

**DIREZIONE TERRITORIALE IDROGRAFICA – EMILIA-ROMAGNA ORIENTALE**  
**UFFICIO OPERATIVO DI FERRARA**

**OPERE IDRAULICHE DI 2<sup>A</sup> CATEGORIA**  
**FIUME PO**

**PROGETTO ESECUTIVO**

**FE-E-813/A - Codice Opera N. 1357 - CUP: B77H21002260001**

**Lavori: di realizzazione della sagoma definitiva dell'arginatura in destra idraulica del fiume Po da Froldo Francolino a Coronella Scutellari, tra gli stanti 54 e 60 - PTI\_FE\_1 - Comune di Ferrara (FE).**

**Relazione geologica e geotecnica**

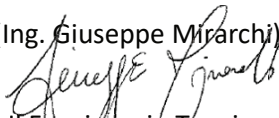
Elaborato

**A.2.1**

**Progettisti:**

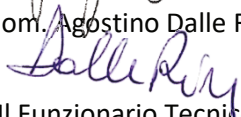
Il Funzionario Tecnico

(Ing. Giuseppe Mirarchi)



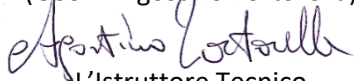
Il Funzionario Tecnico

(Geom. Agostino Dalle Rive)




Il Funzionario Tecnico

(Geom. Agostino Tortorella)



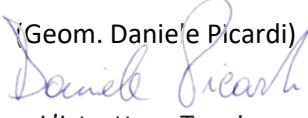
L'Istruttore Tecnico

(Geom. Giovangiuseppe Tuccillo)



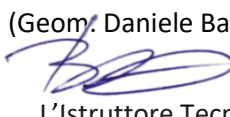
L'Istruttore Tecnico

(Geom. Daniele Picardi)



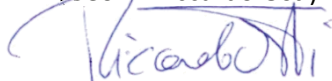
L'Istruttore Tecnico

(Geom. Daniele Barbieri)



L'Istruttore Tecnico

(Geom. Riccardo Osti)



**Visto:**

Il Responsabile del Progetto

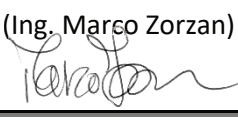
(Ing. Massimo Valente)



**Supporto al RUP:**

Il Funzionario Tecnico

(Ing. Marco Zorzan)



PERIZIA N. **3**

DATA: 13/06/2025

**Rev. AIPO**  
**Sett. 2025**

REGIONE EMILIA ROMAGNA  
PROVINCIA DI FERRARA  
LOCALITÀ FRANCOLINO

Progetto:

FE-E-813 - COD. OPERA 1357

Lavori di realizzazione della sagoma definitiva dell'arginatura in  
destra idraulica del fiume Po da Froldo Francolino a Coronella  
Scutellari, tra gli stanti 54 e 60 - PTI\_FE\_1  
Comune di Ferrara (FE)

CUP: B77H21002260001

VERIFICHE GEOTECNICHE

Titolo elaborato:

RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA,  
GEOTECNICA, SISMICA E VERIFICHE GEOTECNICHE

Committente:



Strada Giuseppe Garibaldi 75 - 43121 Parma  
Tel. 0521/7971. Posta certificata: protocollo@cert.agenziapo.it  
Codice Fiscale: 92116650349 - Partita IVA: 02297750347

Elaborato: A.2.1

Data: Febbraio 2023

Revisione: 1

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO DI PROFESSIONISTI E IMPRESA

Consulenza ingegneristica:

**Ediltecno Service srl**

Il direttore tecnico

**Ferraro Ing. Valentino**

Sede legale: Via Albere 2/a  
36060 Romano d'Ezzelino (VI)  
P. IVA 02425190242

Consulenza geologica:

**Dott. geol. Andrea Massagrande**

via G. Marconi 1/i  
36016 Thiene (VI)  
P. IVA 02877170247

## Sommario

1.	<b>PREMESSA .....</b>	<b><a href="#">2</a></b>
2.	<b>RIFERIMENTI NORMATIVI .....</b>	<b><a href="#">6</a></b>
3.	<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO-TERRITORIALE DELL'AREA .....</b>	<b><a href="#">10</a></b>
4.	<b>DESCRIZIONE DELLE PROVE/INDAGINI SOCOTEC ITALIA s.r.l. ....</b>	<b><a href="#">16</a></b>
5.	<b>INDAGINI SISMICHE ED ELETTRICHE INTEGRATIVE.....</b>	<b><a href="#">20</a></b>
5.1.	Caratterizzazione sismica dei terreni (NTC 2018) .....	<a href="#">20</a>
5.1.1.	Indagine sismica MASW .....	<a href="#">20</a>
5.1.2.	Indagine sismica MFA e H/V .....	<a href="#">25</a>
5.2.	Esplorazione elettrica integrativa .....	<a href="#">34</a>
6.	<b>MODELLO GEOLOGICO, GEOTECNICO E SISMICO .....</b>	<b><a href="#">41</a></b>

## Allegati a fine testo

- Planimetria con l'ubicazione delle prove/indagini (*Società SOCOTEC ITALIA s.r.l.*)
- Planimetria con l'ubicazione delle indagini sismiche ed elettriche
- Sezione geologica interpretativa 8 (scala 1:250)
- Sezione geologica interpretativa 16 (scala 1:250)
- Sezione geologica interpretativa 20 (scala 1:250)
- Sezione geologica interpretativa 39 (scala 1:250)
- Documentazione fotografica indagini sismiche ed elettriche

Foto 1: Indagine sismica MASW-A e MFA-A (sez. 20)

Foto 2: Indagine sismica MASW-B e MFA-B (sez. 16)

Foto 3: Misura di microtremori HV-A2

Foto 4: Misura di microtremori HV-B4

Foto 5: Sondaggio elettrico verticale SEV1 (sez. 20)

Foto 6: Sondaggio elettrico verticale SEV2 (sez. 16)

## 1. PREMESSA

Con l'incarico dell'*Agenzia Interregionale per il Fiume Po AIPO*, è stato condotto uno studio finalizzato alla caratterizzazione e alla modellazione geologica, idrogeologica, geotecnica e sismica dei terreni, a supporto degli interventi per la realizzazione della sagoma definitiva del corpo arginale (lato campagna) sulla destra idraulica del Fiume Po, tra le località Froldo Francolino e Coronella Scutellari, nel tratto tra gli stanti 54 e 60 (figg. 1, 2 e 3), nel Comune di Ferrara (FE).

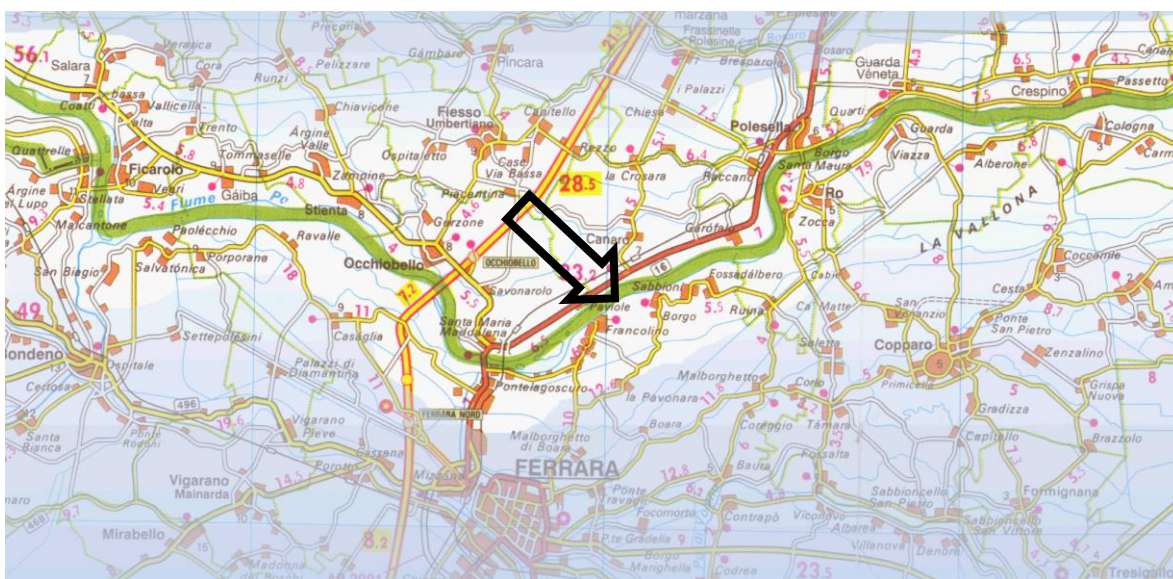


Fig. 1: Inquadramento generale del sito



Fig. 2: Estratto CTR dell'area di intervento





Fig. 3: Ortofoto (tratto iniziale, intermedio e finale) dell'ambito di intervento

La relazione è stata sviluppata ai sensi delle Norme tecniche per le costruzioni (NTC 2018), definendo preliminarmente, di concerto con la *Committenza*, un adeguato piano di indagini e prove con il quale ricavare la caratterizzazione e modellazione geologica, idrogeologica, geotecnica e sismica lungo il tratto arginale indagato.

La campagna di indagini e prove, geofisiche e geotecniche, in sito e in laboratorio, è stata condotta dalla *Società SOCOTEC ITALIA s.r.l.*; il relativo rapporto tecnico, agli atti, è parte integrante della presente relazione.

La campagna di prove e indagini condotte dalla *Società SOCOTEC ITALIA s.r.l.*, finalizzata alla ricostruzione dell'assetto litologico-stratigrafico e alla parametrizzazione geotecnica dei terreni, è consistita nell'esecuzione di:

- **n. 6 stendimenti elettromagnetici preliminari (condotti in due distinti momenti) di cui n. 4 lungo il corpo arginale oggetto del ringrosso (ST1, ST2, ST3 e ST4) e n. 2 in corrispondenza di due zone (cave di prestito) indicate dalla *Committenza* (ST5 e ST6), con profondità indicativa di indagine pari a 9 m,**
- **n. 8 prove penetrometriche statiche CPTU ubicate in sommità (CPTU7 e CPTU8) e al piede arginale (CPTU2, CPTU3, CPTU4, CPTU5 e CPTU6), nonché in posizione intermedia (CPTU1), spinte fino alla profondità variabile tra 20 (CPTU1, CPTU2, CPTU3, CPTU4, CPTU5 e CPTU6) e 25 m (CPTU7 e CPTU8),**
- **n. 4 sondaggi a carotaggio continuo (S1, S2, S3 e S4) ubicati in sommità arginale, spinti fino alla profondità di 25 m,**
- **n. 2 piezometri (a tubo aperto) materializzati entro i fori di sondaggio S1 (PZ1) e S4 (PZ2) per il monitoraggio della circolazione idrica sotterranea,**
- **prove di laboratorio geotecnico su n. 10 campioni prelevati in foro di sondaggio per la classificazione/caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni indagati,**
- **n. 22 + 3 trincee esplorative con escavatore meccanico spinte fino alla profondità di 4 m dal p.c. locale nell'ambito dei due citati areali (cave di prestito), individuati dalla *Committenza*, e prelievo di campioni ambientali e geotecnici per le verifiche chimico-analitiche e per le prove di classificazione dei terreni da utilizzare per il ringrosso arginale.**

A seguito delle risultanze sperimentali preliminari provenienti dall'indagine elettromagnetica gli approfondimenti puntuali (sondaggi e CPTU) sono stati distribuiti in corrispondenza delle sezioni di progetto 8, 16, 20 e 39, ritenute maggiormente significative ai fini dello studio.

Lo scrivente ha svolto gli approfondimenti geofisici inerenti la caratterizzazione sismica del sito e la verifica/taratura delle risultanze dell'indagine elettromagnetica (EM), condotta dalla società in precedenza indicata, mediante una prospezione elettrica (campagna di indagine effettuata il 23 settembre 2022).

In particolare, l'attività di campagna dello scrivente è consistita nell'esecuzione di:

- **indagini sismiche con tecnica MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves), MFA (Multiple Filter Analysis) e HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio - H/V), per la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio (Vs) e l'identificazione di eventuali contrasti di impedenza sismica in accordo con le NTC 2018;**
- **n. 2 sondaggi elettrici verticali (SEV1 e SEV2).**

La planimetria con l'ubicazione delle indagini sismiche MASW-A, MASW-B, MFA-A, MFA-B, HV-A1, HV-A2, HV-B3 e HV-B4 (effettuate al piede del rilevato arginale, lato campagna, in corrispondenza delle sezioni 20 e 16) e dei sondaggi elettrici SEV1 e SEV2 (effettuati al piede del rilevato arginale, lato campagna, in corrispondenza delle sezioni 20 e 16, lungo lo stendimento elettromagnetico ST4 condotto da *SOCOTEC ITALIA s.r.l.*) è allegata a fine testo.

Tutte le postazioni di prova e di indagine sono state ubicate nella planimetria e nelle sezioni fornite dalla Committenza.

Per la stesura della presente relazione tecnica, oltre ai dati sperimentali e alle osservazioni derivanti dalle prove/indagini effettuate si sono utilizzati riferimenti di archivio e bibliografici.

## 2. RIFERIMENTI NORMATIVI

Le prove e indagini condotte in sito e in laboratorio e le relative elaborazioni/considerazioni contenute nel presente documento rispondono alle seguenti disposizioni normative:

### D.M.L.P. 11/03/1988

*Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l'applicazione.*

### D.M. 17/01/2018

#### PUNTO 3.2.2 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con modalità indicate nel §7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_S$ . I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità  $V_S$  per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al §6.2.2.

I valori di  $V_S$  sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{S,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

con:

$h_i$  = spessore dell'i-esimo strato;

$V_{S,i}$  = Velocità delle onde nell'i-esimo strato;

$N$  = numero di strati;

$H$  = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzato da  $V_S$  non inferiori a 800 m/s

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{S,eq}$  è definita dal parametro  $V_{S,30}$ , ottenuto ponendo  $H = 30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono (Tab. 3.2.II):

- A** *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m,

- B** *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti*, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi fra 360 m/s e 800 m/s,
- C** *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s,
- D** *Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti*, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 m/s e 180 m/s,
- E** *Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C e D*, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

## **6 PROGETTAZIONE GEOTECNICA**

### **6.1. DISPOSIZIONI GENERALI**

#### **6.1.1 Oggetto delle norme**

Il presente capitolo riguarda gli aspetti geotecnici della progettazione e della esecuzione di opere ed interventi che interagiscono con il terreno ed in particolare tratta di:

- opere di fondazione;
- opere di sostegno;
- opere in sotterraneo;
- opere e manufatti di materiali sciolti naturali o di provenienza diversa;
- fronti di scavo;
- consolidamento;
- miglioramento e rinforzo dei terreni e degli ammassi rocciosi;
- consolidamento di opere

Il presente capitolo riguarda, altresì, la sicurezza dei pendii naturali e la fattibilità di interventi che hanno riflessi su grandi aree.

#### **6.1.2 Prescrizioni generali**

Le scelte progettuali devono tener conto delle prestazioni attese dalle opere, dei caratteri geologici del sito e delle condizioni ambientali.

*I risultati dello studio rivolto alla caratterizzazione e modellazione geologica, dedotti da specifiche indagini, devono essere esposti in una specifica relazione geologica di cui al §6.2.1.*

Le analisi di progetto devono essere basate su modelli geotecnici dedotti da specifiche indagini definite dal progettista in base alla tipologia dell'opera o dell'intervento e alle previste modalità esecutive.

Le scelte progettuali, il programma e i risultati delle indagini, la caratterizzazione e la modellazione geotecnica, di cui al §6.2.2, unitamente alle analisi per il dimensionamento geotecnico delle opere e alla descrizione delle fasi e modalità costruttive, devono essere illustrati in una specifica relazione geotecnica.

### **6.2. ARTICOLAZIONE DEL PROGETTO**

Il progetto delle opere e degli interventi si articola nelle seguenti fasi:

1. caratterizzazione e modellazione geologica del sito;
2. scelta del tipo di opera o d'intervento e programmazione delle indagini geotecniche;
3. caratterizzazione fisico meccanica dei terreni e delle rocce presenti nel volume significativo e definizione dei modelli geotecnici del sottosuolo (cfr §3.2.2);
4. descrizione delle fasi e delle modalità costruttive;



5. verifica della sicurezza e delle prestazioni;
6. programmazione delle attività di controllo e monitoraggio.

#### **6.2.1. Caratterizzazione e modellazione geologica del sito**

Il modello geologico di riferimento è la ricostruzione concettuale della storia evolutiva dell'area di studio, attraverso la descrizione delle peculiarità genetiche dei diversi terreni presenti, delle dinamiche dei diversi termini litologici, dei rapporti di giustapposizione reciproca, delle vicende tettoniche subite e dell'azione dei diversi agenti morfogenetici.

La caratterizzazione e la modellazione geologica del sito deve comprendere la ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio, descritti e sintetizzati dal modello geologico di riferimento.

In funzione del tipo di opera, di intervento e della complessità del contesto geologico nel quale si inserisce l'opera, specifiche indagini saranno finalizzate alla documentata ricostruzione del modello geologico.

Il modello geologico deve essere sviluppato in modo da costituire elemento di riferimento per il progettista per inquadrare i problemi geotecnici e per definire il programma delle indagini geotecniche.

La caratterizzazione e la modellazione geologica del sito devono essere esaurientemente esposte e commentate in una relazione geologica, che è parte integrante del progetto. Tale relazione comprende, sulla base di specifici rilievi ed indagini, la identificazione delle formazioni presenti nel sito, lo studio dei tipi litologici, della struttura del sottosuolo e dei caratteri fisici degli ammassi, definisce il modello geologico del sottosuolo, illustra e caratterizza gli aspetti stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici, nonché i conseguenti livelli delle pericolosità geologiche.

#### **6.2.2. Indagini, caratterizzazione e modellazione geotecnica**

.....omissis

Ai fini dell'analisi quantitativa di uno specifico problema, per modello geotecnico di sottosuolo si intende uno schema rappresentativo del volume significativo di terreno, suddiviso in unità omogenee sotto il profilo fisico-meccanico, che devono essere caratterizzate con riferimento allo specifico problema geotecnico. Nel modello geotecnico di sottosuolo devono essere definiti il regime delle pressioni interstiziali e i valori caratteristici dei parametri geotecnici.

Per valore caratteristico di un parametro geotecnico deve intendersi una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro per ogni stato limite considerato. I valori caratteristici delle proprietà fisiche e meccaniche da attribuire ai terreni devono essere dedotti dall'interpretazione dei risultati di specifiche prove di laboratorio su campioni rappresentativi di terreno e di prove e misure in sito.

Per gli ammassi rocciosi e per i terreni a struttura complessa, nella valutazione della resistenza caratteristica occorre tener conto della natura e delle caratteristiche geometriche e di resistenza delle discontinuità. Deve inoltre essere specificato se la resistenza caratteristica si riferisce alle discontinuità o all'ammasso roccioso.

### **7 PROGETTAZIONE PER AZIONI SISMICHE**

#### **7.11. OPERE E SISTEMI GEOTECNICI**

##### **7.11.3 RISPOSTA SISMICA E STABILITÀ DEL SITO**

###### **7.11.3.4 Stabilità nei confronti della liquefazione**

###### **7.11.3.4.1 Generalità**

Il sito presso il quale è ubicato il manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate. Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a

strati di terreno non suscettibili di liquefazione. In assenza di interventi di miglioramento del terreno, l'impiego di fondazioni profonde richiede comunque la valutazione della riduzione della capacità portante e degli incrementi delle sollecitazioni indotti nei pali.

#### 7.11.3.4.2 Esclusione della verifica

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti una delle seguenti circostanze:

- 1) accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.1 g;
- 2) profondità media stagionale della falda superiore a 15 m da piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- 3) depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N_1)_{60} > 30$  oppure  $qc_{1N} > 180$ , dove  $(N_1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $qc_{1N}$  è il valore della resistenza determinata da prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- 4) distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1 (a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3.5$  e in Figura 7.11.1 (b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3.5$ .

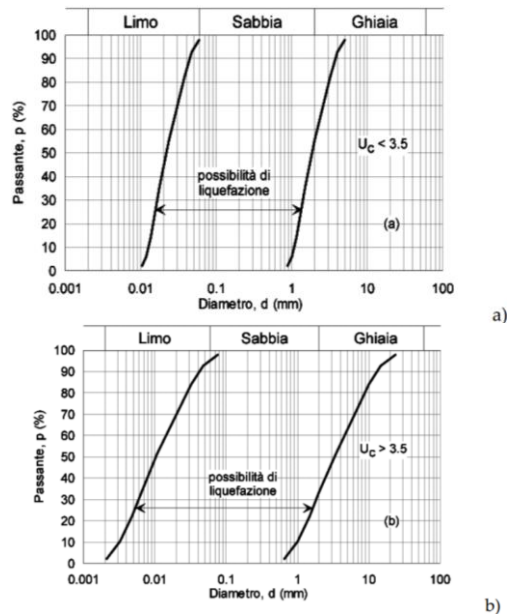


Fig. 7.11.1 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione

Quando la condizione 1) non risulta soddisfatta, le indagini geotecniche devono essere finalizzate almeno alla determinazione dei parametri necessari per la verifica delle condizioni 2), 3) e 4).

#### 7.11.3.4.3 Metodologie di analisi

Quando nessuna delle condizioni del § 7.11.3.4.2 risulti soddisfatta e il terreno di fondazione comprenda strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, occorre valutare il coefficiente di sicurezza alla liquefazione alle profondità in cui sono presenti i terreni potenzialmente liquefacibili.

Salvo utilizzare procedure di analisi avanzate, la verifica può essere effettuata con metodologie di tipo storico-empirico in cui il coefficiente di sicurezza viene definito dal rapporto tra la resistenza disponibile alla liquefazione e la sollecitazione indotta dal terremoto di progetto. La resistenza alla liquefazione può essere valutata sulla base dei risultati di prove in sito o di prove cicliche di laboratorio. La sollecitazione indotta dall'azione sismica è stimata attraverso la conoscenza dell'accelerazione massima attesa alla profondità di interesse.

L'adeguatezza del margine di sicurezza nei confronti della liquefazione deve essere valutata e motivata dal progettista.

### 3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-TERRITORIALE DELL'AREA

L'area in esame ricade nel territorio dell'alto ferrarese, in una zona pianeggiante con quote del piano campagna locale che oscillano tra circa 3,4 e 4,5 m s.l.m.; la sommità dell'argine in destra orografica del Fiume Po, oggetto del ringrosso, si colloca a quote variabili tra circa 13,6 e 14,1 m s.l.m. (fig. 2).

Relativamente all'assetto geologico, l'ambito territoriale di interesse è costituito da depositi alluvionali recenti riconducibili alle dinamiche fluviali di deposito dei corsi d'acqua alpini e appenninici e dei loro tributari. Nel primo sottosuolo i depositi sono riferibili all'Olocene e sono costituiti da sedimenti fini, quali sabbia, limo e argilla (fig. 4), localmente con inclusioni torbose; nel sottosuolo la coltre di sedimenti, riconducibili all'età pliocenico-pleistocenica, è costituita da depositi marini, lagunari, deltizi e fluvio-palustri che ammantano il substrato roccioso, interessato da un fitto sistema tettonico di anticlinali, faglie inverse e ricoprimenti orientati secondo la direttrice prevalente WNW-ESE, a costituire un alto strutturale (fig. 5, 6, e 7).

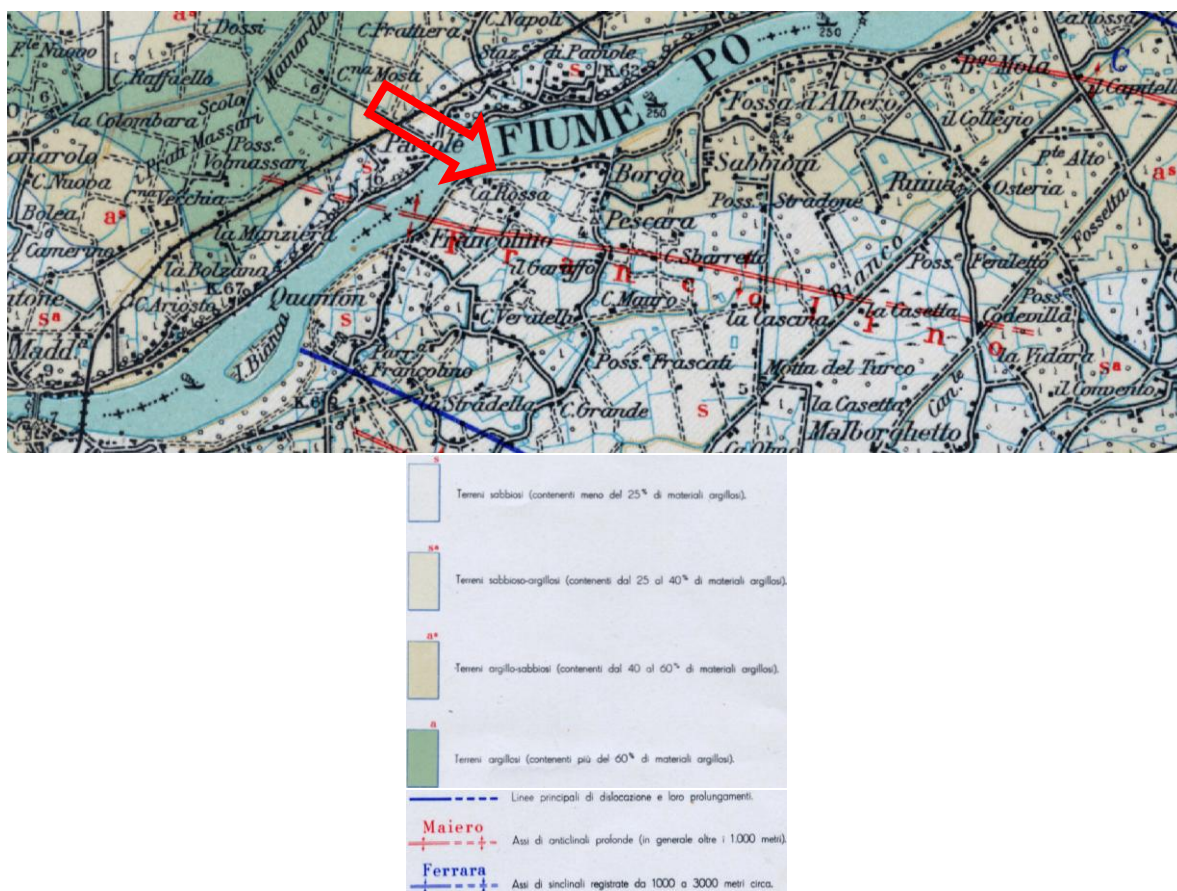


Fig. 4: Estratto della Carta Geologica d'Italia (Foglio 76 Ferrara)



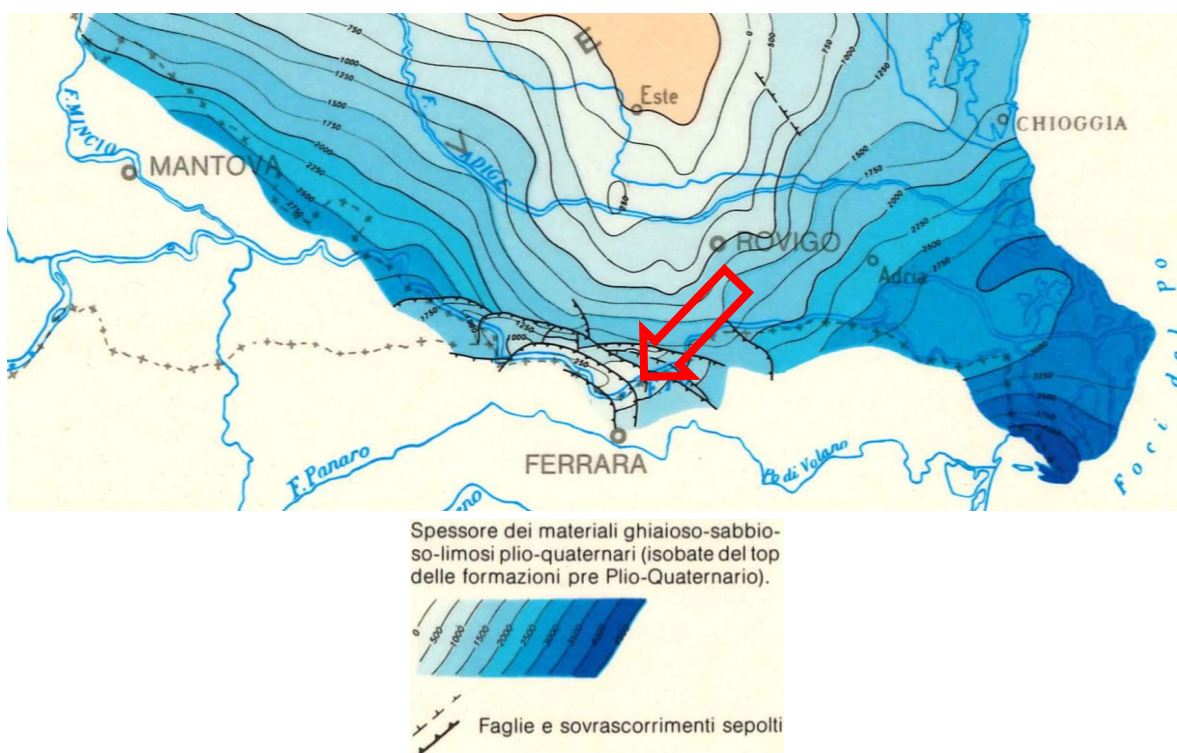


Fig. 5: Estratto della Carta Geologica del Veneto (schema geologico del sottosuolo - AGIP)

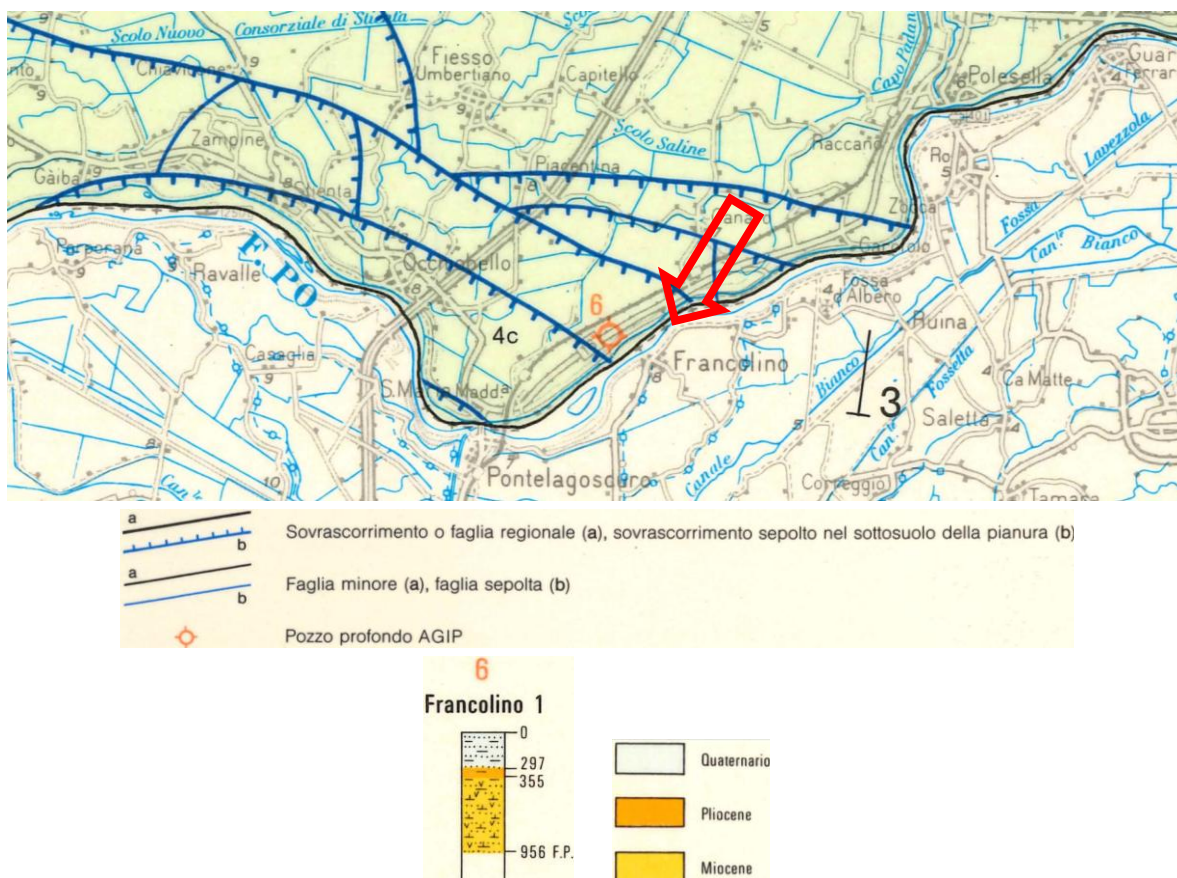
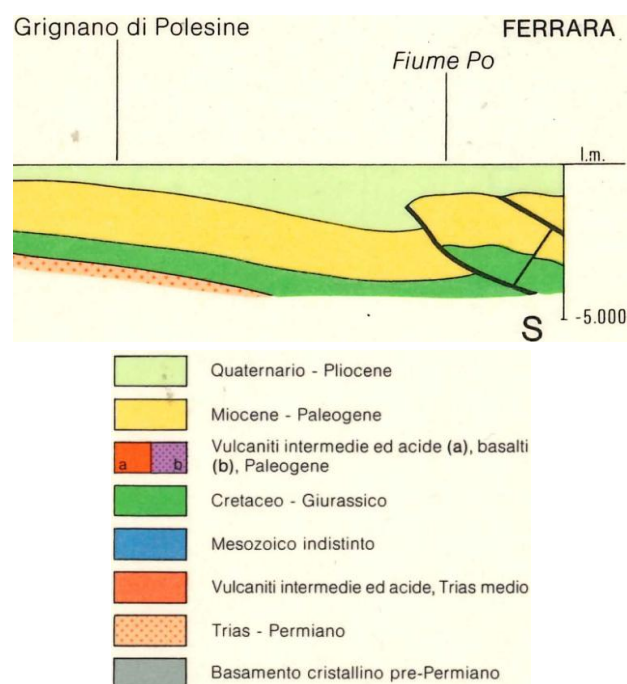
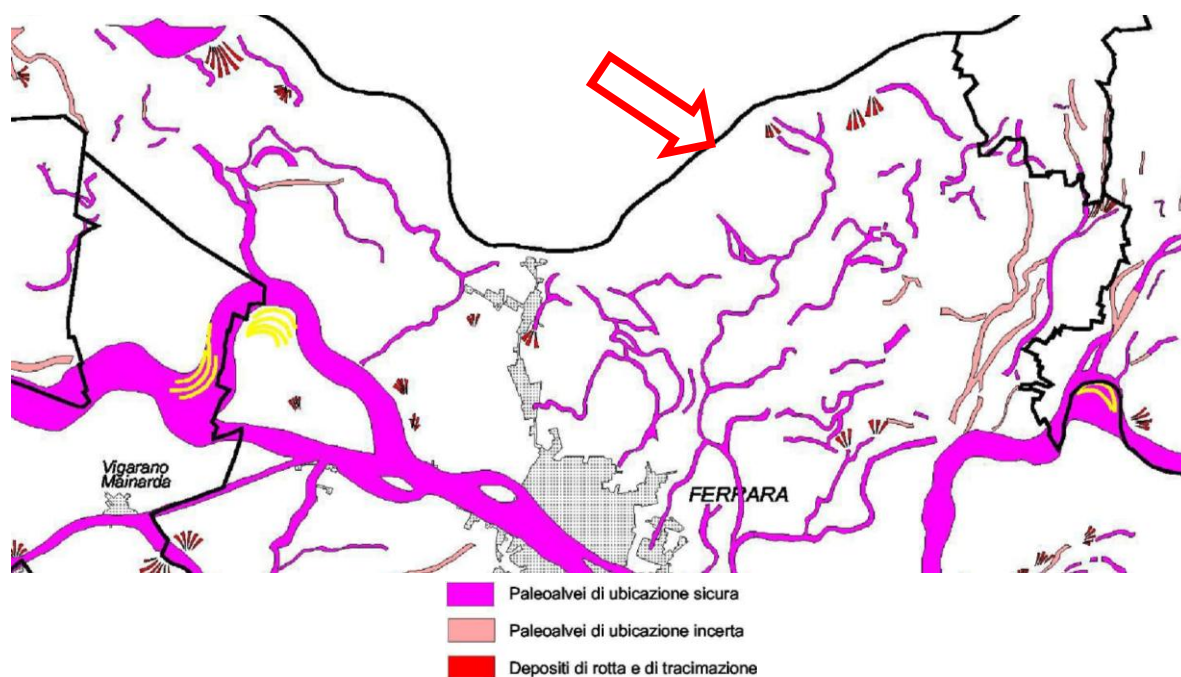


Fig. 6: Estratto della Carta Geologica del Veneto (sondaggio profondo AGIP)



**Fig. 7: Estratto della Carta Geologica del Veneto (sezione geologica profonda N-S)**

Situazioni tipiche nell'ambito della pianura ferrarese sono rappresentate dai paleoalvei, in genere sabbiosi, a testimonianza della complessa evoluzione morfologica del territorio (fig. 8); al riguardo, dall'analisi della documentazione bibliografica, si segnala che fino alla prima parte del Medioevo, il Fiume Po scendeva in direzione di Bondeno e Ferrara e attraverso i suoi due rami principali (Po di Volano e Po di Primaro) sfociava nel Mare Adriatico (fig. 9).



**Fig. 8: Estratto della Carta Geomorfologica del PTCP di Ferrara**



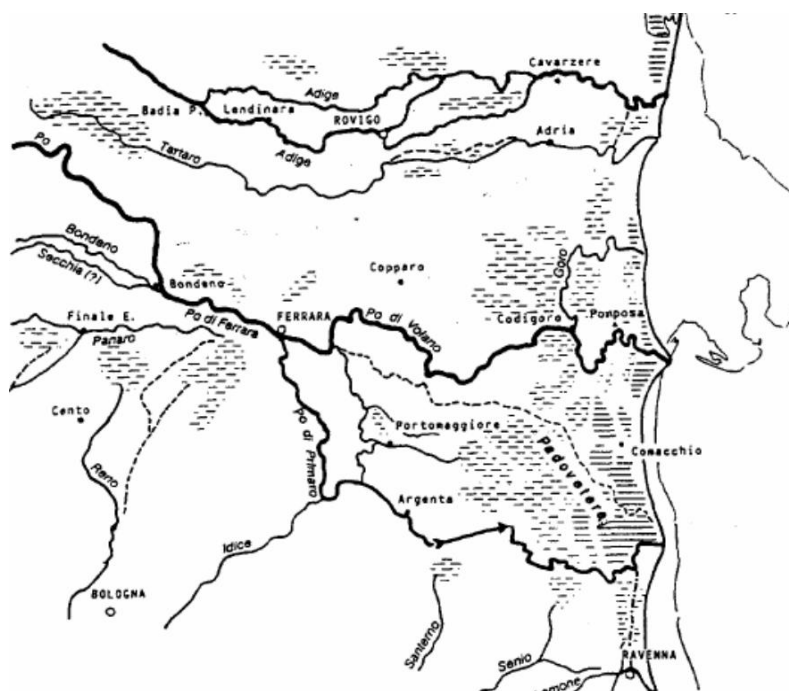


Fig. 9: Il Fiume Po fino alla prima parte del Medioevo (Bondesan, 1990)

In seguito, con la rovinosa rotta di Ficarolo del 1152, il Fiume Po spostò il suo corso verso nord, seguendo grossomodo il suo andamento attuale (fig. 10).

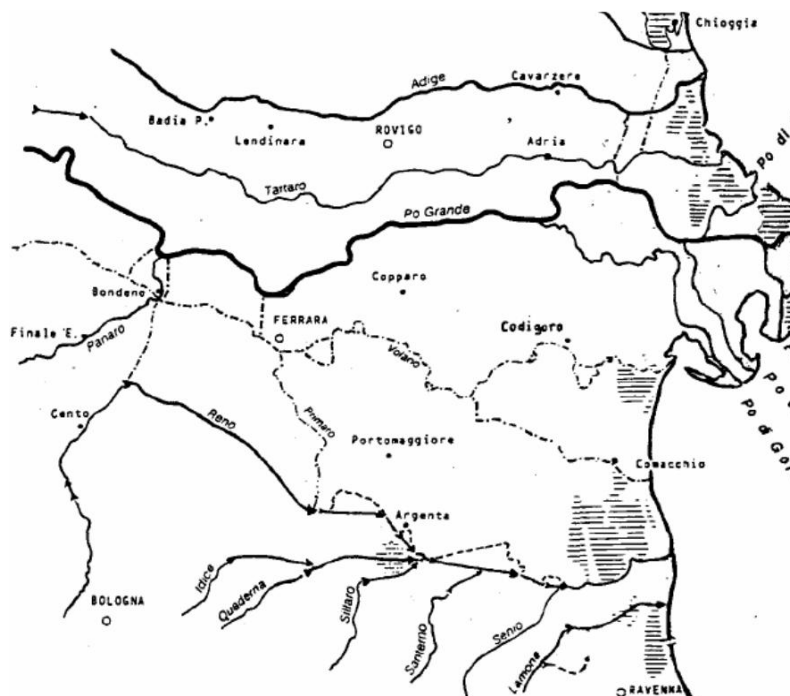








Fig. 10: Il Fiume Po dopo la rovinosa rotta di Ficarolo del 1152 (Bondesan, 1990)




La situazione litologico-stratigrafica locale che caratterizza il primo sottosuolo dell'areale di interesse è rappresentata nell'estratto cartografico riportato a seguire (fig. 11).



#### Bassa piana alluvionale e deltizia del Po

-  Sabbie di riempimento di canale fluviale
-  Sabbie e sabbie limose di riempimento di canale fluviale
-  Limi con sabbie di argine e ventaglio da rotta
-  Limi con sabbie di piana intervalvea
-  Argille e argille limose di piana intervalvea
-  Argille e argille organiche di depressione intervalvea

#### Elementi in evoluzione geomorfologica

-  Sabbie limose di riempimento di canale in evoluzione del Po
-  Asse di paleoalveo sepolto
-  Sovrascorrimento e faglia inversa

**Fig. 11: Estratto della Carta Geologica del RUE di Ferrara**

L'assetto idrogeologico locale riflette le condizioni di sedimentazione e, conseguentemente, la natura dei depositi; si può osservare l'alternanza di livelli a prevalente frazione argillosa e limosa a bassa permeabilità e di livelli (orizzonti spesso rastremati o lenti anche di modesto spessore) a dominante componente granulare sabbiosa a più alta conducibilità idraulica.

Il territorio risulta quindi interessato da una falda superficiale, comunemente indicata come falda freatica, anche se, localmente, può evidenziare dei caratteri di risalienza, e da diversi acquiferi confinati più profondi.

Nell'area di interesse la falda superficiale, localmente influenzata dalla natura litologica dei terreni e in stretta connessione con il livello dell'acqua nel Po, può raggiungere profondità prossime al piano campagna locale (fig. 12).

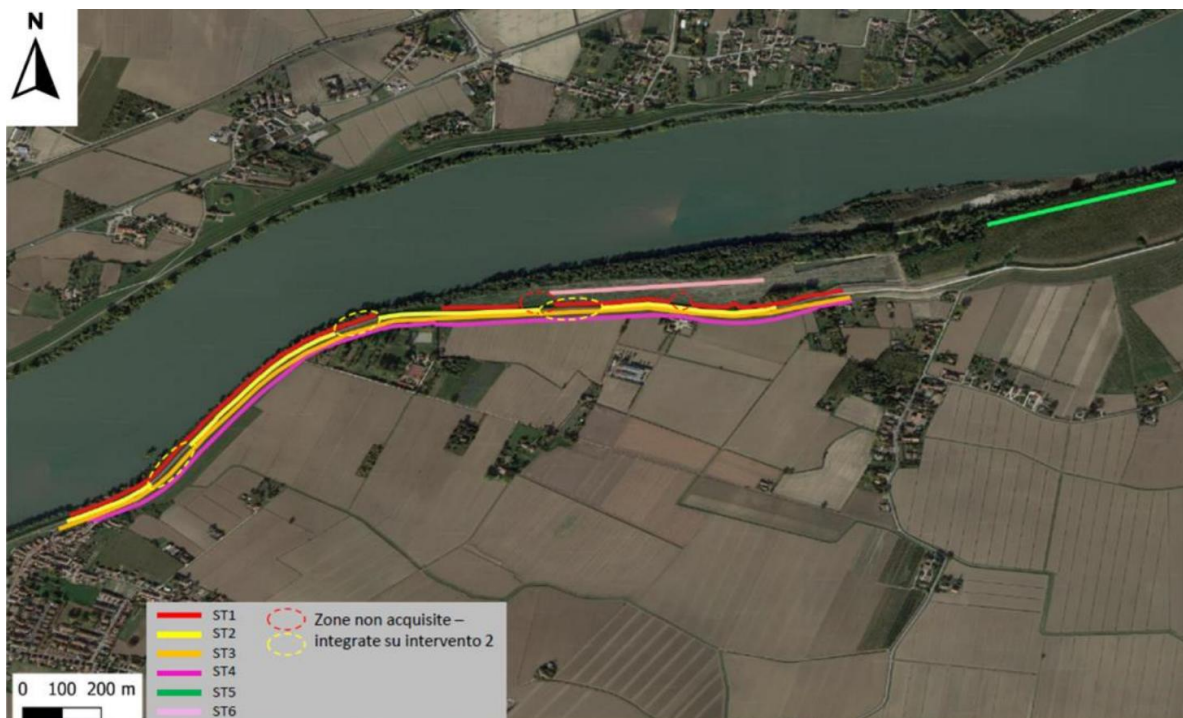


**Fig. 12: Estratto della Carta delle isofreatiche (m s.l.m.) dell'ottobre 1973 (PSC di Ferrara)**

#### 4. DESCRIZIONE DELLE PROVE/INDAGINI SOCOTEC ITALIA s.r.l.

Al fine di caratterizzare l'assetto litologico-stratigrafico locale e parametrizzare dal punto di vista fisico-meccanico i terreni indagati, sono state utilizzate le risultanze provenienti dalla campagna di prove/indagini, geotecniche/geofisiche, in sito e in laboratorio, condotte dalla Società SOCOTEC ITALIA s.r.l.; a seguire si riporteranno alcuni estratti del relativo report metodologico agli atti. La planimetria con l'ubicazione delle prove/indagini è allegata a fine testo.

Nell'ortofoto riportata a seguire sono indicati i n. 6 stendimenti elettromagnetici relativi alla campagna geofisica preliminare alle attività di approfondimento puntuale: ST1, ST2, ST3 e ST4 lungo il corpo arginale oggetto del ringrosso, ST5 e ST6 in corrispondenza delle due zone (cave di prestito) indicate dalla *Committenza*; la profondità di restituzione delle sezioni di conducibilità è indicativamente pari a 9 m.



Le lunghezze delle stese elettromagnetiche indicate nel report geofisico sono le seguenti:

- ST1: 1,96 km,
- ST2: 1,64 km,
- ST3: 2,34 km,
- ST4: 2,27 km,
- ST5: 498 m,
- ST6: 580 m.

Nella tabella che segue sono sintetizzate le attività condotte in riferimento ai n. 4 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, realizzati in sommità arginale e spinti fino alla profondità di 25 m.

Sondaggi	Latitudine (WGS84)	Longitudine (WGS84)	Profondità (m)	Falda (m)	Campioni indisturbati	Campioni rimaneggiati	Installazione
<b>S1</b>	44.909457°N	11.666436°E	25.00	-12.50	3	-	Piezometro
<b>S2</b>	44.912394°N	11.671581°E	25.00	-	-	2	-
<b>S3</b>	44.912541°N	11.675070°E	25.00	-	2	-	-
<b>S4</b>	44,913152°N	11,6859817°E	25.00	-12.95	<b>3</b>	-	Piezometro

Nella tabella che segue sono sintetizzate le caratteristiche delle n. 8 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU) condotte in sommità (CPTU7 e CPTU8) e al piede arginale (CPTU2, CPTU3, CPTU4, CPTU5 e CPTU6), nonché in posizione intermedia (CPTU1).

PROVA	LAT ° N (WGS84)	LONG ° E (WGS84)	PROFONDITA' (m)	FALDA (m)
CPTU1	44.909014°	11.666312°	20.00	8.50
CPTU2	44.908894°	11.666504°	20.00	3.80
CPTU3	44.912061°	11.671665°	20.04	3.75
CPTU4	44.912201°	11.675149°	20.04	4.80
CPTU5	44.912371°	11.681463°	20.04	4.60
CPTU6	44.912789°	11.685837°	20.04	4.20
CPTU7	44.912388°	11.671454°	25.00	11.30
CPTU8	44.912574°	11.675119°	25.00	10.50

Nella tabella che segue sono sintetizzate le prove di laboratorio geotecnico condotte sui n. 8 campioni indisturbati e n. 2 campioni rimaneggiati prelevati durante l'esecuzione dei n. 4 sondaggi.

Sondaggio	Campione	Profondità (m)	Apertura Campione	Umidità	Massa volumica	Limiti di Atterberg	Granulometria	Edometria	TxCID	ELL	Taglio diretto
<b>S1</b>	SH1	3.00-3.40	x	x	x	x	x				x
	SH2	9.00-9.50	x	x	x	x	x	x			
	SH3*	11.50-12.00	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<b>S2</b>	Cr1	7.60-8.00	x	x	x	x	x		x		x
	Cr2	12.60-13.00	x	x	x	x	x		x	x	x
<b>S3</b>	SH1	13.50-14.00	x	x	x	x	x	x		x	x
	SH2*	18.00-18.60	x	x	x	x	x	x	x		
<b>S4</b>	SH1	3.00-3.60	x	x	x	x	x		x		x
	SH2	10.00-10.60	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	SH3	17.40-18.00	x	x	x	x	x	x		x	x

\*su questi campioni è stata eseguita una doppia caratterizzazione geomeccanica. Il campione è stato esaminato in porzioni differenti.



Nella tabella che segue sono sintetizzate le prove di laboratorio geotecnico condotte sui n. 6 campioni rimaneggiati prelevati durante l'esecuzione delle n. 3 trincee esplorative lungo gli stendimenti ST5 e ST6 nell'ambito delle due cave di prestito indicate dalla *Committenza*.

Stendimento	Campione	Profondità (m)	Apertura Campione	Umidità	Massa volumica	Limiti di Atterberg	Granulometria	Edometria	TxCID	Taglio diretto	Proctor standard
ST5	C1	1.50-2.00	x	x	x	x	x			x	
	C2	3.50-4.00	x	x	x	x	x			x	
ST6	C1	1.50-2.00	x	x	x	x	x			x*	x
	C2	3.50-4.00	x	x	x	x	x			x	
	C3	1.50-2.00	x	x	x	x	x			x	
	C4	3.50-4.00	x	x	x	x	x			x*	x

\*per i campioni ST6C1 e C4, la prova di taglio è stata eseguita due volte. La prima prova si riferisce al campione tal quale, la seconda prova è eseguita all'optimum della prova proctor.

Nelle tabelle riportate a seguire sono sintetizzate le risultanze delle analisi granulometriche (prove di laboratorio geotecnico) condotte sui n. 44 campioni rimaneggiati prelevati durante l'esecuzione delle n. 22 trincee esplorative entro le aree delle cave di prestito indicate dalla *Committenza*.

Sond.												
Camp.	A2-C1	A2-C2	A3-C1	A3-C2	A4-C1	A4-C2	A6-C1	A6-C2	A7-C1	A7-C2	A8-C1	A8-C2
Prof. (m da p.c.)	m 1.50 - 2.00	m 3.50 - 4.00	m 1.50 - 2.00	m 3.50 - 4.00	m 1.50 - 2.00	m 3.50 - 4.00	m 1.50 - 2.00	m 3.50 - 4.00	m 1.50 - 2.00	m 3.50 - 4.00	m 1.50 - 2.00	m 3.50 - 4.00
Descrizione	Sabbia medio fina con limo e argilla grigio	Limo e argilla con sabbia medio fina grigio marrone	Sabbia medio fina con limo e argilla marrone	Limo e argilla con sabbia fina marrone	Sabbia medio fina con limo e argilla marrone	Limo e argilla sabbioso marrone	Sabbia medio fina limosa marrone	Sabbia medio fina con limo e argilla marrone	Limo e argilla con sabbia fina marrone	Sabbia medio fina con limo marrone	Limo e argilla marrone	Sabbia medio fina con limo e argilla marrone
ghiaia (> 2 mm)	0.0%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.4%	0.1%	0.2%	0.0%	0.0%
sabbia (> 0.63 mm)	66.8%	25.2%	54.1%	44.3%	57.6%	18.0%	84.0%	62.7%	34.5%	59.7%	2.1%	57.2%
limo + argilla	33.2%	74.5%	45.9%	55.7%	42.4%	82.0%	16.0%	36.9%	65.4%	40.2%	97.9%	42.7%

Sond.										
Camp.	A9-C1	A9-C2	A10-C1	A10-C2	B1-C1	B1-C2	B2-C1	B2-C2	B3-C1	B3-C2
Prof. (m da p.c.)	m 1.50 - 2.00	m 3.50 - 4.00	m 1.50 - 2.00	m 3.50 - 4.00	m 1.50 - 2.00	m 3.50 - 4.00	m 1.50 - 2.00	m 3.50 - 4.00	m 1.50 - 2.00	m 3.50 - 4.00
Descrizione	Limo e argilla marrone	Limo e argilla con sabbia medio fina marrone	Limo e argilla marrone	Sabbia medio fina con limo e argilla marrone	Limo e argilla marrone	Limo e argilla debolmente sabbioso marrone	Limo e argilla marrone	Sabbia medio fina con limo e argilla marrone	Limo e argilla con sabbia marrone	Sabbia medio fina limosa marrone
ghiaia (> 2 mm)	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
sabbia (> 0.63 mm)	2.0%	44.1%	0.9%	64.3%	1.8%	8.0%	2.6%	53.7%	27.5%	81.5%
limo + argilla	97.9%	55.9%	99.1%	35.7%	98.2%	92.0%	97.3%	46.3%	72.5%	18.5%

Sond.												
Camp.	B4-C1	B4-C2	B6-C1	B6-C2	B7-C1	B7-C2	B8-C1	B8-C2	B9-C1	B9-C2	B10-C1	B10-C2
Prof. (m da p.c.)	m 1.50 - 2.00	m 3.50 - 4.00	m 1.50 - 2.00	m 3.50 - 4.00	m 1.50 - 2.00	m 3.50 - 4.00	m 1.50 - 2.00	m 3.50 - 4.00	m 1.50 - 2.00	m 3.50 - 4.00	m 1.50 - 2.00	m 3.50 - 4.00
Descrizione	Limo e argilla debolmente sabbioso marrone	Limo e argilla sabbioso marrone	Limo e argilla marrone	Limo e argilla debolmente sabbioso marrone	Limo e argilla con sabbia fina marrone	Limo e argilla con sabbia fina marrone	Limo e argilla con sabbia fina marrone	Limo e argilla debolmente sabbioso marrone	Sabbia medio fina con limo e argilla marrone	Sabbia medio fina con limo e argilla marrone	Limo e argilla sabbioso marrone	Sabbia medio fina limoso argillosa marrone
ghiaia (> 2 mm)	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
sabbia (> 0.63 mm)	5.8%	20.3%	0.4%	8.9%	36.0%	29.6%	29.5%	6.9%	53.4%	59.3%	19.4%	79.7%
limo + argilla	94.2%	79.7%	99.6%	91.1%	64.0%	70.4%	70.5%	93.1%	46.6%	40.7%	80.6%	20.2%

Sond.										
Camp.	B11-C1	B11-C2	B12-C1	B12-C2	B13-C1	B13-C2	B14-C1	B14-C2	B15-C1	B15-C2
Prof. (m da p.c.)	m 1.50 - 2.00	m 3.50 - 4.00	m 1.50 - 2.00	m 3.50 - 4.00	m 1.50 - 2.00	m 3.50 - 4.00	m 1.50 - 2.00	m 3.50 - 4.00	m 1.50 - 2.00	m 3.50 - 4.00
Descrizione	Limo e argilla marrone	Limo e argilla marrone	Limo e argilla marrone	Limo e argilla con sabbia fina marrone	Limo e argilla marrone	Limo e argilla sabbioso marrone	Limo e argilla marrone	Limo e argilla marrone	Limo e argilla con sabbia fina marrone	Limo e argilla marrone
ghiaia (> 2 mm)	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%
sabbia (> 0.63 mm)	4.7%	3.9%	2.7%	29.2%	0.5%	24.2%	2.4%	0.4%	27.8%	1.7%
limo + argilla	95.2%	96.1%	97.3%	70.8%	99.1%	75.8%	97.6%	99.6%	72.1%	98.3%

## 5. INDAGINI SISMICHE ED ELETTRICHE INTEGRATIVE

### 5.1. Caratterizzazione sismica dei terreni (NTC 2018)

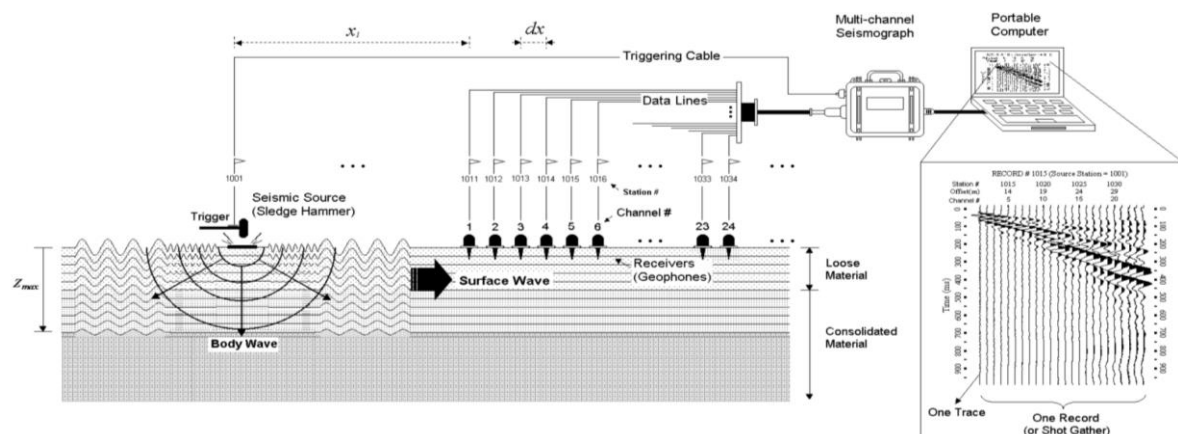
Allo scopo di caratterizzare il sito di intervento in prospettiva sismica si sono effettuate delle acquisizioni e analisi congiunte con metodologia MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves), MFA (Multiple Filter Analysis) e HVSr (Horizontal to Vertical Spectral Ratio - H/V).

Si evidenzia che a causa della nota non univocità della soluzione, la modellazione del solo HVSr senza quantitative determinazioni delle Vs con misure sismiche (MASW, MFA, ecc.) o dell'assetto stratigrafico, non risulta in grado di definire un univoco e coerente profilo Vs.

In particolare, lo studio geofisico è stato finalizzato alla definizione del modello sismico del sottosuolo, ovvero del profilo verticale di velocità delle onde di taglio Vs, dal quale si può ricavare il parametro  $V_{s,eq}$  e la categoria di sottosuolo (nei casi in cui è consentito l'utilizzo di un approccio semplificato, in alternativa alla modellazione numerica di risposta sismica locale), e all'identificazione di eventuali contrasti di impedenza sismica.

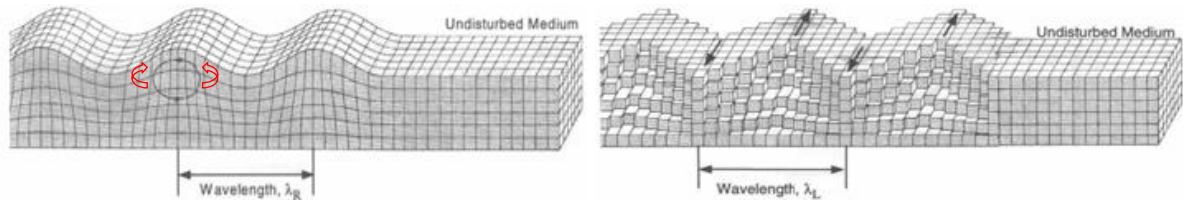
#### 5.1.1. Indagine sismica MASW

La tecnica MASW è una metodologia d'indagine geofisica che permette di determinare il profilo di velocità delle onde di taglio (Vs), basandosi sullo studio della propagazione delle onde superficiali, che costituiscono la parte più energetica della registrazione sismografica. Nella pratica operativa vengono generate onde superficiali, mediante sorgenti armoniche o impulsive, e si registrano le vibrazioni in superficie a diverse distanze mediante l'utilizzo di sensori a bassa frequenza (geofoni), posizionati a interdistanza regolare lungo allineamenti sulla superficie del sottosuolo da indagare.



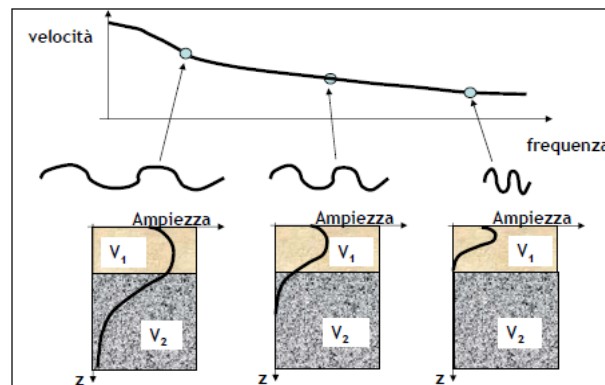
Configurazione per prova MASW

Le onde di superficie che coinvolgono il sottosuolo sono di due tipi: quelle di Rayleigh che si muovono su un piano radiale secondo un moto ellittico e quelle di Love che si muovono su un piano orizzontale con un moto perpendicolare alla direzione di propagazione; le loro velocità di propagazione sono correlate ai parametri elastici e densità dei terreni indagati.



**Onde superficiali di Rayleigh (R) a sx. e Love (L) a dx. (direzione di propagazione da sx. a dx.)**

L'energia trasportata dalle onde superficiali si concentra in superficie e subisce una rapida attenuazione in profondità; le componenti monocromatiche dell'onda creata dalla sorgente meccanica viaggiano pertanto in superficie interessando limitate profondità del sottosuolo. Le profondità di penetrazione sono relazionate al periodo (frequenza) di eccitazione per cui le componenti caratterizzate da frequenze minori (alti periodi) si attenuano di meno con la profondità e sono in grado di penetrare maggiormente nel sottosuolo. Conseguentemente, in mezzi verticalmente eterogenei, le velocità di propagazione delle componenti armoniche di moto generate da sorgenti meccaniche saranno diverse; tale principio fisico è noto come dispersione geometrica.



**Dispersione geometrica: velocità dipendente dalla frequenza**

Rilevando e analizzando le diverse componenti armoniche del moto generate dall'impulso (sorgente) è pertanto possibile ricostruire la variazione della velocità di propagazione delle onde superficiali in funzione della frequenza e, successivamente, tramite un processo di inversione, pervenire alla stima del profilo della  $V_s$ .

I vari tratti della curva di dispersione sono ricostruiti a partire dalle differenze di fase rilevate alle diverse frequenze fra tutte le copie di geofoni allineati (array).

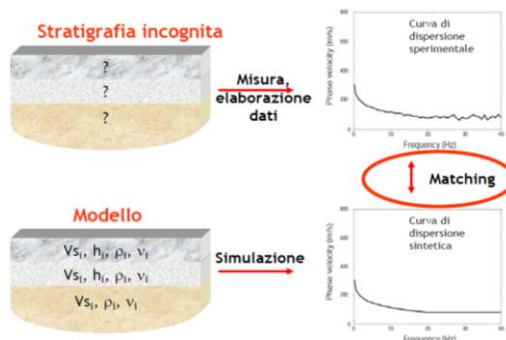
Le acquisizioni sono state effettuate tramite il sismografo *GEA24* della ditta *PASI s.r.l.*, a 24 bit, collegato a 12 geofoni orizzontali con frequenza propria di 4,5 Hz in configurazione THF (acquisizione delle onde di Love) e in configurazione RVF (acquisizione della componente radiale delle onde di Rayleigh) e a 12 geofoni verticali con frequenza propria di 4,5 Hz per l'acquisizione della componente verticale delle onde di Rayleigh (ZVF).

L'interdistanza tra i sensori è fissata in 5 m ( $G_1-G_{12} = 55$  m) ed è stato considerato un offset esterno (distanza tra la sorgente e il primo geofono) di 5 m; la planimetria con l'ubicazione degli stendimenti sismici denominati "MASW-A" (effettuato al piede del rilevato arginale lato campagna in corrispondenza della sezione 20) e "MASW-B" (effettuato al piede del rilevato arginale lato campagna in corrispondenza della sezione 16) è allegata a fine testo.

La procedura di elaborazione dei dati acquisiti in campagna è stata condotta con il software *winMASW3C* e prevede, in sintesi, i seguenti passi operativi:

- generazione e ottimizzazione dell'immagine di dispersione (spettro velocità di fase),
- analisi delle curve di dispersione e individuazione dei modi (picking),
- modellazione e/o inversione,
- determinazione del profilo di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ),
- determinazione del parametro  $V_{s,eq}$  ( $V_{s,30}$ ).

Il modello di sottosuolo ed il relativo profilo di velocità delle onde di taglio possono essere individuati utilizzando una procedura manuale (vincolata) o automatica.

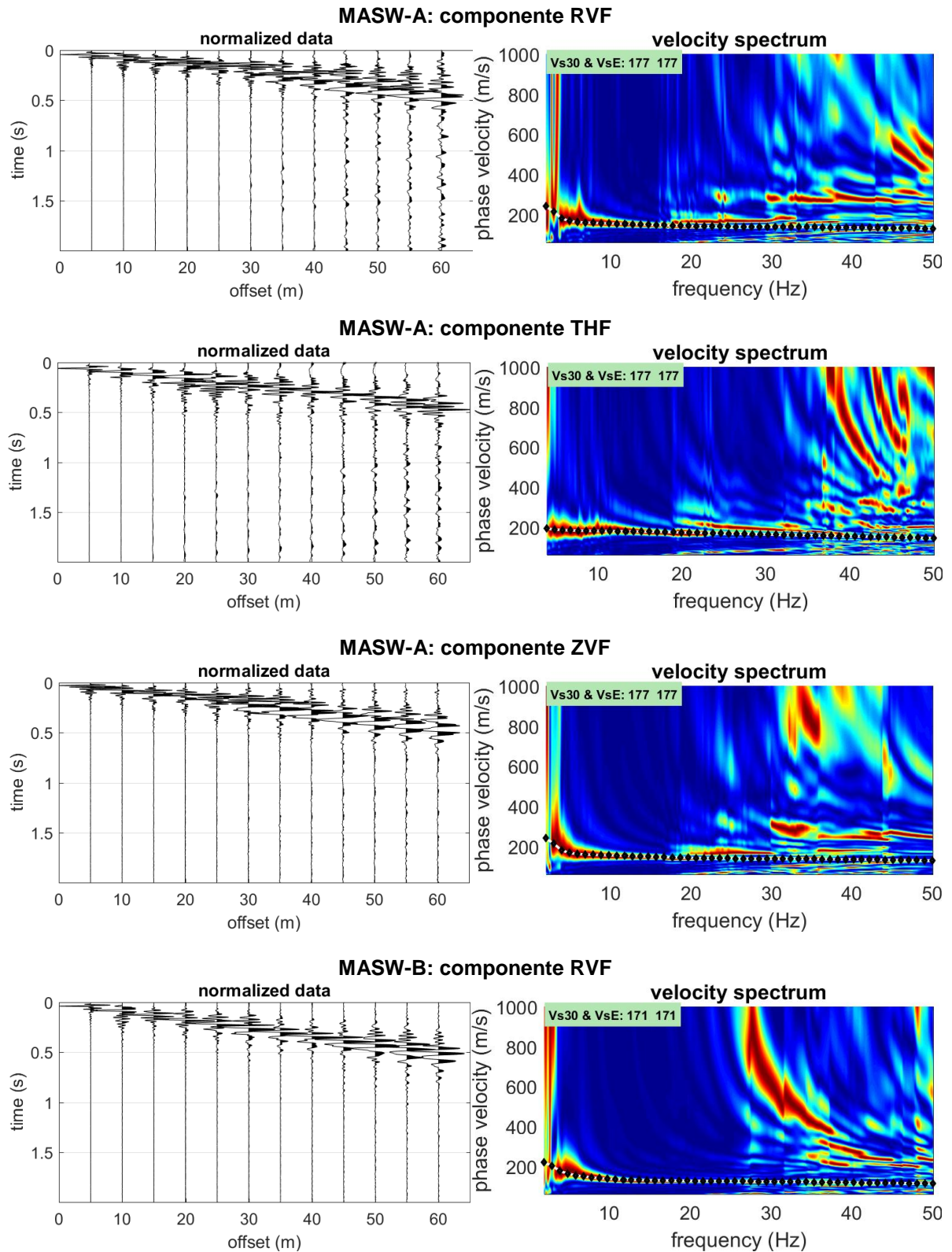


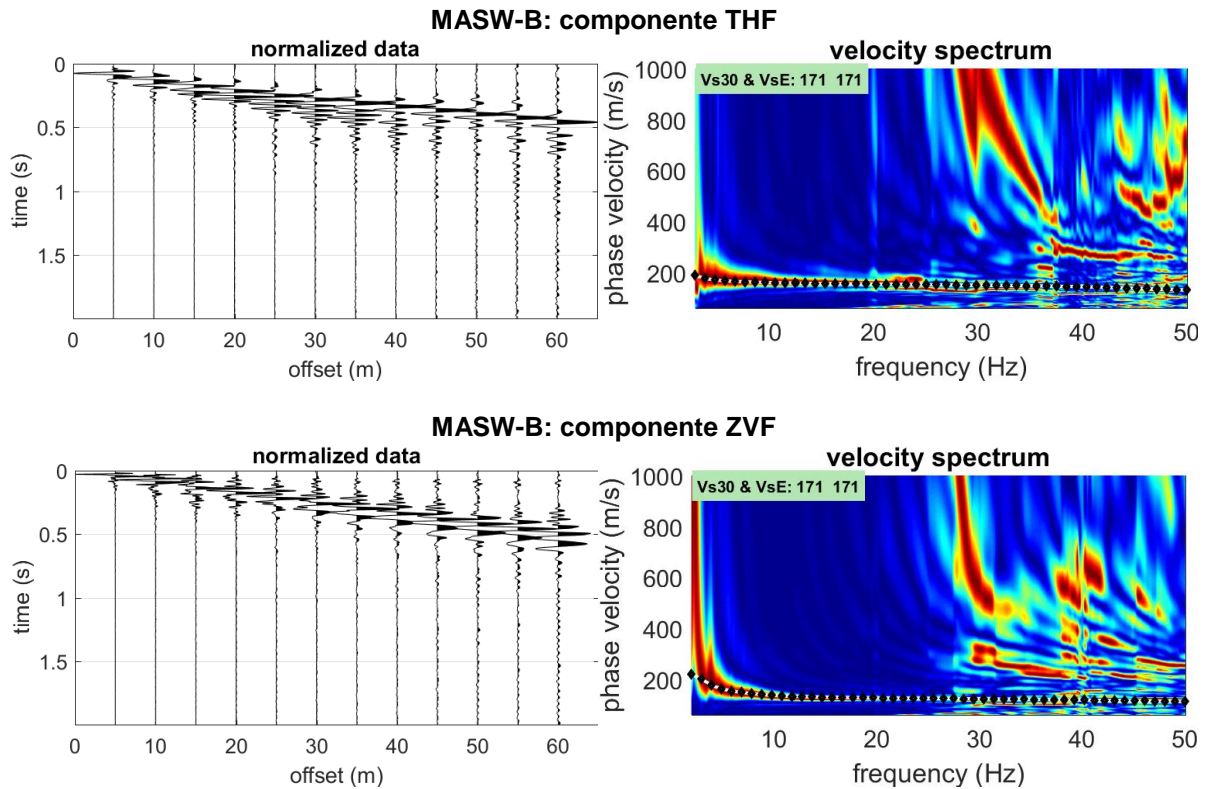
Nella procedura manuale l'utente vincola la velocità delle onde di taglio e gli spessori degli strati del modello; nella procedura automatica si utilizza un algoritmo (globale o locale) che minimizza i residui tra picking sperimentale e curve numeriche calcolate entro uno spazio di ricerca predefinito.

A seguire si riportano le acquisizioni di campagna relativamente alle componenti RVF, THF e ZVF, e le relative immagini di dispersione, ovvero gli spettri delle velocità di fase; le curve

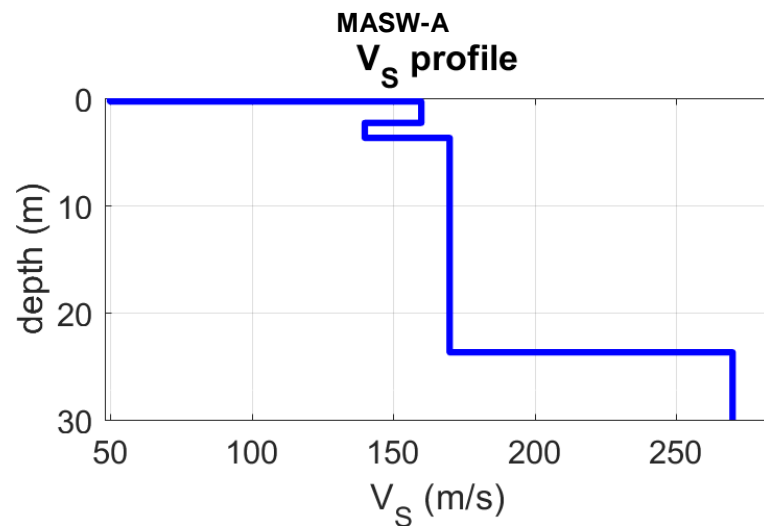


di dispersione, relative al modo fondamentale identificato, sono sovrapposte alle immagini di dispersione.

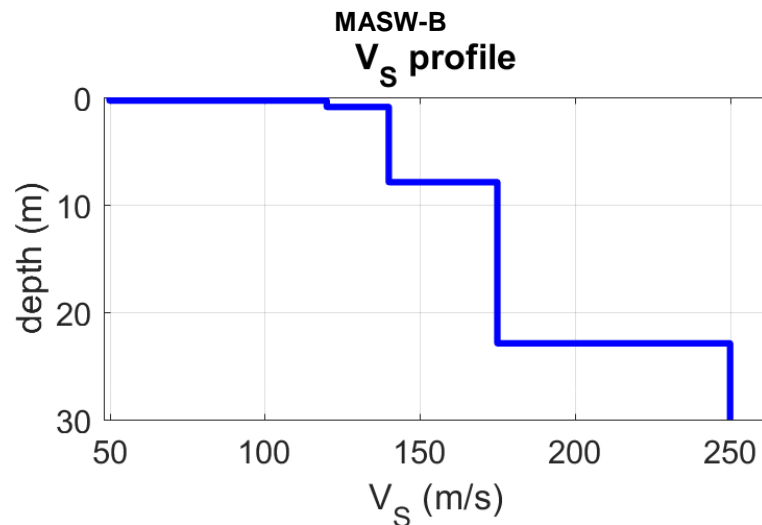




Nei grafici che seguono vengono indicati i profili verticali di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) in funzione della profondità, relativi alle indagini MASW-A e MASW-B:



- strato 1:  $V_{s1} = 50$  m/s, spessore = 0,30 m,
- strato 2:  $V_{s2} = 160$  m/s, spessore = 2,0 m,
- strato 3:  $V_{s3} = 140$  m/s, spessore = 1,4 m,
- strato 4:  $V_{s4} = 170$  m/s, spessore = 20,0 m,
- strato 5:  $V_{s5} = 270$  m/s.



- strato 1:  $V_{s1} = 50$  m/s, spessore = 0,3 m,
- strato 2:  $V_{s2} = 120$  m/s, spessore = 0,6 m,
- strato 3:  $V_{s3} = 140$  m/s, spessore = 7,0 m,
- strato 4:  $V_{s4} = 175$  m/s, spessore = 15,0 m,
- strato 5:  $V_{s5} = 250$  m/s.

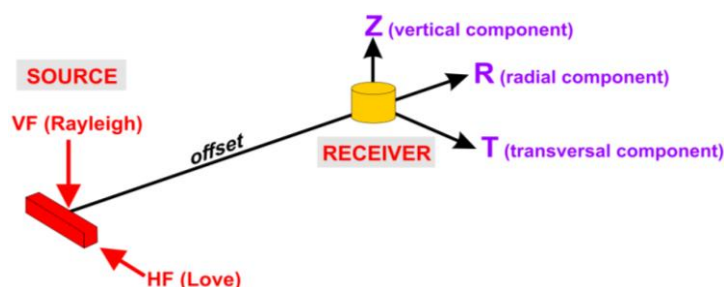
### 5.1.2. Indagine sismica MFA e H/V

Allo scopo di fornire dei vincoli nella definizione del profilo di  $V_s$  nei sismostrati più profondi e identificare eventuali contrasti di impedenza sismica, sono state effettuate acquisizioni e analisi congiunte mediante la metodologia MFA (Multiple Filter Analysis) e H/V (Horizontal to Vertical Spectral Ratio - HVSR).

Le acquisizioni sono state effettuate con un geofono triassiale *GEO SPACE* (Houston, TX, USA), ovvero una terna calibrata con geofoni da 4,5 Hz (frequenza propria); le successive analisi ed elaborazioni per la definizione del profilo di velocità di propagazione delle onde di taglio ( $V_s$ ) e del rapporto spettrale (H/V) sono state condotte con il software *HoliSurface*.

L'analisi "*Holistic Surface*" della dispersione delle onde di superficie, eseguita in modalità attiva con la metodologia MFA, si basa sulle cosiddette velocità di gruppo, determinate dal rapporto tra lo spazio e il tempo di arrivo dell'onda, per ogni singola frequenza.

Nella pratica operativa vengono generate onde superficiali, mediante sorgenti armoniche o impulsive, e si registrano le vibrazioni in superficie con un geofono triassiale posizionato a distanza nota dalla sorgente (offset) sulla superficie del sottosuolo da indagare.



**Assetto del sistema sorgente - geofono triassiale 3C per indagini MFA**

I metodi sismici passivi si basano essenzialmente sull'analisi del campo di onde associato ai microtremori ("sottofondo sismico") presenti sulla superficie della Terra per effetto sia di fenomeni naturali (onde oceaniche/marine, venti e perturbazioni atmosferiche, microsismi tettonici/vulcanici, ecc.) generalmente a bassa frequenza ( $< 1$  Hz), che di attività antropiche (insediamenti produttivi, traffico veicolare, ecc.) generalmente ad alta frequenza ( $> 1$  Hz).

Il microtremore è quindi costituito da fasi sismiche che spesso hanno percorso grandi tratti della crosta terrestre.

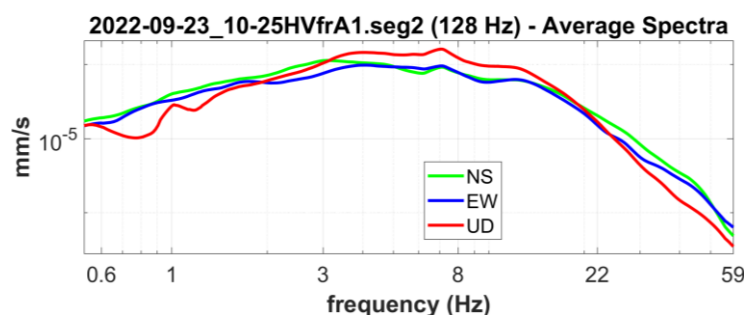
Le tecniche passive si fondano su analisi di tipo statistico (caratteristiche medie) dei segnali a differenza di quelle attive il cui approccio è di tipo deterministico.

Il metodo passivo dei rapporti spettrali (HVSR) si basa sull'analisi dei rapporti di ampiezza, alle diverse frequenze di vibrazione, tra la componente orizzontale (H) e quella verticale (V) dei microtremori.

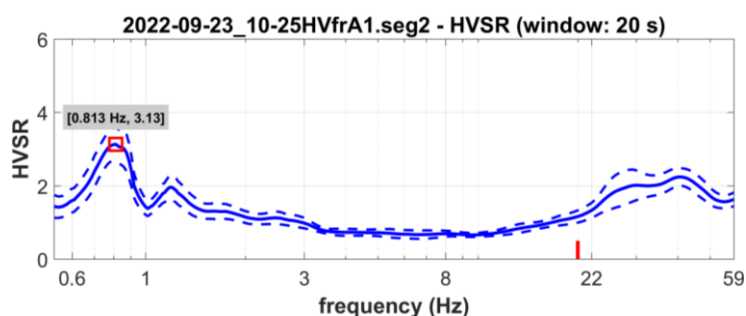
L'assunzione alla base del metodo è che il rapporto H/V consente l'eliminazione dell'effetto della sorgente e l'isolamento del comportamento di propagazione delle onde sismiche.

Le misure di sismica passiva si riferiscono in prevalenza a componenti armoniche di bassa frequenza, utili quindi all'identificazione dei sismostrati profondi diverse decine/centinaia di metri; relativamente alla stratigrafia sismica, l'andamento della funzione H/V può esibire dei massimi (picchi), in corrispondenza di determinate frequenze, associati a contrasti di impedenza sismica, ovvero a forti variazioni di velocità  $V_s$  nel sottosuolo.

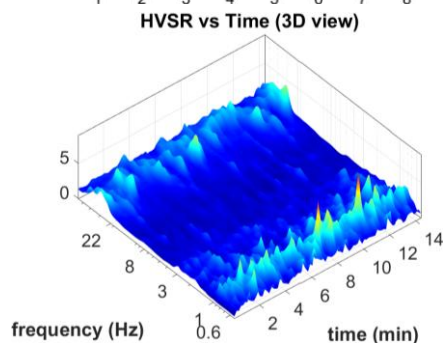
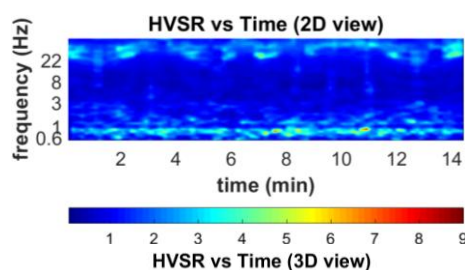
In riferimento alle misure di microtremori, a seguire si riportano gli spettri medi di ampiezza delle tre componenti (NS, EW e verticale), il rapporto spettrale (curva) H/V, la permanenza e direzionalità delle misure; la planimetria con l'ubicazione delle n. 4 acquisizioni effettuate (HV-A1 e HV-A2 alle estremità della stesa MASW/MFA-A e HV-B3 e HV-B4 alle estremità della stesa MASW/MFA-B) è allegata a fine testo.



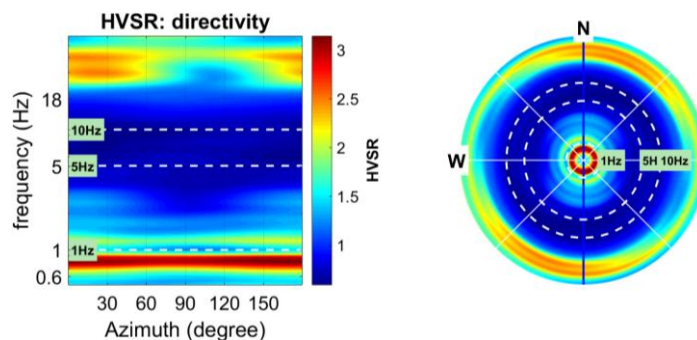
Spettri medi di ampiezza delle singole componenti (NS, EW e verticale) - acquisizione HV-A1



Rapporto spettrale H/V - acquisizione HV-A1

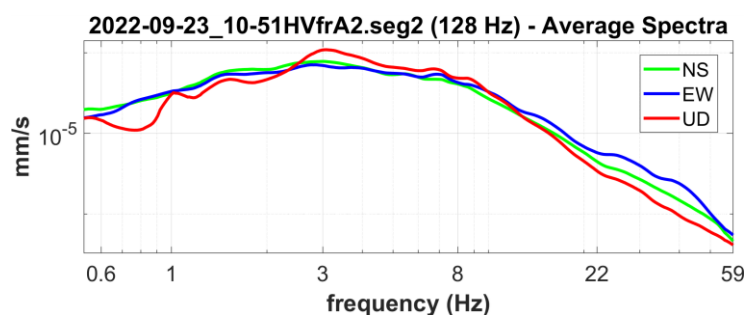


Permanenza delle misure di microtremori (2D e 3D) - acquisizione HV-A1

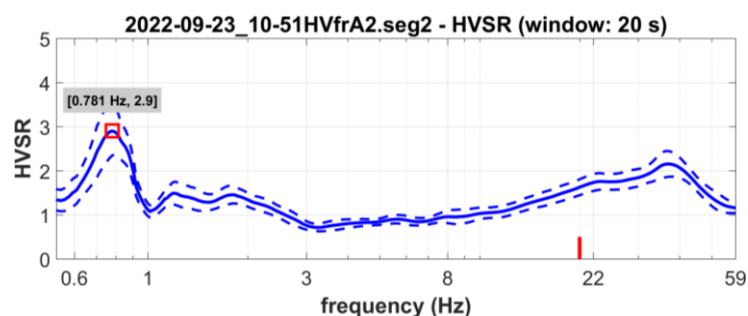


Direzionalità delle misure di microtremori - acquisizione HV-A1

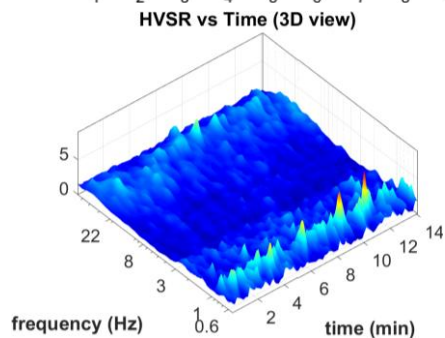
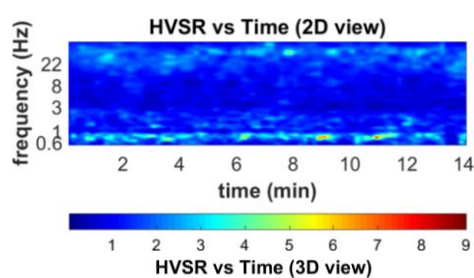




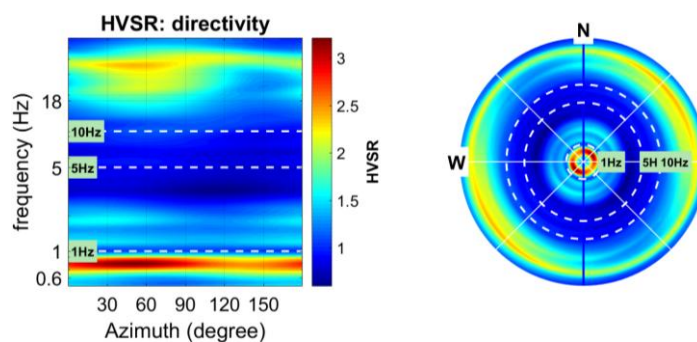
Spettri medi di ampiezza delle singole componenti (NS, EW e verticale) - acquisizione HV-A2



Rapporto spettrale H/V - acquisizione HV-A2

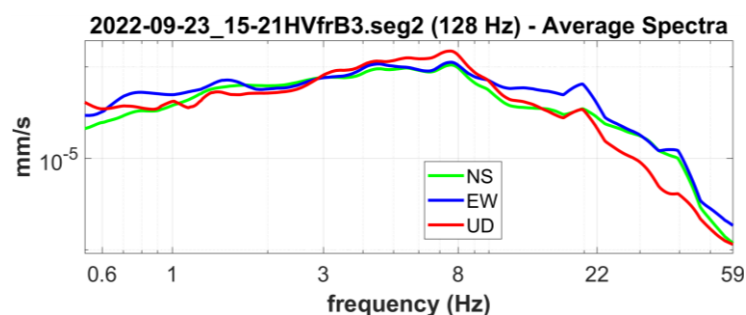


Permanenza delle misure di microtremori (2D e 3D) - acquisizione HV-A2

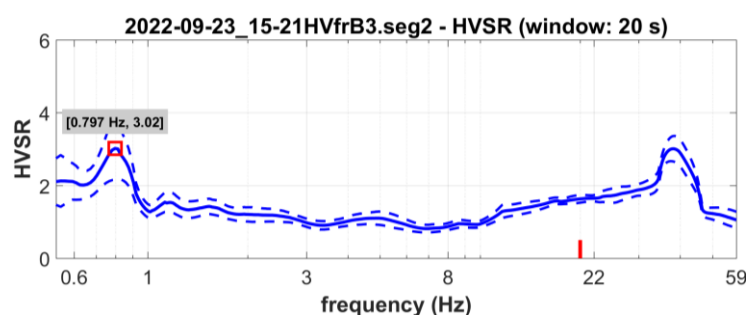


Direzionalità delle misure di microtremori - acquisizione HV-A2

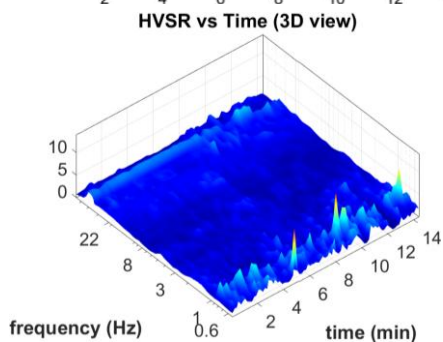
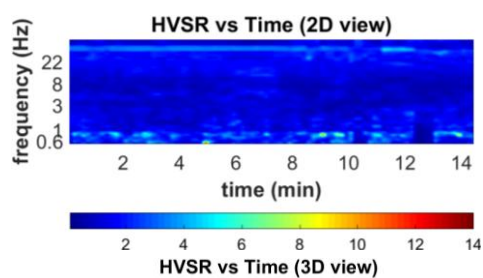




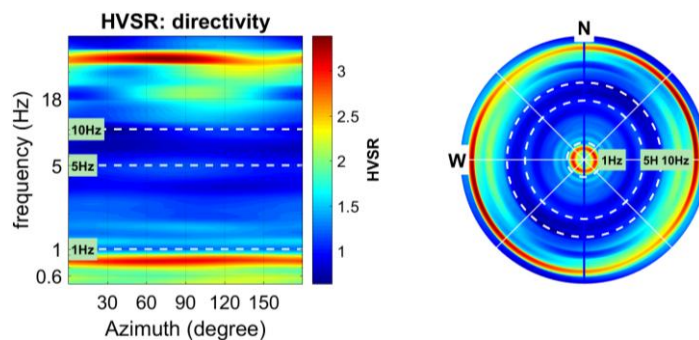
Spettri medi di ampiezza delle singole componenti (NS, EW e verticale) - acquisizione HV-B3



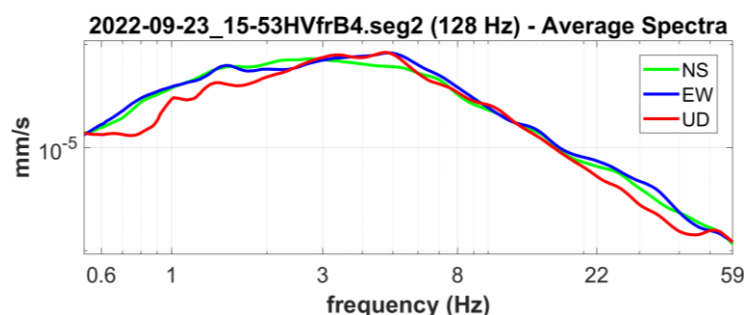
Rapporto spettrale H/V - acquisizione HV-B3



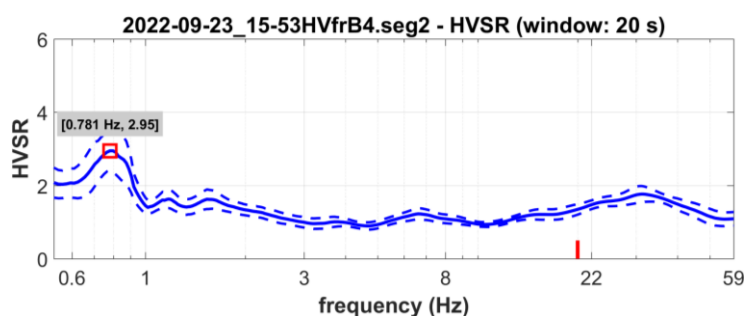
Permanenza delle misure di microtremori (2D e 3D) - acquisizione HV-B3



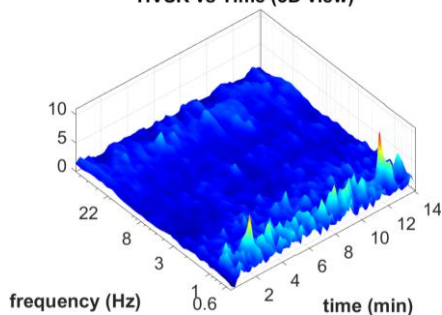
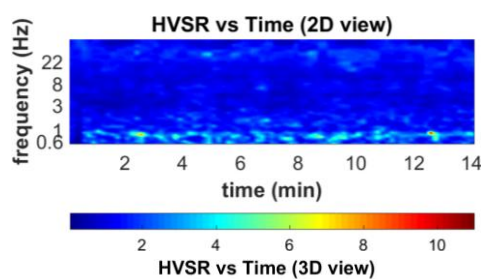
Direzionalità delle misure di microtremori - acquisizione HV-B3



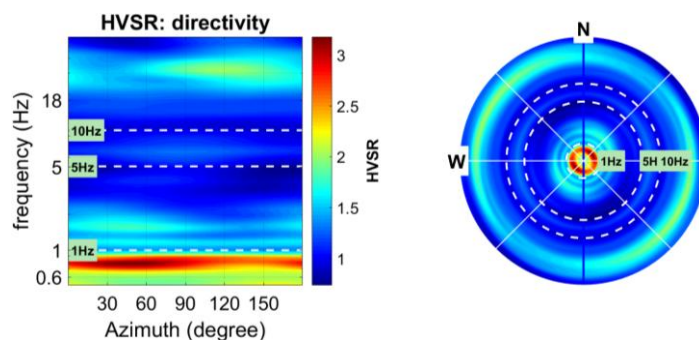
Spettri medi di ampiezza delle singole componenti (NS, EW e verticale) - acquisizione HV-B4



Rapporto spettrale H/V - acquisizione HV-B4



Permanenza delle misure di microtremori (2D e 3D) - acquisizione HV-B4

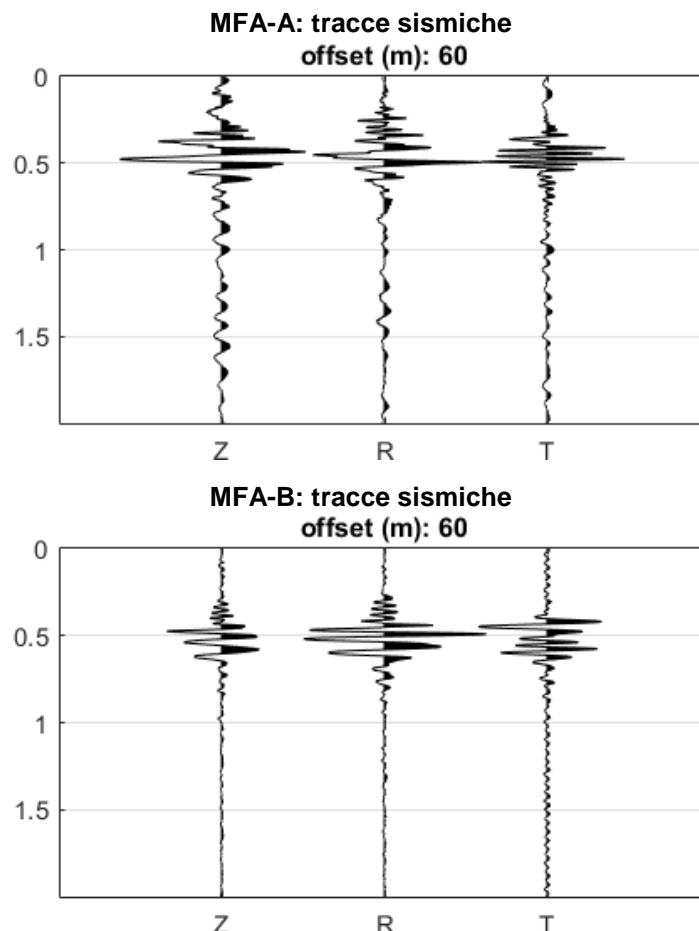


Direzionalità delle misure di microtremori - acquisizione HV-B4

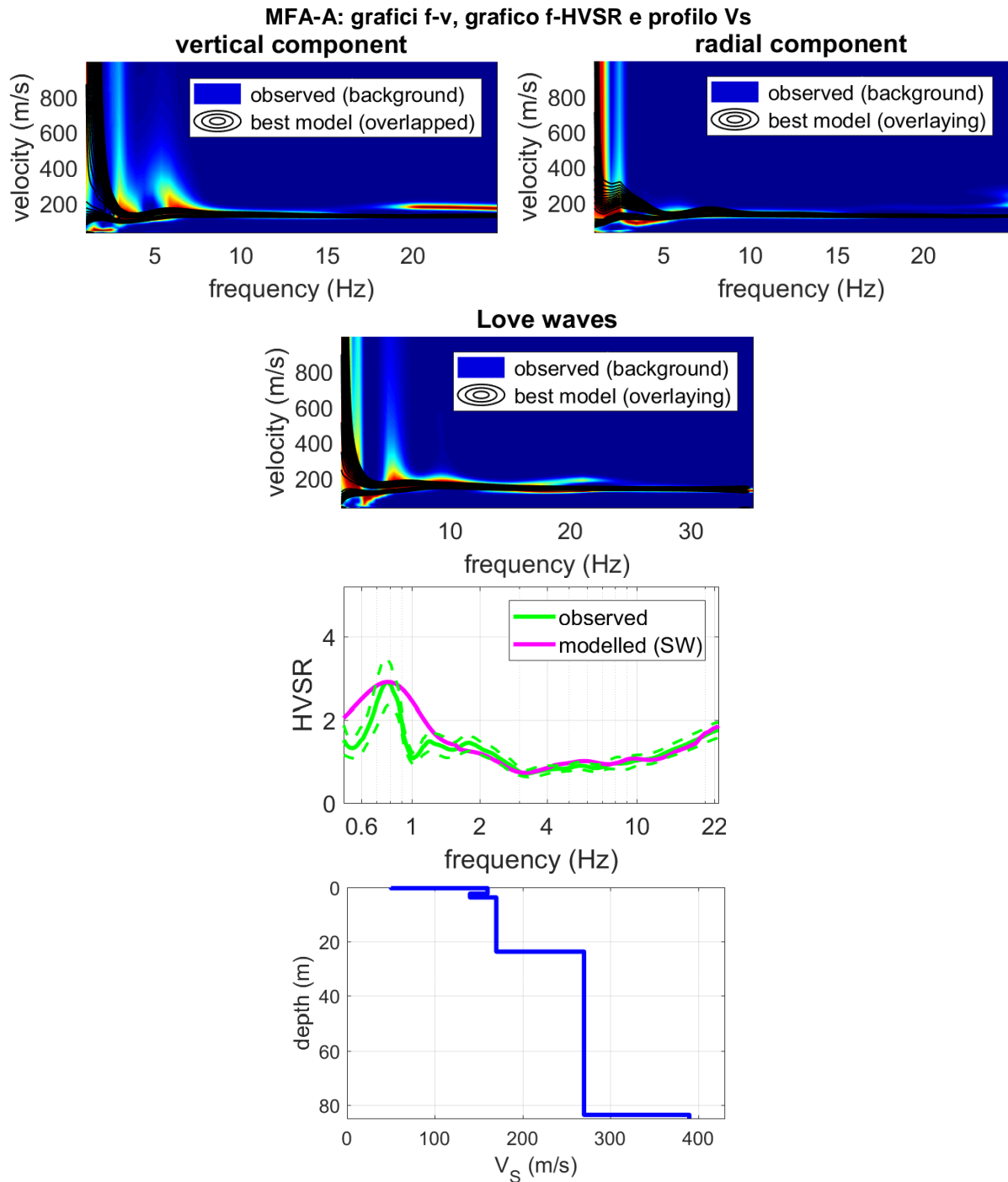
Le curve HVSR consentono di identificare un massimo (picco) a circa 0,8 Hz, riferibile a un contrasto di impedenza sismica e associato pertanto a fattori litologici.

Le indagini MFA-A e MFA-B sono state condotte con un offset di 60 m; la planimetria con l'ubicazione delle due stese sismiche, sovrapposte alle MASW, è allegata a fine testo.

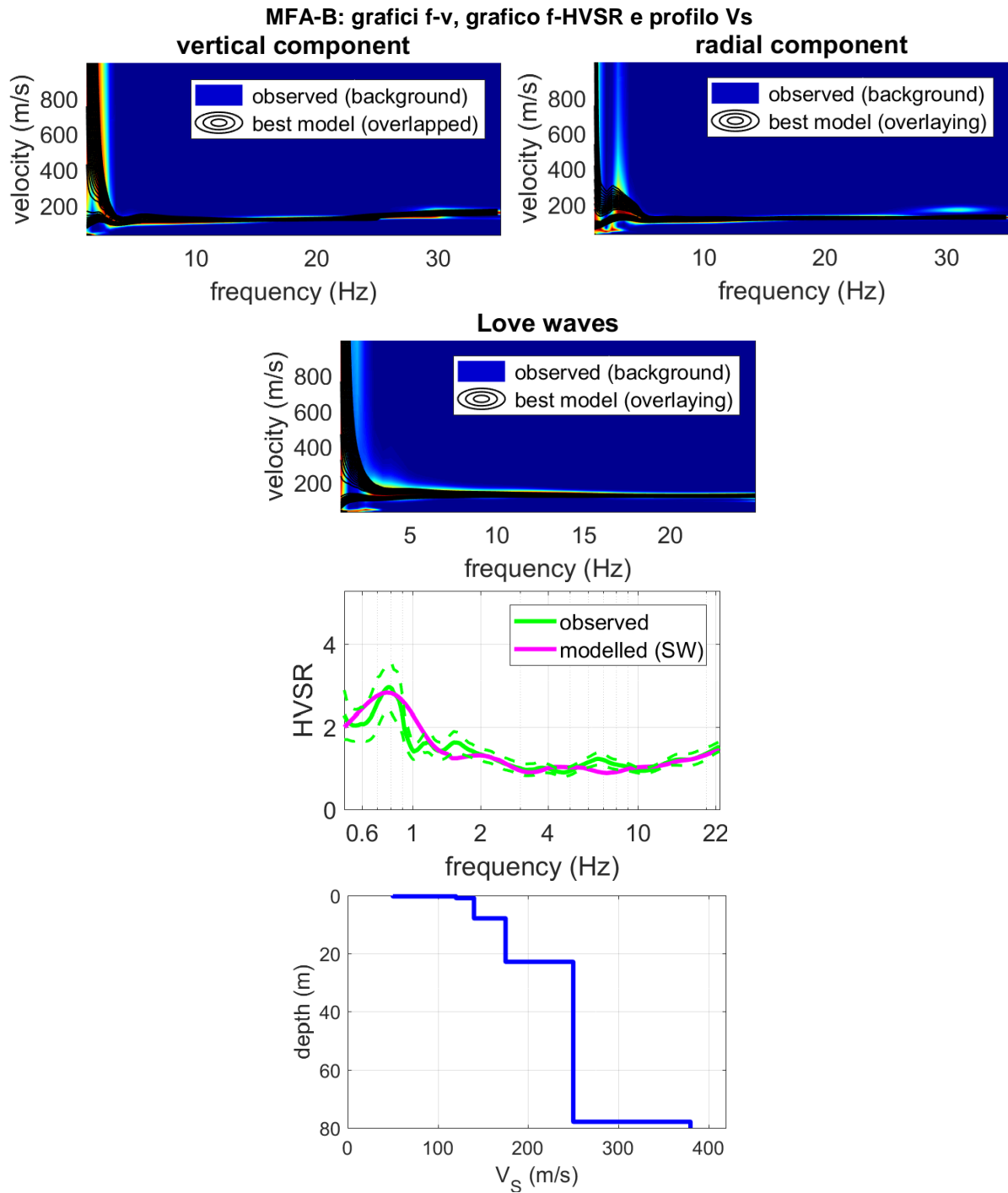
A seguire si riportano le tracce acquisite in modalità attiva, con stack pari a 5, utilizzate per l'analisi della dispersione delle onde di superficie in riferimento alla loro velocità di gruppo; le tracce sismiche si riferiscono, da sinistra a destra, alla componente verticale (Z) e radiale (R) dell'onda di Rayleigh e trasversale (T) dell'onda di Love; in ordinata il tempo è espresso in secondi.



A seguire si riportano i risultati delle analisi congiunte MFA e HVSR, nonché i modelli finali del sottosuolo identificato. Nel grafico *frequency (Hz) - velocity group (m/s)*, i colori sullo sfondo rappresentano i dati di campagna e le contour lines nere i dati relativi al modello identificato; nel grafico *frequency (Hz) - HVSR*, in verde é rappresentato il dato osservato di campagna e in magenta il dato modellato.



- strato 1:  $V_{S1} = 50$  m/s, spessore = 0,30 m,
- strato 2:  $V_{S2} = 160$  m/s, spessore = 2,0 m,
- strato 3:  $V_{S3} = 140$  m/s, spessore = 1,4 m,
- strato 4:  $V_{S4} = 170$  m/s, spessore = 20,0 m,
- strato 5:  $V_{S5} = 270$  m/s, spessore = 60,0 m,
- strato 6:  $V_{S6} = 390$  m/s.



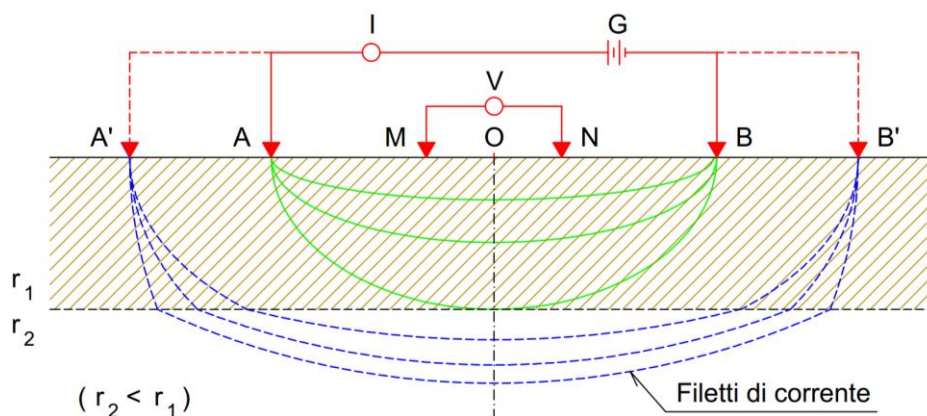
- strato 1:  $V_{S1} = 50$  m/s, spessore = 0,3 m,
- strato 2:  $V_{S2} = 120$  m/s, spessore = 0,6 m,
- strato 3:  $V_{S3} = 140$  m/s, spessore = 7,0 m,
- strato 4:  $V_{S4} = 175$  m/s, spessore = 15,0 m,
- strato 5:  $V_{S5} = 250$  m/s, spessore = 55,0 m,
- strato 6:  $V_{S6} = 380$  m/s.

## 5.2. Esplorazione elettrica integrativa

Al fine di verificare e tarare le risultanze sperimentali provenienti dalla campagna di indagini elettromagnetiche condotte dalla *Società SOCOTEC ITALIA s.r.l.*, dettagliate nel rapporto tecnico agli atti, è stata condotta una prospezione elettrica di superficie; più in particolare si sono effettuati n. 2 sondaggi elettrici verticali (SEV1 e SEV2 al piede del rilevato arginale sul lato campagna rispettivamente in corrispondenza delle sezioni 20 e 16, sovrapposti allo stendimento elettromagnetico ST4) indicati nella planimetria allegata a fine testo.

La prospezione elettrica (metodo attivo della resistività), prevede l'immissione nel terreno di una corrente continua; dalla disposizione delle postazioni di immissione e dalla conduttività elettrica del sottosuolo, dipende la configurazione del campo elettrico che viene misurato in superficie (in pratica si misura il gradiente di potenziale tra due punti di misura, generato dalla circolazione della corrente immessa); tale metodologia risulta particolarmente efficace nei casi in cui gli elettrostrati (strati di terreno elettricamente omogenei e isotropi) risultano sufficientemente differenziati nei termini dei parametri elettrici.

Nello specifico per l'esecuzione dei SEV si è utilizzato il dispositivo elettrodo quadripolare Schlumberger e a seguire si riportano alcuni cenni metodologici.



**Schema di esecuzione di un SEV**

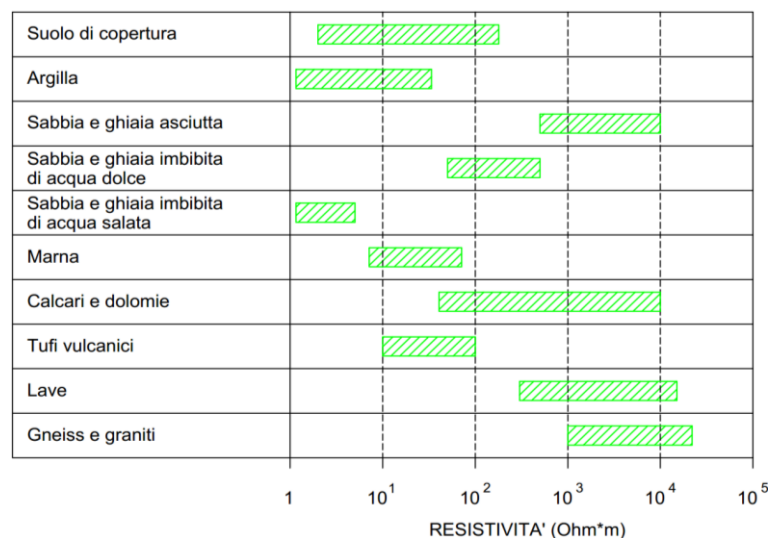
Il SEV, realizzato con la geometria Schlumberger, consiste in una serie di determinazioni sperimentali (di intensità di corrente e di differenza di potenziale), effettuate distanziando progressivamente, lungo un azimuth costante e rispetto al centro (O) che rimane fisso, gli elettrodi (2) esterni di corrente (chiamati convenzionalmente A e B) e gli elettrodi (2) interni di potenziale (chiamati M ed N). Tutto l'apparato strumentale è collegato ad un sistema centrale ove sono posizionati la sezione energizzante (gruppo elettrogeno) e gli strumenti di misura. Nella misura della differenza di potenziale può sorgere un inconveniente legato



alla presenza nel terreno di disturbi (correnti) naturali o artificiali; per risolvere il problema è connesso in serie al circuito ricevente un soppressore di potenziali indesiderati presenti nel sottosuolo.

Il parametro geofisico ricercato è la resistività ( $r$ ), che può essere considerata come una caratteristica intrinseca di un materiale (nel caso specifico il sottosuolo) attraversato da una corrente elettrica; la resistività (espressa in  $\text{Ohm}\cdot\text{m}$ ) è definita dalla relazione  $(\Delta V/I)\cdot K$  dove  $\Delta V$  è la differenza di potenziale,  $I$  è l'intensità di corrente e  $K$  è un coefficiente geometrico dipendente dalla geometria elettrodica utilizzata. Il SEV ha come finalità la ricostruzione della distribuzione verticale di resistività in corrispondenza del centro del quadripolo; esso presenta la massima efficacia nell'ipotesi di sottosuolo con stratificazione piana e parallela al piano campagna. Poiché il volume di terreno interessato dal campo elettrico è connesso strettamente alla distanza tra gli elettrodi di corrente (A e B), nel caso ad esempio di due elettrostrati, aumentando progressivamente la distanza tra A e B volumi di terreno sempre maggiori saranno interessati dalle linee di corrente sino a raggiungere porzioni del secondo elettrostrato. La resistività che si determina in superficie non è né quella del primo né quella del secondo elettrostrato, ma una resistività apparente ( $r_a$ ) che dipende dalle resistività vere dei due terreni e dallo spessore. Operativamente, gli elettrodi di corrente si distanziano più rapidamente, cioè, a parità di MN, vengono effettuate più determinazioni sperimentali per altrettante posizioni crescenti degli elettrodi A e B fino a quando la differenza di potenziale ( $\Delta V$ ), per una certa intensità di corrente ( $I$ ) circolante, può essere rilevata con sicurezza. Quando il segnale  $\Delta V$  diventa tanto debole da confondersi con il disturbo ambientale sarà necessario distanziare gli elettrodi di misura M e N rimanendo fissi quelli di energizzazione A e B; così facendo si ottengono, per una stessa apertura tra A e B, due determinazioni di  $r_a$  ed il diagramma risultante sarà costituito da più tratti curvi che, in sede di interpretazione, è necessario normalizzare (ovvero rendere continui). L'immissione di corrente nel terreno ad ogni determinazione sperimentale avviene prima in un verso e poi nell'altro; se non vi sono errori sperimentali o anisotropie superficiali il valore assoluto delle due misure, per questioni di simmetria, sarà lo stesso. Lo spettro di sottosuolo direttamente investigato in profondità dal flusso di corrente può assimilarsi, secondo l'esperienza, pari ad  $1/4 \div 1/5$  della distanza tra gli elettrodi di corrente A e B. In realtà, anche se questa regola generale può essere utile nella programmazione preliminare della campagna geoelettrica, la profondità di investigazione è controllata dal contrasto di resistività tra gli elettrostrati presenti, dalla loro potenza e dalla loro profondità.

In ultima analisi l'esecuzione del SEV consente di calcolare una serie di valori di  $r_a$ , ottenuti facendo variare la configurazione elettrodica secondo una progressione ben stabilita, che, diagrammati su scala bilogarithmica, individuano una curva di resistività apparente, la cui interpretazione consente di determinare le resistività vere e gli spessori degli elettrostrati presenti nel sottosuolo in corrispondenza del centro di misura; naturalmente il modello geofisico andrà opportunamente calibrato, sulla base di prove/indagini dirette di taratura e dei valori standard di resistività misurati sperimentalmente per i vari tipi litologici. E' inoltre da considerare che i valori di resistività sono fortemente influenzati dalla presenza, più o meno abbondante, di acqua di impregnazione nei terreni indagati; ad esempio una sabbia asciutta possiede una resistività più elevata rispetto alla stessa sabbia imbibita di acqua dolce; la stessa sabbia imbibita di acqua di origine marina (salata) avrà valori di resistività ancora più bassi.



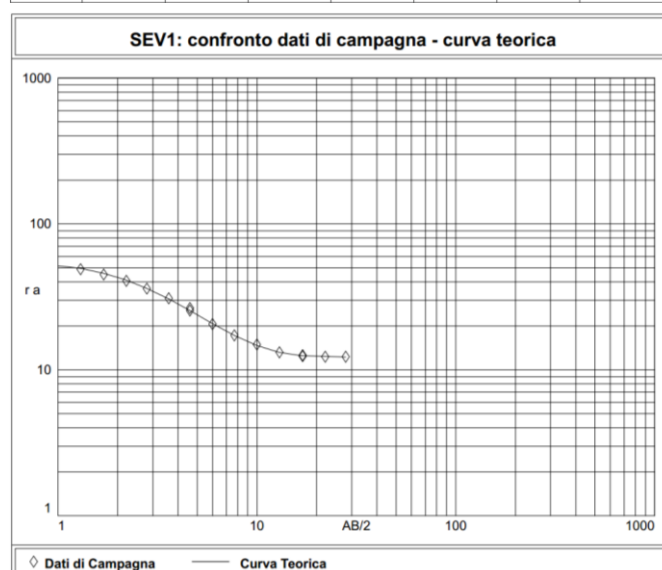
**Intervalli indicativi di resistività in rocce e terreni**

L'analisi e l'interpretazione dei dati acquisiti in campagna è stata effettuata preliminarmente per confronto con curve teoriche precalcolate (metodo del punto ausiliario di Ebert con le curve di Orellana-Mooney) e successivamente tramite uno specifico programma di calcolo (*SEV versione 2.0* della *PASI s.r.l.*). Il programma, attraverso una procedura di inversione automatica, genera automaticamente un modello elettrostratigrafico (curva teorica) che giustifica i dati di resistività apparente misurati in campagna e immessi su apposita scheda elettronica. L'interattività grafica del programma consente successivamente di modificare il modello elettrostratigrafico del terreno, allo scopo di ottenere una curva teorica che si sovrapponga al meglio (fitting) alla curva sperimentale normalizzata e che sia compatibile con le informazioni litologico-stratigrafiche disponibili.

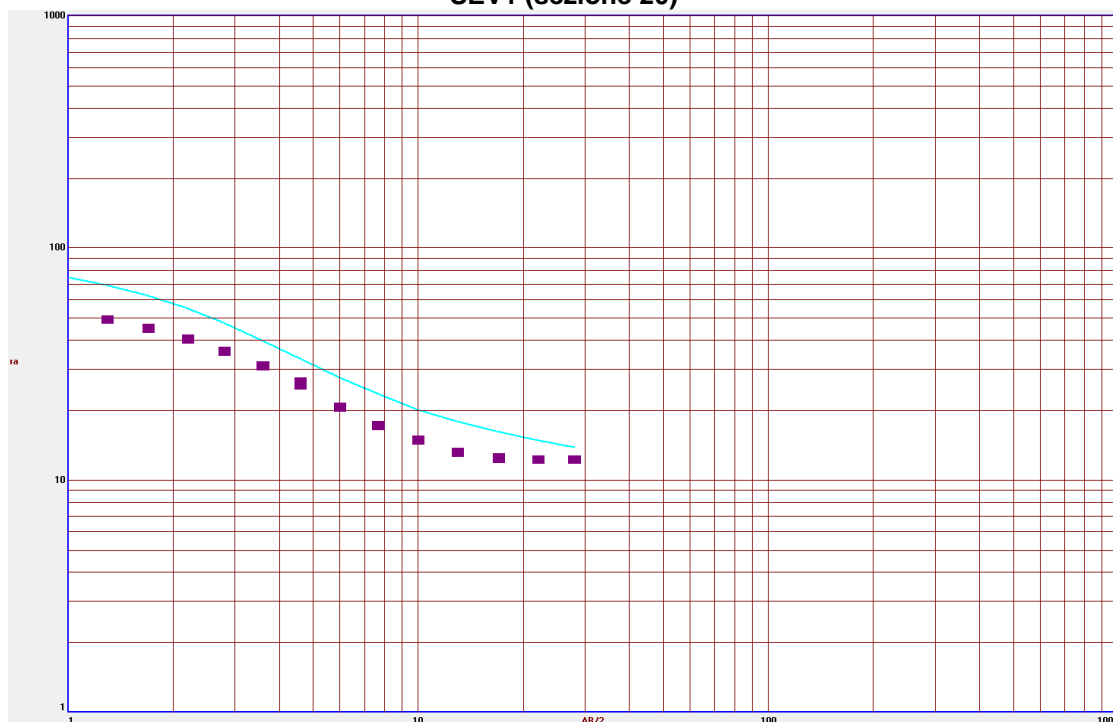
La metodologia sopra esposta ha consentito di definire i modelli geofisici del sottosuolo in corrispondenza delle verticali per il centro dei SEV1 e SEV2 e risalire allo spessore e alla resistività reale dei singoli elettrostrati individuati, partendo dai valori di resistività apparente misurati in campagna. Gli stendimenti sono stati condotti secondo le direttrici E-W (SEV1) e ENE-WSW (SEV2), allargando gli elettrodi di corrente (A e B) fino a 56,00 m; con il citato dispositivo quadripolare sono state condotte n. 15 misure sperimentali distanziate secondo la seguente progressione di AB/2: 1,30 - 1,70 - 2,20 - 2,80 - 3,60 - 4,60 - 6,00 - 7,70 - 10,00 - 13,00 - 17,00 - 22,00 - 28,00 m, investigando gli orizzonti di sottosuolo più superficiali e consentendo il controllo/taratura delle risultanze dell'indagine elettromagnetica. I documenti di sintesi delle prospezioni elettriche (resistività misurate, curve teoriche, punti sperimentali) sono riportati a seguire.

### SEV1 (sezione 20)

Dati di Campagna - Sondaggio Elettrico Verticale (SEV) 1							
Committente : AIPO				Data : 23-9-2022			
Località : Argine dx - Fiume Po - Francolino (FE)				Orientamento : E-W			
Operatore : Dr. Geol. Andrea Massagrande				Quota s.l.m. : 5 m			
Ril. N.	AB/2 (m)	MN/2 (m)	I (mA)	V (mV)	P.s. (mV)	K	r (Ohm*m)
1	1.30	0.35	168.0	1171.0	0.0	7.0	49.0
2	1.70	0.35	146.0	529.0	0.0	12.4	45.0
3	2.20	0.35	209.0	401.0	0.0	21.1	40.6
4	2.80	0.35	206.0	215.0	0.0	34.6	36.1
5	3.60	0.35	189.0	102.0	0.0	57.6	31.0
6	4.60	0.35	188.0	51.0	0.0	94.4	25.6
7	4.60	0.90	188.0	141.0	0.0	35.5	26.6
8	6.00	0.90	235.0	79.0	0.0	61.4	20.6
9	7.70	0.90	260.0	44.0	0.0	102.0	17.2
10	10.00	0.90	277.0	24.0	0.0	173.1	14.9
11	13.00	0.90	487.0	22.0	0.0	293.5	13.2
12	17.00	0.90	478.0	12.0	0.0	502.9	12.6
13	17.00	3.00	484.0	41.0	0.0	146.6	12.4
14	22.00	3.00	564.0	28.0	0.0	248.7	12.3
15	28.00	3.00	558.0	17.0	0.0	405.7	12.3



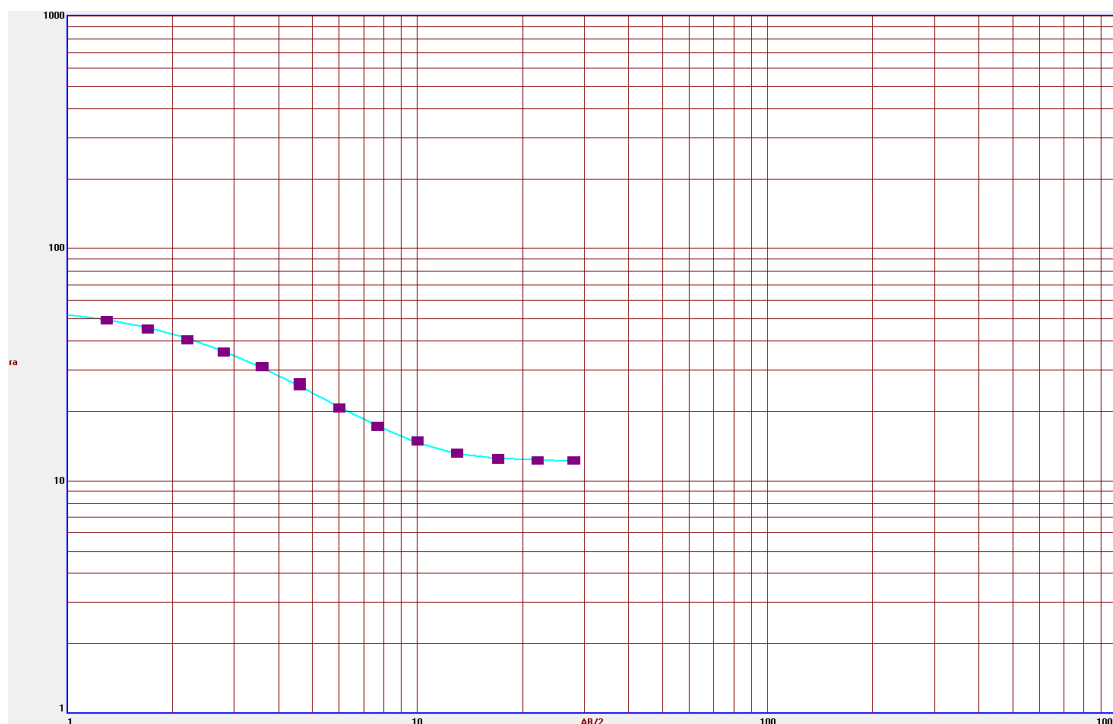
SEV1 (sezione 20)



Magenta: dati di campagna (Massagrande); azzurro: interpretazione con i dati ST4 (Socotec)

Spessori elettrostrati in m (Socotec): 0,5 - 1,0 - 1,5 - 1,0

Resistività elettrostrati in Ohm\*m (Socotec): 90 - 62 - 31 - 15 - 11



Interpretazione dei dati di campagna (Massagrande)

Riferimento/taratura: ST4 e CPTU4

Spessori elettrostrati in m (Massagrande): 1,1 - 0,4 - 1,5 - 4,0

Resistività elettrostrati in Ohm\*m (Massagrande): 54 - 42 - 32 - 5 - 12

## SEV2 (sezione 16)

## Dati di Campagna - Sondaggio Elettrico Verticale (SEV) 2

Committente : AIPO

Data : 23-9-2022

Località : Argine dx - Fiume Po - Francolino (FE)

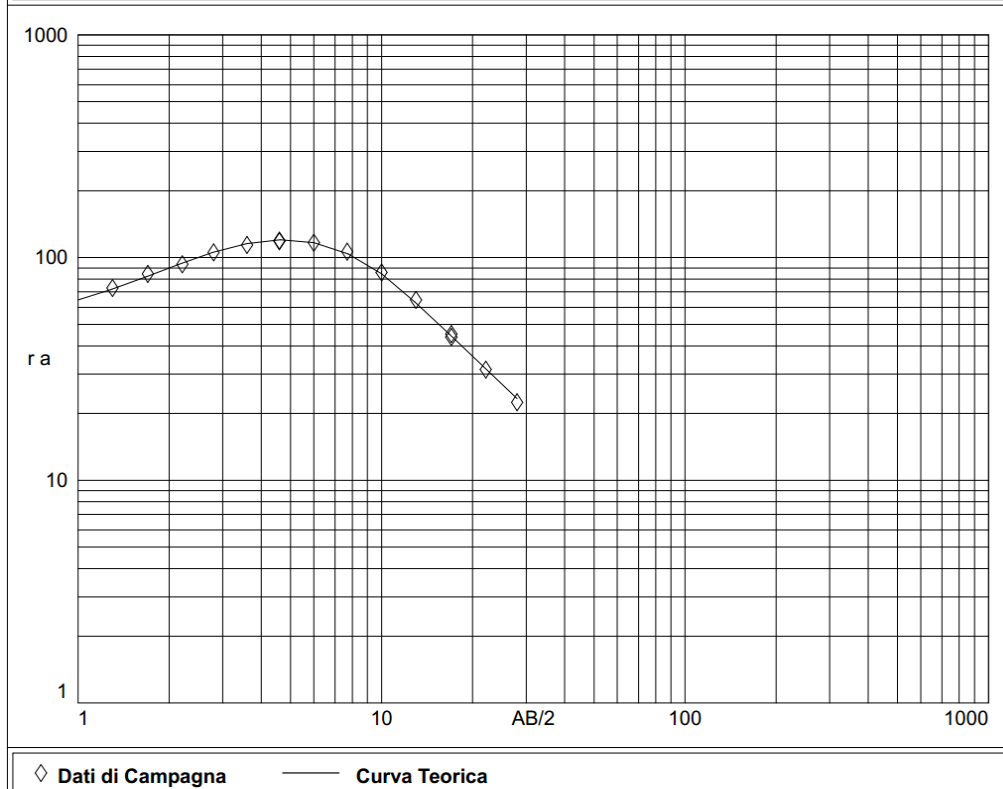
Orientamento : ENE-WSW

Operatore : Dr. Geol. Andrea Massagrande

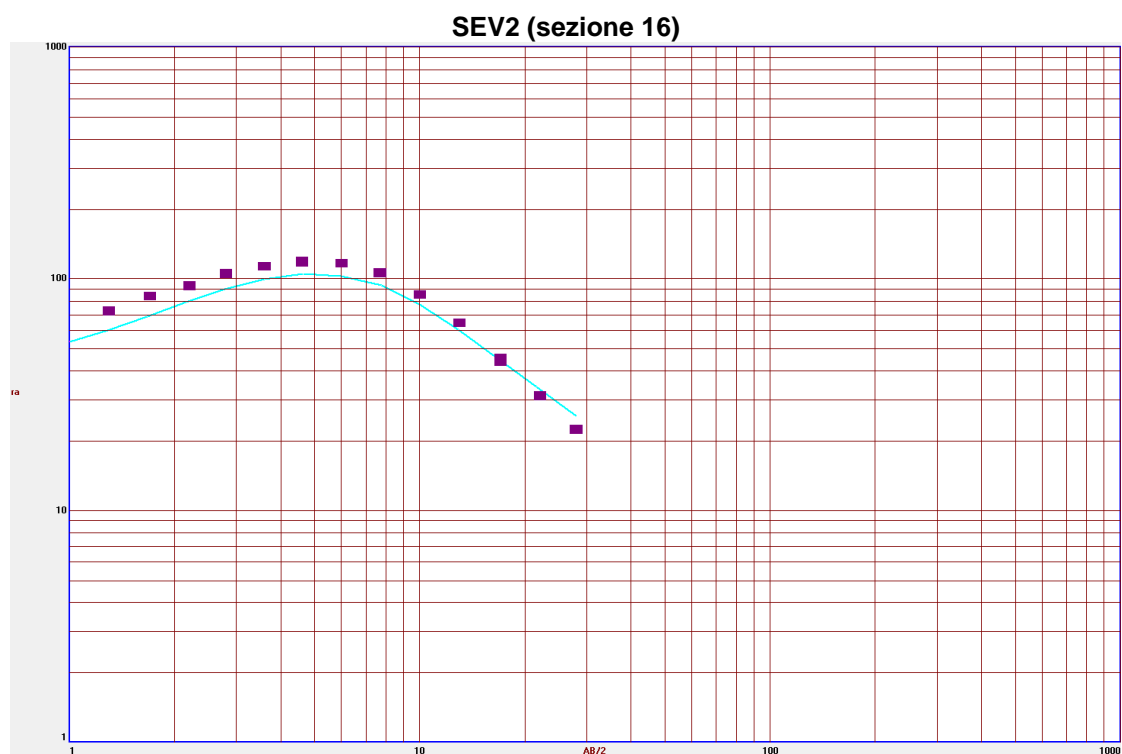
Quota s.l.m. : 5 m

Ril. N.	AB/2 (m)	MN/2 (m)	I (mA)	V (mV)	P.s. (mV)	K	r (Ohm*m)
1	1.30	0.35	321.0	3325.0	0.0	7.0	72.8
2	1.70	0.35	324.0	2205.0	0.0	12.4	84.5
3	2.20	0.35	328.0	1445.0	0.0	21.1	93.2
4	2.80	0.35	335.0	1020.0	0.0	34.6	105.4
5	3.60	0.35	393.0	775.0	0.0	57.6	113.6
6	4.60	0.35	411.0	515.0	0.0	94.4	118.3
7	4.60	0.90	396.0	1330.0	0.0	35.5	119.2
8	6.00	0.90	352.0	670.0	0.0	61.4	116.9
9	7.70	0.90	361.0	377.0	0.0	102.0	106.5
10	10.00	0.90	381.0	189.0	0.0	173.1	85.8
11	13.00	0.90	439.0	97.0	0.0	293.5	64.8
12	17.00	0.90	332.0	30.0	0.0	502.9	45.4
13	17.00	3.00	343.0	103.0	0.0	146.6	44.0
14	22.00	3.00	412.0	52.0	0.0	248.7	31.3
15	28.00	3.00	344.0	19.0	0.0	405.7	22.4

## SEV2: confronto dati di campagna - curva teorica



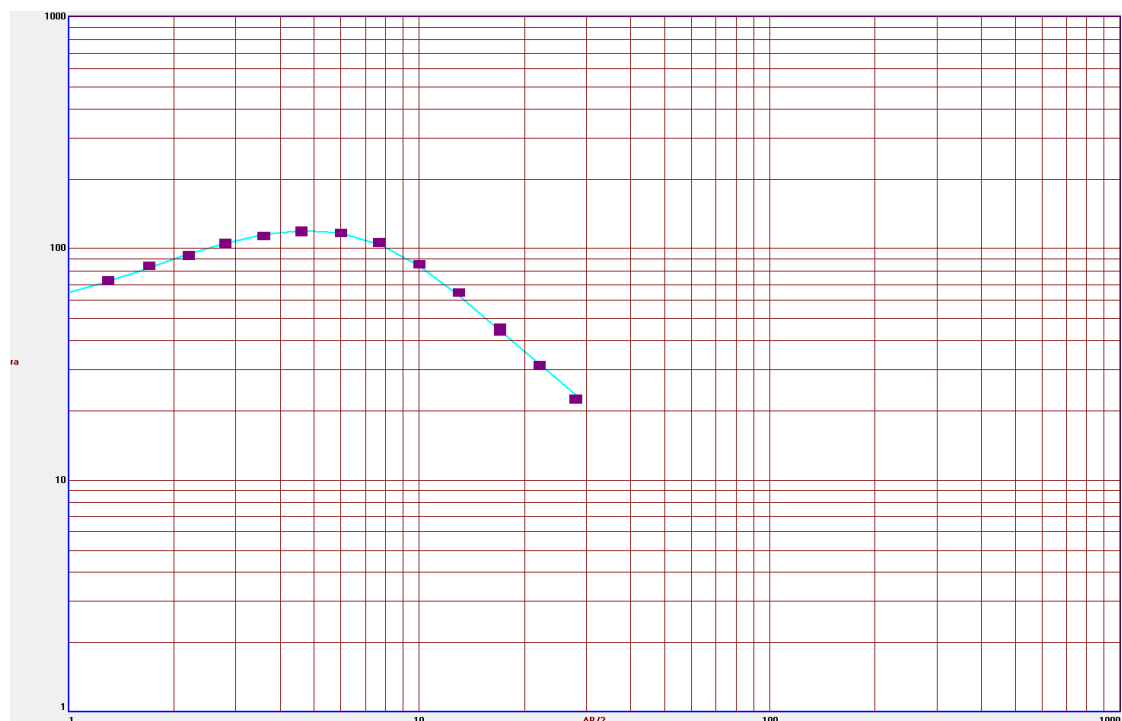




Magenta: dati di campagna (Massagrande); azzurro: interpretazione con i dati ST4 (Socotec)

Spessori elettrostrati in m (Socotec): 1,0 - 3,0 - 2,0 - 2,0

Resistività elettrostrati in Ohm\*m (Socotec): 45 - 250 - 22 - 12 - 8



Interpretazione dei dati di campagna (Massagrande)

Riferimento/taratura: ST4 e CPTU3

Spessori elettrostrati in m (Massagrande): 1,0 - 0,5 - 1,8 - 2,0

Resistività elettrostrati in Ohm\*m (Massagrande): 55 - 230 - 380 - 15 - 5

## 6. MODELLO GEOLOGICO, GEOTECNICO E SISMICO

Le sezioni di conducibilità, derivanti dall'indagine elettromagnetica preliminare, consentono di identificare il seguente assetto litologico-stratigrafico lungo il tratto arginale di intervento:

- Profilo ST1 (lato fiume): zona superficiale relativamente poco conduttiva (conducibilità elettrica < 25 mS/m) fino alla profondità variabile tra circa 3 e 6 m, riferibile a depositi prevalentemente limoso sabbiosi; più in profondità si osserva un incremento della conducibilità, molto marcato (conducibilità > 150 mS/m) tra le progressive 0 e 160÷170 m, riferibile a depositi prevalentemente argilloso limosi;
- Profilo ST2 (alla sommità arginale): zona superficiale relativamente poco conduttiva (conducibilità elettrica < 25 mS/m) fino alla profondità variabile tra circa 6,5 (ST2\_7) e 9 m, riferibile a depositi prevalentemente limoso sabbiosi; più in profondità (ST2\_7) si osserva un incremento della conducibilità riferibile a depositi prevalentemente argilloso limosi;
- Profilo ST3 (lato campagna - posizione intermedia): zona superficiale relativamente poco conduttiva (conducibilità elettrica < 25 mS/m) fino alla profondità variabile tra circa 4 e 6 m, riferibile a depositi prevalentemente limoso sabbiosi; più in profondità si osserva un incremento della conducibilità riferibile a depositi prevalentemente argilloso limosi;
- Profilo ST4 (lato campagna - piede arginale): zona superficiale relativamente poco conduttiva (conducibilità elettrica < 25 mS/m) fino alla profondità variabile tra circa 2 e 4 m, tra le progressive 0 e 1130 m, e tra circa 4,5 e 5 m, tra le progressive 1130 e 2270 m, riferibile a depositi prevalentemente limoso sabbiosi; più in profondità si osserva un incremento della conducibilità riferibile a depositi prevalentemente argilloso limosi;
- Profilo ST5 (cava di prestito - est): zona superficiale relativamente poco conduttiva (conducibilità elettrica < 25 mS/m) fino alla profondità variabile tra circa 4,5 e 7 m, riferibile a depositi prevalentemente limoso sabbiosi; più in profondità si osserva un incremento della conducibilità riferibile a depositi prevalentemente argilloso limosi;
- Profilo ST6 (cava di prestito - ovest): zona superficiale relativamente poco conduttiva (conducibilità elettrica < 25 mS/m) fino alla profondità variabile tra circa 4,5 e 8 m, riferibile a depositi prevalentemente limoso sabbiosi; più in profondità si osserva un incremento della conducibilità riferibile a depositi prevalentemente argilloso limosi.

I dati penetrometrici (CPTU), le stratigrafie di sondaggio e le prove di laboratorio, le cui risultanze sono sintetizzate nelle tabelle riportate a seguire, hanno consentito di identificare le unità litologiche con i relativi parametri geotecnici caratteristici. I rapporti (geometria e spessori) tra le unità litologiche individuate nell'ambito del tratto indagato, sono evidenziati negli elaborati di sintesi riportati a fine testo (*sezioni geologiche interpretative 8, 16, 20 e 39*), che identificano il modello geologico e geotecnico del sottosuolo.

Sond.	S1			
Camp.	S1SH1	S1SH2	S1SH3	
Prof. (m da p.c.)	m 3,00 - 3,40	m 9,00 - 9,50	m 11,50 - 12,00	
Descrizione	Limo con sabbia fina debolmente argillosa marrone	Limo argilloso debolmente sabbioso grigio	Limo argilloso grigio	Limo argilloso grigio
UNI 10006	A 4	A 7 - 5	A 7 - 5	A 7 - 6
USCS	CL - ML	ML o OL	MH o OH	CL
ghiaia (> 2 mm)	0.0%	0.0%	0.1%	0.1%
sabbia (> 0.60 mm)	27.6%	9.2%	0.1%	1.0%
limo (> 2 $\mu$ m)	65.5%	76.3%	85.5%	76.6%
argilla (< 2 $\mu$ m)	6.8%	14.4%	14.3%	22.3%
Wn	20.7%	23.8%	31.9%	28.7%
LL	23.6%	44.3%	57.1%	40.5%
LP	17.7%	30.4%	32.9%	24.7%
IP	6.0%	14.0%	24.0%	16.0%
$\gamma_{nat}$ (Mg/m <sup>3</sup> )	1.962	1.899	1.916	1.914
$\gamma_{secco}$ (Mg/m <sup>3</sup> )	1.625	1.534	1.453	1.487
$\gamma_{imm}$ (Mg/m <sup>3</sup> )	1.023	0.966	0.915	0.936
n	39.8%	43.2%	46.2%	44.9%
e	0.66	0.76	0.86	0.82
sat	85%	85%	100%	95%
Gs (Mg/m <sup>3</sup> ) (STIMATO)	2.700	2.700	2.700	2.700
ELL (kPa)			41.6	
Triassiale CID (c $\phi$ )				4
				35
TaCD (c' $\phi'$ ) (c $\phi$ )	22		27	
	36		24	
	5.6 35.6 valori critici		3 15	
Pressione di preconsolidazione ( $\sigma'_p$ ):		217.89	227.49	
Grado di sovraconsolidazione (OCR):		1.225	1.015	
Rapporto di compressione (CR):		0.167	0.193	
Indice di compressione (Cc):		0.289	0.359	
Rapporto di ricomprensione (RR):		0.022	0.012	
Indice di ricomprensione (Cr):		0.037	0.023	
Rapporto di rigonfiamento (SR):		0.013	0.021	
Indic di rigonfiamento (Cs):		0.022	0.039	
Coeff. Cons. (Cv) tra:		7.24E-03	5.56E-03	
Coeff. Cons. (Cv) tra:		4.51E-03	3.54E-03	
Coeff. Cons. (Cv) tra:		3.21E-03	3.02E-03	
Coeff. Sec. (Ca) tra:		9.80E-04	7.24E-04	
Coeff. Sec. (Ca) tra:		1.45E-03	8.24E-04	
Coeff. Sec. (Ca) tra:		1.11E-03	2.15E-03	
Permeabilità tra (kPa):		1.67E-09	1.24E-09	
Permeabilità tra (kPa):		6.51E-10	6.77E-10	
Permeabilità tra (kPa):		3.51E-10	3.63E-10	
Proctor ( $\gamma^{MAX}$ (Mg/m <sup>3</sup> ); $w^{opt}$ (%))				

Sond.	S2	
Camp.	S2CR1	S2CR2
Prof. (m da p.c.)	m 7,60 - 8,00	m 12,60 - 13,00
Descrizione	Limo argilloso sabbioso marrone	Limo argilloso grigio
UNI 10006	A 6	A 7 - 6
USCS	CL	CH
ghiaia (> 2 mm)	0.0%	0.0%
sabbia (> 0.60 mm)	20.4%	0.6%
limo (> 2 $\mu$ m)	56.4%	77.7%
argilla (< 2 $\mu$ m)	23.2%	21.6%
W <sub>n</sub>	28.9%	32.3%
LL	34.6%	51.7%
LP	23.2%	28.2%
IP	12.0%	24.0%
$\gamma_{nat}$ (Mg/m <sup>3</sup> )	1.959	1.774
$\gamma_{secco}$ (Mg/m <sup>3</sup> )	1.519	1.341
$\gamma_{imm}$ (Mg/m <sup>3</sup> )	0.957	0.844
n	43.7%	50.3%
e	0.78	1.01
sat	100%	86%
G <sub>s</sub> (Mg/m <sup>3</sup> ) (STIMATO)	2.700	2.700
ELL (kPa)		50.5
Triassiale CID (c $\phi$ )	10	13
	33	23
TaCD (c' $\phi'$ ) (c $\phi$ )	8.3	27.9
	33.9	25.0
	4.0	5.2
	30.3	22.0
Pressione di preconsolidazione ( $\sigma'_p$ ):		
Grado di sovraconsolidazione (OCR):		
Rapporto di compressione (CR):		
Indice di compressione (Cc):		
Rapporto di ricomprensione (RR):		
Indice di ricomprensione (Cr):		
Rapporto di rigonfiamento (SR):		
Indic di rigonfiamento (Cs):		
Coeff. Cons. (Cv) tra:		
Coeff. Cons. (Cv) tra:		
Coeff. Cons. (Cv) tra:		
Coeff. Sec. (Ca) tra:		
Coeff. Sec. (Ca) tra:		
Coeff. Sec. (Ca) tra:		
Permeabilità tra (kPa):		
Permeabilità tra (kPa):		
Permeabilità tra (kPa):		
Proctor ( $\gamma^{MAX}$ (Mg/m <sup>3</sup> ); w <sup>opt</sup> (%))		


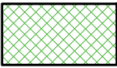

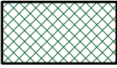
Sond.	S3		
Camp.	S3SH1	S3SH2	S3SH2
Prof. (m da p.c.)	m 13,50 - 14,00	m 18,00 - 18,60	m 18,00 - 18,60
Descrizione	Limo con argilla grigio	Limo sabbioso argilloso grigio	Limo con argilla grigio
UNI 10006	A 7 - 5	A 6	A 7 - 5
USCS	MH o OH	CL	CH
ghiaia (> 2 mm)	0.0%	0.1%	0.0%
sabbia (> 0.60 mm)	0.3%	16.8%	0.5%
limo (> 2 $\mu$ m)	69.4%	68.3%	68.4%
argilla (< 2 $\mu$ m)	30.3%	14.8%	31.1%
W <sub>n</sub>	55.9%	17.4%	29.3%
LL	96.2%	30.8%	71.0%
LP	44.6%	19.0%	31.6%
IP	51.0%	12.0%	39.0%
$\gamma_{nat}$ (Mg/m <sup>3</sup> )	1.678	2.106	1.950
$\gamma_{secco}$ (Mg/m <sup>3</sup> )	1.076	1.794	1.508
$\gamma_{imm}$ (Mg/m <sup>3</sup> )	0.678	1.129	0.950
n	60.1%	33.6%	44.1%
e	1.51	0.51	0.79
sat	100%	93%	100%
G <sub>s</sub> (Mg/m <sup>3</sup> ) (STIMATO)	2.700	2.700	2.700
ELL (kPa)	38.2		
Triassiale CID (c $\phi$ )		7	
		33	
TaCD (c' $\phi'$ ) (c $\phi$ )	13.8		
	25.4		
	5.9		
	15.0		
Pressione di preconsolidazione ( $\sigma'_p$ ):	147.74		101.56
Grado di sovraconsolidazione (OCR):	0.686		0.285
Rapporto di compressione (CR):	0.320		0.138
Indice di compressione (Cc):	0.850		0.246
Rapporto di ricomprensione (RR):	0.072		0.023
Indice di ricomprensione (Cr):	0.192		0.042
Rapporto di rigonfiamento (SR):	0.041		0.016
Indic di rigonfiamento (Cs):	0.109		0.029
Coeff. Cons. (Cv) tra:	4.27E-04		1.79E-03
Coeff. Cons. (Cv) tra:	4.42E-04		1.88E-03
Coeff. Cons. (Cv) tra:	2.52E-04		1.57E-03
Coeff. Sec. (Ca) tra:	6.84E-04		1.41E-03
Coeff. Sec. (Ca) tra:	1.28E-03		1.73E-03
Coeff. Sec. (Ca) tra:	4.28E-03		1.95E-03
Permeabilità tra (kPa):	2.74E-10		6.66E-10
Permeabilità tra (kPa):	1.85E-10		4.39E-10
Permeabilità tra (kPa):	9.12E-11		2.45E-10
Proctor ( $\gamma^{MAX}$ (Mg/m <sup>3</sup> ); w <sup>opt</sup> (%))			



Sond.	S4		
Camp.	S4SH1	S4SH2	S4SH3
Prof. (m da p.c.)	m 3,00 - 3,60	m 10,00 - 10,60	m 17,40 - 18,00
Descrizione	Limo argilloso sabbioso marrone	Limo con sabbia fina debolmente argillosa marrone	Limo argilloso grigio scuro
UNI 10006	A 4	A 4	A 7 - 6
USCS	CL	CL	CL
ghiaia (> 2 mm)	0.1%	0.0%	0.0%
sabbia (> 0.60 mm)	10.5%	33.7%	0.2%
limo (> 2 $\mu$ m)	78.1%	56.8%	81.5%
argilla (< 2 $\mu$ m)	11.3%	9.5%	18.3%
W <sub>n</sub>	17.1%	29.1%	32.2%
LL	30.7%	32.3%	40.2%
LP	20.8%	23.3%	25.4%
IP	10.0%	9.0%	15.0%
$\gamma_{nat}$ (Mg/m <sup>3</sup> )	2.066	1.920	1.912
$\gamma_{secco}$ (Mg/m <sup>3</sup> )	1.764	1.487	1.446
$\gamma_{imm}$ (Mg/m <sup>3</sup> )	1.111	0.936	0.910
n	34.7%	44.9%	46.5%
e	0.53	0.82	0.87
sat	87%	96%	100%
G <sub>s</sub> (Mg/m <sup>3</sup> ) (STIMATO)	2.700	2.700	2.700
ELL (kPa)		30.4	52.1
Triassiale CID (c $\phi$ )	7	8	
	31	35	
TaCD (c' $\phi'$ ) (c $\phi$ )	3.2 30.0	4.0 26.4	16.5 26.9
	3.1 28.5 valori critici	1.3 24.5	6.6 27.3 valori critici
Pressione di preconsolidazione ( $\sigma'_p$ ):		198.62	164.22
Grado di sovraconsolidazione (OCR):		0.988	0.570
Rapporto di compressione (CR):		0.109	0.172
Indice di compressione (Cc):		0.192	0.328
Rapporto di ricomprensione (RR):		0.006	0.014
Indice di ricomprensione (Cr):		0.011	0.026
Rapporto di rigonfiamento (SR):		0.005	0.022
Indic di rigonfiamento (Cs):		0.009	0.043
Coeff. Cons. (C <sub>v</sub> ) tra:		1.72E-02	3.57E-03
Coeff. Cons. (C <sub>v</sub> ) tra:		2.66E-02	2.19E-03
Coeff. Cons. (C <sub>v</sub> ) tra:		1.69E-02	1.52E-03
Coeff. Sec. (C <sub>a</sub> ) tra:		6.21E-04	6.99E-04
Coeff. Sec. (C <sub>a</sub> ) tra:		1.11E-03	1.03E-03
Coeff. Sec. (C <sub>a</sub> ) tra:		1.61E-03	7.16E-04
Permeabilità tra (kPa):		2.01E-09	1.25E-09
Permeabilità tra (kPa):		2.89E-09	5.37E-10
Permeabilità tra (kPa):		1.44E-09	2.47E-10
Proctor ( $\gamma^{MAX}$ (Mg/m <sup>3</sup> ); w <sup>opt</sup> (%))			



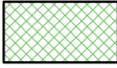
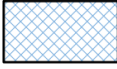

A seguire si riporta l'assetto stratigrafico di dettaglio, indicando, per ogni livello identificato in corrispondenza delle sezioni rappresentative (8, 16, 20 e 39), i valori dei parametri fisico-meccanici utilizzati nelle verifiche geotecniche.

### SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA 8

-  **LIVELLO A:** sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi e limi, localmente con intercalazioni di argille limose, limi argillosi e torbe (CPTU1)
-  **LIVELLO B:** argille, argille limose e limi argillosi, localmente con intercalazioni di limi sabbiosi, limi e torbe
-  **LIVELLO C:** sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi e limi, localmente con intercalazioni di argille limose e limi argillosi
-  **LIVELLO D:** argille, argille limose e limi argillosi, localmente con intercalazioni di limi sabbiosi e limi



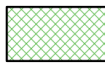
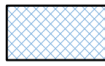
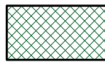
Livello	Peso di volume $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Coesione efficace $c'$ (kPa)	Angolo d'attrito interno $\varphi$ (°)
A	19	4	30
B	19	3	24
C	19	3	31
D	19	3	25

### SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA 16

-  **LIVELLO A:** sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi e limi (CPTU3), localmente (CPTU7) con intercalazioni di argille limose e limi argillosi
-  **NUCLEO A\*:** argille, argille limose e limi argillosi, localmente con intercalazioni di sabbie limose, limi sabbiosi e limi (in CPTU7 e S2)
-  **LIVELLO B:** argille, argille limose e limi argillosi, localmente con intercalazioni di limi sabbiosi e limi
-  **LIVELLO C:** sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi e limi
-  **LIVELLO D:** sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi e limi, localmente con intercalazioni di argille, argille limose e limi argillosi (CPTU3)






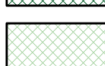
Livello/Nucleo	Peso di volume $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Coesione efficace $c'$ (kPa)	Angolo d'attrito interno $\varphi$ (°)
A	19	4	30
A*	19	3	24
B	19	3	25
C	19	3	29
D	19	3	29

**SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA 20**

-  **LIVELLO A:** sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi e limi, localmente con intercalazioni di argille limose e limi argillosi
-  **NUCLEO A\*:** argille, argille limose, limi argillosi e torbe, localmente con intercalazioni di sabbie limose, limi sabbiosi e limi (in CPTU8, S3 e ST2\_2)
-  **LIVELLO B:** argille, argille limose, limi argillosi e torbe, localmente con intercalazioni di sabbie limose, limi sabbiosi e limi
-  **LIVELLO C:** sabbie limose, limi sabbiosi e limi, localmente con intercalazioni di argille limose e limi argillosi
-  **LIVELLO D:** sabbie limose, limi sabbiosi e limi, localmente con intercalazioni di argille limose e limi argillosi

Livello/Nucleo	Peso di volume $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Coesione efficace $c'$ (kPa)	Angolo d'attrito interno $\varphi$ (°)
A	19	4	30
A*	19	3	24
B	19	3	25
C	19	3	29
D	19	3	29

**SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA 39**

-  **LIVELLO A:** sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi e limi, localmente con intercalazioni di argille limose e limi argillosi
-  **NUCLEO A\*:** limi argillosi
-  **LIVELLO B:** argille, argille limose, limi argillosi e torbe, localmente con intercalazioni di limi sabbiosi e limi
-  **LIVELLO C:** sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi e limi, localmente con intercalazioni di argille, argille limose e limi argillosi
-  **LIVELLO D:** sabbie limose, limi sabbiosi e limi, localmente con intercalazioni di argille, argille limose e limi argillosi
-  **LIVELLO E:** argille, argille limose e limi argillosi

Livello/Nucleo	Peso di volume $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Coesione efficace $c'$ (kPa)	Coesione non drenata $c_u$ (kPa)	Angolo d'attrito interno $\varphi$ (°)
A	19	3		30
A*	19	3		24
B	19	3	30	25
C	19	3		29
D	19	3		29
E	19	3		25

Relativamente all'assetto idrogeologico si segnala che il livello d'acqua nei piezometri PZ1 (in S1) e PZ2 (in S4) è stato rilevato rispettivamente alla profondità (dal p.c. locale) di 12,50 m (10-9-2022) e 12,95 m (21-9-2022).

In data 21-9-2022 lo scrivente ha provveduto alla verifica del livello idrico nelle due canne piezometriche e nei fori di prova CPTU rimasti aperti; a seguire si riportano le misure:

- PZ1: -12,61 m dal p.c. locale,
- PZ2: -12,98 m dal p.c. locale,
- CPTU1: -8,13 m dal p.c. locale,
- CPTU2: -5,07 m dal p.c. locale.

Come segnalato nell'inquadramento geologico generale non è comunque da escludere che la superficie libera della falda possa avvicinarsi, o raggiungere, il piano campagna locale, in particolare nella zona topograficamente più depressa in corrispondenza della sezione 8.

Con riferimento alla normativa strutturale in zona sismica, in base alle disposizioni del D.M. 17.01.2018 l'azione sismica di progetto viene definita a partire dalla "pericolosità sismica di base", attraverso le coordinate geografiche del sito (latitudine e longitudine) nell'ambito di una predefinita griglia di calcolo. Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, le disposizioni normative, nei casi in cui è consentito l'utilizzo di un approccio semplificato, in alternativa alla modellazione numerica di risposta sismica locale, prevedono inoltre diverse categorie di sottosuolo.

Con riferimento ai descritti profili della velocità  $V_s$ , si determinano i seguenti valori di  $V_{s,eq}$  al p.c. locale:

- MASW-A, MFA-A (sezione 20):  $V_{s,eq}$  ( $= V_{s,30}$ ) = 177 m/s,
- MASW-B, MFA-B (sezione 16):  $V_{s,eq}$  ( $= V_{s,30}$ ) = 171 m/s.

Conseguentemente, in base al punto 3.2.2 delle NTC 2018, l'areale di intervento è riferibile alla categoria di sottosuolo D: *"Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s"*.

In considerazione dell'assetto fisiografico locale (categoria T1 di cui al punto 3.2.2 del D.M. 17.01.2018), non si adotta alcun coefficiente di amplificazione topografica.

Allo scopo di verificare la natura dei terreni provenienti dalle due aree golenali (cave di prestito), indicate dalla *Committenza* per la provvista dei materiali necessari per il ringrosso arginale, sono stati prelevati n. 6 campioni (n. 4 nell'area ovest lungo lo stendimento ST6 e n. 2 nell'area est lungo lo stendimento ST5) ed effettuate delle prove di classificazione e di caratterizzazione geotecnica di laboratorio; a seguire si sintetizzano le risultanze:

Sond.	ST5		ST6			
Camp.	ST5_C1	ST5_C2	ST6_C1	ST6_C2	ST6_C3	ST6_C4
Prof. (m da p.c.)	m 1,50 - 2,00	m 3,50 - 4,00	m 1,50 - 2,00	m 3,50 - 4,00	m 1,50 - 2,00	m 3,50 - 4,00
Descrizione	Limo argilloso sabbioso marrone	Limo sabbioso argilloso marrone	Limo argilloso sabbioso marrone	Limo sabbioso debolmente argilloso marrone	Sabbia fina con limo debolmente argillosa marrone	Sabbia medio fina con limo debolmente argillosa marrone
UNI 10006	A 4	A 4	A 7 - 6	A 6	A 4	A 4
USCS	ML	CL	CL	CL	CL	SC
ghiaia (> 2 mm)	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%
sabbia (> 0.60 mm)	11.8%	16.8%	12.0%	19.1%	47.3%	63.9%
limo (> 2 $\mu$ m)	70.6%	71.3%	66.9%	71.1%	43.1%	29.2%
argilla (< 2 $\mu$ m)	17.6%	11.9%	21.1%	9.7%	9.5%	6.9%
W <sub>n</sub>	14.8%	8.2%	17.5%	22.9%	13.5%	12.3%
LL	ND	31.3%	41.2%	36.1%	27.6%	ND
LP	NP	22.0%	21.8%	21.2%	20.4%	NP
IP	NP	9.0%	19.0%	15.0%	8.0%	NP
$\gamma_{nat}$ (Mg/m <sup>3</sup> )	1.531	1.502	1.745	1.876	1.742	1.731
$\gamma_{secco}$ (Mg/m <sup>3</sup> )	1.334	1.388	1.486	1.527	1.535	1.542
$\gamma_{imm}$ (Mg/m <sup>3</sup> )	0.840	0.874	0.935	0.962	0.966	0.971
n	50.6%	48.6%	45.0%	43.4%	43.2%	42.9%
e	1.02	0.95	0.82	0.77	0.76	0.75
sat	39%	23%	58%	80%	48%	44%
G <sub>s</sub> (Mg/m <sup>3</sup> ) (STIMATO)	2.700	2.700	2.700	2.700	2.700	2.700
ELL (kPa)						
Triassiale CID (c $\phi$ )						
TaCD (c' $\phi'$ ) (c $\phi$ )	27.5	2.0	37.0	25.9	7.3	16.6
	27.2	28.7	24.9	28.7	27.9	28.5
	26.5	1.8	36.8	23.2	3.0	13.7
	25.6	27.3	21.8	28.5	28.1	29.0
	valori critici	valori critici	valori critici	valori critici	valori critici	valori critici

Sond.	Condizioni Proctor Standard	
Camp.	ST6_C1	ST6_C4
Prof. (m da p.c.)	m 1,50 - 2,00	m 3,50 - 4,00
Descrizione	Limo argilloso sabbioso marrone	Sabbia medio fina con limo debolmente argillosa marrone
TaCD (c' $\phi'$ ) (c $\phi$ )	27.59 kPa 27.5	32.42 kPa 32.5
Proctor ( $\gamma^{MAX}$ (Mg/m <sup>3</sup> ); w <sup>opt</sup> (%))	1.720 16.1	1.860 11.9

Le masse volumiche dei campioni ST5 e ST6 sono ricostituite con materiale passante al setaccio 4,75 mm

Le terre analizzate, in riferimento alla classificazione UNI 11531-1, appartengono ai gruppi A4, A6 e A7-6; le risultanze di laboratorio (analisi granulometriche e limiti di Atterberg) sono state inoltre inserite nel diagramma di plasticità di Casagrande riportato a seguire.

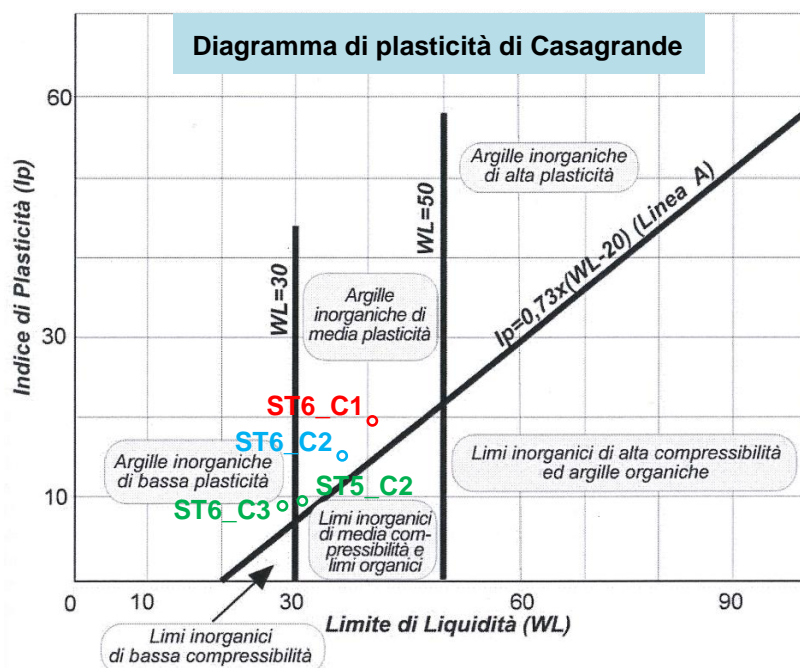
Classificazione UNI 11531-1

Classificazione generale	Terre ghiaio-sabbioso Frazione passante al setaccio 0,063 mm ≤ 35%							Terre limo-argillose Frazione passante al setaccio 0,063 mm > 35%				Torbe e terre organiche palustri
Gruppo	A1		A3	A2			A4	A5	A6	A7		A8
Sottogruppo	A1-a	A1-b		A2-4	A2-5	A2-6	A2-7				A7-5	A7-6
Frazione passante al setaccio 2 mm 0,4 mm 0,063 mm	≤50 ≤30 ≤15	- ≤50 ≤25	- >50 ≤10	- ≤35	- ≤35	- ≤35	- ≤35	- >35	- >35	- >35	- >35	- >35
Caratteristiche della frazione passante al setaccio 0,4 mm LL (Limite liquido) IP (Indice di plasticità)	- ≤6	- ≤6	- N.P.	≤40 ≤10	>40 ≤10	≤40 >10	>40 >10	≤40 ≤10	>40 ≤10	≤40 >10	>40 IP ≤ LL-30	>40 IP > LL-30
Indice di gruppo	0		0	0			≤4	≤8	≤12	≤16	≤20	
Tipi usuali dei materiali caratteristici costituenti il gruppo	Ghiaia o breccia, ghiaia o breccia sabbiosa, sabbia grossa, pomice, scorie vulcaniche, pozzolane		Sabbia fina	Ghiaia o sabbia limosa o argillosa			Limi poco compressibili	Limi molto compressibili	Argille poco compressibili	Argille molto compressibili e mediamente plastiche	Argille molto compressibili e molto plastiche	Torbe di recente o remota formazione, detriti organici
Qualità portanti quale terreno di sottofondo in assenza di gelo	Da eccellente a buono					Da mediocre a scadente						Da scartare
Azione del gelo sulle qualità portanti	Nessuna o lieve		Media			Molto elevata		Media	Elevata	Media		
Ritiro e rigonfiamento	Nulla		Nulla o lieve			Lieve o medio		Elevato	Elevato	Molto elevato		
Permeabilità	Elevata		Media o scarsa					Scarsa o nulla				

N.P.

-

= non plastico;  
= Non necessario per la classificazione.



Nelle verifiche geotecniche, per i materiali costituenti il nuovo ringrosso arginale si indicano i seguenti parametri fisico-meccanici:



Peso di volume $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Coesione efficace $c'$ (kPa)	Angolo d'attrito interno $\varphi$ (°)
18	2	28

Thiene, febbraio 2023

Dr. Geol. Andrea Massagrande



## **Allegati**

- Planimetria con l'ubicazione delle prove/indagini (*Società SOCOTEC ITALIA s.r.l.*)
- Planimetria con l'ubicazione delle indagini sismiche ed elettriche
- Sezione geologica interpretativa 8 (scala 1:250)
- Sezione geologica interpretativa 16 (scala 1:250)
- Sezione geologica interpretativa 20 (scala 1:250)
- Sezione geologica interpretativa 39 (scala 1:250)
- Documentazione fotografica indagini sismiche ed elettriche
  - Foto 1: Indagine sismica MASW-A e MFA-A (sez. 20)
  - Foto 2: Indagine sismica MASW-B e MFA-B (sez. 16)
  - Foto 3: Misura di microtremori HV-A2
  - Foto 4: Misura di microtremori HV-B4
  - Foto 5: Sondaggio elettrico verticale SEV1 (sez. 20)
  - Foto 6: Sondaggio elettrico verticale SEV2 (sez. 16)

LEGENDA

PROVE IN SITO

- CPT1**: PROVE CPTU (Cone Penetration test) (profondità 20 m) su banca scarpata sezione 8
- CPT2-CPT6**: PROVE CPTU (Cone Penetration test) (profondità 20 m) piede argine
- CPT7-CPT8**: PROVE CPT (Cone Penetration test) (profondità 25 m)

- S1-S4**: SONDAGGI profondità 25 m sommità arginale
- PZ1-PZ2**: PIEZOMETRI
- ST1-ST6**: STENDIMENTI ELETTROMAGNETICI

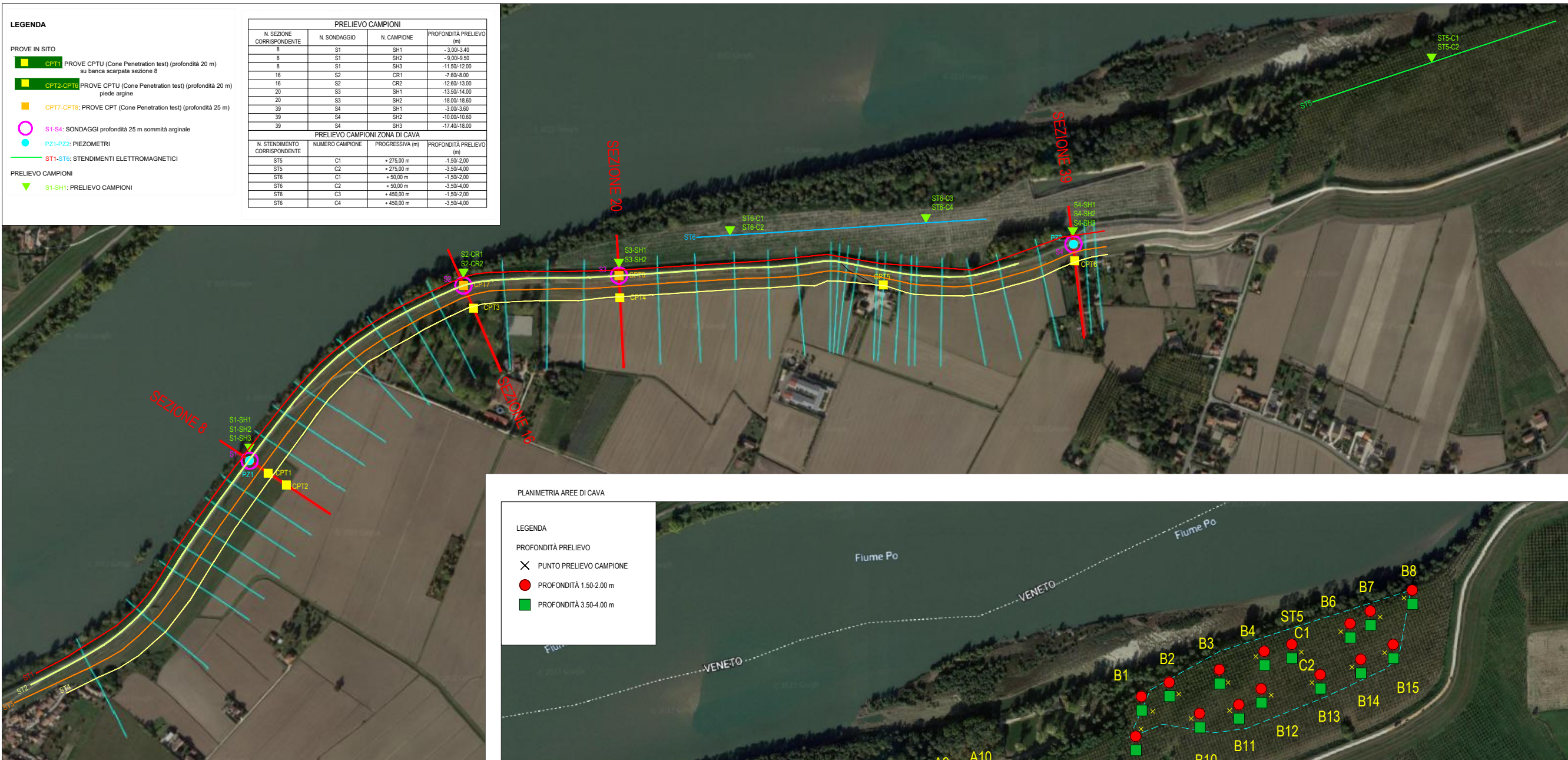
PRELIEVO CAMPIONI

- S1-SH1**: PRELIEVO CAMPIONI

PRELIEVO CAMPIONI

N. SEZIONE CORRISPONDENTE	N. SONDAGGIO	N. CAMPIONE	PROFONDITÀ PRELIEVO (m)
8	S1	SH1	-3.00-3.40
8	S1	SH2	-9.00-9.50
8	S1	SH3	-13.50-12.00
16	S2	CR1	-7.60-8.00
16	S2	CR2	-12.60-13.00
20	S3	SH1	-13.50-14.00
20	S3	SH2	-18.00-18.60
39	S4	SH1	-3.00-3.60
39	S4	SH2	-10.00-10.60
39	S4	SH3	-17.40-18.00

N. STENDIMENTO CORRISPONDENTE	NUMERO CAMPIONE	PROGRESSIVA (m)	PROFONDITÀ PRELIEVO (m)
ST5	C1	+ 275.00 m	-1.50-2.00
ST5	C2	+ 275.00 m	-3.50-4.00
ST6	C1	+ 50.00 m	-1.50-2.00
ST6	C2	+ 50.00 m	-3.50-4.00
ST6	C3	+ 450.00 m	-1.50-2.00
ST6	C4	+ 450.00 m	-3.50-4.00



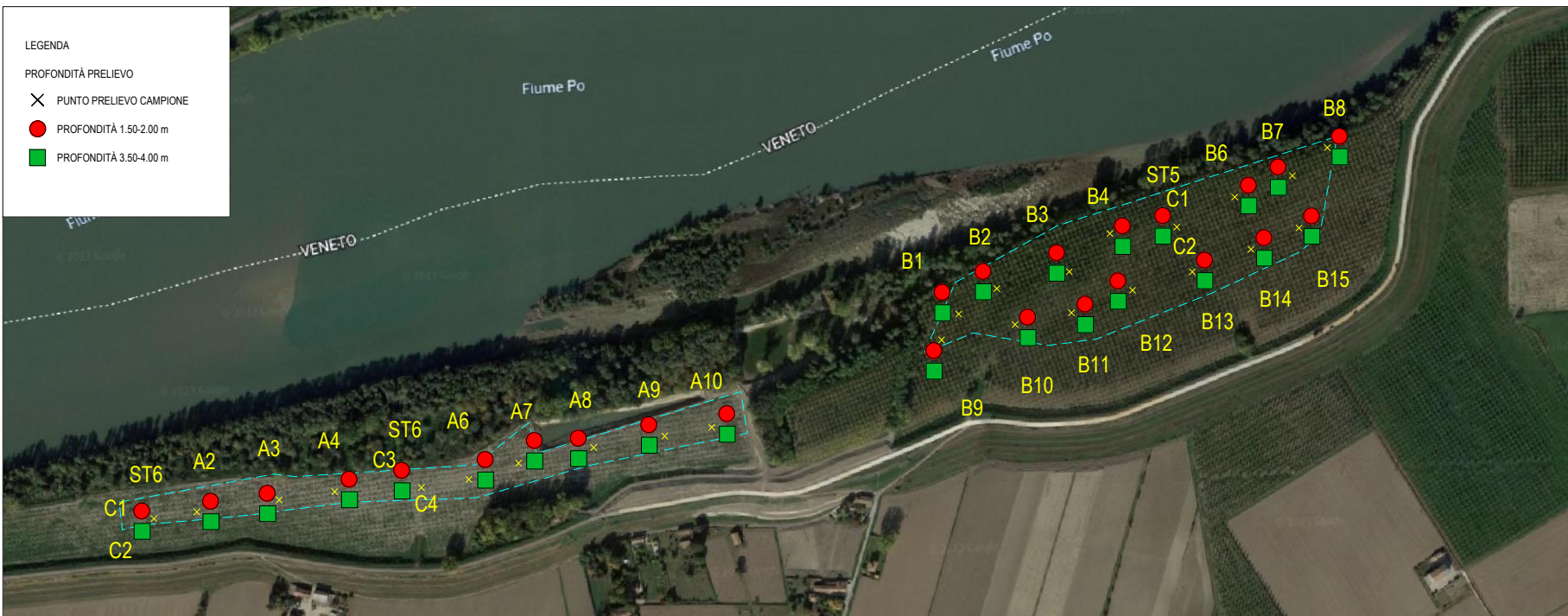
SCALA 1:8.000

PLANIMETRIA AREE DI CAVA

LEGENDA

PROFONDITÀ PRELIEVO

- × PUNTO PRELIEVO CAMPIONE
- PROFONDITÀ 1.50-2.00 m
- PROFONDITÀ 3.50-4.00 m



REGIONE EMILIA ROMAGNA PROVINCIA DI FERRARA LOCALITÀ FRANCOLINO	
Progetto: FE-E-813 - COD. OPERA 1357	
Lavori di realizzazione della sagoma definitiva dell'arginatura in destra idraulica del fiume Po da Froido Francolino a Coronella Scutellari, tra gli stanti 54 e 60 - PTL_FE_1 Comune di Ferrara (FE)	
CUP: B7H21002260001 - CIG ZF036FB88F	
VERIFICHE GEOTECNICHE	
Titolo elaborato: PLANIMETRIA GENERALE INDAGINI	
Comitente:	Elaborato:
<b>AIPo</b> Agenzia Interregionale per il Po Strada Giuseppe Garibaldi 75 - 41121 Parma Tel. 0521/97911 - Posta certificata: protocollo@aipt.org.it Codice Fiscale: 01116800349 - Partita IVA: 02297790297	Data: Febbraio 2023
Consulenza Ingegneristica: <b>Ediltecno Service srl</b> V. dell'Industria <b>Ferraro Ing. Valentino</b> Sede legale: Via Albano 2/G 36040 Ronzano d'Adige (VI) P. IVA 02425190242	Consulenza geologica: <b>Dott. geol. Andrea Massagrande</b> Via G. Marconi 1/A 36014 Thiene (VI) P. IVA 02871710247



Planimetria alla scala 1:1.000 con l'ubicazione delle indagini sismiche ed elettriche



SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA 8 (scala 1:250)

LEGENDA

- LIVELLO A:** sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi e limi, localmente con intercalazioni di argille limose, limi argillosi e torbe (CPTU1)
- LIVELLO B:** argille, argille limose e limi argillosi, localmente con intercalazioni di limi sabbiosi, limi e torbe
- LIVELLO C:** sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi e limi, localmente con intercalazioni di argille limose e limi argillosi
- LIVELLO D:** argille, argille limose e limi argillosi, localmente con intercalazioni di limi sabbiosi e limi

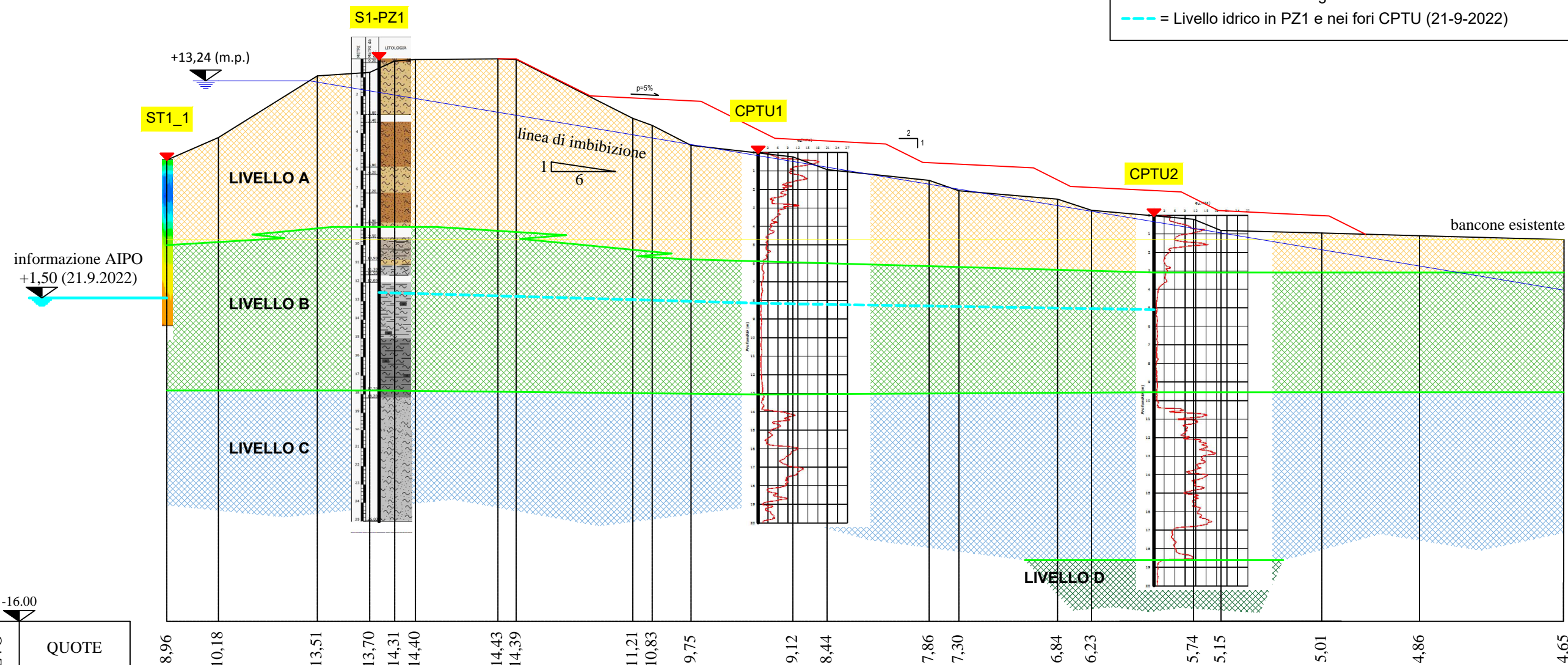
S = Sondaggio geognostico a carotaggio continuo

PZ = Piezometro a tubo aperto

CPTU = Prova penetrometrica statica con piezocono

ST = Stendimento elettromagnetico

--- = Livello idrico in PZ1 e nei fori CPTU (21-9-2022)



SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA 16 (scala 1:250)

LEGENDA

LIVELLO A: sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi e limi (CPTU3), localmente (CPTU7) con intercalazioni di argille limose e limi argillosi

NUCLEO A\*: argille, argille limose e limi argillosi, localmente con intercalazioni di sabbie limose, limi sabbiosi e limi (in CPTU7 e S2)

LIVELLO B: argille, argille limose e limi argillosi, localmente con intercalazioni di limi sabbiosi e limi

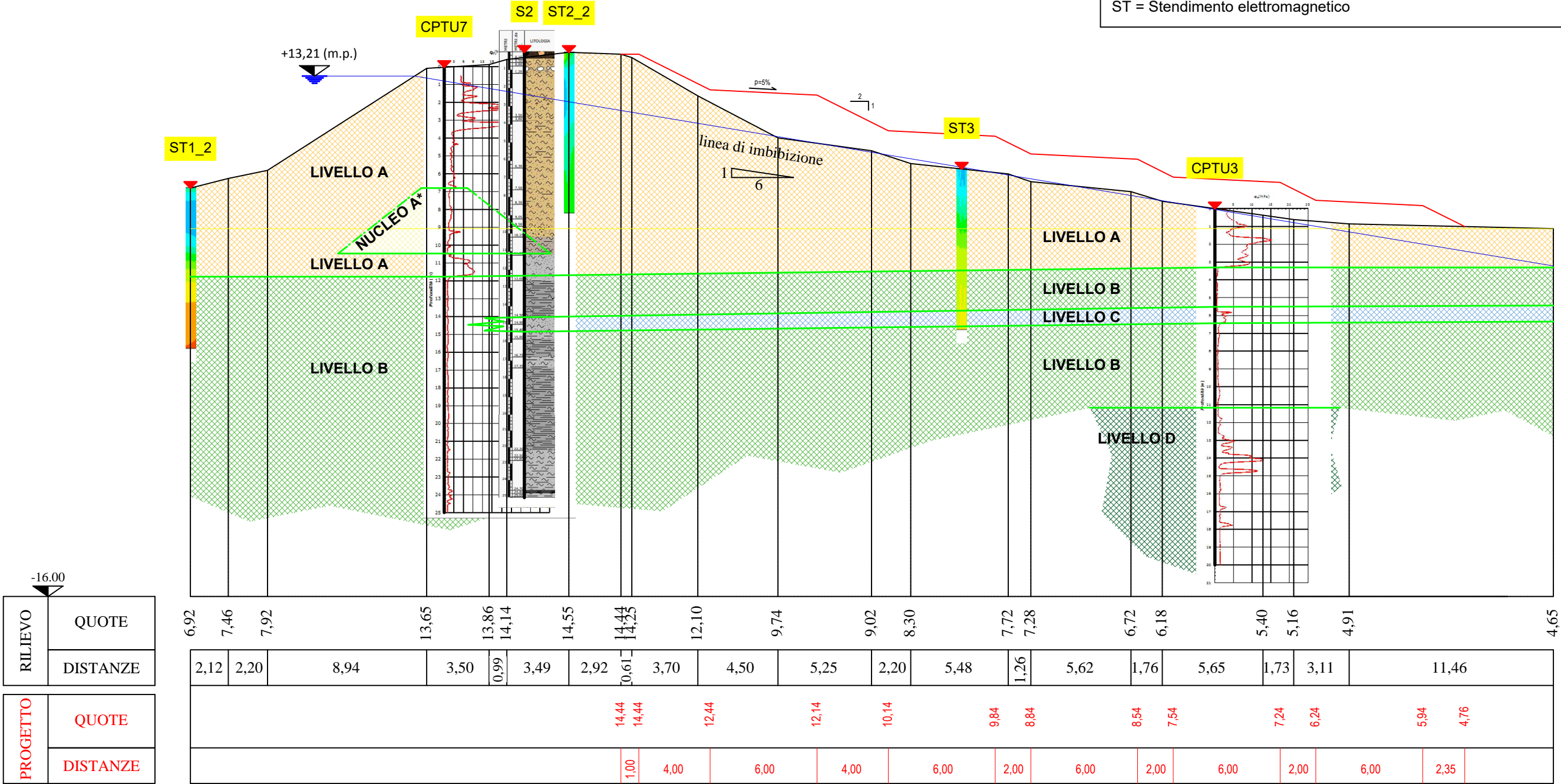
LIVELLO C: sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi e limi

LIVELLO D: sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi e limi, localmente con intercalazioni di argille, argille limose e limi argillosi (CPTU3)

S = Sondaggio geognostico a carotaggio continuo

CPTU = Prova penetrometrica statica con piezocono

ST = Stendimento elettromagnetico





SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA 20 (scala 1:250)

LEGENDA

LIVELLO A: sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi e limi, localmente con intercalazioni di argille limose e limi argillosi

NUCLEO A\*: argille, argille limose, limi argillosi e torbe, localmente con intercalazioni di sabbie limose, limi sabbiosi e limi (in CPTU8, S3 e ST2\_2)

LIVELLO B: argille, argille limose, limi argillosi e torbe, localmente con intercalazioni di sabbie limose, limi sabbiosi e limi

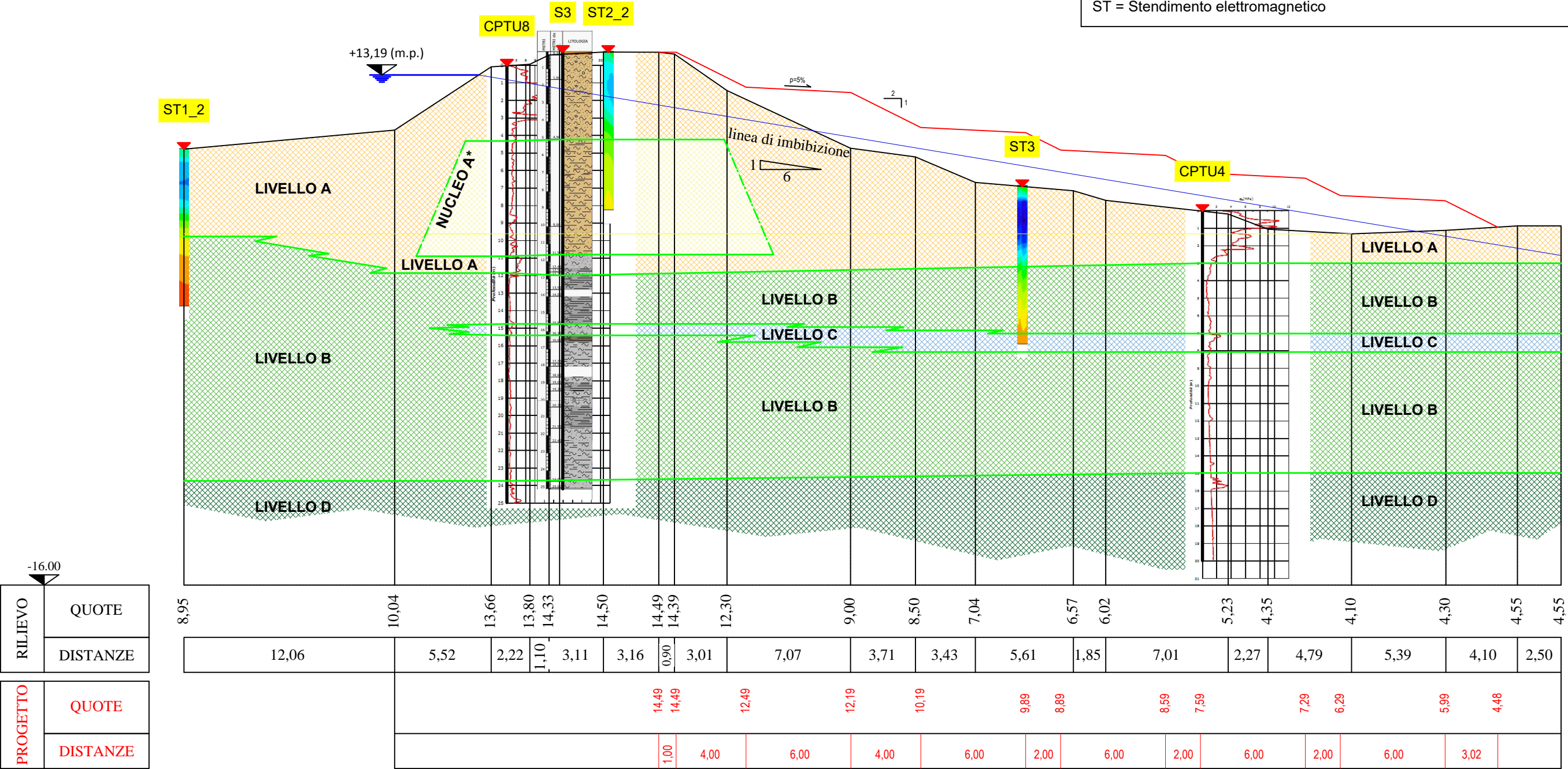
LIVELLO C: sabbie limose, limi sabbiosi e limi, localmente con intercalazioni di argille limose e limi argillosi

LIVELLO D: sabbie limose, limi sabbiosi e limi, localmente con intercalazioni di argille limose e limi argillosi

S = Sondaggio geognostico a carotaggio continuo

CPTU = Prova penetrometrica statica con piezocono

ST = Stendimento elettromagnetico





SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA 39 (scala 1:250)

LEGENDA

LIVELLO A: sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi e limi, localmente con intercalazioni di argille limose e limi argillosi

NUCLEO A\*: limi argillosi

LIVELLO B: argille, argille limose, limi argillosi e torbe, localmente con intercalazioni di limi sabbiosi e limi

LIVELLO C: sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi e limi, localmente con intercalazioni di argille, argille limose e limi argillosi

LIVELLO D: sabbie limose, limi sabbiosi e limi, localmente con intercalazioni di argille, argille limose e limi argillosi

LIVELLO E: argille, argille limose e limi argillosi

S = Sondaggio geognostico a carotaggio continuo

PZ = Piezometro a tubo aperto

CPTU = Prova penetrometrica statica con piezocono

ST = Stendimento elettromagnetico

= Livello idrico in PZ2 (21-9-2022)

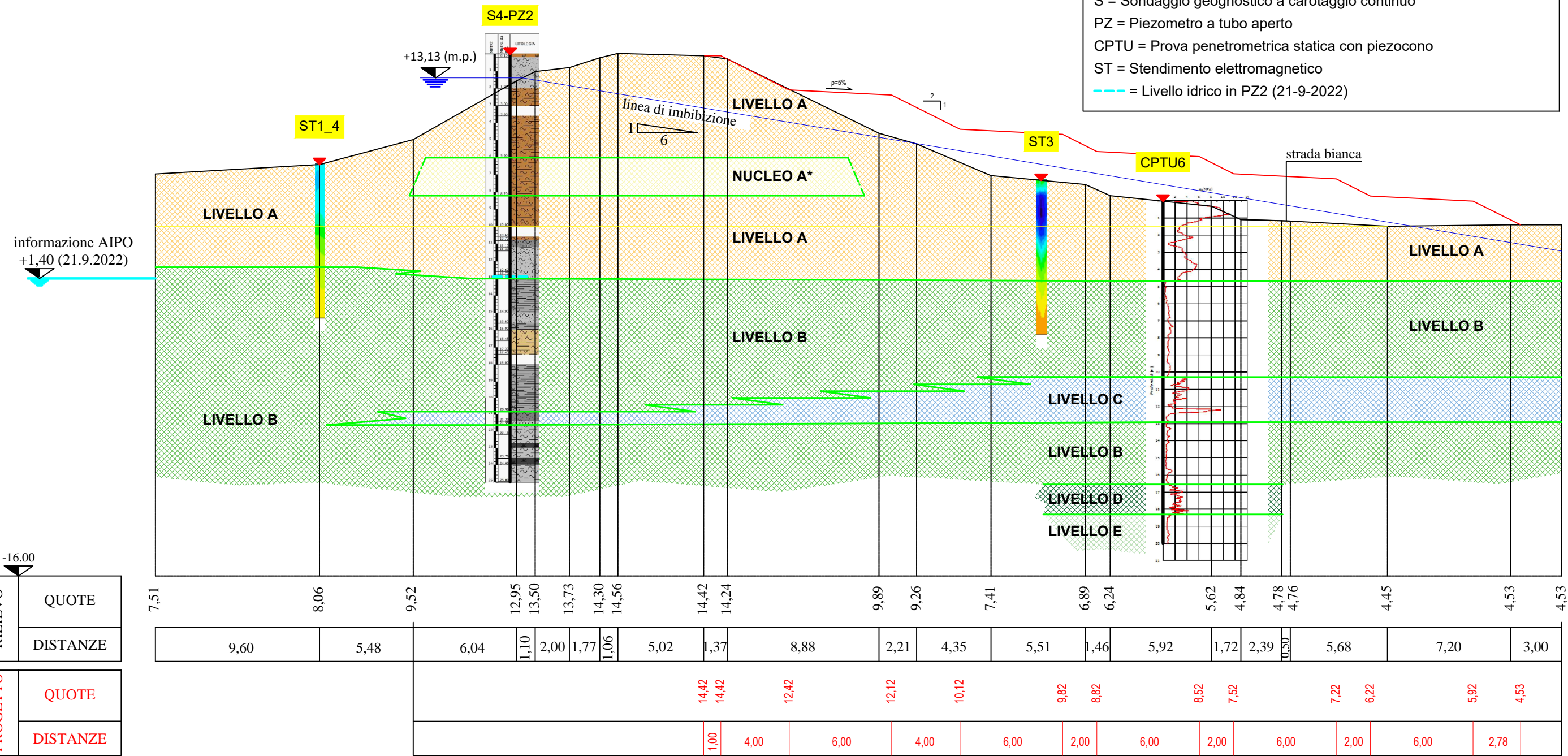






Foto 2: Indagine sismica MASW-B e MFA-B (sez. 16)



Foto 1: Indagine sismica MASW-A e MFA-A (sez. 20)





Foto 4: Misura di microtremori HV-B4

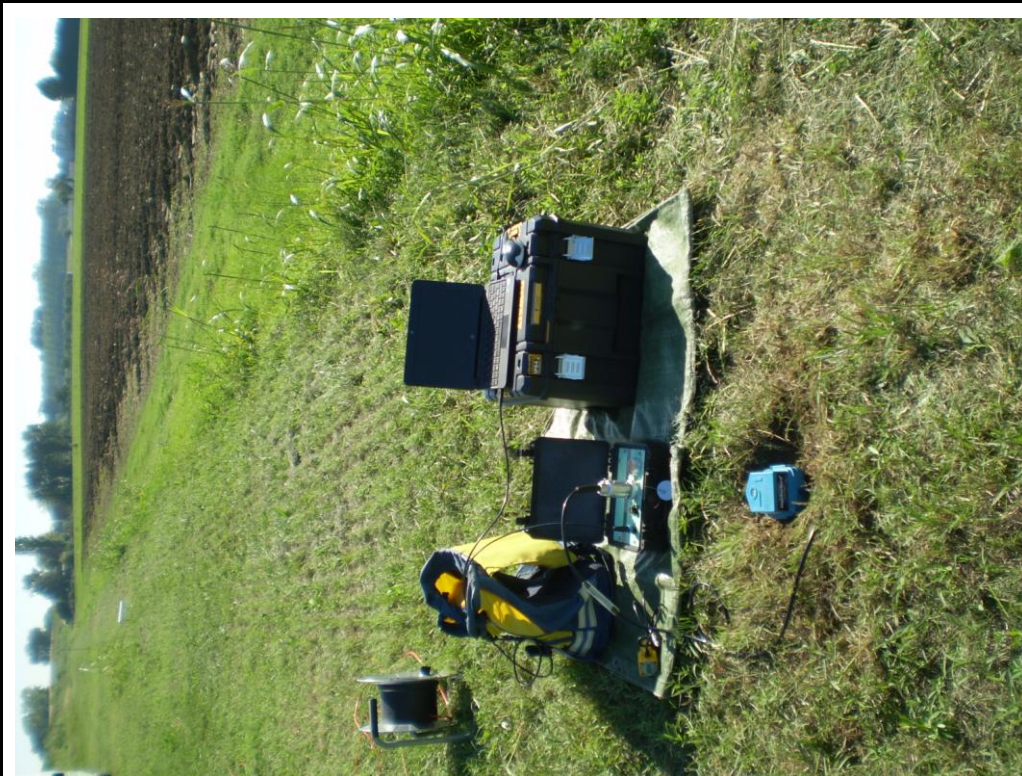


Foto 3: Misura di microtremori HV-A2





Foto 6: Sondaggio elettrico verticale SEV2 (sez. 16)



Foto 5: Sondaggio elettrico verticale SEV1 (sez. 20)