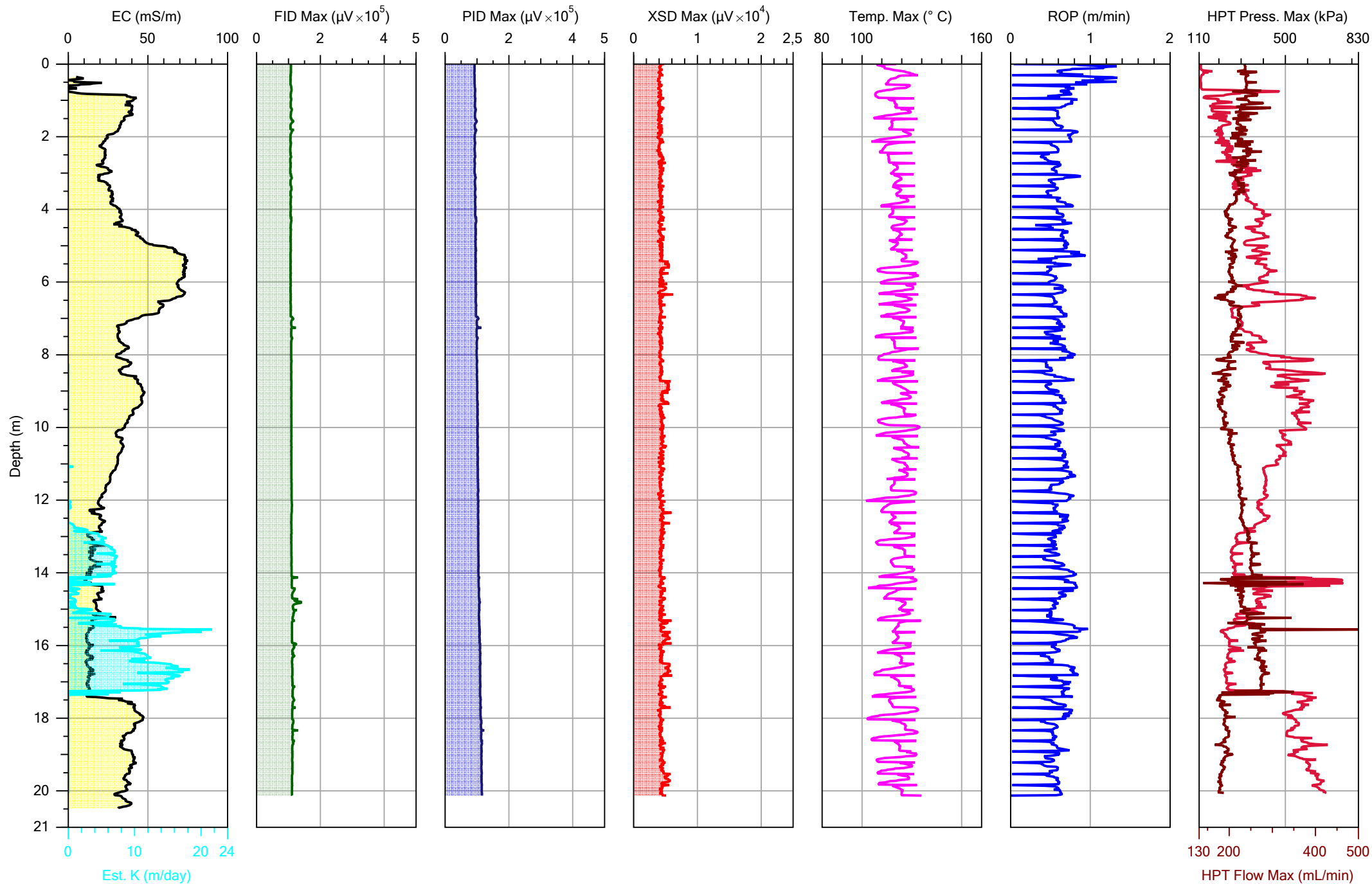




Company:  
S.G.M. Geologia e Ambiente Srl  
Project ID:  
Serravalle P.se

Operator:  
Nicolo Lonardi  
Client:  
Regione Toscana

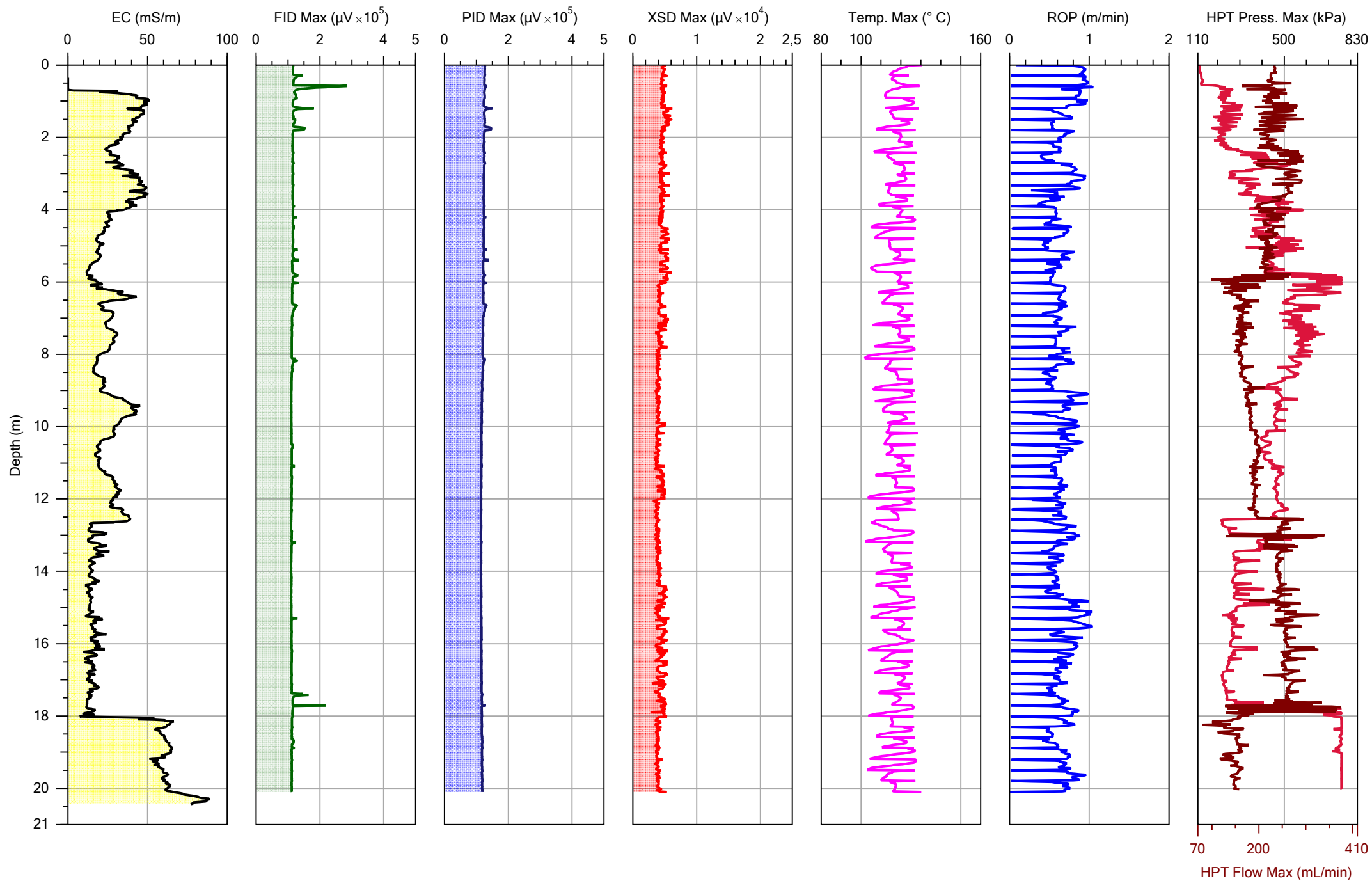
File:	MIP_05
Date:	23/06/2020
Location:	Casalguidi



Company:  
S.G.M. Geologia e Ambiente Srl  
Project ID:  
Serravalle P.se

Operator:  
Nicolo Lonardi  
Client:  
Regione Toscana

File:	MIP_06
Date:	23/06/2020
Location:	Casalguidi

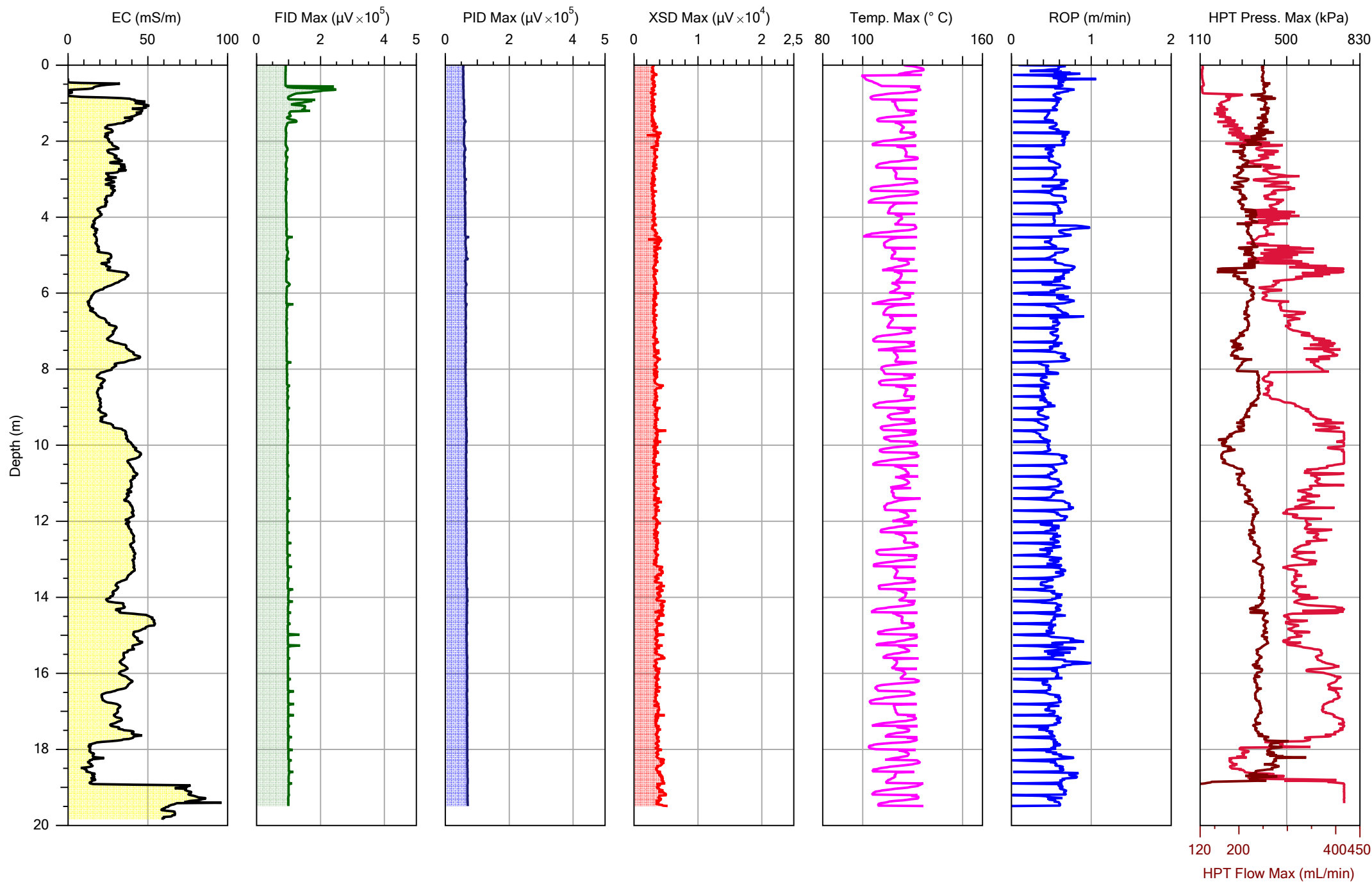


Company:  
S.G.M. Geologia e Ambiente Srl  
Project ID:  
Serravalle P.se

Operator:  
Nicolo Lonardi  
Client:  
Regione Toscana

HPT Flow Max (mL/min)

File:	MIP_07
Date:	22/06/2020
Location:	Casalguidi



Company:  
S.G.M. Geologia e Ambiente Srl  
Project ID:  
Serravalle P.se

Operator:  
Nicolo Lonardi  
Client:  
Regione Toscana

File:	MIP_08
Date:	26/06/2020
Location:	Casalguidi