



Agenzia Interregionale per il fiume Po

**DIREZIONE TERRITORIALE IDROGRAFICA VENETO**

**Ufficio Operativo di Rovigo**



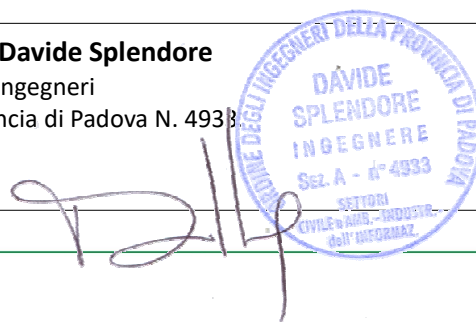
**LAVORI DI PRIMO INTERVENTO NECESSARI A FAR FRONTE ALLE CRITICITÀ  
MANIFESTATESI IN CONCOMITANZA DELL'EVENTO DI PIENA INTERESSANTE LE  
ARGINATURE DEL FIUME PO DEL CIRCONDARIO IDRAULICO DI ROVIGO (RO).**



**INDAGINI GEOLOGICHE E GEOTECNICHE FINALIZZATE ALLE VERIFICHE DI  
FILTRAZIONE IN LOCALITÀ MAZZORNO SINISTRO NEL COMUNE DI  
ADRIA (RO). CIG: 8183027F7D**

**DATA**  
Aprile 2020

Dott. Ing. **Davide Splendore**  
Albo degli ingegneri  
della Provincia di Padova N. 4933



## SOMMARIO

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1.    | PREMESSA.....  | 3  |
| 2.    | DESCRIZIONE SINTETICA DELLE ATTIVITA' .....                              | 5  |
| 3.    | INDAGINI GEOTECNICHE .....   | 7  |
| 3.1   | SONDAGGI GEOGNOSTICI .....   | 7  |
| 3.1.1 | Prove di permeabilità in foro di sondaggio .....                         | 9  |
| 3.1.2 | Prelievo di campioni e prove geotecniche in laboratorio .....            | 10 |
| 3.1.3 | Strumentazione installata .....  | 12 |
| 3.2   | PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CON PIEZOCONO / PIEZOCONO SISMICO .....   | 13 |
| 3.2.1 | Prove di dissipazione .....  | 14 |
| 4.    | INDAGINI AMBIENTALI.....   | 15 |
| 4.1   | Indagine in materia di terre e rocce e da scavo (DPR120/17) .....        | 15 |
| 4.1.1 | Analisi chimiche .....   | 15 |
| 4.1.2 | Risultati .....  | 15 |
| 4.2   | Indagine per la valutazione dell'aggressività chimica al diaframma ..... | 16 |

## ALLEGATI

- Allegato 1 - Sondaggi: schede stratigrafiche e documentazione fotografica
- Allegato 2 - Certificati prove di permeabilità Lefranc
- Allegato 3 - Prove geotecniche di laboratorio
- Allegato 4 - Prove CPTU-SCPTU: valori di resistenza, diagrammi, doc. fotografica
- Allegato 5 - Prove di dissipazione
- Allegato 6 - Tabella di sintesi e rapporti di prova analisi terre e rocce da scavo
- Allegato 7 - Rapporti di prova analisi per valutazione aggressività chimica

## 1. PREMESSA

Nell'ambito dei *“Lavori di primo intervento necessari a far fronte alle criticità manifestatesi in concomitanza dell'evento di piena interessante le arginature del fiume Po del Circondario Idraulico di Rovigo (RO)”*, la scrivente Geolavori S.r.l. è stata incaricata da *“AIPO – Agenzia Interregionale per il Fiume Po – Unità Operativa di Rovigo”* alla *“Esecuzione di indagini geologiche e geotecniche finalizzate alle verifiche di filtrazione in località Mazzorno sinistro nel comune di Adria (RO)”*.

Le attività sono consistite nell'esecuzione di sondaggi a carotaggio a continuo con prove di permeabilità in foro, installazione piezometri, prove penetrometriche CPTU e SCPTU, prove di dissipazione, prove geotecniche in laboratorio sui campioni rimaneggiati prelevati durante i sondaggi ed analisi chimiche su campioni di suolo e acque di falda.



Figura 1. Foto aerea dell'area di indagine (google earth)

Il quadro normativo di riferimento è costituito dalle seguenti norme di livello nazionale e regionale:

- D.Lgs. n. 152 del 3 aprile 2006 “Norme in materia ambientale” e s.m.i.;
- D.P.R. 120/17. Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo.
- DGRV n. 2922 del 03 ottobre 2003 “D.Lgs. 5 febbraio 1997, n. 22 - D.M. 5 ottobre 1999, n. 471. “Definizione delle linee guida per il campionamento e l’analisi dei campioni dei siti inquinati. Protocollo operativo – Approvazione”.
- AGI: Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche, 1977;
- ANISIG: Modalità tecnologiche per l’esecuzione di indagini geognostiche e l’installazione e la gestione di impianti di monitoraggio;
- ASTM (American Society for Testing and Materials): Norme relative alla definizione dei materiali e dei metodi di prova.

## 2. DESCRIZIONE SINTETICA DELLE ATTIVITA'

Le attività hanno compreso sinteticamente l'esecuzione di:

- n° 3 sondaggi geognostici a carotaggio continuo (S1÷S3) ubicati in sommità arginale, spinti alla profondità di 40,0 metri da p.c. e strumentati con piezometro a tubo aperto;
- n° 1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo (S4) in zona golenale, spinto alla profondità di 20,0 metri da p.c.;
- n° 2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo (S5÷S6) posizionati a lato campagna, spinti alla profondità di 30,0 metri da p.c. e strumentati con piezometro/i Casagrande;
- n° 1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo (S7) ubicato in sottobanca, spinto alla profondità di 20,0 metri da p.c.;

durante i quali:

- sono state eseguite n° 30 prove di permeabilità Lefranc;
- sono stati prelevati n° 38 campioni rimaneggiati dei quali n° 30 sottoposti a prove geotecniche in laboratorio.
- n° 4 prove penetrometriche statiche con piezocono/piezocono sismico (CPTU1, SCPTU2, CPTU3 e CPTU4) ubicate in sommità arginale, spinte alla profondità di 40,0 metri da p.c.;
- n° 1 prova penetrometrica statica con piezocono (CPTU5), eseguita in area golenale, spinta alla profondità di 30,0 metri da p.c.;
- n° 2 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU6, CPTU7) ubicate a piano campagna, spinte rispettivamente alle profondità di 30,0 e 35,0 metri da p.c.;
- n° 2 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU8, CPTU9) posizionate a mezzabanca, spinte alla profondità di 20,0 metri da p.c.;

nel corso delle quali:

- sono state eseguite n° 12 prove di dissipazione.

Infine, sono state eseguite alcune indagini di carattere prettamente ambientale, quali:

- n° 9 analisi su campioni di terreno prelevati durante ai sondaggi ai sensi del DPR 120/17: Arsenico, Cadmio, Cobalto, Cromo tot, Cromo VI, Mercurio, Nichel, Piombo, Rame, Zinco, Idrocarburi C>12.



- n° 3 analisi su campioni di terreno prelevati durante ai sondaggi finalizzate a valutare l'aggressività chimica alla miscela cementizia che formerà il futuro diaframma: pH, solfati.
- n° 3 analisi su campioni di acque di falda prelevati finalizzate anch'esse alla valutazione dell'aggressività chimica alla miscela cementizia del futuro diaframma: pH, anidride carbonica disciolta, cloruri, solfati, magnesio, azoto ammoniacale

L'ubicazione dei punti di indagine in campo, eseguita di comune accordo con i tecnici della committente, è riportata in Figura 2. Nelle schede di sondaggio e nei rapporti di prova delle prove penetrometriche sono riportate le coordinate planimetriche rilevate in sito.



Figura 2. Foto aerea con ubicazione indagini (google earth)

### 3. INDAGINI GEOTECNICHE

#### 3.1 SONDAGGI GEOGNOSTICI

La campagna d'indagine ha compreso l'esecuzione di n° 7 sondaggi verticali a carotaggio continuo a profondità comprese tra i 20,0 e i 40,0 metri da p.c. Nella seguente tabella si riportano le principali caratteristiche di ciascun carotaggio.

| ID | PROFONDITA' SONDAGGIO (m) | STRUMENTAZIONE               | PROF. STRUMENTAZIONE (m) |
|----|---------------------------|------------------------------|--------------------------|
| S1 | 40,00                     | PIEZOMETRO A TUBO A PERTO    | 15,00                    |
| S2 | 40,00                     | PIEZOMETRO A TUBO A PERTO    | 10,00                    |
| S3 | 40,00                     | PIEZOMETRO A TUBO A PERTO    | 15,00                    |
| S4 | 20,00                     | -                            | -                        |
| S5 | 30,00                     | DOPPIO PIEZOMETRO CASAGRANDE | 5,50<br>14,50            |
| S6 | 30,00                     | PIEZOMETRO CASAGRANDE        | 12,30                    |
| S7 | 20,00                     | -                            | -                        |

Tabella 1. Caratteristiche sondaggi

Tutti i sondaggi sono stati eseguiti a secco, utilizzando un carotiere semplice di diametro Ø101 mm munito di corona in acciaio Widia e provvedendo al sostegno delle pareti del foro con tubi metallici provvisori di diametro Ø127mm.

Durante l'esecuzione sono stati prelevati campioni rimaneggiati ed eseguite prove di permeabilità in foro in maniera tale da caratterizzare l'intera verticale di sondaggio.

Il materiale carotato è stato riposto in cassette catalogatrici atte al contenimento di 5,00 metri di carota compilate con nome del committente, identificazione del sondaggio, profondità ed infine fotografate con carta cromatica di confronto.

Sulle carote sono state eseguite prove speditive di consistenza mediante Pocket Penetrometer e Torvane per ottenere indicazioni rispettivamente della resistenza alla compressione e al taglio dei terreni coesivi.

La descrizione stratigrafica del sondaggio in Allegato 1 è stata affidata ad un geologo esperto che, attendendosi alle “Raccomandazioni AGI” ha redatto una scheda stratigrafica comprendente:

- Descrizione, simbologia granulometrica e colore per ogni strato;
- Profondità di campionamento;
- Schema della strumentazione in foro;
- Misure freatiche;
- Metodo e attrezzatura utilizzati.

La campagna di indagine è stata eseguita utilizzando n° 2 perforatrici idrauliche a rotazione autocarrate Atlas Copco A65 e Fraste SL-G con caratteristiche tecniche appropriate al tipo di sondaggi:

- Spinta: 10-96.8 KN
- Tiro: 20-96.8 KN
- Coppia: 450-12750 Nm
- Velocità rotazione: 0-614 rpm
- Tiro max argano: 2 -18 KN
- Peso: 2800-19000 Kg



Figura 3. Atlas Copco A65



Figura 4. Fraste SL-G



### 3.1.1 Prove di permeabilità in foro di sondaggio

Le prove di permeabilità sono state distribuite lungo l'intera verticale di sondaggio prediligendo gli strati sabbiosi più permeabili, dove sono probabili fenomeni di filtrazione. Le prove hanno riguardato anche i terreni costituenti gli argini ed alcuni livelli limoso-argillosi nei quali tuttavia si prediligono prove in laboratorio.

Le prove Lefranc sono state realizzate a carico variabile, per immissione ("prove in abbassamento"). Consistono infatti nel riempire d'acqua il foro di sondaggio e misurare, a mezzo di un freatimetro, il successivo abbassamento di livello dovuto alle perdite di portata fluenti dalla falda. La prova si ritiene conclusa quando il dislivello idrico tra il valore statico della falda e il valore misurato è inferiore ad un quinto dell'altezza d'acqua iniziale. Quando la prova viene eseguita nell'insaturo il valore statico della falda viene assunto a pari al fondo foro.

A livello esecutivo, una volta rivestito il foro fino alla quota stabilita per l'esecuzione della prova, si crea una sezione filtrante al fondo del foro, sollevando per una lunghezza prestabilita la colonna di rivestimento. A seguire si realizza un dreno in ghiaietto per tutta la lunghezza della tasca. Durante l'esecuzione si annotano i valori misurati con freatimetro durante l'abbassamento. La determinazione del coefficiente di permeabilità  $K$  è stata determinata in conformità con quanto riportato nelle "Raccomandazioni AGI, 1977" e in "Prove Geotecniche in sito" di Ferruccio Cestari.

Nella seguente tabella si riassumono i risultati ottenuti dalle prove, i certificati sono riportati in Allegato 2.

| ID<br>SONDAGGIO | LEFRANC  |                                    |                      |                                |
|-----------------|----------|------------------------------------|----------------------|--------------------------------|
|                 | ID PROVA | Intervallo di prova<br>(m da p.c.) | K (m/s)              | Litologia                      |
| S1              | A        | 2,50 ÷ 3,00                        | $1,3 \times 10^{-5}$ | Limo sabbioso                  |
| S1              | B        | 8,00 ÷ 9,00                        | $8,1 \times 10^{-6}$ | Limo sabbioso argilloso        |
| S1              | C        | 13,00 ÷ 13,50                      | $9,2 \times 10^{-6}$ | Sabbia deb. limosa             |
| S1              | D        | 16,50 ÷ 16,80                      | $8,4 \times 10^{-5}$ | Sabbia deb. limosa             |
| S1              | E        | 24,00 ÷ 24,50                      | $4,0 \times 10^{-5}$ | Sabbia deb. limosa             |
| S1              | F        | 33,00 ÷ 34,00                      | $3,9 \times 10^{-8}$ | Limo argilloso                 |
| S2              | A        | 6,00 ÷ 6,50                        | $2,2 \times 10^{-5}$ | Limo sabbioso                  |
| S2              | B        | 9,00 ÷ 10,00                       | $7,3 \times 10^{-7}$ | Limo argilloso                 |
| S2              | C        | 12,00 ÷ 12,50                      | $1,3 \times 10^{-5}$ | Sabbia limosa                  |
| S2              | D        | 15,00 ÷ 15,50                      | $3,5 \times 10^{-5}$ | Sabbia limosa                  |
| S2              | E        | 22,50 ÷ 23,00                      | $4,2 \times 10^{-5}$ | Sabbia deb. limosa             |
| S2              | F        | 30,00 ÷ 31,50                      | $4,5 \times 10^{-6}$ | Sabbia limosa e argilla limosa |
| S3              | A        | 4,00 ÷ 4,50                        | $7,1 \times 10^{-5}$ | Limo sabbioso argilloso        |
| S3              | B        | 9,00 ÷ 9,50                        | $9,8 \times 10^{-7}$ | Argilla limosa                 |
| S3              | C        | 16,00 ÷ 16,50                      | $2,3 \times 10^{-5}$ | Sabbia limosa                  |
| S3              | D        | 20,50 ÷ 21,00                      | $4,7 \times 10^{-5}$ | Sabbia deb. limosa             |
| S3              | E        | 34,00 ÷ 34,50                      | $9,9 \times 10^{-7}$ | Argilla limosa                 |
| S4              | A        | 4,00 ÷ 4,50                        | $7,6 \times 10^{-6}$ | Sabbia deb. limosa             |
| S4              | B        | 10,50 ÷ 11,00                      | $2,5 \times 10^{-5}$ | Sabbia deb. limosa             |
| S4              | C        | 16,50 ÷ 17,00                      | $1,7 \times 10^{-5}$ | Sabbia deb. limosa             |
| S5              | A        | 10,00 ÷ 10,30                      | $9,2 \times 10^{-6}$ | Sabbia limosa                  |
| S5              | B        | 16,00 ÷ 16,50                      | $4,3 \times 10^{-5}$ | Sabbia deb. limosa             |
| S5              | C        | 17,50 ÷ 18,00                      | $3,9 \times 10^{-5}$ | Sabbia deb. limosa             |
| S6              | A        | 4,20 ÷ 4,70                        | $8,7 \times 10^{-5}$ | Sabbia deb. limosa             |
| S6              | B        | 11,50 ÷ 12,00                      | $9,7 \times 10^{-6}$ | Sabbia limosa                  |
| S6              | C        | 16,00 ÷ 16,50                      | $8,3 \times 10^{-5}$ | Sabbia deb. limosa             |
| S6              | D        | 20,50 ÷ 21,50                      | $2,6 \times 10^{-5}$ | Sabbia deb. limosa             |
| S7              | A        | 2,50 ÷ 3,00                        | $4,6 \times 10^{-5}$ | Sabbia limosa                  |
| S7              | B        | 7,50 ÷ 8,00                        | $5,9 \times 10^{-5}$ | Sabbia deb. limosa             |
| S7              | C        | 15,00 ÷ 15,50                      | $7,6 \times 10^{-5}$ | Sabbia deb. limosa             |

Tabella 2. Prove di permeabilità Lefranc

### 3.1.2 Prelievo di campioni e prove geotecniche in laboratorio

In corrispondenza di ogni prova di permeabilità in sito è stato prelevato n campione rimaneggiato per l'eventuale analisi granulometrica. Ulteriori campioni si sono prelevati in corrispondenza di ogni strato significativo in modo tale da poter caratterizzare tutte le unità litostratigrafiche intercettate.

I campioni rimaneggiati sono stati sigillati entro appositi contenitori in plastica, etichettati con il nome del committente, del cantiere, la sigla del sondaggio e le quote di prelievo.

Sono stati prelevati complessivamente n° 38 campioni dei quali n° 30 analizzati in laboratorio. I campioni con l'elenco delle prove sono elencati in Tabella 3. In Allegato 3 si riportano i certificati di prova.

| ID sondaggio | ID campione | Prof.tà di prelievo (m) | Granulometria completa | Permeabilità |
|--------------|-------------|-------------------------|------------------------|--------------|
| <b>S1</b>    | 1           | 2,50 - 3,00             | x                      |              |
|              | 2           | 8,00 - 8,50             | x                      |              |
|              | 3           | 13,00 - 13,50           | x                      |              |
|              | 4           | 16,50 - 17,00           |                        |              |
|              | 5           | 24,00 - 24,50           | x                      |              |
|              | 6           | 33,00 - 33,50           |                        |              |
| <b>S2</b>    | 1           | 6,00 - 6,50             | x                      |              |
|              | 2           | 9,00 - 10,00            | x                      |              |
|              | 3           | 12,00 - 12,50           | x                      |              |
|              | 4           | 15,00 - 15,50           | x                      |              |
|              | 5           | 22,50 - 23,00           | x                      |              |
|              | 6           | 30,00 - 30,80           |                        |              |
|              | 7           | 30,80 - 31,20           |                        |              |
|              | 8           | 34,70 - 35,00           |                        |              |
| <b>S3</b>    | 1           | 4,00 - 4,50             | x                      |              |
|              | 2           | 9,00 - 9,50             | x                      | x            |
|              | 3           | 16,00 - 16,50           | x                      |              |
|              | 4           | 20,50 - 21,00           | x                      |              |
|              | 5           | 34,00 - 34,50           | x                      |              |
| <b>S4</b>    | 1           | 2,30 - 2,80             | x                      | x            |
|              | 2           | 4,00 - 4,50             | x                      |              |
|              | 3           | 10,50 - 11,00           | x                      |              |
|              | 4           | 16,50 - 17,00           | x                      |              |
| <b>S5</b>    | 1           | 4,90 - 5,50             | x                      |              |
|              | 2           | 6,40 - 6,90             | x                      | x            |
|              | 3           | 10,00 - 10,30           | x                      |              |
|              | 4           | 16,00 - 16,50           | x                      |              |
|              | 5           | 17,60 - 18,00           | x                      |              |
|              | 6           | 26,50 - 27,00           |                        |              |
| <b>S6</b>    | 1           | 1,50 - 1,95             | x                      | x            |
|              | 2           | 4,20 - 4,70             | x                      |              |
|              | 3           | 11,50 - 12,00           | x                      |              |
|              | 4           | 16,00 - 16,50           | x                      |              |
|              | 5           | 20,50 - 21,50           |                        |              |
|              | 6           | 27,00 - 28,00           |                        |              |
| <b>S7</b>    | 1           | 2,50 - 3,00             | x                      |              |
|              | 2           | 7,50 - 8,00             | x                      |              |
|              | 3           | 15,00 - 15,50           | x                      |              |

Tabella 3. Prove geotecniche in laboratorio

### 3.1.3 Strumentazione installata

Il sondaggio S1, S2 e S3, eseguiti in sommità arginale, sono stati strumentati con un piezometro a tubo aperto a profondità variabile tra i 10,0 e i 15,0 metri dal p.c. Il piezometro è costituito da tubazioni in PVC atossico di diametro 2" ( $\varnothing_{est} = 60\text{mm}$ ,  $s = 4,2\text{mm}$ ) fessurate ( $\text{slot} = 0.5\text{mm}$ ) in corrispondenza dell'acquifero.

I sondaggi S5 e S6 sono stati strumentati con piezometri Casagrande. In particolare S5 è stato attrezzato con n° 2 celle Casagrande accoppiate, in grado di monitorare un primo acquifero confinato posto a circa 4,0÷5,5 metri da p.c. e la seconda falda il cui intervallo è compreso tra circa 11,5 e 24,3 metri da p.c. Nel sondaggio S6 è stato installato un unico piezometro con cella filtrante a 12,0 metri da p.c. Il piezometro Casagrande permette una risposta rapida in terreni con permeabilità minore a  $10^{-6}$  m/s ed inoltre permette di misurare la pressione neutra di falde confinate. Esso è costituito da una cella porosa di lunghezza pari a circa 30 cm e diametro 50 mm avente una cavità interna collegata a due tubi di diametro 1/2" in PVC per il raccordo in superficie.

La posa di entrambi i piezometri avviene all'interno del foro lavato, realizzando un letto in sabbia pulita e sollevando lentamente la colonna di rivestimento. Quindi si cala la strumentazione e si versa un volume di sabbia tale da creare un prefiltro nell'anello esterno alla cella porosa o al tratto filtrante. Al di sopra, preferibilmente in corrispondenza di uno strato argilloso si sigilla il foro con compactonite. Al termine della posa il piezometro viene lavato con acqua pulita e la sommità viene protetta con un pozzetto metallico o carrabile.

Durante ciascuna verticale di indagine sono state eseguite misure freatiche in corso d'opera; un'ulteriore lettura del livello è stata effettuata nei piezometri al termine dei lavori, in condizione stazionarie.

Le letture piezometriche e le caratteristiche costruttive dei piezometri sono schematizzate nella relativa scheda di sondaggio.

### 3.2 PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CON PIEZOCONO / PIEZOCONO SISMICO

La campagna di indagine ha compreso l'esecuzione di n° 9 prove penetrometriche statiche elettriche dotate di piezocono (CPTU) o piezocono sismico spinte alle profondità elencate in Tabella 4.

| ID     | PROFONDITA' (m) |
|--------|-----------------|
| CPTU1  | 40,00           |
| SCPTU2 | 40,00           |
| CPTU3  | 40,00           |
| CPTU4  | 40,00           |
| CPTU5  | 30,00           |
| CPTU6  | 30,00           |
| CPTU7  | 35,00           |
| CPTU8  | 20,00           |
| CPTU9  | 20,00           |

Tabella 4. Profondità prove penetrometriche.

Le prove sono state eseguite mediante l'utilizzo di un penetrometro statico autocarrato olandese da 20 tonn strumentato con piezocono sismico Tecnopenta G1-CPL2IN in grado di registrare in tempo reale e con intervallo 2 cm i valori della resistenza di punta  $q_c$ , dell'attrito laterale  $f_s$  e della pressione neutra  $u$ .

La punta a forma conica, avente angolo di  $60^\circ$ , superficie di  $10 \text{ cm}^2$  e diametro di 35,7 mm, ed il manicotto di frizione, posto sopra alla punta conica con superficie di  $150 \text{ cm}^2$ , sono quelli standard previsti dalle normative internazionali.

L'acquisizione dati avviene tramite centralina elettronica ed il grafico dei valori di  $q_c$ ,  $f_s$  ed  $u_2$  in funzione della profondità viene visualizzato durante l'esecuzione della prova direttamente sullo schermo di un personal computer.

Nel corso della prova SCPTU si misurano, ad intervallo metrico, i segnali sismici, ossia il tempo che impiega l'onda generata in superficie a raggiungere il sismometro posto in corrispondenza della punta conica. Confrontando i tempi di arrivo ad ogni profondità, si può valutare la velocità media nell'intervallo compreso tra le due misure, ottenendo un profilo della velocità di propagazione nella direzione verticale delle onde sismiche.



In Allegato 4. si riportano le tabelle dei dati registrati e i diagrammi nonché l'elaborazione dei segnali simici (SCPT) con la determinazione del parametro Vs30.

### 3.2.1 Prove di dissipazione

Durante le prove penetrometriche, in corrispondenza dei livelli coesivi sono state eseguite prove di dissipazione; le profondità di prova sono elencate nella tabella sottostante.

| ID PROVA | PROFONDITA'<br>DISSIPAZIONE (m) |
|----------|---------------------------------|
| CPTU1    | 16,68<br>33,74                  |
| SCPTU2   | 33,42                           |
| CPTU3    | 15,94<br>36,26                  |
| CPTU4    | 35,16                           |
| CPTU5    | 7,78<br>17,52                   |
| CPTU6    | 11,54                           |
| CPTU7    | 2,36<br>4,42<br>6,24            |
| CPTU8    | -                               |
| CPTU9    | -                               |

Tabella 5. Profondità prove di dissipazione.

La prova consiste nel misurare e registrare la pressione dei pori che dissipa allorché si arresta la penetrazione. La velocità di dissipazione dipende dal coefficiente di consolidazione del terreno e quindi dalla compressibilità e dalla permeabilità del terreno stesso.

In genere si tende a limitare la dissipazione fino a raggiungere il valore del tempo corrisponde al 50% di dissipazione della sovrappressione generata dalla penetrazione.

Per ciascuna prova si allegano (All. 5) i diagrammi  $\Delta u/\Delta u_0$  – tempo e pressione – tempo, con la stima del coefficiente di permeabilità determinata con la formula di Pariez a Fauriel:

$$K_h = (251 T_{50})^{-1.25}$$

dove  $T_{50}$  è il tempo in cui la sovrappressione interstiziale ( $\Delta u$ ) è il 50% della pressione neutra all'interno del terreno perforato.

## **4. INDAGINI AMBIENTALI**

### **4.1 Indagine in materia di terre e rocce e da scavo (DPR120/17)**

Nel corso dei sondaggi S1, S2 e S3 sono stati prelevati n° 9 campioni di terreno a diverse profondità al fine di valutare lo stato di contaminazione ai sensi del DPR120/17.

Le operazioni di campionamento, prelievo, formazione e conservazione dei campioni per le analisi di laboratorio sono state condotte secondo le specifiche stabilite dalla DGRV n. 2922/2003 e dal D.Lgs. 152/06 per poter ottenere campioni che rappresentino correttamente la situazione esistente in sito.

Il prelievo è stato eseguito riponendo il terreno su teli in Pead al fine di evitare eventuali contaminazioni. Come stabilito dal D.Lgs 152/06 la frazione maggiore di 2 cm è stata scartata direttamente in campo e ciascun campione è stato omogeneizzato in modo da ottenere una distribuzione uniforme dei contaminanti. A tal fine ogni campione è stato suddiviso in più parti omogenee, adottando metodi di quartatura riportati nella normativa (IRSA-CNR, Quaderno 64 del gennaio 1985). Infine il terreno è stato riposto all'interno di contenitori in vetro completamente riempiti, sigillati, etichettati e inoltrati subito al laboratorio di analisi.

#### **4.1.1 Analisi chimiche**

Le analisi chimiche sui campioni prelevati, sono state eseguite dal laboratorio Agrolab Italia S.r.l. di Altavilla Vicentina (VI) certificato ACCREDIA.

Secondo quanto disposto dal DPR120/17 e dalle Istruzioni operative di ARPAV, i campioni sono stati sottoposti ad analisi chimica per la ricerca dei seguenti parametri:

- Inquinanti inorganici (Arsenico, Cadmio, Cobalto, Cromo tot., Cromo esavalente, Mercurio, Nichel, Piombo, Rame, Zinco);
- Idrocarburi pesanti (C>12);

#### **4.1.2 Risultati**

I certificati di prova sono riportati in Allegato 6 unitamente alla tabella di sintesi. I risultati sono stati confrontati con i limiti previsti per destinazioni d'uso di tipo residenziale ossia i limiti tabellari di Col. A / Col. B, Tab. 2, All. 5 Parte IV Titolo V del D.Lgs. 152/06.

| Parametro                          | U.M.       | CSC Col. A Tab. 1<br>All. 5 D.lgs. 152 | ID CAMPIONE      |                    |                    |                  |                    |                    |                  |                   |                    |
|------------------------------------|------------|--|------------------|--------------------|--------------------|------------------|--------------------|--------------------|------------------|-------------------|--------------------|
|                                    |            |  | S1-1A (0,0-1,0m) | S1-2A (14,0-15,0m) | S1-3A (23,0-24,0m) | S2-1A (0,0-1,0m) | S2-2A (15,0-16,0m) | S2-3A (20,0-21,0m) | S3-1A (3,0-3,5m) | S3-2A (9,5-10,0m) | S3-3A (17,0-18,0m) |
| Residuo a 105 °C                   | % s.s.     |  | 85,7             | 80,2               | 80,0               | 84,7             | 82,6               | 69,7               | 79,4             | 75,2              | 82,4               |
| Scheletro (2 mm - 2 cm)            | g/100g     |  | <1,00            | <1,00              | <1,00              | <1,00            | <1,00              | <1,00              | <1,00            | <1,00             | <1,00              |
| Arsenico                           | mg/kg s.s. | 20                                     | 6,6              | 3,1                | 2,47               | 6,0              | 3,3                | 7,3                | 5,9              | 7,3               | 3,2                |
| Cadmio                             | mg/kg s.s. | 2                                      | 0,61             | <0,20              | <0,20              | 0,64             | <0,20              | <0,20              | <0,20            | <0,20             | <0,20              |
| Cobalto                            | mg/kg s.s. | 20                                     | 11,5             | 10,2               | 9,1                | 11,2             | 8,8                | 6,2                | 10,7             | 14,4              | 9,3                |
| Cromo totale                       | mg/kg s.s. | 150                                    | 97               | 89                 | 67                 | 86               | 73                 | 33                 | 82               | 90                | 79                 |
| Cromo esavalente                   | mg/kg s.s. | 2                                      | 1,37             | 0,23               | 0,22               | 1,29             | 0,23               | 0,34               | 0,57             | 0,98              | 0,19               |
| Mercurio                           | mg/kg s.s. | 1                                      | <0,10            | <0,10              | <0,10              | <0,10            | <0,10              | <0,10              | <0,10            | <0,10             | <0,10              |
| Nichel                             | mg/kg s.s. | 120                                    | 77               | 57                 | 49                 | 71               | 52                 | 26,5               | 69               | 85                | 54                 |
| Piombo                             | mg/kg s.s. | 100                                    | 26,4             | 3,9                | 3,6                | 27,6             | 6,3                | 5,4                | 11,0             | 11,9              | 4,1                |
| Rame                               | mg/kg s.s. | 120                                    | 38               | 8,0                | 5,8                | 44               | 9,9                | 11,8               | 27,1             | 37                | 7,9                |
| Zinco                              | mg/kg s.s. | 150                                    | 150              | 33                 | 30,6               | 150              | 40                 | 43                 | 65               | 78                | 34                 |
| Idrocarburi Pesanti C>12 (C12-C40) | mg/kg s.s. | 50                                     | 24,8             | 8,4                | <5,0               | 28,7             | <5,0               | 24,2               | 7,2              | 6,8               | <5,0               |

Tabella 6. Sintesi delle analisi

Tutti i campioni hanno fatto registrare concentrazioni inferiori alle Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC) di Col. A.

## 4.2 Indagine per la valutazione dell'aggressività chimica al diaframma

Ulteriori n° 3 campioni di terreno e n° 3 campioni di acqua di falda sono stati prelevati ed analizzati al fine di verificarne l'eventuale aggressività alla miscela cementizia del diaframma da progettarsi.

I campioni di terreno sono stati prelevati dai sondaggi S1, S2 e S3 con le stesse metodiche applicate all'indagine ambientale.

I campioni d'acqua sotterranea sono stati prelevati previo spurgo a basso flusso dai piezometri installati nei sondaggi S2 e S3 e da un terzo piezometro esistente ubicato a Cavanella Po e denominato S2.

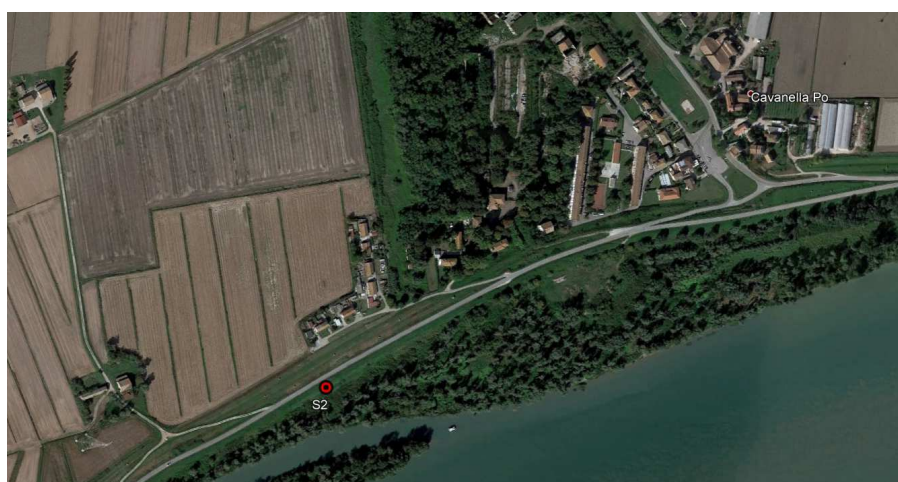


Figura 5. Foto aerea con ubicazione del piezometro S2 a Cavanella Po.

Su richiesta della committente i campioni sono stati analizzati per la determinazione dei parametri:

- Terreni
  - pH
  - Solfati
- Acque di falda
  - pH
  - Magnesio
  - Cloruri
  - Solfati
  - Azoto ammoniacale
  - Anidride carbonica

I certificati di prova sono riportati in Allegato 7.