



AGENZIA INTERREGIONALE DEL FIUME PO
 UFFICIO OPERATIVO DI MILANO
 Via Torquato Taramelli 12
 20124 MILANO

Commessa NMC: C 1095

Dis no. NMC: 46319

Programma di cooperazione interreg V-A IT-CH - ID 489165

Modifiche:
Rev 0: Settembre 2021

Scala: /
Data: Settembre 2021

Progettato	Disegnato	Controllato
CAL	AMA	DSO

Interventi di stabilizzazione della sezione d'alveo del Fiume Tresa nel tratto tra Lavena Ponte Tresa e Cremenaga (VA) -VA-E-253

RTP:
Mandante:



NORD MILANO CONSULT s.r.l.
 Società di Ingegneria
 Via Bruno Raimondi, 5
 21052 Busto Arsizio
 0331/636702
 segreteria@nordmil.com
 nordmil@pec.it



Caterina Aliverti

Mandataria:
dott. geol.
PIER DAVIDE FANTONI
 Via Santa Caterina, 5 - 21038 Leggiano
 tel. 0332/286650
 d.fantoni@epap.sicurezzaapostale.it



Progetto esecutivo

Relazione geologica, geotecnica e geognostica

All.n. T.03



**INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE DELLA SEZIONE D'ALVEO DEL FIUME
TRESA NEL TRATTO TRA LAVENA PONTE TRESA E CREMENAGA (VA) -VA-
E-253- *PROGRAMMA DI COOPERAZIONE INTERREG V-A IT-CH – ID 489165***

PROGETTO ESECUTIVO

Relazione geologica, geotecnica e geognostica

Settembre 2021

Sommario

Sommario

1	PREMESSA	3
2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	4
3	DESCRIZIONE DELLE OPERE	5
4	INQUADRAMENTO GEOLOGICO GEOMORFOLOGICO	8
4.1	Substrato	9
4.2	Depositi superficiali (Quaternari)	9
4.3	Indagini Geognostiche.....	11
5	INQUADRAMENTO SISMICO.....	14
5.1	Profili sismici a rifrazione in onde P	14
5.2	Elaborazioni.....	15
6	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI	17
6.1	Prove SPT in Foro	17
6.2	Prove geotecniche di laboratorio.....	18
7	CONCLUSIONI	19

1 PREMESSA

Nel contesto del Progetto Interreg ID 489165 Fiume Tresa, AIPO - Agenzia Interregionale per il Fiume Po e UCA - Ufficio Corsi d'acqua ha incaricato il sottoscritto di redigere una relazione geologico-tecnica di supporto alla progettazione degli interventi di sistemazione idraulica del fiume Tresa. L'intervento di sistemazione prevede la realizzazione di due rampe di fondo (una da parte italiana, denominata rampa AIPO, ed una da parte svizzera, denominata rampa UCA) volte alla stabilizzazione della quota di fondo del greto del fiume Tresa in corrispondenza del piede della frana di Cadegliano Viconago.

Il presente documento costituisce lo studio geologico-tecnico finalizzato alla ricostruzione del modello geotecnico e geomorfologico dell'area dove è prevista la realizzazione della rampa AIPO, con identificazione delle unità litotecniche che caratterizzano l'intera area di intervento e delle dinamiche morfologiche in atto, quiescenti e stabilizzate, naturalmente o tramite interventi antropici.

Per la redazione della presente relazione ci si è basati sugli esiti delle indagini eseguite nei mesi di Ottobre e Novembre 2019 e Aprile 2020. Le indagini sono consistite in:

- N. 2 sondaggi geognostici ubicati, per questioni logistiche e cantieristiche, lungo la S.P. 61 in corrispondenza delle opere previste in alveo realizzati dallo Studio Tecnico Geom. Ugo Celotti;
- N. 5 prove in foro tipo SPT per ciascuna verticale di sondaggio;
- N. 6 analisi granulometriche rappresentative dei depositi presenti in alveo. I campioni sono stati prelevati per conto di UCA;
- N. 2 indagini sismiche di tipo MASW realizzati dallo Studio Tecnico Geom. Ugo Celotti.

I risultati delle indagini vengono di seguito espressi in termini di parametri caratteristici o medi per ciascuna unità litotecnica presente, così da essere in conformità con le Norme Tecniche per le Costruzioni - Decreto Ministeriale 14/01/2018 e permettere la valutazione della compatibilità geologica.

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area in cui saranno effettuati gli interventi è ubicata appena a monte della confluenza del torrente Lisora e appena a valle della zona golenale in sponda destra idrografica, tra le sezioni 3638 e 3873 del rilievo morfologico svizzero. La testa della prima rampa, quella di monte, è situata alla fine della golena, così da preservare la golena stessa (golena di importanza nazionale) e da evitare di costruire le rampe dove la sezione mostra larghezze superiori ai 40 m.

Le opere ricadono in parte in territorio italiano, in Comune di Cadegliano Viconago, ed in parte in territorio svizzero, tra i comuni di Croglio e Monteggio.

La figura seguente riporta la vista aerea dell'area di interesse, dove è evidenziata la rampa AIPO oggetto della presente relazione oltre alla rampa UCA.

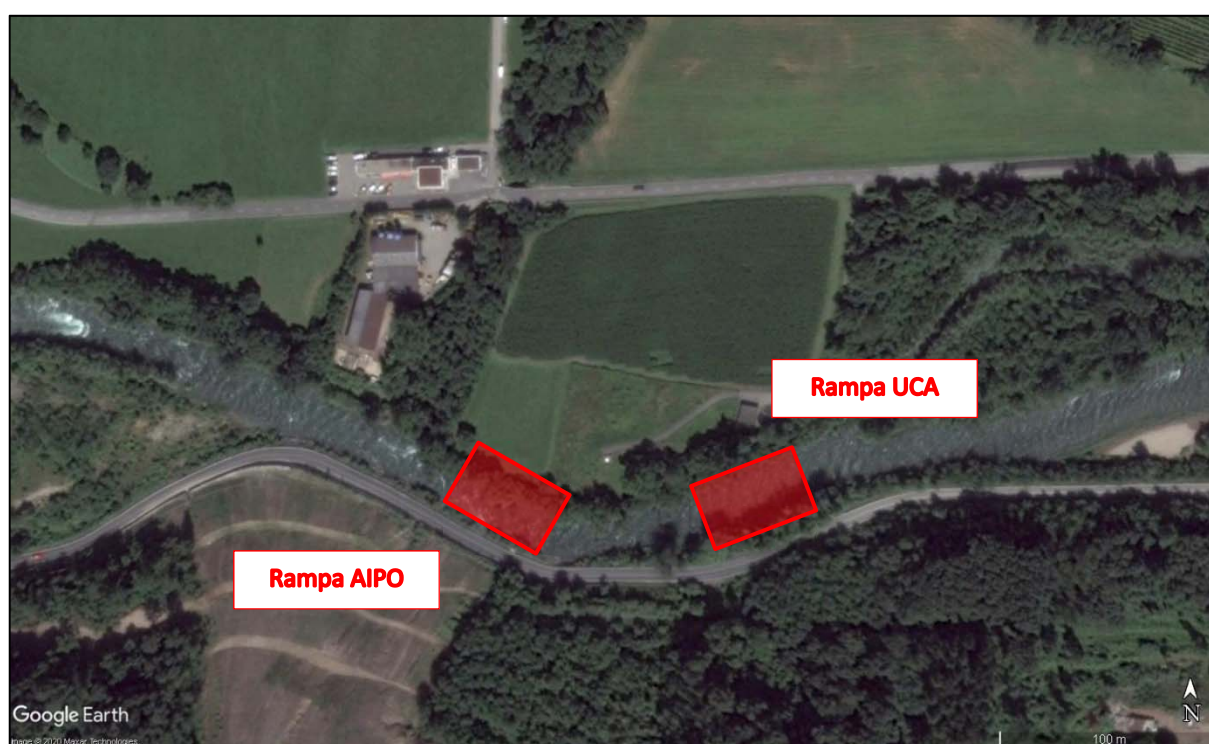


Figura 1 - Vista aerea dell'area di studio. In rosso l'ubicazione indicativa delle opere previste.

3 DESCRIZIONE DELLE OPERE

Le attività di cui alla presente, previste nell'ambito del Progetto Interreg Fiume Tresa e relative agli interventi di stabilizzazione della sezione d'alveo, consistono nella realizzazione di una rampa di fondo in blocchi dinamica ubicata poco a monte della confluenza della Lisora (sezioni 3638 e 3873 del rilievo morfologico svizzero). Poco a monte verrà realizzata la rampa UCA.

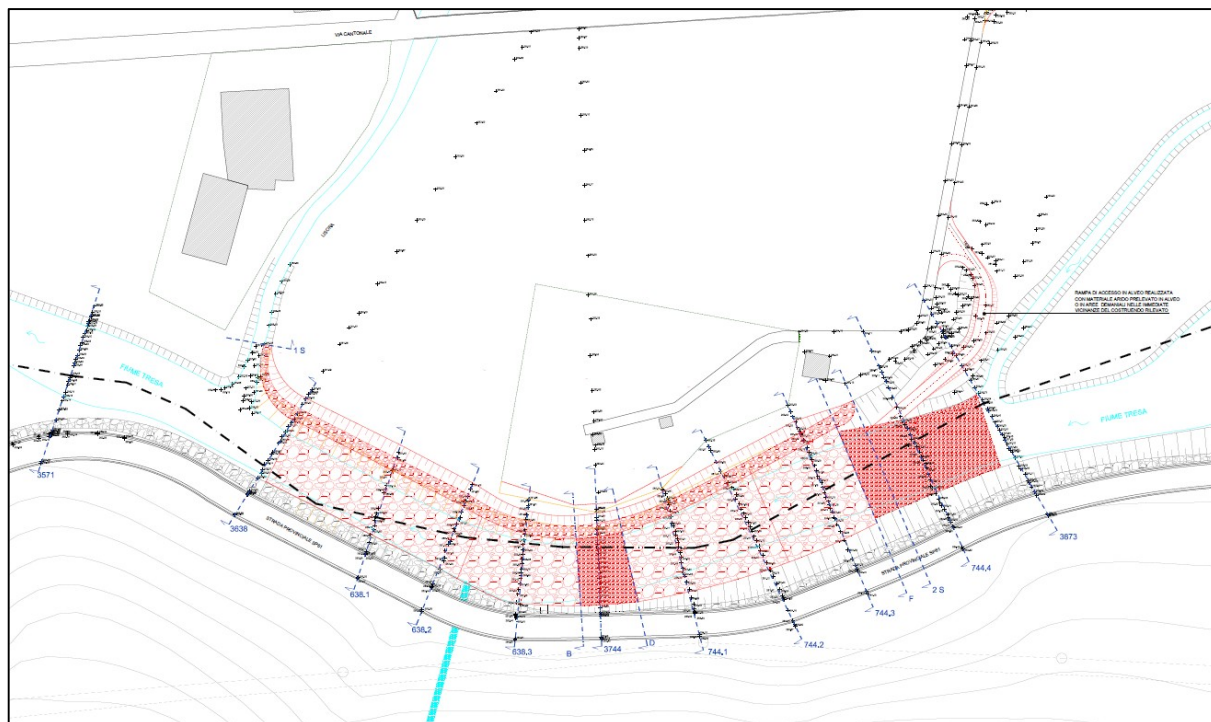


Figura 2 - Planimetria di progetto

Il dislivello esistente da superare con le rampe dinamiche di fondo è pari a circa 4.5 m e verrà distribuito più o meno equamente fra i due manufatti (rampa AIPO e rampa UCA).

Secondo le indicazioni fornite da Laboratorium 3D, laboratorio specializzato nella simulazione delle dinamiche fluviali sito in Biasca (CH), ogni rampa (evidenziata in colore arancione nell'immagine sotto riportata) avrà subito a monte una zona tampone (evidenziata in colore giallo nell'immagine) che permetterà ad ognuna delle rampe stesse di raggiungere una pendenza stabile dopo i primi eventi di piena. A monte delle zone tampone sono previste delle zone di transizione per il raccordo con le quote di fondo alveo esistenti.

La sezione dell'alveo verrà allargata tra le sezioni 3638 e 3744 in destra idrografica in modo da garantire una larghezza minima della sezione dell'alveo alla base di 20 m al fine di ridurre il carico dovuto alla portata specifica agente sulle rampe.

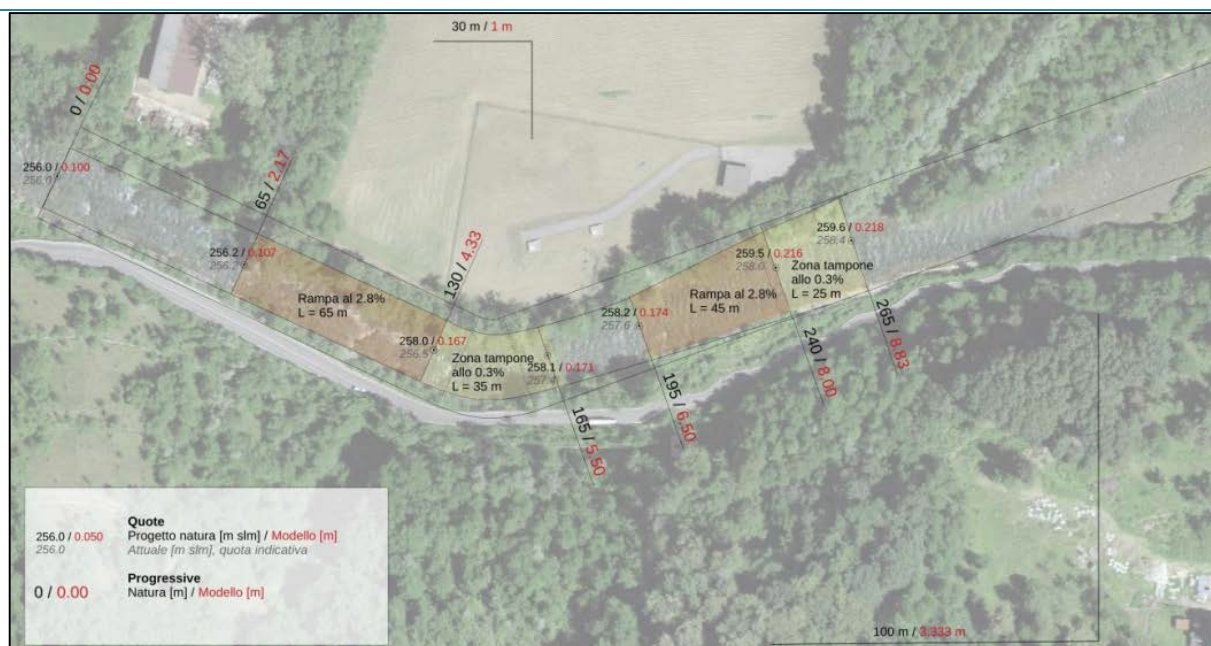


Figura 3 - Piano di ubicazione delle rampe di fondo fornito da Laboratorio 3D

Con riferimento alla rampa AIPo, quindi, le diverse zone avranno le seguenti caratteristiche:

- zona transizione (rampa UCA-rampa AIPo), lunghezza 30 m e pendenza 0.3%
- zona tampone rampa AIPo, lunghezza 35 m e pendenza 0.3%
- rampa AIPo, lunghezza 65 m e pendenza 2.8%

Lo scopo è che la rampa AIPo, avente inizialmente una pendenza al 2.8% con zona tampone a monte allo 0.3%, si strutturi e raggiunga una pendenza "stabile" (dopo piene di una certa entità) pari a circa il 2%, per una lunghezza totale di ca. 100 m.

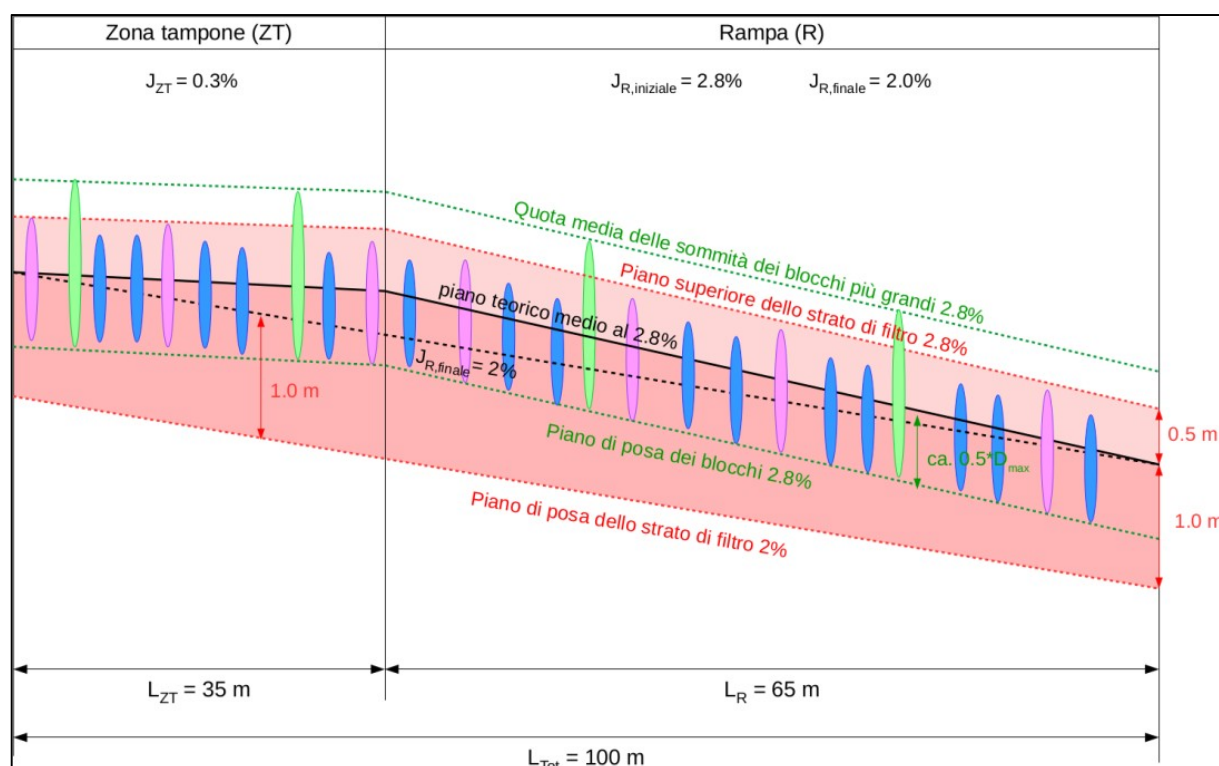


Figura 4 - Schema profilo longitudinale rampa fornito da Laboratorio 3D

La rampa sarà costituita dal seguente materiale:

- materiale di fondo: granulometria 0-340mm;
- massi:
 - blocchi di diametro sferico equivalente pari a 0.70 m (massa ca. 0.5 t e volume ca. 0.18 m3 l'uno), con una densità di posa pari a 44 pz/100 m2;
 - blocchi di diametro sferico equivalente pari a 1.0 m (massa ca. 1.4 t e volume ca. 0.52 m3 l'uno), con una densità di posa pari a 15 pz/100 m2;
 - blocchi di diametro sferico equivalente pari a 1.35 m (massa ca. 3.4 t e volume ca. 1.29 m3 l'uno), con una densità di posa pari a 3 pz/100 m2;
- materiale zone di transizione: materiale prelevato dal fiume Tresa non vagliato.

A seguito della realizzazione delle rampe di fondo e della relativa stabilizzazione, il greto dell'alveo presenterà una quota compresa fra l'alveo medio del 2003 e quello del 2015, andando quindi a creare fra la foce del Lisora e la fine della zona golenale in destra idrografica un innalzamento dell'alveo attuale compreso fra il metro ed il metro e mezzo circa. In tal modo, oltre a stabilizzare in modo importante il piede delle arginature presenti lungo le due sponde del fiume Tresa, verrà innalzata la quota della falda, migliorando la situazione dei pozzi di captazione dell'acqua potabile delle Gerre, e verranno migliorate le condizioni idrologiche nella zona golenale aumentandone la biodiversità.

4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GEOMORFOLOGICO

Dal punto di vista geomorfologico l'area d'interesse ricade in un contesto di fondovalle caratterizzato da presenza di depositi alluvionali misti a depositi di versante. L'area del fondo valle ha una pendenza relativamente blanda in direzione E-W.

A nord dell'area d'interesse sono presenti dei prati a medio-bassa acclività che si impostano sulle pendici di alcune conoidi provenienti dal versante settentrionale della valle del Tresa. Lungo il versante Sud sono invece presenti i dissesti afferenti alla frana di Cremenaga le cui pendici ricadono ai bordi dell'alveo del fiume Tresa (Figura 5).

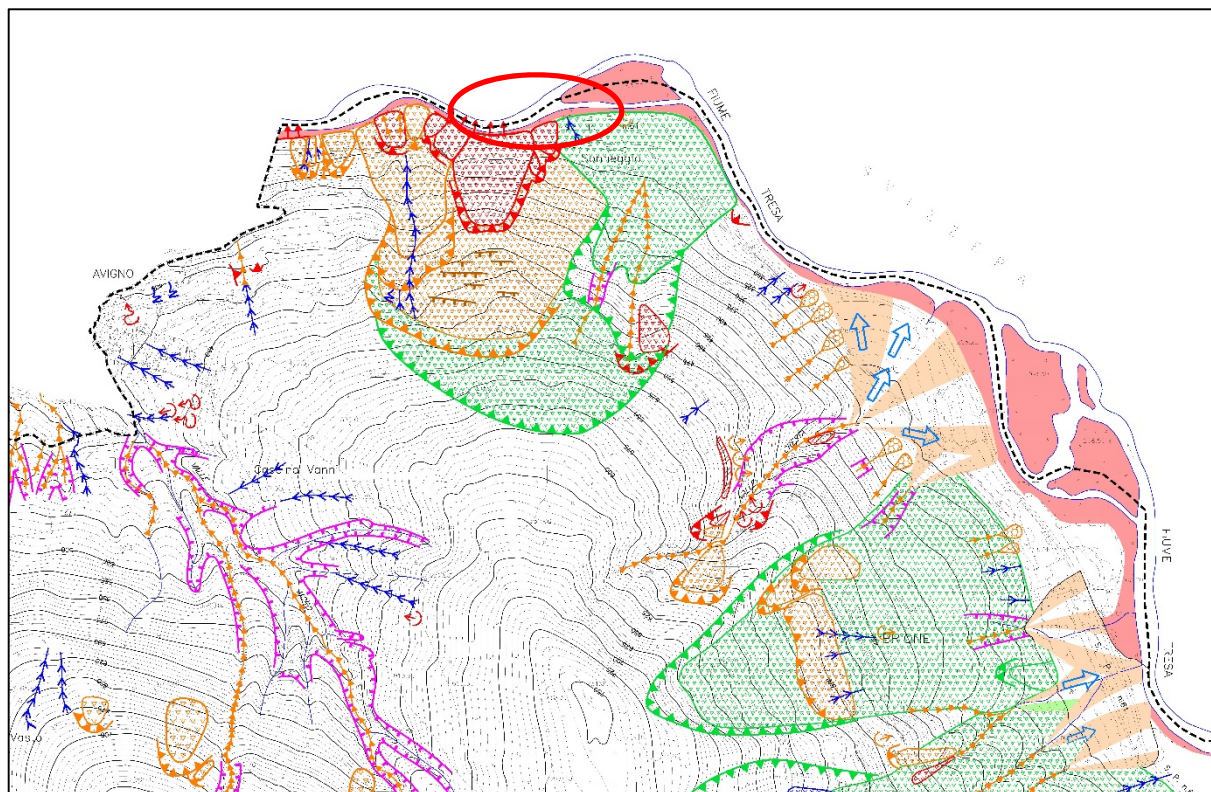


Figura 5 – Estratto della Carta Geomorfologica del P.G.T. del Comune di Cadegliano Viconago.

Dal punto di vista geologico, l'area d'interesse è caratterizzata dalla presenza di termini metamorfici della Serie dei Laghi diffusamente ricoperti da depositi quaternari.

Il substrato metamorfico, appartenente al domino strutturale subalpino e denominato Serie dei Laghi, è suddiviso in due distinti domini litologici, la Zona Strona-Ceneri (settore nord) e gli Scisti dei Laghi (settore sud), separati da un orizzonte continuo di anfiboliti. Le rocce presenti nell'area di studio appartengono agli Scisti dei Laghi e sono costituite da micascisti e paragneiss a biotite, muscovite e, localmente, granato, con intercalazioni di ortogneiss ('Augen'-gneiss) e gneiss a grana fine (gneiss minuti). La genesi è legata ad un metamorfismo prealpino in facies anfibolitica, con paragenesi caratterizzate da plagioclasio calcico, biotite e granato, a cui può essere associata staurolite e, localmente, cianite.

L'assetto tettonico degli Scisti dei Laghi è complesso e poco noto; fino agli anni '70 era considerato come una struttura monoclinale con immersione prevalente verso est.

L'area è caratterizzata dalla stretta vicinanza della Linea del Tresa, elemento tettonico di età alpina che corre in direzione ENE-WSW alla base del versante sinistro della valle del fiume Tresa ad ovest di Cremenaga.

Secondo la Carta tettonica delle Alpi Meridionali (Castellarin et al., 1981), esso è segnato "da una stretta fascia permo-triassica entro il basamento scistoso cristallino che a sud è sollevato in faglia inversa sulla fascia permo-triassica".

Studi più recenti forniscono una diversa interpretazione di questo lineamento. Secondo Schumacher (1993) la Linea del Tresa corrisponderebbe ad una faglia trascorrente destra e le valli con direzione NNW-SSE che solcano il versante sud della valle del Tresa sono interpretate come faglie trascorrenti antitetiche (conjugates Riedel shear), disposte ad alto angolo rispetto alle principali direzioni di taglio. Quest'interpretazione è rafforzata dalla presenza, lungo la prosecuzione della linea nella dorsale del M. Pian Nave, di lineamenti con orientazione E-W, geometricamente congruenti con le faglie sintetiche a medio angolo previste nella deformazione associata a fenomeni di trascorrenza crostale (Riedel shear).

A scala chilometrica, le giaciture della scistosità a nord della linea del Tresa immergono tra ovest e sudovest, mentre a sud immergono verso sud e sudest.

In particolare, nell'area d'interesse si riconoscono le seguenti unità suddivise tra substrato roccioso e depositi quaternari.

4.1 Substrato

Le rocce affioranti lungo il versante in sinistra idrografica sono formate unicamente da metamorfiti degli Scisti dei Laghi. Le litologie più diffuse presentano una scistosità più o meno marcata, conferita dall'alternanza di letti quarzoso-feldspatici e micacei, i cui spessori ed abbondanze relative determinano la differente classificazione.

Si distinguono:

- Micascisti: rocce fortemente scistose con superfici fresche traslucide di prevalente colore grigio o grigio scuro e superfici esposte di un tipico colore ruggine. Lo spessore dei letti è nell'ordine dei decimi di millimetro; l'abbondanza di minerali scistogeni (muscovite e biotite) ne determina l'aspetto traslucido e l'elevata sfaldabilità.
- Gneiss minuti (gneiss micascistosi): rocce a scistosità meno accentuata delle precedenti, con superfici fresche di colore grigio argenteo, caratterizzate da letti quarzoso-feldspatici di spessore millimetrico e da letti muscovitici submillimetrici. La prevalenza della componente quarzoso-feldspatica determina la riduzione della scistosità e migliori caratteristiche geomeccaniche.

Tra le due litologie esistono rapporti transizionali, determinati dalle variazioni nei rapporti quantitativi tra minerali quarzosi e micacei; nell'ambito degli gneiss minuti sono comuni intercalazioni micascistose di spessore centimetrico.

4.2 Depositi superficiali (Quaternari)

La sfavorevole morfologia dell'area in esame, coincidente quasi interamente con un versante ad elevata acclività, ha portato allo smantellamento quasi completo dei depositi quaternari, che, pur rivestendo ampie superfici, ammontano, complessivamente, a volumi modesti.

Si distinguono due tipologie prevalenti: 1) depositi di versante; 2) depositi fluviali e lacustri.

- 1) i depositi di versante s.l. sono costituiti, in misura prevalente, da frammenti subarrotondati di rocce metamorfiche, ricompresi in una matrice sabbioso limosa, di colore bruno (7,5YR), unificata nelle porzioni superficiali. Formano coperture pellicolari sui versanti e solo in favorevoli condizioni topografiche raggiungono spessori significativi (oltre 4 m). Sono interpretabili come depositi colluviali o colate (debris flow).
- 2) in corrispondenza del fondovalle del fiume Tresa sono presenti depositi fluviali a bassa energia, che, in conformità a quanto emerso dai sondaggi, passano in profondità a depositi lacustri. Litologicamente sono formati da alternanze complesse di sabbie, limi e, in netto subordinate, limi argillosi (per maggior dettagli si rimanda al paragrafo 'Indagini geognostiche'). Nonostante i

sondaggi fossero in posizione completamente laterale rispetto al fondovalle, in corrispondenza della base del versante, lo spessore dei depositi è risultato di almeno 60 m.

Nelle figure seguenti vengono riportati gli estratti della Carta Geologica del P.G.T. del Comune di Cadegliano Viconago e, relativamente al settore oltre confine dell'area d'interesse, della Carta Geologica Svizzera (1:25000) consultabile sul portale <https://map.geo.admin.ch>.

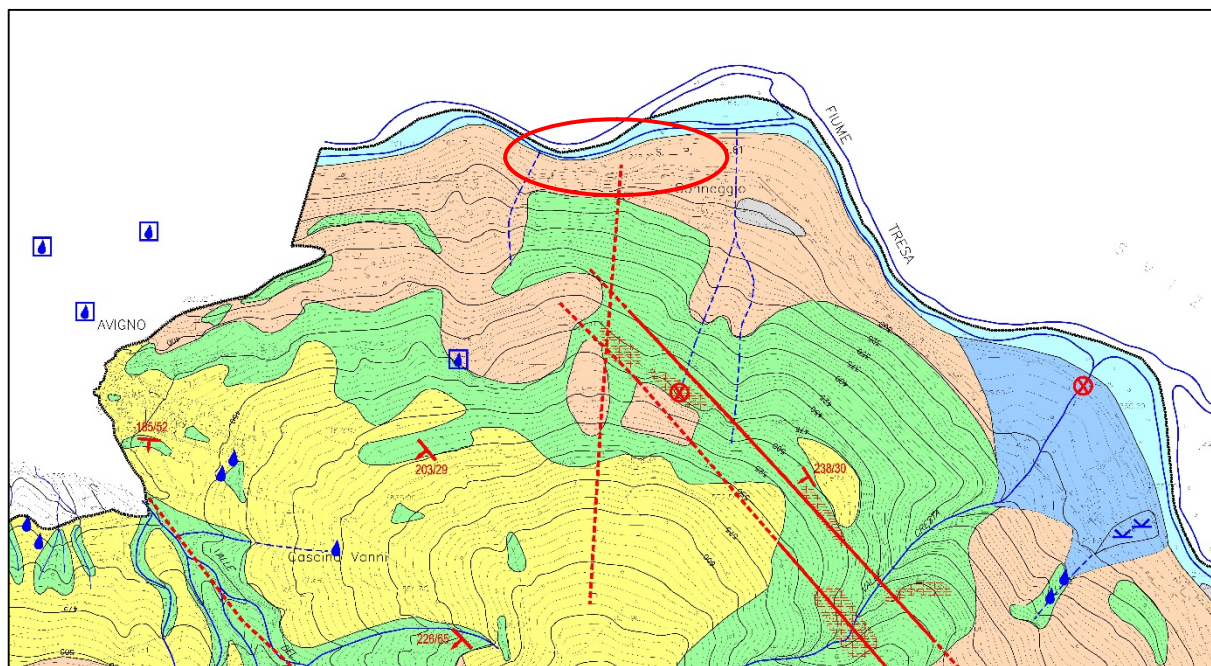


Figura 6 - Estratto della Carta Geologica del P.G.T. del Comune di Cadegliano Viconago.

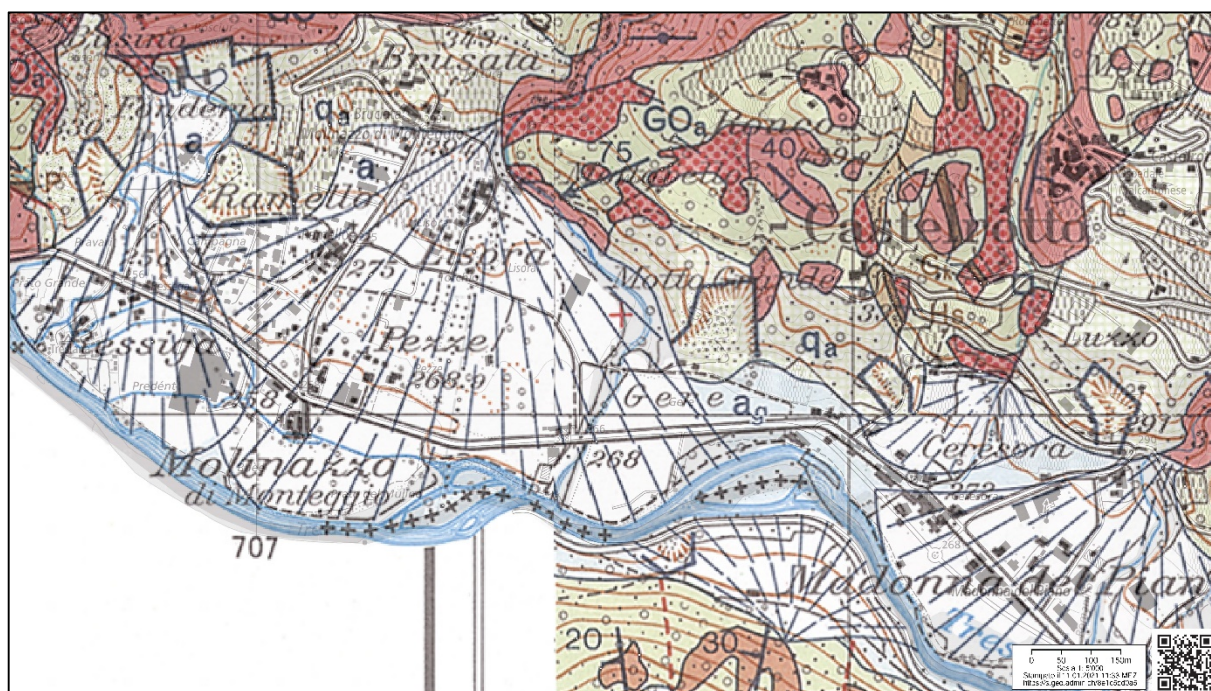


Figura 7 - Estratto della Carta Geologica Svizzera Scala 1:25000 (Fonte: <https://map.geo.admin.ch>).

4.3 Indagini Geognostiche

Per la definizione delle caratteristiche geologiche e litologiche sito specifiche sono stati realizzati due sondaggi geognostici a carotaggio continuo ubicati come riportato nella seguente figura 8.

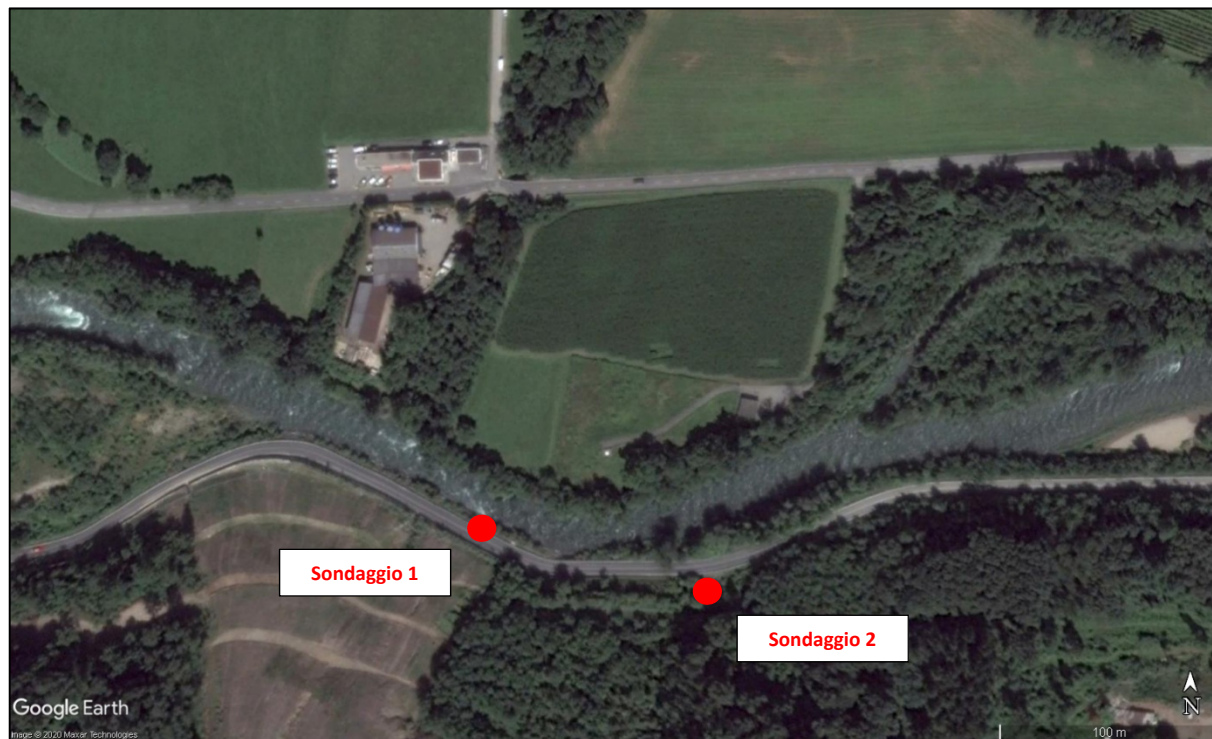
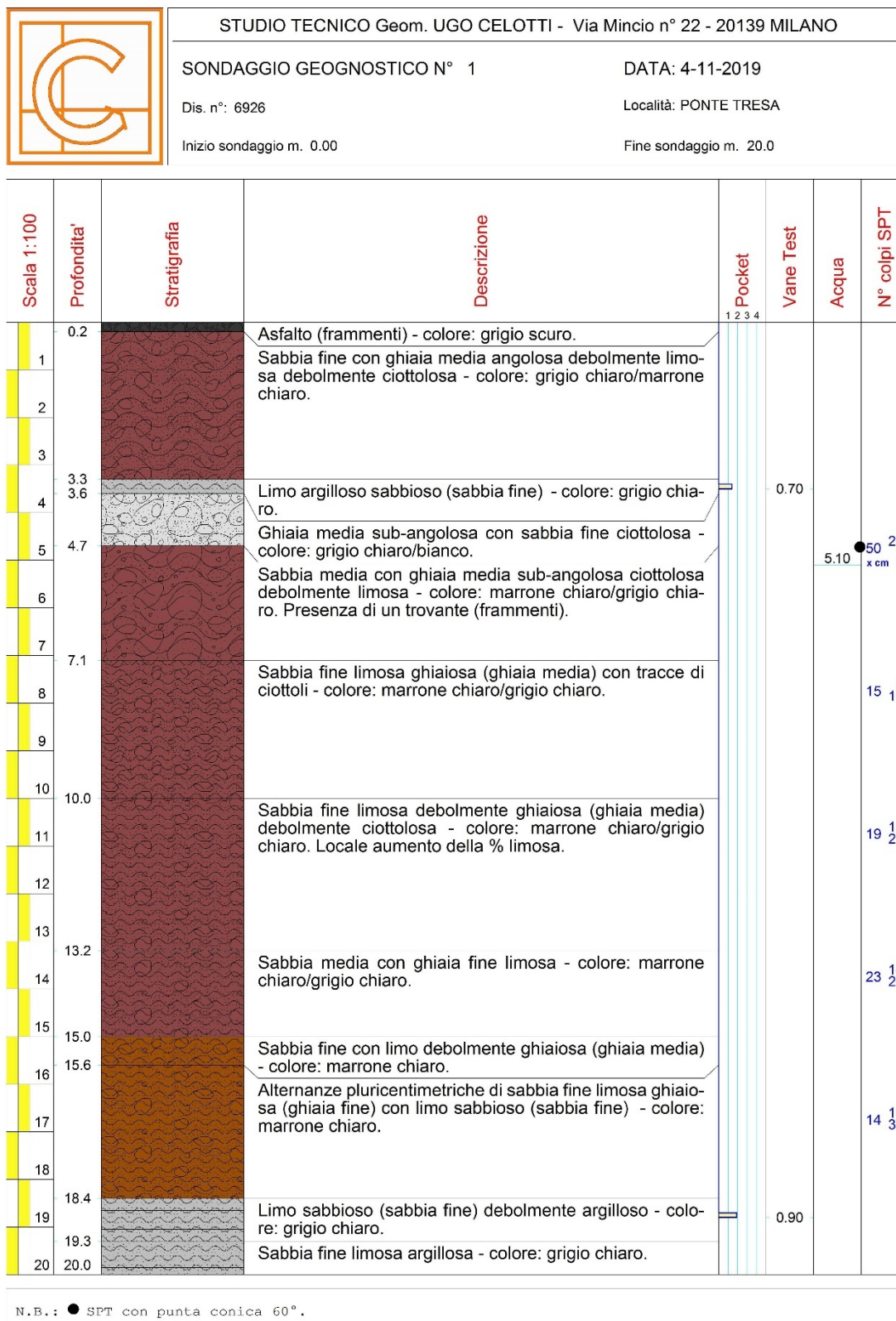



Figura 8 – Ubicazione dei sondaggi geognostici

I sondaggi, realizzati dallo Studio Tecnico Geom. Ugo Celotti, sono stati realizzati tramite una sonda cingolata dotata di un sistema a rotazione a secco. La perforazione è stata effettuata con un carotiere semplice da 131 mm seguito da un rivestimento da 152 mm spinto fino alla profondità prevista pari a 20.0 m da p.c. I terreni estratti sono stati riposti in apposite cassette catalogatrici per permetterne la descrizione stratigrafica ed il campionamento. Di seguito si riportano i risultati stratigrafici relativi ai sondaggi eseguiti tra il 30/10/2019 ed il 04/11/2019.

I terreni attraversati sono costituiti principalmente da sabbie con ghiaia in percentuale variabile entro i primi 15/18 m da p.c. seguite da livelli di limi e sabbie, localmente argillosi e/o ghiaiosi, fino a 20 m da p.c.



	STUDIO TECNICO Geom. UGO CELOTTI - Via Mincio n° 22 - 20139 MILANO					
	SONDAGGIO GEOGNOSTICO N° 2			DATA: 30-10-2019		
	Dis. n°: 6926			Località: PONTE TRESA		
	Inizio sondaggio m. 0.00			Fine sondaggio m. 20.0		

Scala 1:100	Profondità	Stratigrafia	Descrizione	Pocket 1 2 3 4	Vane Test	Acqua	N° colpi SPT
1	0.2		Asfalto con frammenti di cemento - colore: grigio.				
2			Sabbia media con ghiaia media sub-angolosa debolmente ciottolosa debolmente limosa - colore: marrone chiaro/grigio.				
3	3.1		Sabbia fine ghiaiosa debolmente limosa - colore: marrone chiaro/grigio chiaro.				11 8
4							
5	5.2		Sabbia fine limosa ghiaiosa (ghiaia media) con tracce di ciottoli - colore: marrone chiaro.			5.10	
6							17 11
7							19
8	8.3		Sabbia media con ghiaia media debolmente limosa debolmente ciottolosa - colore: grigio chiaro/marrone chiaro. Locale aumento della % limosa.				22 14
9							22
10	11.0		Sabbia fine limosa ghiaiosa (ghiaia media) debolmente ciottolosa - colore: marrone chiaro/grigio chiaro.				
11							
12	12.4		Sabbia media con ghiaia media debolmente limosa - colore: marrone chiaro/grigio chiaro. Tracce di ciottoli.				29 15
13							32
14	13.8		Sabbia media con ghiaia media limosa - colore: marrone chiaro/grigio chiaro.				
15							
16	15.7		Limo sabbioso (sabbia fine) argilloso - colore: grigio chiaro.		0.60		23 10
17	16.2		Sabbia fine limosa ghiaiosa (ghiaia media) - colore: grigio chiaro.		0.70		35
18	17.9		Alternanze pluricentriche di limo sabbioso (sabbia fine) argilloso con sabbia fine limosa debolmente ghiaiosa (ghiaia fine) - colore: grigio chiaro.		0.60		
19					0.70		
20	20.0						

N.B.: ● SPT con punta conica 60°.

5 INQUADRAMENTO SISMICO

In data 31/10/2019 è stata eseguita, dallo Studio Tecnico Geom. Ugo Celotti, una campagna di prospezioni sismiche lungo la sponda destra del fiume Tresa in corrispondenza dell'ubicazione delle opere in progetto.

La campagna di prospezione è consistita nell'esecuzione di N.2 profili sismici a rifrazione in onde P con elaborazione tomografica in prossimità della rampa AIPO (stendimento ST1) e della rampa UCA (stendimento ST2) come riportato in figura 9.



Figura 9 – Ubicazione degli stendimenti sismici.

Nei seguenti paragrafi si riportano le modalità di esecuzione delle indagini e le conseguenti elaborazioni.

5.1 Profili sismici a rifrazione in onde P

Il rilievo sismico a rifrazione è un metodo di indagine basato sulla misura del tempo di transito che le onde elastiche (onde P), generate dalla superficie in un punto-sorgente, impiegano per raggiungere dei ricevitori (geofoni con frequenza propria pari a 4.5 Hz).

Questi sono disposti sempre sulla superficie, con una geometria definita rispetto al punto di energizzazione: le distanze tra i geofoni sono definite in riferimento al dettaglio che si intende conseguire ed alle condizioni logistiche dell'area di investigazione (ubicazione e lunghezza di ciascuno stendimento è stata effettuata come da planimetria di progetto).

La misura dei tempi di arrivo delle onde P ai diversi geofoni (dromocrone, curve tempi/distanze) permette di ricostruire l'andamento e la profondità degli orizzonti indagati.

Nell'esecuzione del profilo sismico a rifrazione, il "time-break" o tempo zero di inizio registrazione, è stato fissato attraverso l'apertura di un circuito elettrico situato in corrispondenza del punto sorgente. Per la generazione delle onde P si è proceduto ed eseguire battute con la mazza da 8 Kg su un piattello metallico con senso di direzione verticale rispetto al piano campagna.

Le caratteristiche geometriche di acquisizione dei profili a rifrazione effettuati sono riportate di seguito.

	Linea ST1	Linea ST2
Totale punti sorgente (Shots)	7	7
Totale geofoni	24	24
Spaziatura geofoni	3.0 m	2.0 m
Shots esterni	2, primo e ultimo geofono	
Shots interni	5, ogni 4 geofoni	

Per ciascun punto sorgente (shot) sono state eseguite più ripetizioni dell'energizzazione, successivamente sommate, al fine di aumentare il rapporto segnale/rumore ed identificare chiaramente i primi arrivi (processo di stacking).

5.2 Elaborazioni

I profili sismici a rifrazione hanno consentito la ricostruzione sismo-stratigrafica dei terreni che costituiscono le aree d'indagine come riportati nella seguente figura.

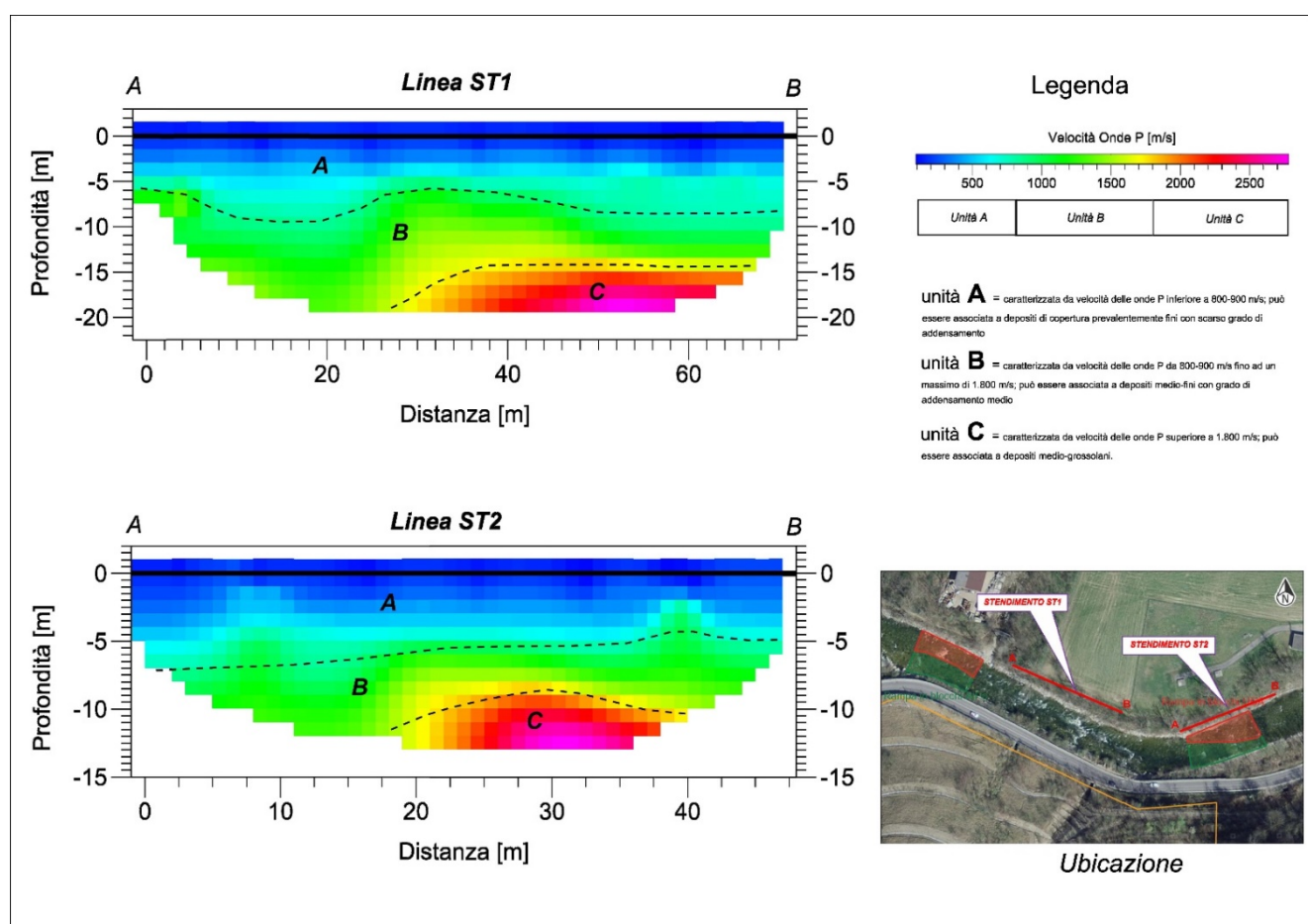


Figura 10 – Ricostruzione sismo-stratigrafica con indicazioni dei limiti tra le differenti unità.

L'elaborazione tomografica dei profili ha permesso il riconoscimento di n. 3 principali unità sismostratigrafiche, così suddivisibili sulla base del valore della velocità delle onde P:

- **Unità A:** caratterizzata da velocità delle onde P inferiore a 800-900 m/s; può essere associata a depositi di copertura prevalentemente fini con scarso grado di addensamento;

- **Unità B:** caratterizzata da velocità delle onde P da 800-900 m/s fino ad un massimo di 1.800 m/s; può essere associata a depositi sciolti medio-fini con grado di addensamento medio;
- **Unità C:** caratterizzata da velocità delle onde P superiore a 1.800 m/s; può essere associata a depositi medio-grossolani.

6 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

La caratterizzazione geotecnica dei terreni è stata effettuata tramite 10 prove SPT, 5 per verticale di sondaggio, eseguite a 4.5 – 7.5 – 10.5 – 13.5 – 16.5 m da p.c. Inoltre gli Enti svizzeri hanno eseguito un campionamento dei terreni in alveo, e nelle porzioni limitrofe, al fine di determinarne le caratteristiche granulometriche.

Di seguito vengono presentate le metodologie utilizzate ed i risultati ottenuti.

6.1 Prove SPT in Foro

Le prove SPT (Standard Penetration Test) consistono nell'infissione a percussione nel terreno, mediante un apposito maglio e per un dato avanzamento, di uno speciale campionatore o una punta conica (a seconda della granulometria del materiale testato), determinando così la resistenza meccanica del terreno alla penetrazione.

Per la descrizione dell'attrezzatura e della prova si rimanda alle raccomandazioni dell'Associazione Geotecnica Italiana (Raccomandazioni per le Indagini Geotecniche, 1977) e dell'Associazione Geotecnica Internazionale (ISSMFE).

Nella tabella seguente si riportano la profondità di esecuzione delle singole prove, il numero di colpi per avanzamento (15 cm) ed il numero di NSPT30. Per la definizione dei parametri meccanici, i terreni indagati sono stati inoltre classificati sulla base della litologia, distinguendo quelli coesivi da quelli incoerenti.

ID Sondaggio	Prof. SPT (m da p.c.)	N. Colpi per Avanzamento (15 cm)	N _{SPT30}
S01	4.5	21 – 50 (9 cm)	n.a.
	7.5	9 – 15 - 16	31
	10.5	12 – 19 - 21	40
	13.5	14 – 23 - 26	49
	16.5	16 – 14 - 37	51
S02	4.5	8 – 11 – 7	18
	7.5	11 – 17 – 19	36
	10.5	14 – 22 – 22	44
	13.5	15 – 29 – 32	61
	16.5	10 – 23 - 35	58

I dati acquisiti sono stati interpretati tramite foglio di calcolo che tiene conto delle principali correlazioni note in bibliografia, sono quindi stati definiti i principali parametri geotecnici del terreno come di seguito riportato.

ID Sondaggio	Prof. Prova (m da p.c.)	Densità relativa (%)	Modulo elastico (Mpa)	Angolo di attrito interno (°)	Modulo edometrico (MPa)
		Skempton(1986)	Terzaghi	De Mello	Malcev3
S01	7.5	57.74	31.3	30.0	24.7
	10.5	65.83	35.7	31.0	31.0
	13.5	73.03	39.6	31.8	37.3
	16.5	74.16	40.2	31.9	38.3

ID Sondaggio	Prof. Prova (m da p.c.)	Densità relativa (%)	Modulo elastico (Mpa)	Angolo di attrito interno (°)	Modulo edometrico (MPa)
		Skempton(1986)	Terzaghi	De Mello	Malcev3
S02	4.5	44.72	24.2	28.1	16.4
	7.5	61.91	33.6	30.5	27.9
	10.5	69.52	37.7	31.4	34.1
	13.5	81.65	44.3	32.6	45.6
	16.5	79.58	43.2	32.4	43.5

I valori ottenuti dalle prove SPT rispecchiano le caratteristiche dei terreni attraversati. I valori di SPT evidenziano qualità geotecniche dei terreni di fondazione da discrete a buone.

6.2 Prove geotecniche di laboratorio

Ai fini della caratterizzazione geotecnica dei terreni interessati dalle opere in progetto sono stati prelevati n. 6 campioni per la determinazione della curva granulometrica dei depositi di alveo. I campioni prelevati sono relativi alle seguenti tipologie di depositi:

- Depositi alluvionali s.l.;
- Corazzamento dell'alveo;
- Materiali di sottofondo dell'alveo.

Le analisi effettuate hanno evidenziato le seguenti distribuzioni granulometriche relativamente agli ambiti campionati.

	Descrizione	Argilla (%)	Limo (%)	Sabbia (%)	Ghiaia (%)	Ciottoli (%)	Classificazione AGI
C1	Depositi Alluvionali	0.0	0.0	15.0	53.0	32.0	Ghiaia con ciottoli sabbiosa
C2	Depositi Alluvionali	0.0	3.0	20.0	40.0	37.0	Ghiaia con ciottoli sabbiosa debolmente limosa
C3	Corazzamento Alveo	0.0	0.0	9.0	44.0	47.0	Ciottoli con ghiaia debolmente sabbiosi
C4	Materiale di Sottofondo	0.0	1.0	16.0	50.0	33.0	Ghiaia con ciottoli sabbiosa debolmente limosa
C5	Corazzamento Alveo	0.0	1.0	10.0	45.0	44.0	Ghiaia con ciottoli sabbiosa debolmente limosa
C6	Materiale di Sottofondo	0.0	1.0	10.0	52.0	37.0	Ghiaia con ciottoli sabbiosa debolmente limosa
C3+C4	Corr. Al. + Sottofondo	0.0	1.0	11.0	48.0	40.0	Ghiaia con ciottoli sabbiosa debolmente limosa
C5+C6	Corr. Al. + Sottofondo	0.0	1.0	10.0	49.0	40.0	Ghiaia con ciottoli sabbiosa debolmente limosa

7 CONCLUSIONI

Nella presente relazione tecnica sono descritti i risultati delle indagini geologico-tecniche a supporto del Progetto Interreg ID 489165 Fiume Tresa relativo alla realizzazione della rampa AIPO. L'intervento si colloca nell'ambito delle sistemazioni idrauliche dell'alveo del fiume Tresa in corrispondenza del piede della frana di Cadegliano Viconago nel tratto compreso tra le aree golenali a Est e la confluenza del torrente Lisora a Ovest. In particolare la presente contiene ed illustra gli esiti delle indagini eseguite tra ottobre 2019 e Aprile 2020.

Di seguito si riporta una breve sintesi delle attività realizzate e dei risultati ottenuti:

- In prossimità dell'area d'intervento, lungo la S.P. 61, sono stati realizzati due sondaggi a carotaggio continuo spinti sino alla profondità di 20.0 m da p.c.; l'analisi delle stratigrafie ha permesso di evidenziare in generale la presenza di litologie costituite in prevalenza da sabbie con ghiaia in percentuale variabile entro i primi 15/18 m da p.c. seguite da livelli di limi e sabbie, localmente argillosi e/o ghiaiosi, fino a 20 m da p.c.
- Lungo le verticali di sondaggio sono state eseguite n.10 prove SPT, 5 per verticale di sondaggio, a 4.5, 7.5, 10.5, 13.5 e 16.5 m da p.c. che hanno evidenziato qualità geotecniche dei terreni da discrete a buone.
- In corrispondenza delle opere in progetto, lungo la sponda destra in territorio svizzero, sono state eseguite n. 2 indagini sismiche a rifrazione in onde P, per la definizione dei parametri sismici del suolo. Le indagini hanno evidenziato la presenza di 3 unità litologiche caratterizzate da 3 velocità differenti di propagazione delle onde P.
 - **Unità A:** caratterizzata da velocità delle onde P inferiore a 800-900 m/s; può essere associata a depositi di copertura prevalentemente fini con scarso grado di addensamento;
 - **Unità B:** caratterizzata da velocità delle onde P da 800-900 m/s fino ad un massimo di 1.800 m/s; può essere associata a depositi sciolti medio-fini con grado di addensamento medio;
 - **Unità C:** caratterizzata da velocità delle onde P superiore a 1.800 m/s; può essere associata a depositi medio-grossolani.
- Lungo l'alveo sono stati prelevati n.6 campioni di terreno rimaneggiati per la determinazione delle curve granulometriche specifiche. I campioni prelevati risultano essere costituiti perlopiù da ghiaie con ciottoli sabbiose localmente debolmente limose (classificazione AGI).

In conclusione i caratteri geologici dei terreni interessati dalla realizzazione delle opere non presentano controindicazioni all'esecuzione del progetto purché nel dimensionamento delle opere di fondazione vengano tenuti in considerazione i parametri desunti dall'indagine geotecnica e la moderata eterogeneità verticale e laterale dei terreni che caratterizzano l'ambito di progetto.

Varese, 02/08/2021

Dott. Geol. P.D. Fantoni

