

Nuovo collegamento stradale tra la tangenziale sud di Vicenza e la viabilità ordinaria dei comuni di Arcugnano e Altavilla in provincia di Vicenza

PROGETTO DEFINITIVO

DATA	Febbraio 2022
CUP	G91B07000410005
WBS	B26.ARCUGN

Responsabile Unico
del Procedimento
Arch. Roberto Beaco

AUTOSTRADA BRESCIA-VERONA-VICENZA-PADOVA S.p.A
Funzione Costruzioni Autostradali

Direttore di Esecuzione
del Contratto
Arch. Mirco Panarotto

R.T.I.



Archeologo



Stefano TUZZATO

PROGETTISTA E RESPONSABILE INTEGRAZIONE TRA LE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE: Ing. Francesco Nicchiarelli
CAPO PROGETTO: Ing. Umberto Lugli

ELABORATO **GEOLOGIA, GEOTECNICA E SISMICA**
CAMPAGNE DI INDAGINE GEOGNOSTICA ED AMBIENTALE
Campagna 2022 - Realzione di sintesi

SCALA	-
NOME FILE	ARCUGN-VNHT-HGT-S0_ZZ-ZZ00_Z-TR-VT-0004

Project	Originator	Volume	Location	Type	Role	Number	Suitability	Revision
ARCUGN	VNHT	HGT	S0_ZZZZZ00_Z	TR	VT	0004	D00S4	P01

Rev.	Data	Descrizione	Redazione	Controllo	Approvazione
P01	17-02-2022	Emissione	M. LANZINI	L. MARCANIO	F. NICCHIARELLI

SOGGETTO ATTUATORE:



SERVIZI DI PROGETTAZIONE DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA, DEFINITIVA ED ESECUTIVA, PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:
"NUOVO COLLEGAMENTO STRADALE TRA LA TANGENZIALE SUD DI VICENZA E LA VIABILITÀ ORDINARIA DEI COMUNI DI ARCUGNANO E ALTAVILLA IN PROVINCIA DI VICENZA".
CODICE CIG: 82111528FB CUP: G91B07000410005

INDAGINI GEOGNOSTICHE ED AMBIENTALI

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO: Arch. Roberto Beaco

PROGETTAZIONE: R.T.I.



RELAZIONE DI SINTESI DELLE INDAGINI

DATA

Dicembre 2021

Dott. Ing. **Daide Splendore**

Albo degli ingegneri

della Provincia di Padova N. 4933



SOMMARIO

1.	PREMESSA.....	3
2.	DESCRIZIONE SINTETICA DELLE ATTIVITA'	4
3.	INDAGINI GEOGNOSTICHE	6
3.1	Prove penetrometriche statiche con piezocono	6
3.1.1	Prove di dissipazione	8
3.2	Sondaggi Geognostici.....	9
3.2.1	Modalità esecutive	10
3.2.2	Standard Penetration Test	12
3.2.3	Prove di permeabilità in foro	12
3.2.4	Prelievo di campioni e prove geotecniche di laboratorio	13
3.2.5	Strumentazione in foro	15
3.2.6	Misure piezometriche.....	15
3.3	Pozzetti e prove di carico su piastra	16
4.	INDAGINI GEOFISICHE.....	18
4.1	Risultati	19
5.	AGGRESSIVITA' AL CALCESTRUZZO	20
6.	INDAGINI AMBIENTALI.....	22
6.1	Campionamento terreni e acque di falda.....	22
6.2	Analisi chimiche	24
6.3	Risultati	27

ALLEGATI

Allegato 0 - Indagine georadar.

Allegato 1 - Prove penetrometriche CPTU e prove di dissipazione.

Allegato 2 - Sondaggi geognostici e prove di permeabilità Lefranc.

Allegato 3 - Pozzetti esplorativi e prove di carico su piastra.

Allegato 4 - Indagini geofisiche: MASW + DH.

Allegato 5 - Prove geotecniche in laboratorio.

Allegato 6 - Analisi chimiche UNI EN 206-1:2006

Allegato 7 - Analisi chimiche ambientali.

1. PREMESSA

Nell'ambito dei servizi di progettazione di fattibilità tecnica ed economica, definitiva ed esecutiva del "Nuovo collegamento tra la tangenziale sud di Vicenza e la viabilità ordinaria nei comuni di Arcugnano e Altavilla in provincia di Vicenza", la scrivente Geolavori S.r.l. ha ricevuto incarico dal R.T.P. Via Ingegneria S.r.l. (Mandatara), Net Engineering S.p.A., HMR S.r.l., archeologo Stefano Tuzzato (mandanti), per l'esecuzione delle Indagini Geognostiche ed Ambientali.

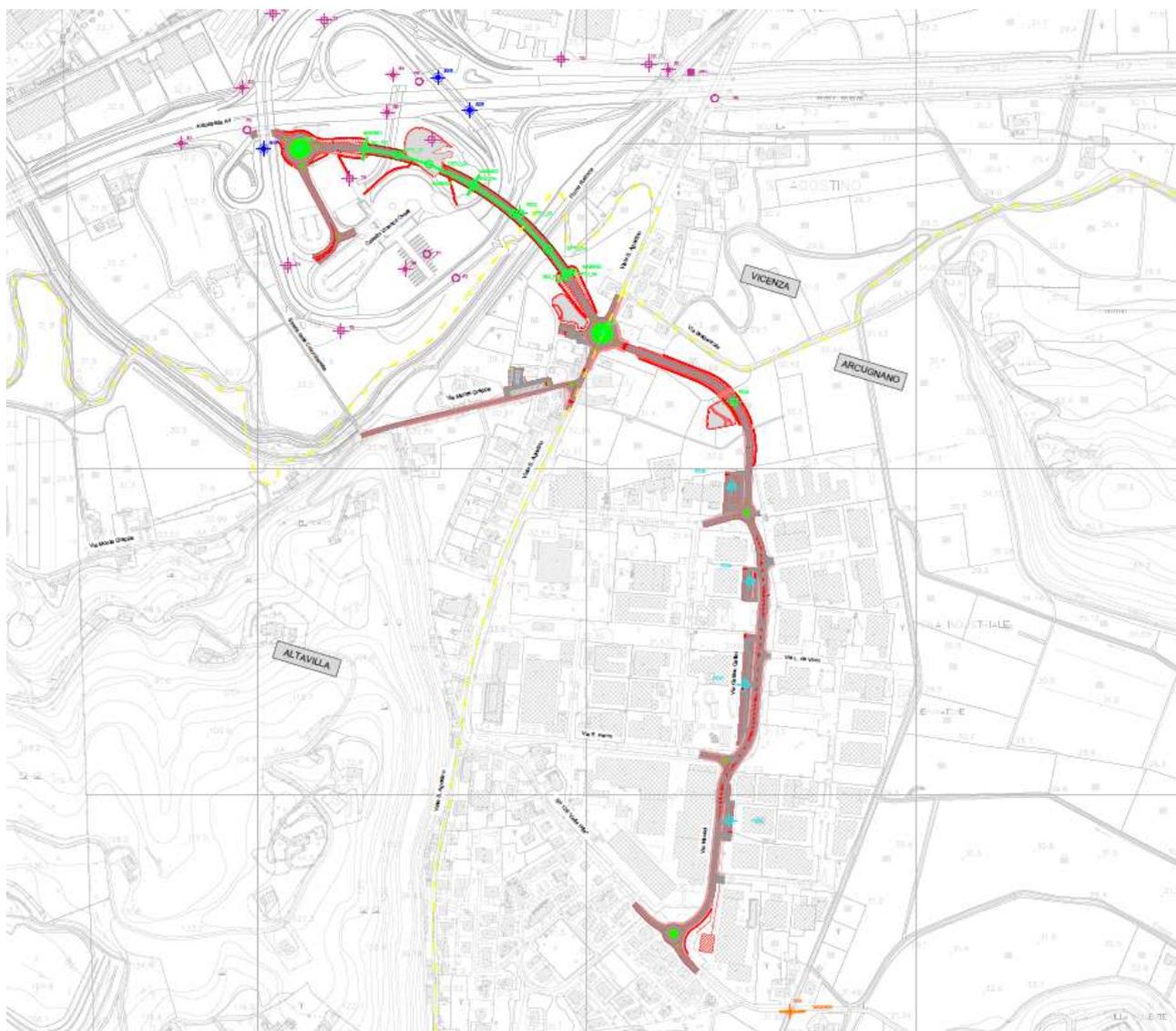


Figura 1. Stralcio della tavola di progetto "Geologia, geotecnica e sismica"

2. DESCRIZIONE SINTETICA DELLE ATTIVITA'

Le attività hanno compreso l'esecuzione di indagini geognostiche, geotecniche e idrogeologiche ubicate in corrispondenza delle nuove infrastrutture, indagini geofisiche per una più ampia valutazione stratigrafica dei terreni e per la caratterizzazione sismica del sottosuolo, ed indagini ambientali la valutazione dello stato di contaminazione dei suoli e delle acque sotterranee.

Sinteticamente le attività sono consistite in:

- N° 5 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU1÷CPTU5) spinte fino a rifiuto strumentale con n° 6 prove di dissipazione;
- N° 4 sondaggi geognostici a carotaggio continuo spinti alla profondità di 40.0 metri da p.c. (S01-PZ, S02-DH, S03-PZ, S04) e n° 1 sondaggio a distruzione di nucleo a 5.0 metri da p.c. (S04-PZ). I sondaggi hanno compreso:
 - N° 21 Standard Penetration Test;
 - N° 4 prove di permeabilità Lefranc;
 - N° 14 campioni indisturbati e n° 14 campioni rimaneggiati;
 - N° 3 piezometri a profondità comprese tra 5.0 e 13.0 metri da p.c.
 - N° 1 tubazione pesante per prova Down Hole a 40.0 metri da p.c.
 - Prelievo di campioni per analisi di aggressività al calcestruzzo UNI EN 206-1:2006;
 - Prelievo di campioni di terreno e acque di falda per analisi ambientali;
- N° 8 pozzetti esplorativi alla profondità di 2.0 metri da p.c. (PZ01÷PZ08) con n° 4 prove di carico su piastra a 20 cm da p.c. (PLT1÷PLT4), prelievo di campioni rimaneggiati per classificazione geotecnica e campioni di terreno per analisi chimiche ambientali;
- N° 5 prospezioni sismiche MASW (MASW1÷MASW5) e n° 1 prova Down Hole a 40 metri p.c. (S02-DH);
- Prove geotecniche di laboratorio sui campioni prelevati da sondaggi e trincee;
- Analisi per la valutazione della classe di esposizione all'attacco chimico del calcestruzzo;
- Analisi chimiche ambientali su terreni e acque di falda provenienti da sondaggi e pozzetti.

L'ubicazione dei sondaggi in campo è stata eseguita con riferimento alla planimetria di progetto in funzione all'effettiva accessibilità operativa ai punti stessi con i mezzi d'opera e alla presenza di reti interrato. A tal proposito, propedeuticamente all'inizio delle attività, è stata eseguita una indagine georadar puntuale in corrispondenza dei punti di indagine più "critici" per la possibile intercettazione di sottoservizi. L'indagine GPR è stata effettuata il 9 novembre 2021 esaminando i punti CPTU02, S01-PZ, S02-DH, PZ01, PZ05, PZ06, PZ07, PZ08. In allegato 0 si riporta il report completo dell'indagine corredato da radargrammi e documentazione fotografica.

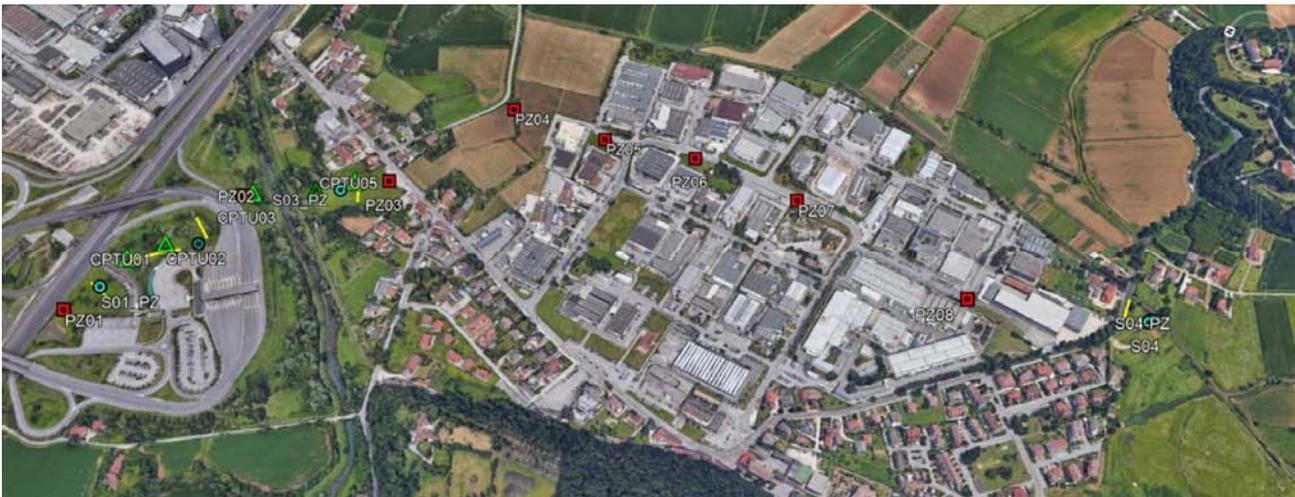


Figura 2. Ubicazione indagini.

Le indagini sono state eseguite in conformità a quanto descritto nelle norme:

- *NTC 2018 – Norme tecniche per le costruzioni – D.M. 17 gennaio 2018;*
- *AGI: Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche, 1977;*
- *AGI: Raccomandazione sulle prove geotecniche di laboratorio, 1990;*
- *ANISIG: Modalità tecnologiche per l'esecuzione di indagini geognostiche e l'installazione e la gestione di impianti di monitoraggio;*
- *ASTM (American Society for Testing and Materials): Norme relative alla definizione dei materiali e dei metodi di prova.*
- *D.Lgs. n. 152 del 3 aprile 2006 "Norme in materia ambientale" e s.m.i..*
- *DPR 120/2017 "Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo.*

3. INDAGINI GEOGNOSTICHE

3.1 Prove penetrometriche statiche con piezocono

L'indagine ha compreso n° 5 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU1÷CPTU5) posizionate nei pressi del casello di Vicenza Ovest.

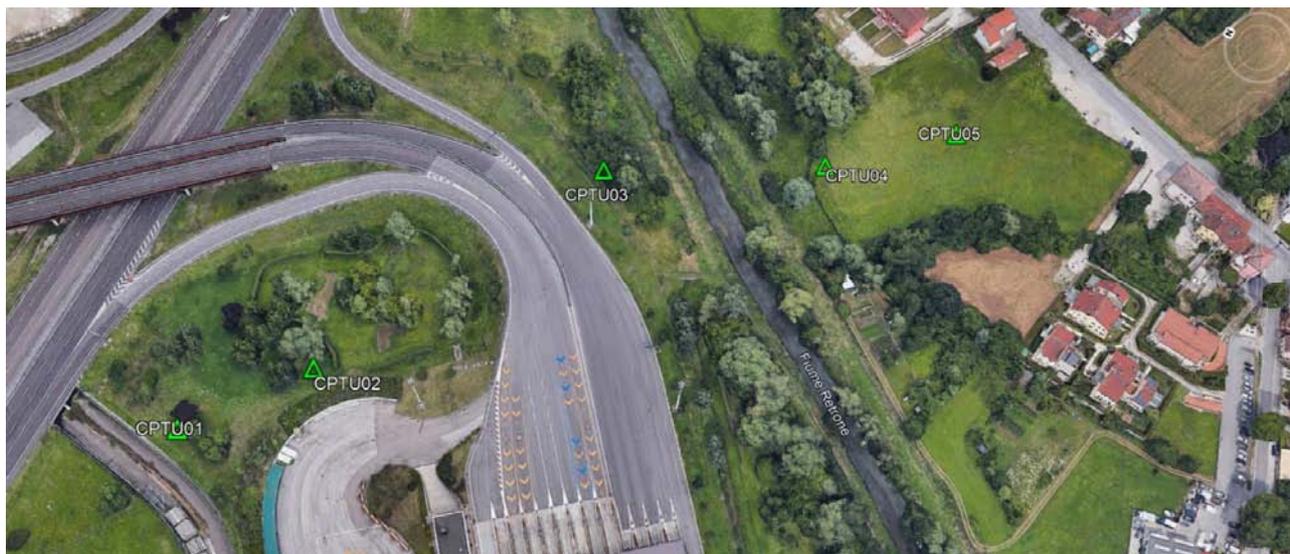


Figura 3. Ubicazione prove penetrometriche.

Le prove si sono spinte fino a rifiuto strumentale, per la presenza di terreni granulari, arrestandosi alle profondità elencate nella seguente tabella.

ID CPTU	PROFONDITA' (m da p.c.)
CPTU1	13.98*
CPTU2	14.40*
CPTU3	13.14*
CPTU4	12.44*
CPTU5	13.96*
* rifiuto strumentale	

Tabella 1. Prove penetrometriche.

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

La strumentazione utilizzata è quella standard prevista dalle normative internazionali.

- Diametro: 35.7mm
- Altezza nominale: 31 mm
- Area di punta: 10 cm²
- Angolo di apertura: 60°
- Superficie manicotto: 150 cm²
- Altezza manicotto: 133.70 mm
- $a=A_n/A_t= 0.66$
- Acquisizione: intervallo 2.0 cm

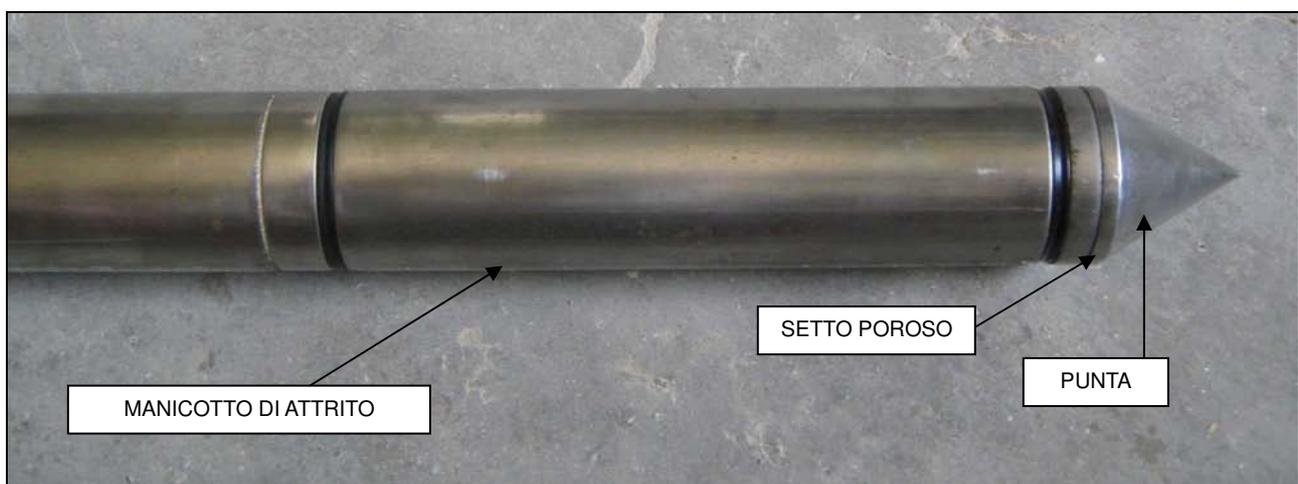


Figura 4. Piezocono

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

Nei diagrammi e tabelle in Allegato 1. sono riportati i seguenti valori di resistenza (rilevati dalle letture di campagna, durante l'infissione dello strumento):

- q_c (kg/cm²) = resistenza alla punta (conica);
- f_s (kg/cm²) = resistenza laterale (manicotto);
- U (kg/cm²) = pressione dei pori (setto poroso);
- f_s/q_c (%) = rapporto attrito laterale / resistenza alla punta;

In base ai valori di resistenza del sottosuolo, attraverso opportune correlazioni tra i valori di q_c (resistenza alla punta) e f_s (resistenza di attrito laterale), è possibile ottenere una classificazione dei terreni attraversati e determinare la resistenza al taglio non drenata (c_u) dei terreni coesivi (argille) e l'angolo di attrito (ϕ) dei terreni granulari – sabbie.

3.1.1 Prove di dissipazione

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

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

Per ciascuna prova si allegano (All. 1) i diagrammi pressione – tempo, con la stima del coefficiente di permeabilità determinata con la formula di Pariez a Fauriel:

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

dove K_h è la permeabilità espressa in cm/s e T_{50} è il tempo in cui la sovrappressione interstiziale (Δu) è il 50% della pressione neutra all'interno del terreno perforato (espresso in secondi).

Nel corso delle prove penetrometriche sono state eseguite n° 6 dissipazioni, n° 3 durante la prova CPTU1 e n° 3 nel corso della prova CPTU5. Nella seguente tabella si riportano le profondità di prova con i relativi coefficienti di permeabilità.

ID CPTU	DISSIPAZIONE (m da p.c.)	K (Parez e Fauriel) (m/s)
CPTU1	2.74	3.4E-08
	5.94	1.1E-09
	11.90	2.6E-09
CPTU5	1.94	1.7E-09
	8.02	5.4E-09
	12.92	9.6E-10

Tabella 2. Profondità prove di dissipazione.

3.2 Sondaggi Geognostici

Sono stati eseguiti n° 4 sondaggi geognostici a carotaggio continuo alla profondità di 40.0 metri da p.c. dei quali n° 3 (S01-PZ, S02-DH e S03-PZ) nelle immediate vicinanze del casello autostradale di Vicenza Ovest e n° 1 (S04) posizionato nei pressi del ponte in via Pilla ad Arcugnano.

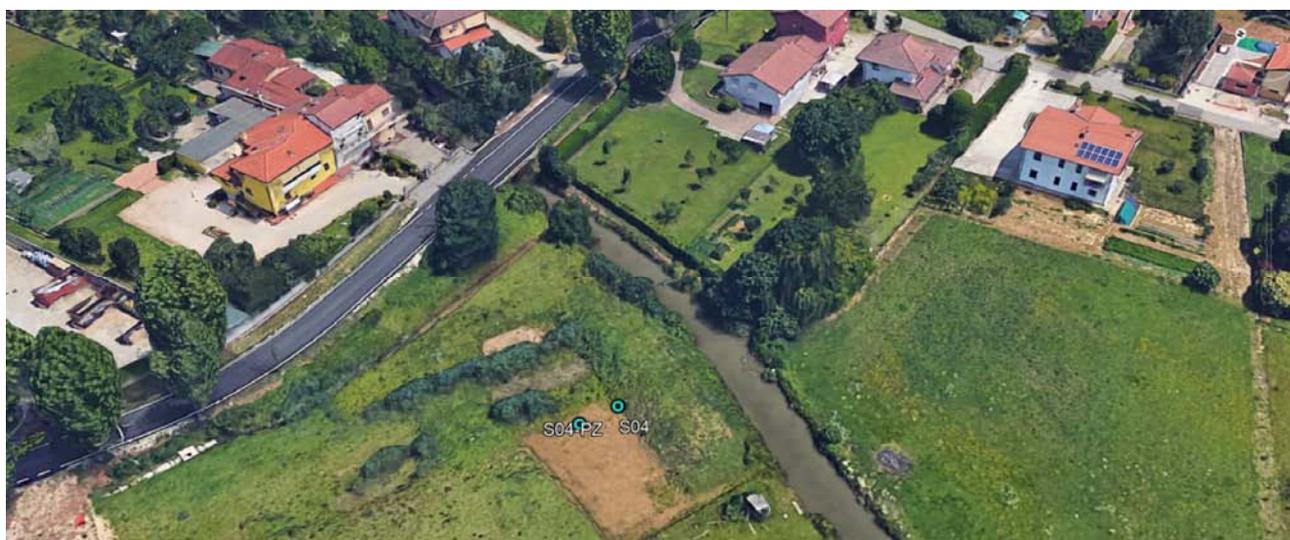
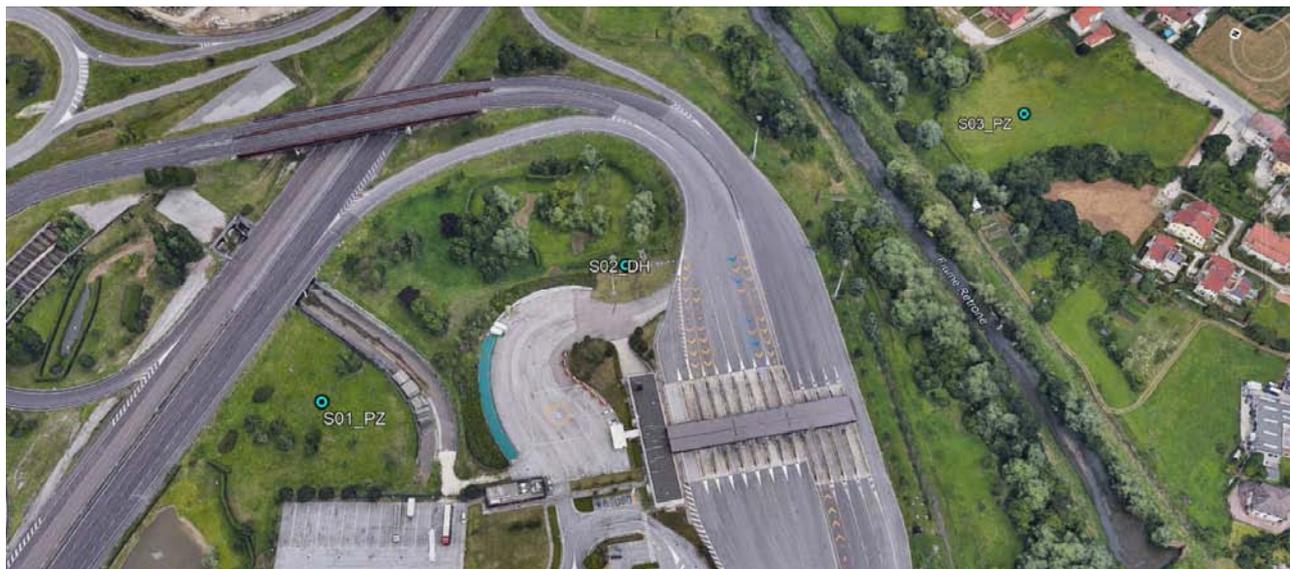


Figura 5. Ubicazione sondaggi.

Un ulteriore sondaggio a distruzione di nucleo, S04-PZ, è stato eseguito a pochi metri dal sondaggio geognostico S04, per l'installazione di n° 1 piezometro captante la falda freatica (5.0 metri da p.c.), evitando l'intercettazione di falde artesiane profonde.

Nella seguente tabella si riportano le principali caratteristiche di ciascun sondaggio.

ID SONDAGGIO	METODO DI PERFORAZIONE	PROFONDITA' (m da p.c.)	S.P.T.		LEFRANC (m da p.c.)	STRUMENTAZIONE	
			PROF. (m)	Colpi (n°)		TIPO	PROF. (m)
S01-PZ	carotaggio continuo	40.0	10.50 14.50 24.00 30.00	7-9-13 18-23-29 18-23-28 22-16-22	11.00 ÷ 11.50	piezometro a tubo aperto 3"	12.00
S02-DH	carotaggio continuo	40.0	4.50 14.00 18.00 22.50 24.00 34.50	2-2-2 4-6-7 21-17-15 14-19-23 18-9-6 18-15-15	13.50 ÷ 14.00 36.00 ÷ 36.50	tubazione pesante per Down Hole	40.00
S03-PZ	carotaggio continuo	40.0	4.50 10.50 14.00 18.00 23.00 33.00	2-1-2 7-6-11 10-25-26 10-20-22 8-15-18 21-18-37	11.50 ÷ 12.00	piezometro a tubo aperto 3"	13.00
S04	carotaggio continuo	40.0	3.00 18.00 21.00 30.00 33.00	2-1-1 17-19-22 19-18-19 7-10-14 6-6-3	-	-	-
S04-PZ	distruzione di nucleo	5.00	-	-	-	piezometro a tubo aperto 3"	5.00

Tabella 3. Sondaggi geognostici.

3.2.1 Modalità esecutive

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

Durante l'esecuzione sono state eseguite prove S.P.T. e prove di permeabilità a diverse profondità; inoltre sono stati prelevati campioni rimaneggiati ed indisturbati in numero tale da caratterizzare l'intera verticale di sondaggio.

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

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

terreni coesivi.

La descrizione stratigrafica dei sondaggi in Allegato 2. è stata affidata ad un geologo esperto che, attendendosi alle “Raccomandazioni AGI” ha redatto la scheda stratigrafica comprendente:

- Committente, cantiere/progetto, data di inizio e fine sondaggio;
- Descrizione, simbologia granulometrica e colore per ogni strato;
- Valori di resistenza ottenuti con strumentazione tascabile;
- Profondità di campionamento;
- Profondità prove in sito;
- Schema della strumentazione in foro;
- Misure freatiche;
- Metodo e attrezzatura utilizzati.

La campagna di indagine è stata eseguita utilizzando una perforatrice a rotazione Hydra Joy 3, con caratteristiche tecniche appropriate al tipo di sondaggi:

- Tiro/Spinta: 80 KN
- Coppia: 10000 Nm
- Velocità rotazione: 0-440 rpm
- Tiro max argano: 12 KN
- Peso: 14000 Kg



Figura 6. Perforatrice Hydra Joy 3.

3.2.2 Standard Penetration Test

Nel corso dei sondaggi sono state eseguite prove S.P.T., ossia prove penetrometriche dinamiche in foro, consistenti nella misura della resistenza alla penetrazione di un campionatore standard infisso a percussione secondo specifiche modalità.

Le prove sono state effettuate in corrispondenza di terreni granulari o coesivi consistenti, nel rispetto delle Raccomandazioni AGI 1977 e delle norme ASTM, utilizzando:

- maglio di acciaio del peso di 63.5 kg;
- dispositivo di sganciamento automatico con caduta libera di 0.76 m;
- aste di diametro esterno 50 mm e peso 7.2 Kg;
- campionatore standardizzato "Raymond" di diametro esterno 51 mm.

Nei terreni a granulometria grossolana, non idonei all'utilizzo del campionatore, la scarpa è stata sostituita con una punta conica chiusa di diametro 51 mm e angolo 60°.

Sono state eseguite complessivamente n° 21 prove, la profondità ed il numero di colpi sono riassunti in Tabella 3. e nelle schede di sondaggio allegate.

3.2.3 Prove di permeabilità in foro

Durante l'esecuzione dei sondaggi sono state effettuate n° 4 prove di permeabilità del tipo "Lefranc". Le prove sono state realizzate per immissione, a carico variabile ("prove in abbassamento") o a carico costante.

Le prime consistono nell'immissione d'acqua fino al completo riempimento del foro di sondaggio, misurando a mezzo di un freatometro, il successivo abbassamento di livello dovuto alle perdite di portata fluenti dalla falda. La prova si ritiene conclusa quando il dislivello idrico tra il valore statico della falda e il valore misurato è inferiore ad un quinto dell'altezza d'acqua iniziale.

Le seconde, più indicate per terreni ad elevata permeabilità, consistono nell'immettere una portata d'acqua all'interno del foro di sondaggio per mantenere un livello costante, superiore a quello della falda statica.

A livello esecutivo, una volta rivestito il foro fino alla quota stabilita per l'esecuzione della prova, si crea una sezione filtrante al fondo del foro, sollevando per una lunghezza prestabilita (circa 50 cm) la colonna di rivestimento. A seguire si realizza un dreno in ghiaietto per tutta la lunghezza

della tasca. Qualora il terreno oggetto di prova, presenti caratteristiche macroscopiche che fanno presupporre una elevata permeabilità ($10^{-3} \div 10^{-4}$ m/s), è possibile eseguire la prova su sezione piana (senza tasca cilindrica). Durante l'esecuzione si annotano i valori misurati con freatimetro durante l'abbassamento, nel caso di prova a carico variabile, oppure si misurano portata e livello, nel caso di prova a carico costante.

La determinazione del coefficiente di permeabilità K è stata determinata in conformità con quanto riportato nelle "Raccomandazioni AGI, 1977" e in "Prove Geotecniche in sito" di Ferruccio Cestari.

In Allegato 2. si riportano i certificati di prova; in Tabella 4. si riassumono i risultati ottenuti.

ID SONDAGGIO	LEFRANC				Litologia
	ID PROVA	Intervallo di prova (m da p.c.)	K (m/s)		
S01-PZ	A	11.00 ÷ 11.50	4.9E-05	Sabbia fine limosa	
S02-DH	A	13.50 ÷ 14.00	3.6E-05	Sabbia fine limosa	
S02-DH	B	36.00 ÷ 36.50	2.1E-04	Ghiaia con sabbia e limo	
S03-PZ	A	11.50 ÷ 12.00	9.6E-05	Sabbia deb. limosa	

Tabella 4. Prove di permeabilità Lefranc

3.2.4 Prelievo di campioni e prove geotecniche di laboratorio

Sono stati prelevati n° 14 campioni rimaneggiati da cassetta catalogatrice nei terreni granulari e n° 14 campioni indisturbati in corrispondenza degli strati coesivi rinvenuti nel corso delle perforazioni. Ulteriori n° 4 campioni rimaneggiati sono stati prelevati in corrispondenza dei pozzetti esplorativi per la classificazione geotecnica in laboratorio.

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

I campioni indisturbati o semi-indisturbati sono stati prelevati con campionatori a pareti sottili tipo "Shelby". Le fustelle, in acciaio inox Ø 88.9 mm, sono state pulite in entrambi i lati e sigillate con paraffina, infine etichettate e consegnate al laboratorio geotecnico.

Le prove geotecniche previste dalle specifiche tecniche sono:

- Apertura campione rimaneggiato con descrizione geotecnica visiva;
- Apertura campione indisturbato con descrizione geotecnica;
- Determinazione del contenuto naturale d'acqua: ASTM D 2216;
- Determinazione della massa volumica apparente;
- Determinazione del peso specifico dei grani: ASTM D 804;
- Determinazione dei limiti di consistenza: ASTM D 4318;
- Analisi granulometrica per vagliatura: ASTM D 422;
- Analisi granulometrica per sedimentazione: ASTM D 442;
- Prova edometrica ad incrementi di carico controllati: ASTM D 2435;
- Prova di compressione triassiale non consolidata non drenata (TxUU): ASTM D 2850
- Prova di compressione triassiale consolidata non drenata (TxCU): ASTM D 4767;

I campioni con l'elenco delle prove sono elencati in Tabella 5. In Allegato 5 si riportano le tabelle riassuntive e i certificati di prova.

ID Punto di prelievo	ID Campione	Profondità (m)		Tipo di Campione		Apertura rimaneggiato	Apertura indisturbato	Umidità	Peso di volume	Peso specifico	Limiti di Atterberg	Setacciatura	Sedimentazione	Prova Edometrica	Prova TX-UU	Prova TX-CU
		Da	A	Indisturbato	Rimaneggiato											
PZ01	CR1	0.2	0.4		x	x		x		x		x	x			
PZ02	CR1	0.2	0.4		x	x		x		x		x	x			
PZ03	CR1	0.2	0.4		x	x		x		x		x	x			
PZ04	CR1	0.2	0.4		x	x		x		x		x	x			
S01-PZ	1	6.5	7.1	x			x	x	x	x	x	x	x	x		x
	A	11.0	11.5		x	x		x		x		x	x			
	2	21.0	21.6	x			x	x	x	x	x	x	x		x	
	B	23.2	23.7		x	x		x		x		x	x			
	C	29.5	30.0		x	x		x		x		x	x			
S02-DH	1	6.0	6.6	x			x	x	x	x	x	x	x		x	
	2	12.0	12.6	x			x	x	x	x	x	x	x		x	
	A	17.5	18.0		x	x		x		x		x	x			
	3	27.4	28.0	x			x	x	x	x	x	x	x			x
	B	29.5	30.0		x	x		x		x		x	x			
	C	31.4	32.0	x			x	x	x	x	x	x	x		x	
S03-PZ	1	9.0	9.6	x			x	x	x	x	x	x	x	x		
	A	10.5	11.0		x	x		x		x		x	x			
	B	18.0	18.5		x	x		x		x		x	x			
	C	22.5	23.0		x	x		x		x		x	x			
	2	27.3	27.9	x			x	x	x	x	x	x	x		x	
	D	31.0	31.5		x	x		x		x		x	x			
S04-PZ	E	33.5	34.0		x	x		x		x		x	x			
	1	6.0	6.6	x			x	x	x	x	x	x	x		x	
	2	9.0	9.6	x			x	x	x	x	x	x	x			x
	3	12.0	12.6	x			x	x	x	x	x	x	x		x	
	A	13.0	13.5		x	x		x		x		x	x			
	B	18.0	18.5		x	x		x		x		x	x			
	4	24.0	24.6	x			x	x	x	x	x	x	x		x	
	5	27.0	27.6	x			x	x	x	x	x	x	x			x
C	32.0	32.5		x	x		x		x		x	x				
6	36.0	36.6	x			x	x	x	x	x	x	x		x		
TOTALE				14	18	18	14	32	14	32	14	32	32	2	10	4

Tabella 5. Elenco prove geotecniche in laboratorio

3.2.5 Strumentazione in foro

I sondaggi S01-PZ, S03-PZ e S04-PZ sono stati strumentati con piezometri a tubo aperto Ø 3" a profondità comprese tra i 5.0 e i 13.0 metri da p.c. Il sondaggio S04-PZ è stato attrezzato con tubazione cieca per prova Down Hole fino a fondo foro.

I piezometri sono a tubo aperto di diametro 3" (Øest = 89mm, s = 5.0 mm) in PVC atossico; per l'installazione si provvede dapprima alla cementazione del foro fino alla profondità stabilita; a seguire si posa la tubazione realizzando un prefiltro in ghiaietto siliceo (2÷3,5mm) nell'intercapedine esterna al tubo fessurato (slot=0.5mm) impermeabilizzando con compactonite l'anello esterno al tratto di tubo cieco.

Ad installazione avvenuta, ciascun piezometro viene cementato fino al piano campagna e protetto alla sommità a mezzo di un chiusino metallico munito di lucchetto o di un pozzetto carrabile. Infine viene spurgato con elettropompa sommersa fino a completa chiarificazione dell'acqua emunta.

La tubazione per Down Hole è composta da barre cieche in PVC Ø 90mm assemblate entro il foro di sondaggio; al fondo, è presente una valvola di non ritorno, che permette di cementare (con miscela acqua-cemento-bentonite) l'intercapedine tubo-terreno, dal basso verso l'alto, senza soluzione di continuità.

Le profondità ed il tipo di strumentazioni sono riportate in Tabella 3. e schematizzate nelle schede di sondaggio in Allegato 2.

3.2.6 Misure piezometriche

Per ciascuna verticale di indagine sono state eseguite misure freatiche in corso d'opera che hanno permesso di rilevare la presenza di un **sistema multifalde con acquiferi in pressione** già da -15 metri circa da p.c. Tutte le misure sono riportate nelle schede di sondaggio.

Ulteriori misure sono state eseguite in condizioni statiche, durante il campionamento dei piezometri, in data 30-11-2021.

ID PIEZOMETRO	H ₂ O m da P.C.
S01-PZ	1.30
S03-PZ	-0.4
S04-PZ	0.75

Tabella 6. Letture freatiche.

3.3 Pozzetti e prove di carico su piastra

Lungo l'asse stradale sono state eseguite n° 4 prove con piastra circolare di diametro 300mm (PLT1÷PLT4) a 20cm da p.c. in corrispondenza di altrettanti pozzetti esplorativi (PZ01÷PZ04).

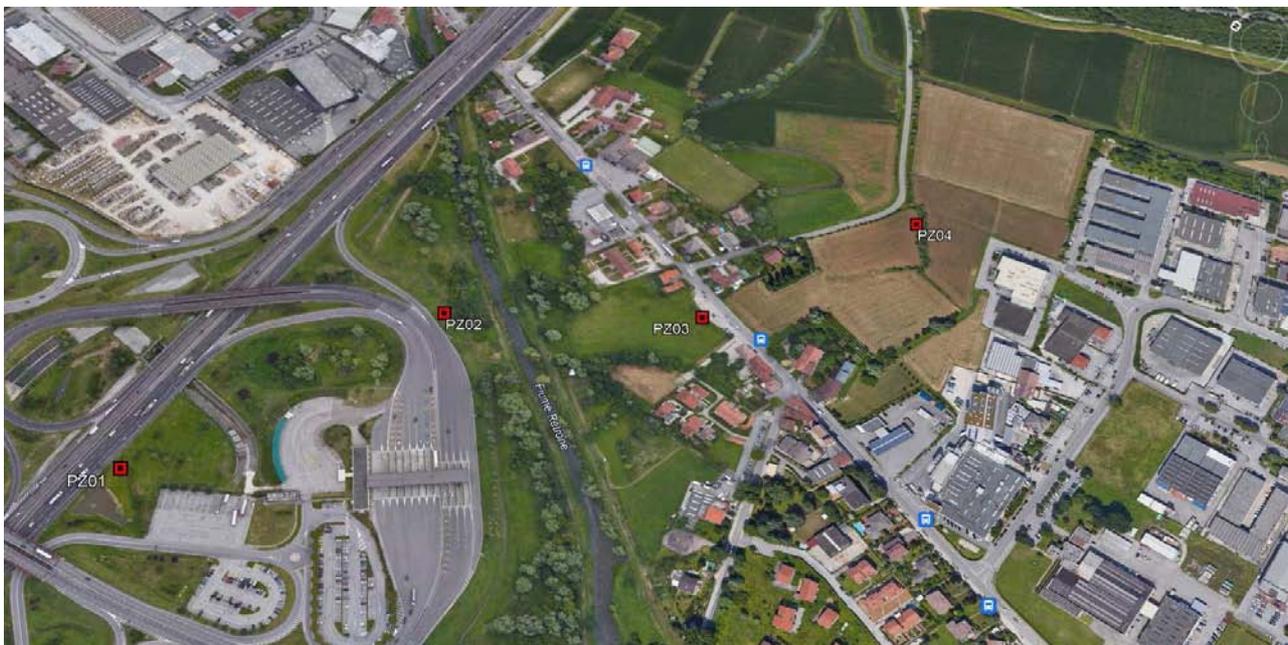


Figura 7. Ubicazione prove di carico su piastra.

Per l'esecuzione delle prove ci si è attenuti a quanto previsto dalla Norma CNR UNI BU 146, misurando i cedimenti con tre comparatori disposti a 120° ed applicando due cicli di carico:

- primo ciclo: incrementi di carico di 0,05 N/mm² fino a 0,2 N/mm²
- secondo ciclo: incrementi di carico 0,05 N/mm² fino a 0,15 N/mm²

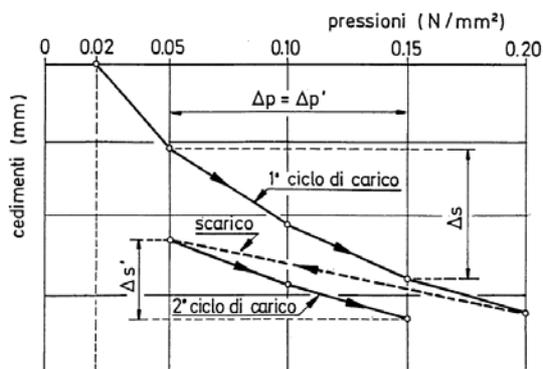


Figura 8. Schema di prova per terreni di sottofondo e strati di rilevato (C.N.R. n° 146)

A prova effettuata, ciascun pozzetto è stato approfondito fino a 2.0 metri da p.c. al fine di descrivere la parete di scavo e prelevare campioni rimaneggiati rappresentativi dello strato compreso tra 0.2 e 0.4 metri da p.c. da sottoporre a classificazione geotecnica:

- Apertura campione rimaneggiato con descrizione geotecnica visiva;
- Determinazione del contenuto naturale d'acqua: ASTM D 2216;
- Determinazione del peso specifico dei grani: ASTM D 804;
- Analisi granulometrica per vagliatura: ASTM D 422;
- Analisi granulometrica per sedimentazione: ASTM D 442;

Nella seguente tabella sono schematizzati i dati ottenuti; in allegato 3 sono riportati i certificati di prova, con la determinazione dei moduli di deformazione e la valutazione della qualità di costipamento, la scheda stratigrafica della parete di scavo e la relativa documentazione fotografica.

ID POZZETTO	PROFONDITA' POZZETTO (m da p.c.)	ID PROVA	PROFONDITA' PROVA (m da p.c.)	Md (N/mm ²)	Md' (N/mm ²)
PZ01	2.00	PLT1	0.20	35.3	107.1
PZ02	2.00	PLT2	0.20	4.2	11.5
PZ03	2.00	PLT3	0.20	8.4	28.0
PZ04	2.00	PLT4	0.20	3.8	13.1

Tabella 7. Prove di carico su piastra.

4. INDAGINI GEOFISICHE

Le indagini geofisiche si sono espletate mediante l'esecuzione di:

- N° 1 prova sismica di tipo Down Hole in corrispondenza del sondaggio S02-DH
- N° 5 misure di sismica superficiale con metodologia attiva MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*).



Figura 8. Ubicazione MASW e DH.

4.1 Risultati

I risultati completi delle indagini sismiche sono riportati nella relazione in Allegato 4.

Nella seguente tabella si riassumono i valori della velocità delle onde di taglio V_s fino ad oltre 30m di profondità. La V_{seq} è stata determinata dalla formula:

$$V_{seq} = \frac{h}{\sum \frac{h_i}{v_i}}$$

ID PROVA	V_{seq} (m/s)
S02-DH	203
S02-DH	215 (V_{s40})
MASW 01	204
MASW 02	203
MASW 03	230
MASW 04	204
MASW 05	217

Tabella 8. V_s determinate.

Tutte le prove effettuate classificano il suolo di tipo C ($S = 1.5$ secondo le NTC): “*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*”

5. AGGRESSIVITA' AL CALCESTRUZZO

Al fine di valutare la classe di esposizione del calcestruzzo all'attacco chimico sono stati sottoposti ad analisi campioni di terreno e di acque sotterranee.

La norma UNI EN 206-1:2006 indica i parametri da determinare con i relativi metodi di prova stabilendo che *“se due o più caratteristiche di aggressività appartengono alla stessa classe, l'esposizione sarà classificata nella classe più elevata successiva, salvo il caso che uno studio specifico provi che ciò non è necessario”*.

Caratteristica chimica	Metodo di prova di riferimento	XA1	XA2	XA3
Acqua nel terreno				
SO ₄ ²⁻ mg/l	EN 196-2	≥200 e ≤600	>600 e ≤3 000	>3 000 e ≤6 000
pH	ISO 4316	≤6,5 e ≥5,5	<5,5 e ≥4,5	<4,5 e ≥4,0
CO ₂ mg/l aggressiva	prEN 13577:1999	≥15 e ≤40	>40 e ≤100	>100 fino a saturazione
NH ₄ ⁺ mg/l	ISO 7150-1 oppure ISO 7150-2	≥15 e ≤30	>30 e ≤60	>60 e ≤100
Mg ²⁺ mg/l	ISO 7980	≥300 e ≤1 000	>1 000 e ≤3 000	>3 000 fino a saturazione
Terreno				
SO ₄ ²⁻ mg/kg ^{a)} totale	EN 196-2 ^{b)}	≥2 000 e ≤3 000 ^{c)}	>3 000 ^{c)} e ≤12 000	>12 000 e ≤24 000
Acidità ml/kg	DIN 4030-2	>200 Baumann Gully	Non incontrato in pratica	

Tabella 9. Classi di esposizione UNI EN 206-1:2006

Sono stati sottoposti ad analisi n° 6 campioni di terreno prelevati dai sondaggi e n° 3 campioni d'acqua di falda (Tabella 10). I certificati di prova, riportati in Allegato 6, mostrano concentrazioni tale da escludere l'aggressività al calcestruzzo.

ID Punto di Orelievo	ID Campione	Profondità (m)		Terre	Acque
		Da	A		
S01_PZ	CLS1	0.0	2.0	x	
S01_PZ	CLS2	12.0	14.2	x	
S01_PZ	H2O				x
S02_DH	CLS	0.0	4.4	x	
S03_PZ	CLS	0.0	1.0	x	
S03_PZ	H2O				x
S04_PZ	CLS1	0.0	1.0	x	
S04_PZ	CLS2	7.1	8.6	x	
S04_PZ	H2O				x
TOTALE				6	3

Tabella 10. Campioni per analisi UNI EN 206-1:2006

6. INDAGINI AMBIENTALI

Il piano di indagine ambientale, definito dallo studio di progettazione, ha previsto il campionamento delle matrici suoli e acque in corrispondenza dei sondaggi geognostici e di pozzetti esplorativi (PZ01÷PZ08) distribuiti lungo la viabilità in progetto.

I set analitici sono stati definiti secondo Tab. 1-2, All. 5 alla Parte IV Titolo V del D.Lgs. 152/06 e DPR120/17. Inoltre alcuni terreni sono stati classificati come rifiuto CER 17 05 04, sottoposti ad analisi di caratterizzazione e Test di cessione D.Lgs. 121/2020.



Figura 9. Sondaggi e pozzetti ambientali

6.1 Campionamento terreni e acque di falda

Tutte le operazioni di campionamento, prelievo, formazione e conservazione dei campioni di terreno per le analisi di laboratorio sono state condotte come stabilito dal Piano concordato.

Il campionamento dei terreni si è concentrato nei primi 5 metri di ogni sondaggio prelevando:

- Campione superficiale CA1 (0.0 ÷ 1.0)
- Campione intermedio CA2 (2.0 ÷ 3.0)
- Campione profondo CA3 (4.0 ÷ 5.0)

Nei pozzetti sono stati prelevati campioni di lunghezza \approx 1.0 metro fino a 2.0 metri a p.c.

- Campione superficiale CA1 (0.0 ÷ 1.0)
- Campione intermedio CA2 (1.0 ÷ 2.0)

ad esclusione del pozzetto PZ01 nel quale è filtrata acqua di falda a 0.8 metri da p.c.

I sondaggi ambientali sono stati eseguiti con le stesse modalità operative dei sondaggi geotecnici ma adottando alcuni accorgimenti:

- Perforazione ed estrusione della carota a secco senza utilizzo di fluidi;
- Infissione rivestimenti metallici provvisori per evitare contaminazione indotta;
- Bassa velocità di rotazione al fine di evitare la perdita di composti volatili;
- Pulizia dell'impianto di perforazione prima dell'inizio del lavoro;
- Rimozione di lubrificanti nelle zone filettate;
- Pulizia del carotiere prima dell'inizio del lavoro e dopo ogni manovra;
- Pulizia di ogni strumento di misura inserito in foro e dopo inserimento;
- Uso di rivestimenti o corone non verniciate.

Per l'esecuzione delle trincee è stato utilizzato un escavatore a benna rovescia, verificando la pulizia dell'attrezzatura prima di ogni scavo e depositando il terreno su teli in Pead al fine di evitare eventuali contaminazioni.

Per ogni sondaggio/trincea è stata redatta una scheda stratigrafica con la descrizione dei vari litotipi attraversati, la quota di prelievo dei campioni ed ogni altra caratteristica dello scavo come da Raccomandazioni AGI (Allegati 2 e 3).

Come stabilito dal D.Lgs 152/06 la frazione maggiore di 2 cm è stata scartata direttamente in campo e ciascun campione è stato omogeneizzato in modo da ottenere una distribuzione uniforme dei contaminanti. A tal fine ogni campione è stato suddiviso in più parti omogenee, adottando metodi di quartatura riportati nella normativa (IRSA-CNR, Quaderno 64 del gennaio 1985).

Nella formazione del campione da inviare ad analisi si è tenuto conto di alcuni accorgimenti:

- si sono identificati e scartati materiali estranei che hanno potuto alterare i risultati finali (pezzi di vetro, ciottoli, rami, foglie, ecc.);
- il campione è stato omogeneizzato suddividendolo in più parti omogenee mediante quartatura su teli in HDPE monouso;
- i contenitori sono stati completamente riempiti di campione, sigillati, etichettati e inoltrati subito al laboratorio di analisi, insieme alle note di prelevamento.

- le operazioni di formazione del campione sono state effettuate con strumenti decontaminati dopo ogni operazione e con modalità adeguate ad evitare la variazione delle caratteristiche e la contaminazione del materiale.

Per il campionamento della frazione su cui eseguire l'analisi dei composti volatili si sono ridotti i tempi di esposizione all'aria dei materiali. Le operazioni di formazione del campione sono state condotte immediatamente dopo l'estrazione del terreno, prima di procedere alle operazioni di descrizione.

I campioni di terreno da sottoporre ad analisi di caratterizzazione come rifiuto sono stati prelevati tal quale.

Le acque sotterranee sono state campionate dai piezometri S01-PZ, S03-PZ e S04-PZ, previo spurgo al fine di prelevare un campione d'acqua il più rappresentativo possibile della composizione chimico-fisica della falda. Il prelievo è stato effettuato a mezzo di pompa low-flow fino a eliminazione di 4-6 volumi d'acqua nel piezometro.

6.2 Analisi chimiche

Le analisi chimiche sui campioni prelevati sono state eseguite dal laboratorio Eurolab S.r.l. di San Giuseppe di Cassola (VI) certificato ACCREDIA n° 0856.

Di seguito i set analitici:

- Per n° 11 campioni di terreno prelevati da sondaggi e pozzetti (DPR120/17 completo):
 - Metalli (Arsenico, Cadmio, Cobalto, Cromo tot., Cromo VI, Mercurio, Nichel, Piombo, Rame, Zinco);
 - Idrocarburi pesanti (C>12).
 - BTEXS (Benzene, Toluene, Etil-benzene, Xileni, Stirene);
 - IPA
 - Amianto
- Per n° 13 campioni di terreno prelevati da sondaggi e pozzetti (Tab.1, All. 5, Parte IV, D.Lgs. 152/2006):
 - Metalli;
 - Cianuri liberi, fluoruri;
 - Idrocarburi pesanti (C>12) e leggeri (C<12).

- BTEXS (Benzene, Toluene, Etil-benzene, Xileni, Stirene);
 - IPA
 - Alifatici clorurati cancerogeni e non cancerogeni
 - Alifatici alogenati cancerogeni;
 - Nitrobenzeni, clorobenzeni
 - Fenoli clorurati;
 - PCB
 - Amianto
- Per n° 6 campioni tal quale prelevati da sondaggi e pozzetti:
 - Analisi di caratterizzazione rifiuti solidi CER 17 05 04
 - Test di Cessione D.Lgs 121/20
 - Per n° 3 campioni acqua di falda prelevati dai piezometri (Tab.21, All. 5, Parte IV, D.Lgs. 152/2006):
 - Metalli;
 - Inquinanti inorganici;
 - Idrocarburi come –esano;
 - BTEXS (Benzene, Toluene, Etil-benzene, Xileni, Stirene);
 - IPA
 - Alifatici clorurati cancerogeni e non cancerogeni
 - Alifatici alogenati cancerogeni;
 - Clorobenzeni
 - Fenoli e clorofenoli;
 - PCB
 - Amianto

Nella seguente tabella si riporta l'elenco dei campioni (terreni e acque sotterranee) con i relativi set analitici.

ID Punto di prelievo	ID Campione	Profondità (m)		Terre	Acque			
		Da	a					
PZ01	CA1	0.0	0.8					
PZ01	TQ	0.0	2.0	x				
PZ02	CA1	0.0	1.0					
PZ02	CA2	1.0	2.0					
PZ02	TQ	0.0	1.0	x				
PZ03	CA1	0.0	1.0					
PZ03	CA2	1.0	2.0					
PZ03	TQ	0.0	2.0	x				
PZ04	CA1	0.0	1.0					
PZ04	CA2	1.0	2.0					
PZ05	CA1	0.0	1.0					
PZ05	CA2	1.0	2.0					
PZ06	CA1	0.0	1.0					
PZ06	CA2	1.0	2.0					
PZ07	CA1	0.0	1.0					
PZ07	CA2	1.0	2.0					
PZ08	CA1	0.0	1.0					
PZ08	CA2	1.0	2.0					
S01_PZ	CA1	0.0	1.0					
S01_PZ	CA2	2.0	3.0					
S01_PZ	CA3	4.0	5.0					
S01_PZ	TQ	0.0	2.0					
S01_PZ	H2O							
S02_DH	CA1	0.0	1.0					
S02_DH	CA2	2.0	3.0					
S02_DH	CA3	4.0	5.0					
S02_DH	TQ	0.0	4.4	x				
S03_PZ	CA1	0.0	1.0					
S03_PZ	CA2	2.0	3.0					
S03_PZ	CA3	4.0	5.0					
S03_PZ	TQ	0.0	1.0	x				
S03_PZ	H2O							
S04_PZ	CA1	0.0	1.0					
S04_PZ	CA2	2.0	3.0					
S04_PZ	CA3	4.0	5.0					
S04_PZ	TQ	0.0	1.0	x				
S04_PZ	H2O							
TOTALE				6	6	11	13	3

Tabella 11. Campioni soggetti ad analisi chimiche ambientali.

6.3 Risultati

I risultati ottenuti dalle analisi dei campioni di terreno sono stati confrontati con i limiti tabellari di Col. B, Tab. 1, All. 5 alla Parte IV Titolo V del D.Lgs. 152/06.

Tutti i campioni hanno evidenziato concentrazioni inferiori alle Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC) imposte dalla normativa per i parametri indagati con riferimento alla Col. B (siti ad uso commerciale e industriale) ad esclusione del campione **PZ05-CA2(1.0-2.0)** per il parametro **arsenico** (**64.9 mg/kg** > 50 mg/kg)

I risultati ottenuti dalle analisi dei campioni di acqua di falda sono stati confrontati con i limiti tabellari di Tab. 2, All. 5 alla Parte IV Titolo V del D.Lgs. 152/06.

Sono emersi superamenti alle CSC per il solo parametro **manganese** per tutti i campioni:

S01-PZ Manganese **95.3** µg/l > 50 µg/l

S03-PZ Manganese **113.1** µg/l > 50 µg/l

S04-PZ Manganese **115.6** µg/l > 50 µg/l

Con riferimento ai test di cessione non vi sono superamenti alle CSC di Tab.5 D.Lgs 121/20. I rifiuti caratterizzati sono NON pericolosi.

Tutti i certificati di analisi dei campioni sono riportati in Allegato 7. corredati da tabelle riassuntive.