

PROCEDIMENTO UNICO AI SENSI DELL'ART. 53 L.R. 24/2017

COMPARTO A11.a, A11.b e AMPLIAMENTO
MIRAGE GRANITO CERAMICO SPA

COMMITTENTE

MIRAGE GRANITO CERAMICO S.P.A.

Via Giardini Nord 225

Pavullo nel Frignano (MO)



PROGETTISTI E CONSULENTI

COORD. DI PROGETTO, PROG. URBANISTICA E DELLE OO.UU.

aTEAM Progetti Sostenibili

Via Torre 5 - 41121 Modena

email: info@ateamprogetti.com

tel. +39 059 7114689

GRUPPO DI LAVORO:

Ing. Francesco Bursi, Arch. Lucia Bursi, Wainer Gianaroli,
Arch. Candelaria Goldoni, Arch. Elena Fiocchi, Mirco Sileo

CONSULENZA GEOLOGICA E IDRAULICA

Dott. Geol. Valeriano Franchi

Viale Caduti in Guerra 1 - 41121 Modena

email: valerianofranchi@gmail.com

tel. +39 335 6611883

CONSULENZA ARCHEOLOGICA

Geo Group Geologia e Ambiente

via C. Costa 182 - 41123 Modena

email: info@geogroupmodena.it

tel. +39 059 3967169



PROGETTAZIONE TECNICO-AGRONOMICA

Dott. forestale Edoardo Viti

Via Pescinone 3 - 51024 Abetone Cutigliano (PT)

email: edoardoviti@gmail.com

tel. +39 347 3469257

CONSULENZA AMBIENTALE

Studio AS-AC S.r.l.

via della tecnica, 2/B - 41018 San Cesario sul Panaro (MO)

email: cingi.fabio@asac.mo.it

tel. +39 059 922253

Dott. Cingi Fabio



INGEGNERIA PER LA SICUREZZA ANTINCENDIO

Studio la Malfa S.r.l.

via Sicuri 60/a - 43124 Parma

email: studioli.malfasrl@gmail.com

tel. +39 327 4578856

Ing. Salvatore La Malfa

PROGETTAZIONE ARCHITETTONICA E STRUTTURALE

Studio Tecnico F.B.

Via Per Serramazzoni 3 - 41026 Pavullo n/F (MO)

tel. +39 0536 51269

email: info@studio-fb.it

Ing. Emer Florini



CONSULENZA GEOLOGICA E SISMICA

Studio associato COGEO

Via Don Natale Monticelli 5 - 41026 Pavullo n/F (MO)

email: cogeo.geologia@gmail.com

tel. +39 059 324537

Dott. Geol. Piero Cocetti



CONSULENZA ACUSTICA, QUALITA' DELL'ARIA E MOBILITA'

Praxis Ambiente Srl

Via Canaletto Centro 476/A - 41121 Modena

email: info@praxisambiente.it

tel. +39 059 454000

Dott. Carlo Odorici - Ing. Roberto Odorici



PROGETTAZIONE IMPIANTI ELETTRICI

Project & Technology

Via B. Ramazzini 3 - 41057 Spilamberto

g.costanzini@projecttechnology.it

tel. +39 059 460433

P.I. Gianluca Costanzini



PROGETTAZIONE IMPIANTI MECCANICI

Studio Zecchini Associati S.r.l.

Via Basilicata 4 - 41049 Sassuolo (MO)

email: tecnico21@studiozecchinisrl.it

tel. +39 0536 813107

P.I. Zecchini Nicola



PROGETTAZIONE STRUTTURALE SOTTOPASSO

Piacentini Ingegneri S.r.l.

Via Belvedere 6

40033 Casalecchio di Reno (BO)

email: luca.piacentini@pibo.it

tel. +39 051 572738

Ing. Luca Piacentini



NOME FILE: MIR_Cartiglio.dwg		ELABORATO DA:	APPROVATO DA:	OGGETTO: Ampliamento logistica
CARTELLA:		PROTOCOLLO: 71 - V		TITOLO ELABORATO: Relazione Geologica Geotecnica Sismica
REV.	DATA	NOTE		CODICE ELABORATO: MRG_V_PU_DOT_12
				SCALA:
				DATA: 31/03/2023



INDICE

1. RELAZIONE GEOLOGICA (punto 6.1, allegato B.2.1 del BURERT n°153)
 - 1.1 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO
 - 1.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO
 - 1.3 IDROLOGIA E IDROGEOLOGIA
 - 1.4 PROCESSI EROSIVI E GRADO DI STABILITA'
 - 1.5 INDAGINI GEOGNOSTICHE E PARAMETRI NOMINALI
2. RELAZIONE SISMICA (punto 6.3, allegato B.2.1 del BURERT n°153)
 - 2.1 CLASSIFICAZIONE SISMICA (DM 17/01/2018)
 - 2.1.1 Classificazione del Suolo in base alle Vs30
 - 2.2 SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO (DM 17/01/2018)
3. RELAZIONE GEOTECNICA (punto 6.2, allegato B.2.1 del BURERT n°153)
 - 3.1 DATI DI PROGETTO
 - 3.1.1 Opera in Progetto
 - 3.1.2 Parametri Caratteristici
 - 3.1.3 Spettro di Progetto
 - 3.1.4 Carichi trasmessi al terreno
 - 3.2 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE
 - 3.2.1 Verifiche di Capacità Portante per fondazioni superficiali
 - 3.3 CALCOLO DEI CEDIMENTI
 - 3.4 CALCOLI DI STABILITA'
 - 3.5 PRESCRIZIONI E MOVIMENTI TERRA
4. CONCLUSIONI

RIFERIMENTI NORMATIVI

DM 17/01/2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni)
DGR RER 2193/2015 - (Aggiornamento Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica)
DM 10/10/2012 (Regolamento recante la disciplina dell'utilizzazione delle terre e rocce da scavo)
Circ. 02/02/09 n°617 - Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008.
DM 14/01/2008 (Norme Tecniche per le Costruzioni)
DAL RER 112/2007 (Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica)
O.P.C.M. n° 3274 del 20 Marzo 2003 (Normativa antisismica)
D.M.LL.PP. 11/03/1988
D.M. 21/01/1981
Circ. LL.PP. n° 21597/81
Circ. R.E.R n° 12831
R.D. 03/12/23 n° 3267 e succ. mod. e integr.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

-La Geologia del versante Padano dell'Appennino Settentrionale
Università degli Studi di Modena - Istituto di Geologia
-Appennino Tosco-Emiliano. Guide Geologiche Regionali.
A cura della Società Geologica Italiana
-Schema Introduttivo alla Geologia delle Epiliguridi dell'Appennino Modenese e delle Aree Limitrofee
Mem.Soc.Geol. It 39 (1987), 215-244, 21 ff.
-Schema Introduttivo alla Geologia delle Liguridi dell'Appennino Modenese e delle Aree Limitrofee
Mem.Soc.Geol. It 39 (1987), 91-125, 27 ff.
-I Melange dell'Appennino Settentrionale dal T.Tresinaro al T.Sillaro.
Mem.Soc.Geol. It 39 (1987), 187-214, 19 ff.



RIFERIMENTI CARTOGRAFICI

CARTOGRAFIA CTR Scala 1:25000.
TAVOLA 236NO, 236NE

CARTOGRAFIA CTR Scala 1:10000.
SEZIONE 236020, 236030

CARTOGRAFIA CTR Scala 1:5000.
ELEMENTO 236021, 236034, 236033, 236022

ESTRATTO CATASTALE Scala 1:2000. COMUNE DI PAVULLO NEL FRIGNANO.

CARTA GEOLOGICO-SCHEMATICA DELL'APPENNINO MODENESE E ZONE
LIMITROFE. Scala 1:100000. Istituto di Geologia dell'Università di Modena

CARTA GEOLOGICA DELL'APPENNINO EMILIANO-ROMAGNOLO 1:10000.
SEZIONE 236020, 236030

CARTA GEOLOGICA PROGETTO CARG a Scala 1:10000.
SEZIONE 236020, 236030

CARTA DEL DISSESTO (PTCP).
SEZIONE 236020, 236030

TAVOLE ED ALLEGATI

TAV. 1, 2 - Localizzazione del sito su cartografia CTR

TAV. 3 - Morfometria del Versante a scala 1:5000

TAV. 4 - Carta Geologica CARG a scala 1:10000

TAV. 5 - Carta del Dissesto a scala 1:10000

TAV. 6 - Carta del Rischio Sismico a scala 1:10000

TAV. 7 - Carta Forestale a scala 1:10000

TAV. 8 - Planimetria con Prove Geognostiche Pregresse e Recenti

TAV. 9 - Planimetria della Rotatoria

APPENDICE A: Registrazione Sismica Passiva HVSr

ELABORATO: *INDAGINI GEOGNOSTICHE E PROVE DI LABORATORIO*

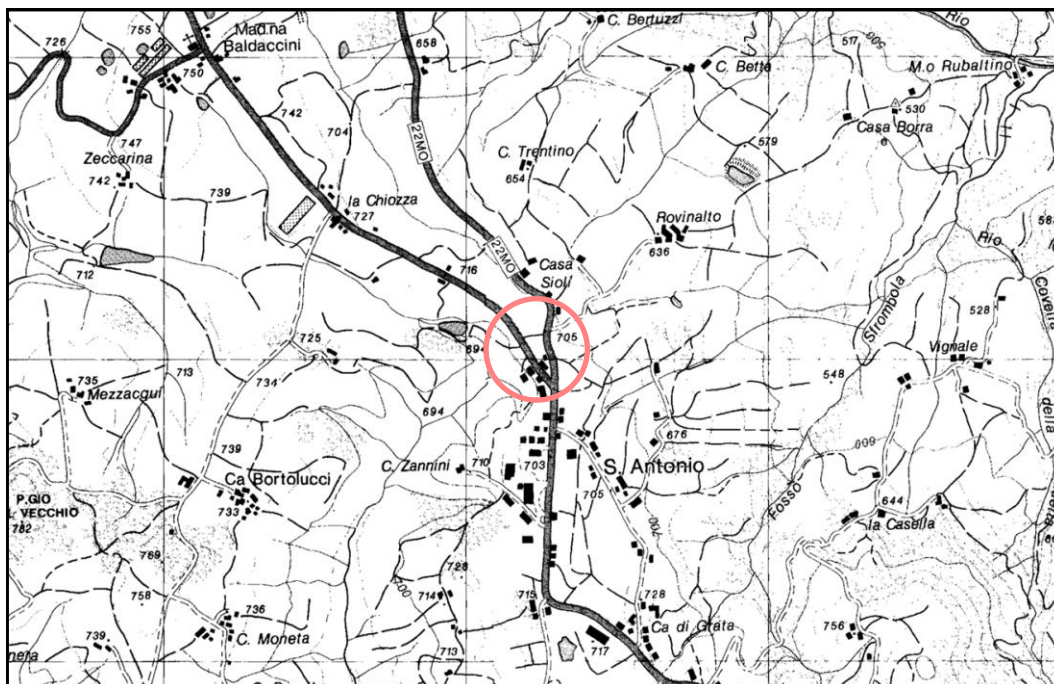


CARTOGRAFIA C.T.R.

Scala 1:25'000

TAVOLA 236NO, 236NE

TAV. 1

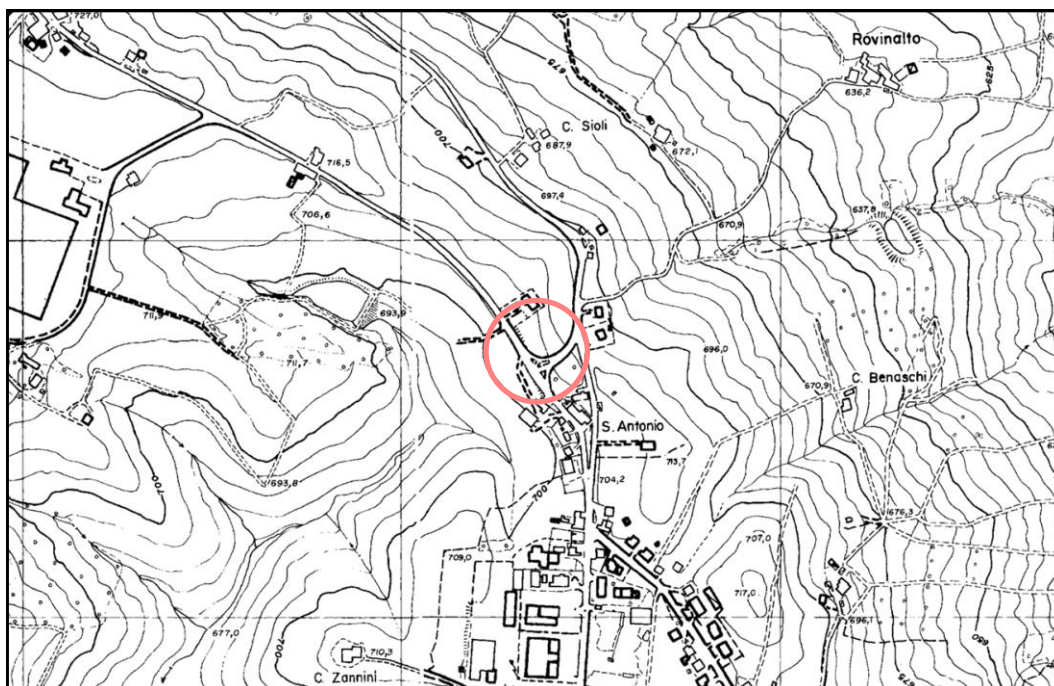


CARTOGRAFIA C.T.R.

Scala 1:10'000

SEZIONE 236020, 236030

TAV. 2



UBICAZIONE DEL SITO

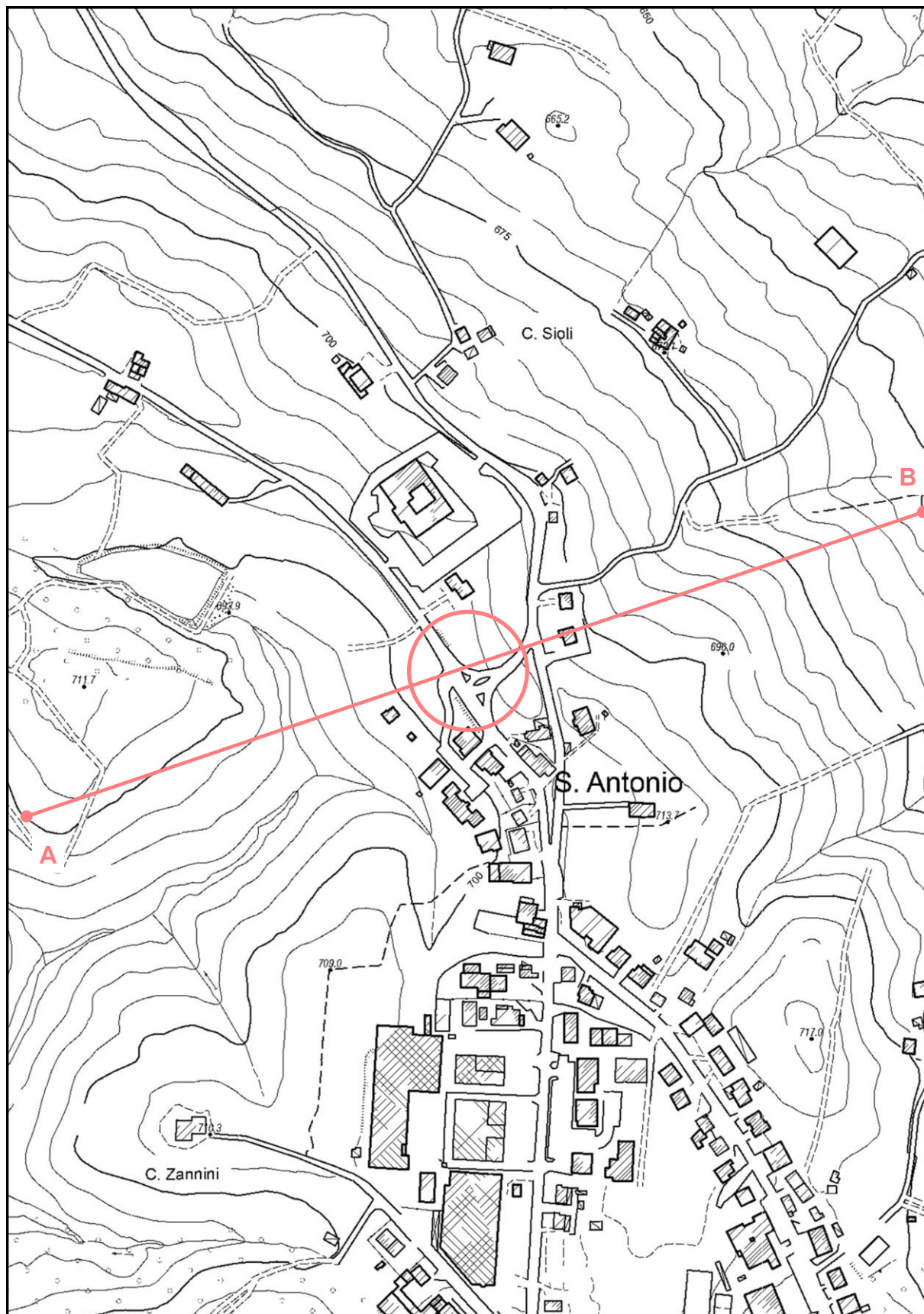


CARTOGRAFIA C.T.R.

Scala 1:5'000

ELEMENTO 236021, 236034, 236033, 236022

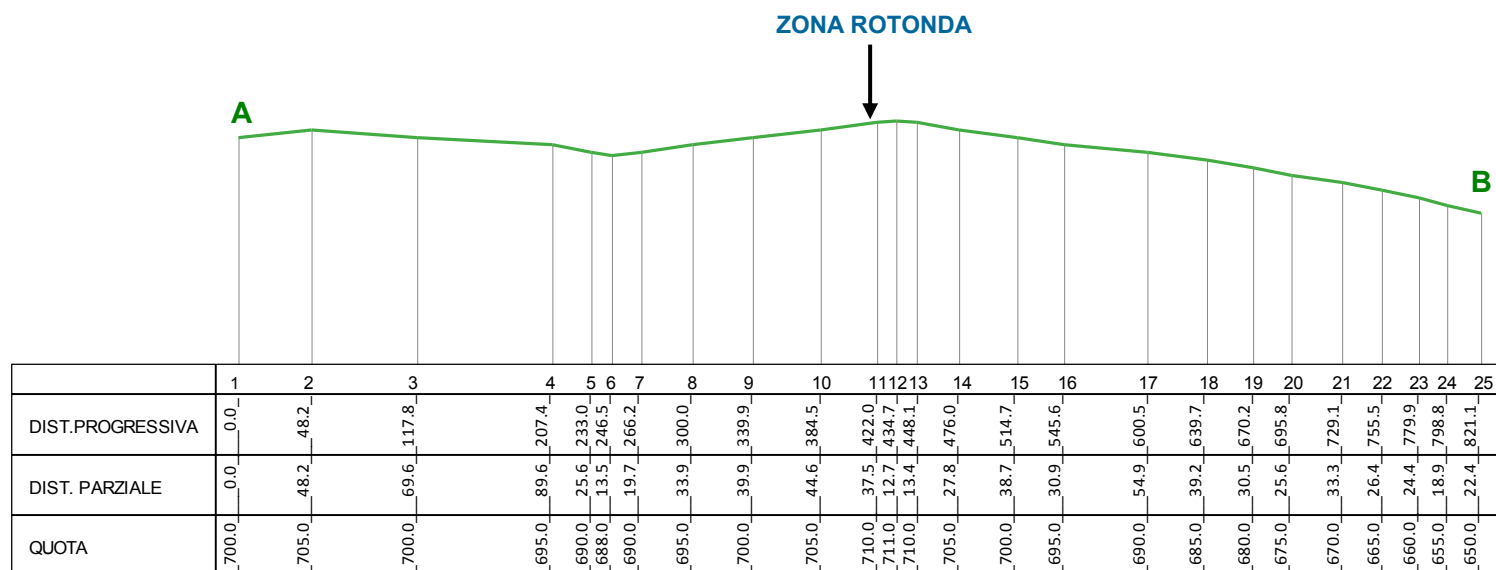
TAV. 3





SEZIONE TOPOGRAFICA

(Scala X = 1:5000 Scala Q = 1:5000)



MORFOMETRIA DEL VERSANTE

RILEVATO DALLA CARTA TECNICA REGIONALE

Scala 1:5000

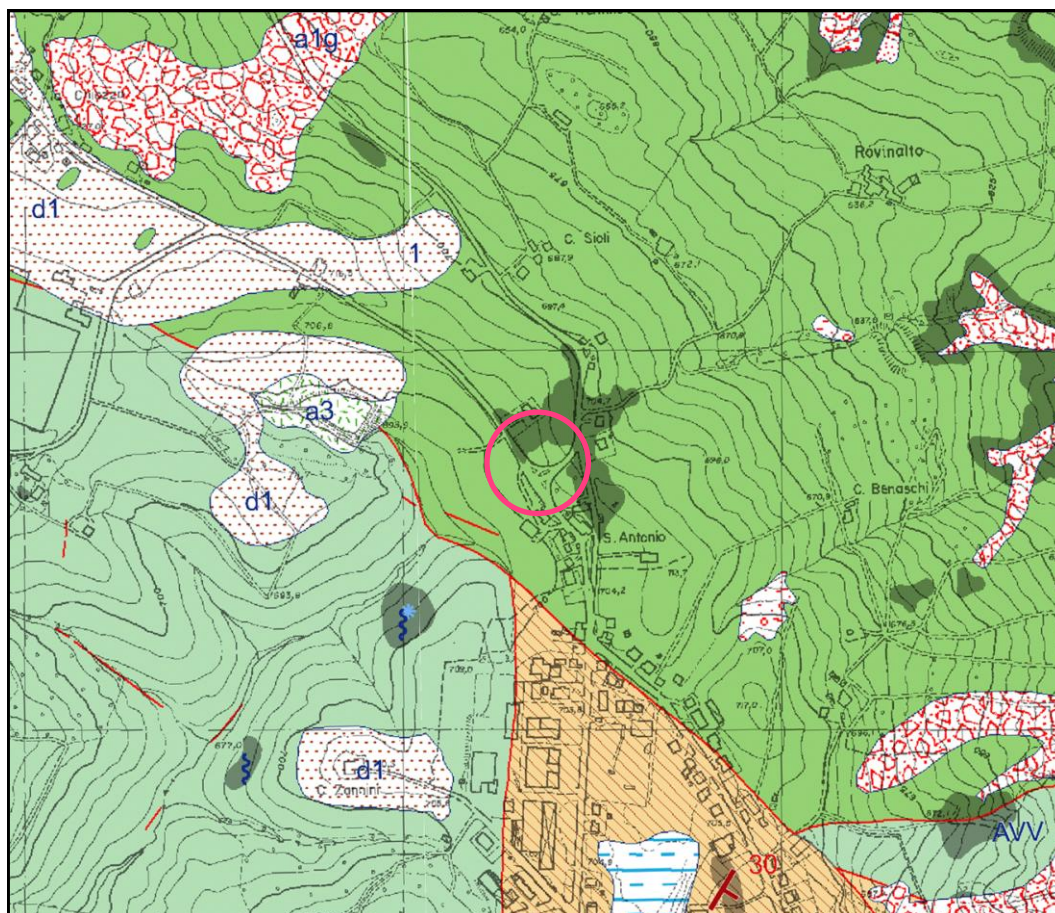
Pun.n°	D.Prog.	D.Parz.	Quota	Acc.°	Acc.°
0002.0	0048.2	0048.2	0705.0	010.4	005.9
0003.0	0117.8	0069.6	0700.0	007.2	004.1
0004.0	0207.4	0089.6	0695.0	005.6	003.2
0005.0	0233.0	0025.6	0690.0	019.6	011.1
0006.0	0246.5	0013.5	0688.0	014.8	008.4
0007.0	0266.2	0019.7	0690.0	010.2	005.8
0008.0	0300.0	0033.9	0695.0	014.8	008.4
0009.0	0339.9	0039.9	0700.0	012.5	007.1
0010.0	0384.5	0044.6	0705.0	011.2	006.4
0011.0	0422.0	0037.5	0710.0	013.3	007.6
0012.0	0434.7	0012.7	0711.0	007.9	004.5
0013.0	0448.1	0013.4	0710.0	007.5	004.3
0014.0	0476.0	0027.8	0705.0	018.0	010.2
0015.0	0514.7	0038.7	0700.0	012.9	007.4
0016.0	0545.6	0030.9	0695.0	016.2	009.2
0017.0	0600.5	0054.9	0690.0	009.1	005.2
0018.0	0639.7	0039.2	0685.0	012.7	007.3
0019.0	0670.2	0030.5	0680.0	016.4	009.3
0020.0	0695.8	0025.6	0675.0	019.6	011.1
0021.0	0729.1	0033.3	0670.0	015.0	008.5
0022.0	0755.5	0026.4	0665.0	019.0	010.7
0023.0	0779.9	0024.4	0660.0	020.5	011.6
0024.0	0798.8	0018.9	0655.0	026.5	014.8



CARTA GEOLOGICA CARG

Scala 1:10'000

TAV. 4



DESCRIZIONE DELLE UNITA' GEOLOGICHE PRESENTI IN CARTA

Depositi quaternari continentali

	a1 - Deposito di frana attiva di tipo indeterminato
	a1b - Deposito di frana attiva per scivolamento
	a1d - Deposito di frana attiva per colamento lento
	a1g - Deposito di frana attiva complessa
	a2b - Deposito di frana quiescente per scivolamento
	a2c - Deposito di frana quiescente per espansione laterale
	a2d - Deposito di frana quiescente per colamento lento
	a2g - Deposito di frana quiescente complessa
	a2h - Deposito di frana quiescente per scivolamento in blocco
	a3 - Deposito di versante s.l.
	a4 - Deposito eluvio-colluviale
	d1 - Deposito eolico

Unità liguri

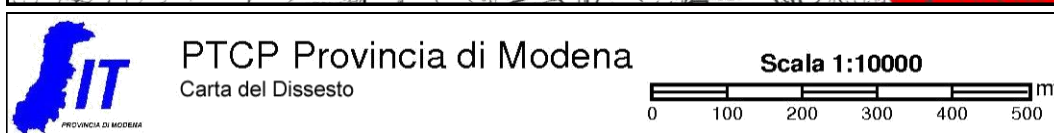
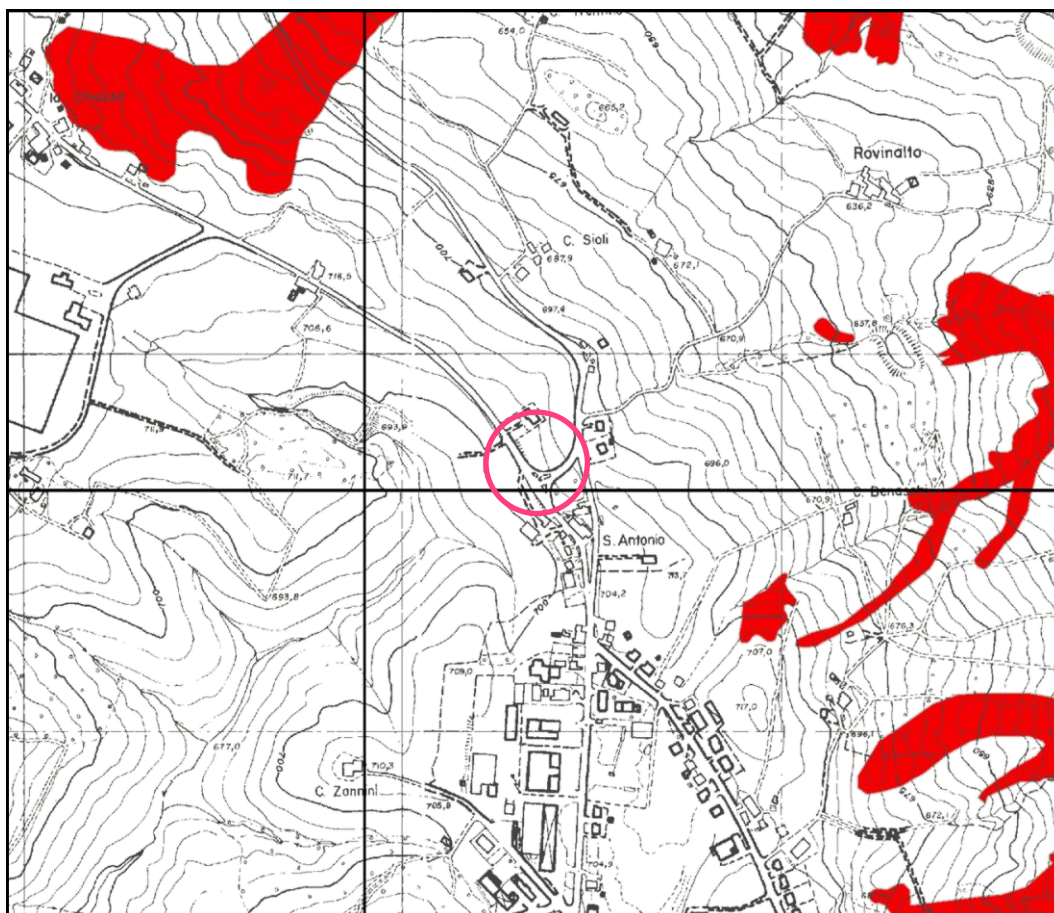
	MCS - Flysch di Monte Cassio
	VRO - Argille della Val Rossenna
	MOH - Formazione di Monghidoro
	MOHc - Formazione di Monghidoro - litofacies pelitica
	MOV - Formazione di Monte Venere
	AVV - Argille Varicolori di Cassio
	AVT - Argille variegata di Grizzana Morandi
	SCB - Arenarie di Scabiazza
	APM - Arenarie del Poggio Mezzature
	APA - Argille a palombini
	APAA - Argille a palombini - litozona argillitica
	sigma - Serpentine










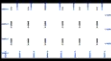




CARTA DEL DISSESTO PTCP

Scala 1:10'000

TAV. 5



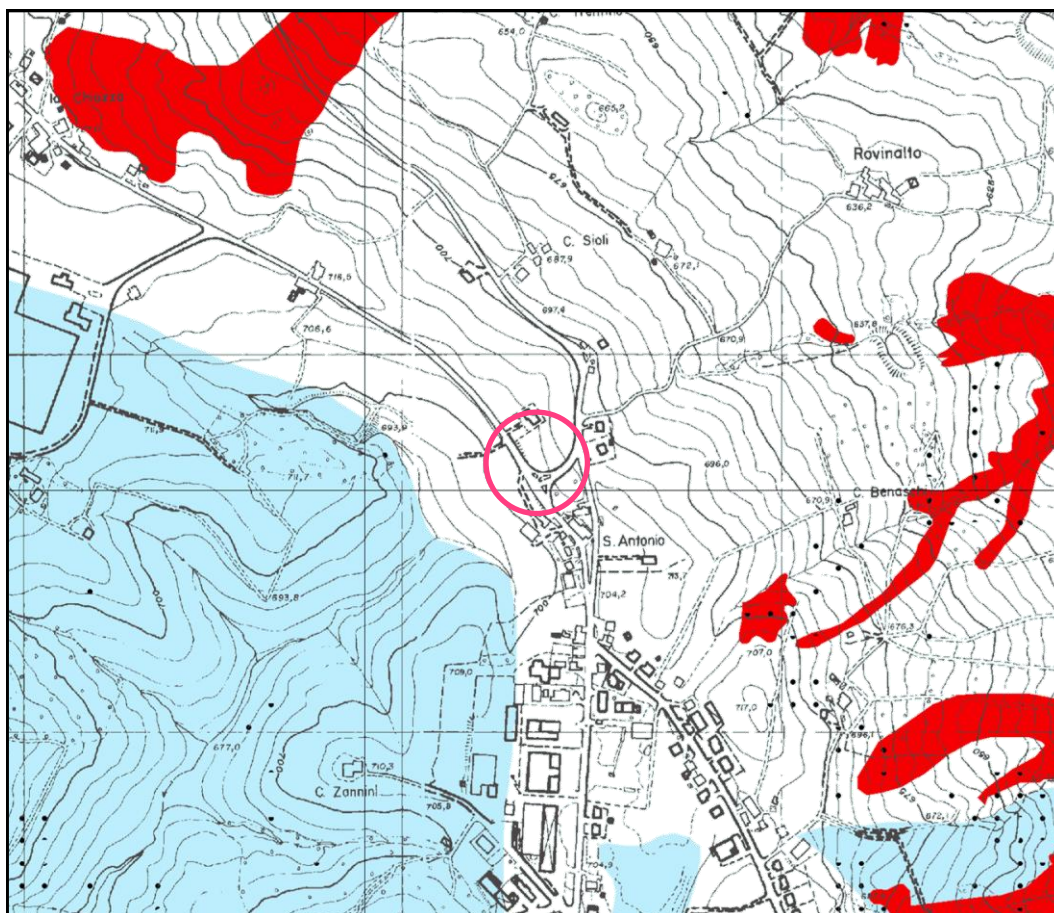
VOCI DI LEGENDA				
Zone ed elementi caratterizzati da fenomeni di dissesto e instabilità				
			Aree interessate da frane attive	Art.15
			Aree interessate da frane quiescenti	
Zone ed elementi caratterizzati da potenziale instabilità				
			Aree potenzialmente instabili	Art.16
Aree a rischio idrogeologico elevato e molto elevato				
	Codice scheda 2.1.1 NR	Abitati da consolidare o da trasferire (perimetrazione approvata ai sensi dell'art.29 comma 2 del PTPR)		Art.17
		Aree a rischio idrogeologico molto elevato		Art.18A
		Aree a rischio da frana perimetrate e zonizzate a rischio molto elevato (R4) ed elevato (R3)		Art.18B



CARTA DEL RISCHIO SISMICO

Scala 1:10'000

TAV. 6



Effetti attesi

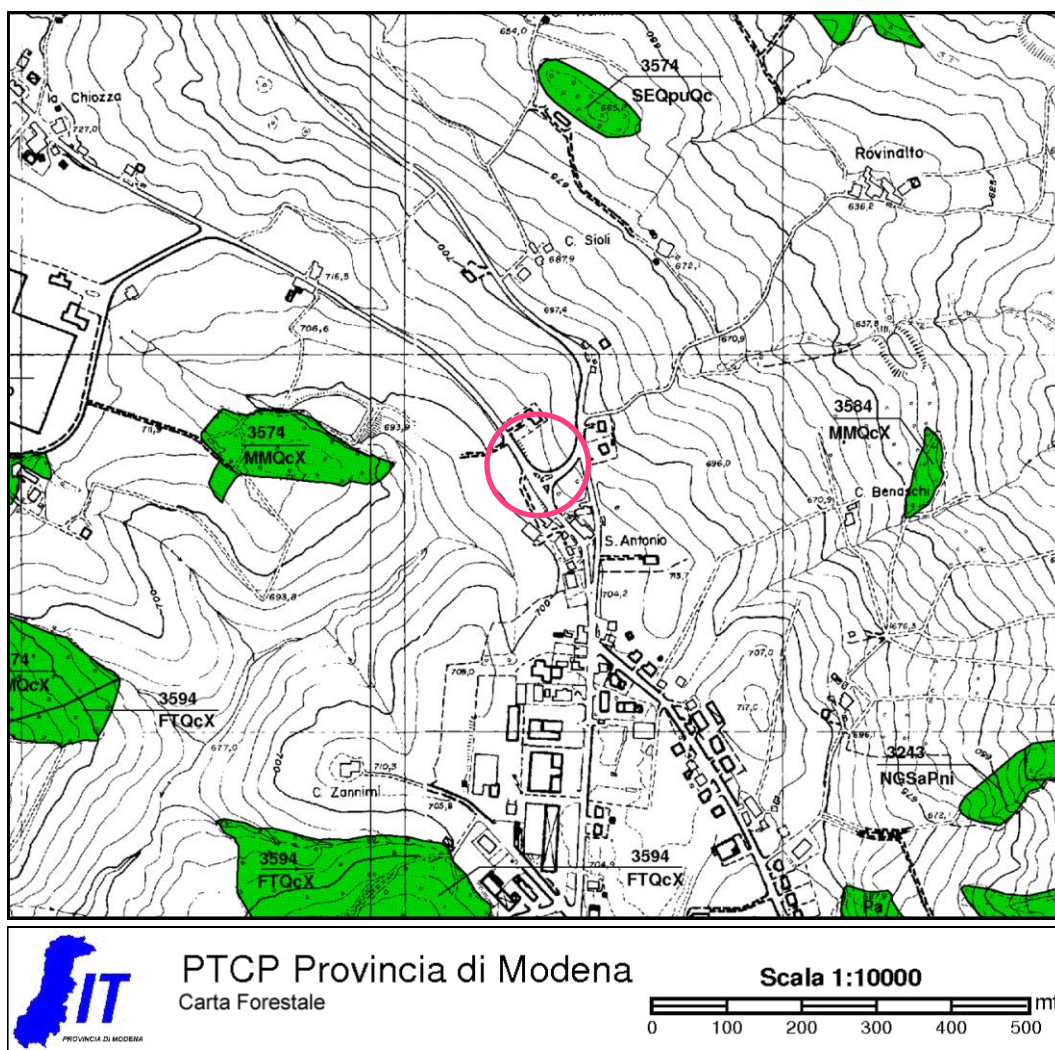
1	Area instabile e soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche <u>studi</u> ": valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e del grado di stabilità del versante in condizioni dinamiche o pseudostatiche (nei casi in cui siano ammessi interventi); <u>microzonazione sismica</u> ": approfondimenti di III livello.
2	Area instabile e soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e topografiche <u>studi</u> ": valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e topografico e del grado di stabilità del versante in condizioni dinamiche o pseudostatiche (nei casi in cui siano ammessi interventi); <u>microzonazione sismica</u> ": approfondimenti di III livello; nelle aree prossime ai bordi superiori di scarpate o a quote immediatamente superiori agli ambiti soggetti ad amplificazione per caratteristiche topografiche e nelle zone con accentuato contrasto di pendenza, lo studio di microzonazione sismica deve valutare anche gli effetti della topografia.
3	Area potenzialmente instabile e soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche <u>studi</u> ": valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e del grado di stabilità del versante in condizioni dinamiche o pseudostatiche; <u>microzonazione sismica</u> ": approfondimenti di III livello.
4	Area potenzialmente instabile e soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e topografiche <u>studi</u> ": valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e topografico e del grado di stabilità del versante in condizioni dinamiche o pseudostatiche; <u>microzonazione sismica</u> ": approfondimenti di III livello; nelle aree prossime ai bordi superiori di scarpate o a quote immediatamente superiori agli ambiti soggetti ad amplificazione per caratteristiche topografiche e nelle zone con accentuato contrasto di pendenza, lo studio di microzonazione sismica deve valutare anche gli effetti della topografia.
5	Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche <u>studi</u> ": valutazione del coefficiente di amplificazione litologico; <u>microzonazione sismica</u> ": approfondimenti di II livello.




CARTA FORESTALE PTCP

Scala 1:10'000

TAV. 7



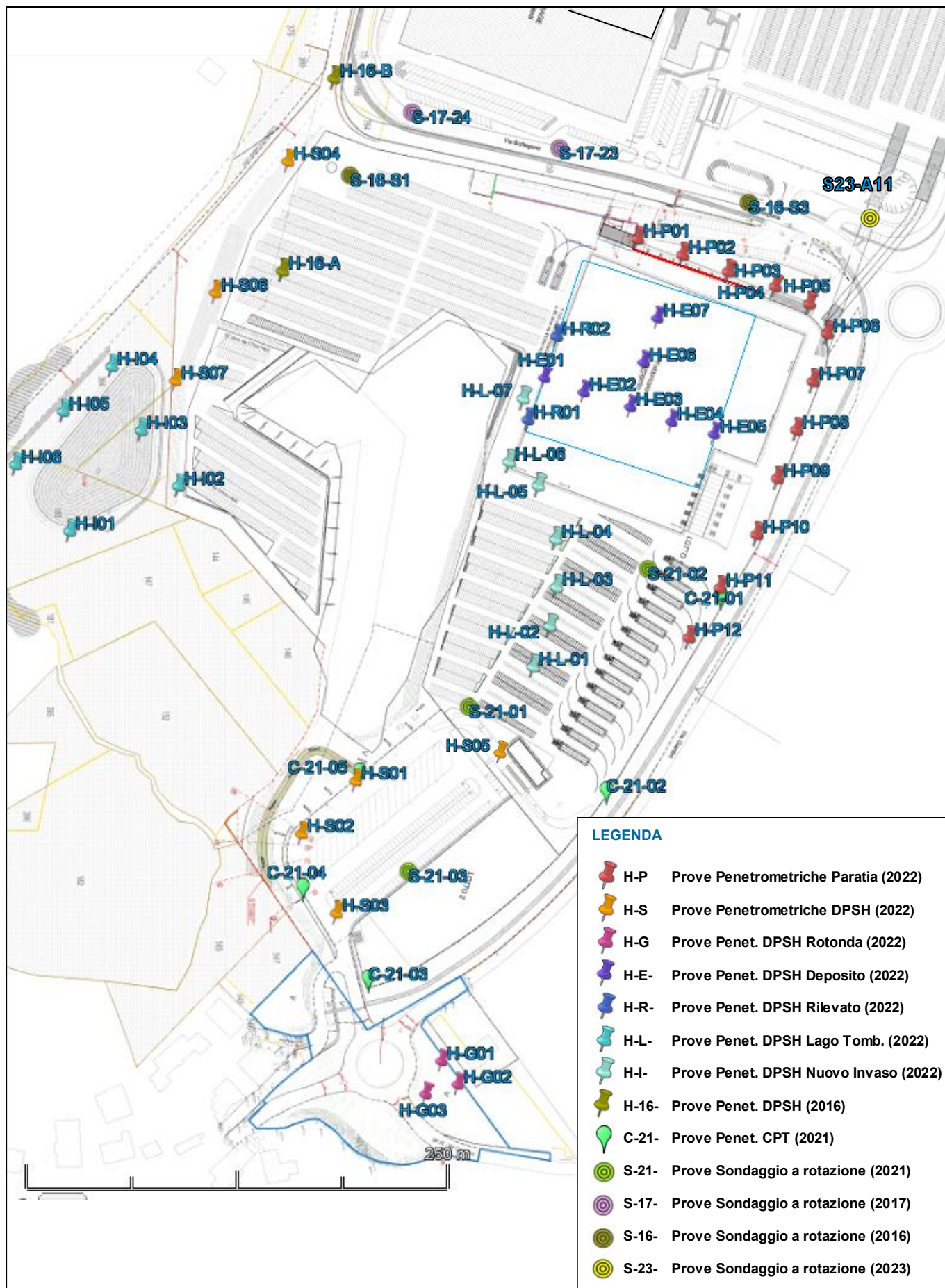
LEGENDA	
	Area Forestale
	Area Agricola: colture permanenti
	Area Urbana: parco e/o giardino



PLANIMETRIA CON PROVE GEONOSTICHE PREGRESSE E RECENTI

FUORI SCALA

TAV. 8

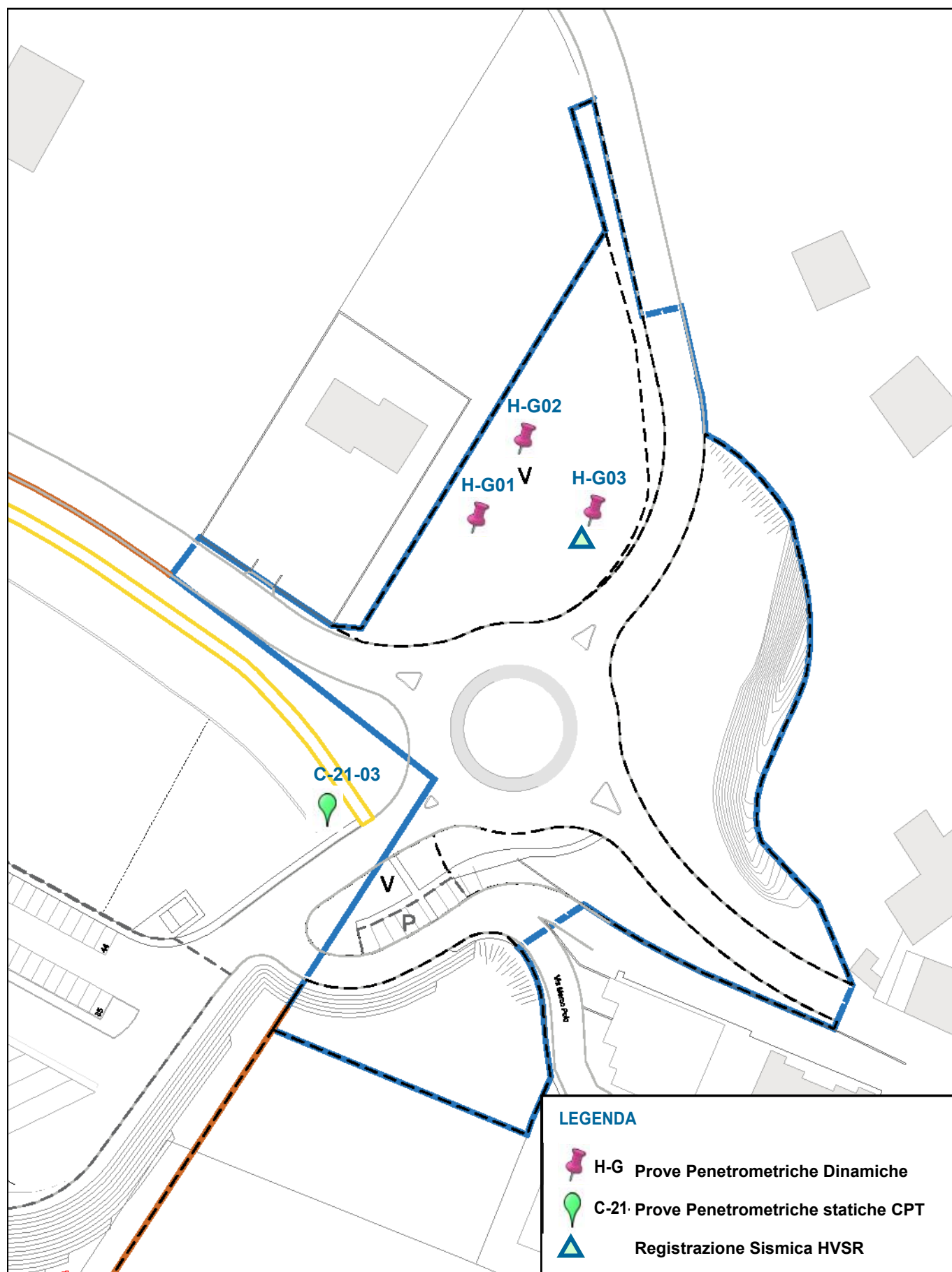




PLANIMETRIA DELLA ROTATORIA

Scala 1:1000

TAV. 9





1. RELAZIONE GEOLOGICA

1.1 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Gli interventi previsti riguardano la costruzione di una rotatoria sulla Via Giardini (SS12) al servizio del complesso ceramico MIRAGE S.p.A., ma anche della viabilità verso *Coscogno* ed il fondovalle che conduce a Vignola.

L'area di indagine è posta ad una quota media di circa 710 m s.l.m.: subito a Sud troviamo il nucleo abitato di *S. Antonio*, circa 2.0 Km più a Nord, il bivio per la *Nuova Estense*.

L'area dove corre la SS12 è zona di spartiacque fra il bacino del *Fiume Panaro* a Nord/Est e del *Fiume Secchia* a Sud/Ovest.

Il litotipo dominante è costituito da argille e peliti, sovra consolidate e fessurate, con inclusi sottili strati arenacei.

Nell'area affiorano le *Arenarie di Scabiazza* (area in oggetto e buona parte del settore centrale e Nord-Orientale) ed in misura minore le *Argille Varicolori* (settore nord-orientale); infine, più distante, troviamo qualche affioramento di Argille a Palombini

Nell'area centrale abbiamo un ripiano ricoperto da depositi eolici eluviali e colluviali(d1) descritti nella *Carta Geologica dell'Appennino emiliano-romagnolo* come "limi argillosi e limi debolmente sabbiosi, ocracei localmente intensamente pedogenizzati".

Limitati depositi di versante, spesso di dimensioni non cartografabili e costituiti da materiali eterogenei accumulati per gravità o ruscellamento, sono presenti entro le vallecicole.

In generale le pendenze risultano moderate, ma non di rado, soprattutto nel settore nord-orientale, il terreno mostra gibbosità, ondulazioni e fenomeni di soliflusso: tali manifestazioni dipendono dalla natura dei terreni affioranti che sono costituiti da litotipi prevalentemente argillosi.

Nella fascia settentrionale, lontano dall'area in oggetto, si possono individuare fenomeni franosi attivi e quiescenti; questi movimenti gravitativi sono molto diffusi sui terreni liguri affioranti sull'appennino modenese; si tratta di masse eterogenee ed etero-



metriche costituite da blocchi di calcari, spezzoni di arenarie, materiali litoidi di varie dimensioni entro una *matrice* pelitica.

1.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Dal punto di vista geologico nell'area affiorano quei terreni appartenenti alla successione ligure che in passato venivano denominati COMPLESSO CAOTICO (Argille scagliose p.p.) e descritti come: "Accumuli per frana sottomarina (Olistostromi). Blocchi di calcari grigi e verdastri, talora con microfossili cretacei ed eoceenici, subordinatamente di arenarie calcarifere, inglobati in una matrice argillosa. Seguendo le più recenti classificazioni introdotte nella "Carta Geologica dell'Appennino Emiliano-Romagnolo" alla scala 1:10.000 e nella Carta Geologica CARG nell'area affiorano le seguenti unità appartenenti ai complessi di base:

- ARGILLE VARICOLORI (AVV)
- ARENARIE DI SCABIAZZA (SCB)
- ARGILLE A PALOMBINI (APP)

ARENARIE DI SCABIAZZA (SCB)

Si tratta di una formazione interamente costituita da torbiditi arenacee, ma con differenti *facies* torbiditiche distinguibili per il diverso rapporto arenaria/pelite e per il diverso spessore degli strati. La litofacies più diffusa è rappresentata da torbiditi da sottili a sottilissime con una porzione arenacea costituita da arenarie grigie, a grana fine, micacee, cui segue una porzione pelitica di argille o argilliti grigio-scuere. L'età più recente riscontrata nelle Arenarie di Scabiazza è data da un Campaniano inf. e non è ancora stato possibile stabilire con precisione l'età della base della formazione che non dovrebbe essere più antica del Turoniano.

ARGILLE VARICOLORI (AVV)

Questa formazione, litologicamente molto eterogenea, è costituita prevalentemente dalla ripetuta alternanza di sottili strati (in buona parte risedimentati) da centimetrici a decimetrici di argille



rosse grigie, nerastre, verdastre o violacee a cui si intercalano strati di marne e di calcilutiti grigie, di siltiti mangesifere, di torbiditi pelitico-arenacee in strati sottili e strati da decimetrici a metrici di microconglomerati e conglomerati prevalenti clasti di rocce cristalline e sedimentarie. Nelle *Argille Varicolori* sono state rinvenute associazioni a nannofossili indicanti un'età compresa tra il Cenomaniano ed il Campaniano.

Le *Argille Varicolori* sono eteropiche alle Arenarie di Scabiazza e talvolta addirittura indistinguibili da quest'ultime. Ad un'analisi attenta, la differenza litologica con le Arenarie di Scabiazza risulta comunque evidente: nelle Argille Varicolori abbiamo sempre intercalazioni di arenarie di spessore minore, una maggiore varietà cromatica e un minor grado di compattazione.

Quando le argille sono molto deformate, gli inclusi tettonici si allineano alle bande di argille con i colori sopra menzionati: quando sono poco deformate invece appaiono come un'alternanza di straterelli argillosi di diverso colore con intercalazioni di pacchi di torbiditi pelitico-arenacee.

ARGILLE A PALOMBINI (APA)

Questa formazione è costituita dall'alternanza irregolare di argille ed argilliti nerastre, fissili, e di strati di calcilutiti grigie risedimentate, in strati di spessore verticalmente variabile da 20 cm ad oltre il metro. Si tratta di torbiditi da sottili a spesse, talora a base siltitica, costituite da calcilutiti silicee, calcari marnosi grigio-chiari o verdognoli in alternanza con strati di argilliti ed argille grigio scure. Stratificazione fortemente deformata con *boudinage* e trasposizione. Includono masse isolate di svariate dimensioni di graniti(gr) e brecce poligeniche a prevalenti clasti ofiolitici(bp). All'interno delle Argille a Palombini sono presenti rare masse di rocce ofiolitiche rappresentate da basalti, da serpentiniti, ma soprattutto da brecce ofiolitiche poligeniche con clasti anche di rocce sedimentarie. Sono altresì presenti alcune masserelle granitiche di piccole dimensioni. L'età delle Argille a Palombini è mal definita per la scarsità di microfaune e nannofossili: ben documentabile è la presenza del Cretaceo inf., incerta quella del Cenomaniano.



1.3 IDROGEOLOGIA E IDROGEOLOGIA

L'area si colloca a poca distanza dalla strada statale S.S.12, che corre sulla dorsale che con direzione Sud/Est - Nord/Ovest divide il bacino del *F.Panaro* (a Est) dal bacino del *F.Secchia* (a Ovest).

Il sito è ubicato dalla parte Sud della dorsale e le acque superficiali sono raccolte da rivoli e fossi sottostanti, tributari diretti del *Fosso Parotola*, affluente in destra idraulica del *T.Cogorno*.

Il bacino idrografico principale è quello del *Fiume Secchia* il secondario quello del *Torrente Rossenna*.

La permeabilità dei terreni è in genere bassa perchè tutte le litologie affioranti hanno una forte componente pelitica.

La collocazione dell'intervento non turberà in alcun modo il regime delle acque superficiali e/o sotterranee.

1.4 PROCESSI EROSIVI E GRADO DI STABILITA'

L'area risulta protetta riguardo ai processi erosivi per la posizione morfologica a bassa acclività e per la collocazione in area non direttamente influenzata dal reticolo idrografico; più a valle, lungo i corsi d'acqua, abbiamo fenomeni di erosione concentrata.

In prossimità del sito non si hanno evidenti fenomeni di degradazione, né di erosione concentrata e/o diffusa.

In aree poste più a valle, soprattutto nel settore Nord e Nord/Est, sono presenti fenomeni di erosione concentrata lungo i rivoli che solcano il versante soprattutto dove affiorano le formazioni più argillose e/o i depositi a matrice pelitica.

Tali fenomeni si manifestano con entità e in aree che non possono esercitare alcuna influenza sull'area in oggetto.

Nella *Carta del Dissesto*, estratta dal PTCP della Provincia di Modena (TAV.5), non vengono segnalati fenomeni di instabilità o di dissesto nel sito di intervento o nelle sue immediate vicinanze.

Sono presenti frane attive a Nord-Nord/Est del sito, ma ad una distanza minima di circa 300m. Questi fenomeni franosi rimangono a distanza di sicurezza dall'area in oggetto e non possono avere alcuna influenza su di essa.



Tuttavia le prove geognostiche eseguite nell'area hanno mostrato un substrato argilloso-pelitico dalle caratteristiche meccaniche più modeste fino a profondità di circa 6-8 m dal p.c.

1.5 INDAGINI GEOGNOSTICHE

L'area esaminata è costituita prevalentemente da *Arenarie di Scabiazza* (SCB): si tratta di litotipi prevalentemente argillosi.

Per l'area in oggetto esistono numerose indagini eseguite negli anni per ampliamenti di fabbricati limitrofi, ma anche per movimenti terra, livellamenti, od altri lavori eseguiti sul posto.

Dalle indagini è stato possibile individuare 2 strati principali: uno più superficiale (mediamente 6-8 m di spessore, localmente anche 10 m), costituito da unità decomprese e con parametri meccanici più modesti, ed uno strato più profondo, costituito da unità mediamente più consistenti costituite da argilliti e peliti consistenti.

1.5.1 Quadro sulle Indagini Geognostiche

Per la caratterizzazione stratigrafica e geotecnica dell'area sono state eseguite numerose campagne di indagini:

- SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO (2016, 2017, 2021-2023);
- PROVE PENETROMETRICHE STATICHE (2016)
- PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE (2016, 2022)
- REGISTRAZIONI SISMICHE MASW (2016, 2017)
- REGISTRAZIONI SISMICHE HVSr (2016)

Quindi, complessivamente si sono esaminati ed in parte rielaborate le seguenti indagini geognostiche:

- 7 sondaggi a carotaggio continuo (2,2016; 2,2017; 2,2021; 1,2023)
- 6 prove penetrometriche statiche CPT (2021)
- 46 prove penetrometriche dinamiche DPSH (2,2016; 44, 2022)
- 4 registrazioni sismiche MASW (2,2016; 2,2017)
- 2 registrazioni sismiche HVSr (2,2016)

Nel loro complesso le prove hanno evidenziato la presenza di un ricoprimento (depositi di varia natura a matrice coesiva) che giacciono su un litotipo prevalentemente argilloso riconducibile al substrato decompresso delle *Arenarie di Scabiazza*.

Durante l'esecuzione delle numerose indagini non è stata intercettata una vera e propria falda, ma è stata notata la presenza di trac-



ce di acqua a profondità medie intorno ai $-4/6$ m dal p.c.

Per un quadro complessivo sull'ubicazione di queste prove pregresse si rimanda alla tavola 8 riportata a pagina 11.

Per i dettagli sulle indagini geognostiche sopra elencate, per i loro grafici e le loro elaborazioni, si rimanda all'elaborato *Indagini Geognostiche e Prove di Laboratorio*.

Si riporta di seguito l'indice provvisorio del documento sopra descritto, ma si ricorda che la campagna di indagini e sondaggi non è ancora completata, per cui sono previste future integrazioni al medesimo documento e saranno possibili futuri approfondimenti di carattere geotecnico all'interno delle successive relazioni geologiche geotecniche e sismiche che potranno essere sviluppate a corredo di ogni singolo futuro intervento.

Indice elaborato Indagini Geognostiche e Prove di Laboratorio:

ALLEGATO A: PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE	
PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE SERIE H-L	pag.004-038
PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE SERIE H-I	pag.039-068
PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE SERIE H-P	pag.069-128
PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE SERIE H-E	pag.129-163
PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE SERIE H-R	pag.164-173
PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE SERIE H-G	pag.174-188
PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE SERIE H-S	pag.189-223
PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE SERIE H-16	pag.224-228
ALLEGATO B: PROVE PENETROMETRICHE CPT	pag.229-252
ALLEGATO C: SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO	pag.253-422
STATIGRAFIE E FOTO CAROTE SONDAGGIO S-16-S1	pag.254-260
PROVE DI LABORATORIO SONDAGGIO S-16-S3	pag.261-266
STATIGRAFIE E FOTO CAROTE SONDAGGIO S-16-S1	pag.267-288
PROVE DI LABORATORIO SONDAGGIO S-16-S3	pag.289-302
STATIGRAFIE E FOTO CAROTE SONDAGGIO S-17-S23/S-17-S24	pag.303-318
PROVE DI LABORATORIO SONDAGGIO S-17-S23	pag.319-337
PROVE DI LABORATORIO SONDAGGIO S-17-S24	pag.338-352
STATIGRAFIE E FOTO CAROTE SOND. S-21-S1/S-21-S2/S-21-S2	pag.353-367
PROVE DI LABORATORIO SONDAGGIO S-21-S1	pag.368-394
PROVE DI LABORATORIO SONDAGGIO S-21-S2	pag.395-422
STATIGRAFIE E FOTO CAROTE SONDAGGIO S-23-A11	pag.423-430
PROVE DI LABORATORIO SONDAGGIO S-23-A11	pag.431-498
ALLEGATO D: REGISTRAZIONI SISMICHE MASW	pag.500-536
ALLEGATO E: REGISTRAZIONI SISMICHE HVSR	pag.537-543

1.5.2 Prove Penetrometriche Dinamiche DPSH

Le indagini geognostiche pregresse sono state integrate con numerose e più recenti prove penetrometriche dinamiche super pesanti (DPSH) eseguite quasi tutte nel 2022 in modo da poter stabilire, non tanto le caratteristiche meccaniche dei terreni argillosi presenti nell'aria, quanto la profondità del passaggio fra peliti



molto consistenti (UNITA' B) e peliti estremamente consistenti (UNITA' C) che possono essere il substrato per fondazioni profonde e che conducono al rifiuto strumentale.

Per una ricostruzione stratigrafica più dettagliata sono state quindi eseguite nel 2022, 44 prove penetrometriche DPSH, che vengono indicate con diversi suffissi (vedi sotto) e che si aggiungono alle prove H-16-A e H-16-B eseguite nel 2016.

Tutte le prove eseguite nel 2022 hanno un suffisso differente per differenziarle a seconda del lavoro e/o delle aree indagate:

- H-P = Prove penetrometriche per la Paratia (12)
- H-G = Prove Penetrometriche Zona Rotatoria (3)
- H-E = Prove Penetrometriche Edifici-Magazzino (7)
- H-R = Prove Penetrometriche per Rilevato antropico (2)
- H-L = Prove Penetrometriche contorno Lago Tombato (7)
- H-I = Prove Penetrometriche per il nuovo invaso (6)
- H-S = Prove penetrometriche Integrative (7)

Per i dettagli si rimanda alla tavola 8 a pagina 11.

1.5.2.1 Prove Penetrometriche per La Rotatoria

In particolare, nelle seguenti pagine viene riportata l'elaborazione (parametri nominali) delle 3 prove dinamiche DPSH eseguite per il presente progetto della rotatoria.

Per tarare i dati delle prove penetrometriche dinamiche DPSH e per la caratterizzazione degli strati più profondi sono state utilizzate anche informazioni che hanno tenuto conto delle prove di laboratorio eseguite sui campioni di alcuni sondaggi pregressi eseguiti nelle aree limitrofe.

I parametri riportati nelle pagine seguenti sono parametri nominali, cioè parametri ricavati direttamente dalle formule empiriche e che quindi devono essere successivamente rielaborati in modo statistico per ottenere i parametri caratteristici da introdurre nei calcoli geotecnici e strutturali. Si riportano le elaborazioni delle 3 prove penetrometriche dinamiche H-G01, H-G02 e H-G03.

Poiché gli strati di terreno hanno un comportamento prevalentemente coesivo si consiglia, almeno per gli strati più superficiale di terreno, di utilizzare i parametri geotecnici e i carichi ammissibili sotto la denominazione "Natura Coesiva":



TABELLA STRATI PROVA PENETROMETRICA N DPSH 01
(Parametri Geotecnici e Carico Ammissibile)

COMMITTENTE: MIRAGE						LOCALITA': ROTONDA COSCOGNO					
COMUNE: PAVULLO						DATA: 07/11/2022					
NOME FILE						PENETROMETRCDPSH					
H	N	N _{1,60}	Natura granulare			Natura Coesiva			FORMULA OLANDESI		
[m]	[media]	[media]	φ [°]	Mo [kN/m²]	Qa1 [kN/m²]	Cu [kN/m²]	Ed [kN/m²]	Qa2 [kN/m²]	σ' _v [kN/m²]	R _{pd} [kN/m²]	Qa3 [kN/m²]
0.4	5.0	10.9	27.7	7724	53	73	6527	126	3.7	3724	149
0.8	9.5	20.7	32.6	14676	171	138	12402	241	11.2	7076	283
1.6	7.0	15.2	30.1	10814	191	102	9138	182	22.6	4833	193
2.8	22.7	44.0	38.3	31269	1260	295	26424	520	42.1	14781	591
3.2	11.5	20.4	32.5	14501	555	137	12254	254	58.0	6928	277
3.6	6.0	10.3	27.5	7340	335	69	6202	141	65.6	3615	145
3.8	12.0	20.3	32.4	14381	656	136	12153	256	71.3	7229	289
4.2	45.0	74.5	45.0	52871	4398	499	44680	881	77.4	25485	1019

TABELLA STRATI PROVA PENETROMETRICA N DPSH 02
(Parametri Geotecnici e Carico Ammissibile)

COMMITTENTE: MIRAGE						LOCALITA': ROTONDA COSCOGNO					
COMUNE: PAVULLO						DATA: 07/11/2022					
NOME FILE						PENETROMETRCDPSH					
H	N	N _{1,60}	Natura granulare			Natura Coesiva			FORMULA OLANDESI		
[m]	[media]	[media]	φ [°]	Mo [kN/m²]	Qa1 [kN/m²]	Cu [kN/m²]	Ed [kN/m²]	Qa2 [kN/m²]	σ' _v [kN/m²]	R _{pd} [kN/m²]	Qa3 [kN/m²]
1.4	12.9	28.0	34.6	19862	422	187	16785	326	13.5	9188	368
2.0	6.0	13.1	29.0	9269	220	87	7833	161	32.8	4064	163
2.6	4.3	8.6	26.4	6121	206	58	5173	114	43.9	2788	112
3.4	9.0	15.9	30.3	11308	440	107	9556	202	56.9	5483	219
4.6	5.2	8.5	26.3	6066	337	57	5127	123	75.7	2980	119
5.4	8.8	13.7	29.3	9735	584	92	8227	189	94.6	4763	191
6.0	5.3	8.1	26.0	5723	450	54	4837	128	107.8	2802	112
6.6	8.0	11.8	28.3	8349	639	79	7055	175	119.0	4046	162
7.0	27.0	38.9	38.4	27641	3579	261	23358	490	128.8	13475	539
9.6	9.1	12.4	28.6	8772	868	83	7413	194	157.7	4153	166
10.0	16.5	21.4	32.8	15208	1728	144	12852	308	186.5	6998	280
10.2	50.0	64.2	45.0	45604	9579	430.4	38539	802	192.6	20828	833

TABELLA STRATI PROVA PENETROMETRICA N DPSH 03
(Parametri Geotecnici e Carico Ammissibile)

COMMITTENTE: MIRAGE						LOCALITA': ROTONDA COSCOGNO					
COMUNE: PAVULLO						DATA: 07/11/2022					
NOME FILE						PENETROMETRCDPSH					
H	N	N _{1,60}	Natura granulare			Natura Coesiva			FORMULA OLANDESI		
[m]	[media]	[media]	φ [°]	Mo [kN/m²]	Qa1 [kN/m²]	Cu [kN/m²]	Ed [kN/m²]	Qa2 [kN/m²]	σ' _v [kN/m²]	R _{pd} [kN/m²]	Qa3 [kN/m²]
1.4	7.4	16.2	30.4	11476	148	108	9698	190	13.2	5355	214
2.2	4.8	10.2	27.4	7248	186	68	6125	128	33.8	3162	126
3.8	7.9	14.3	29.5	10147	377	96	8575	183	56.5	4893	196
6.2	4.3	6.6	24.9	4711	354	44	3981	107	93.5	2295	92
7.6	5.9	8.4	26.2	5963	547	56	5039	139	128.7	2874	115
8.4	19.5	26.7	34.7	18988	1952	179	16046	357	149.6	8966	359
9.2	12.8	17.0	30.9	12102	1207	114	10227	251	165.5	5677	227
10.2	11.0	14.3	29.6	10152	1130	96	8579	225	182.9	4697	188
11.4	28.8	35.8	38.0	25427	3942	240	21487	479	204.8	11738	470
12.0	15.0	17.9	31.4	12723	1671	120	10752	280	223.0	5904	236
12.4	40.0	46.7	41.3	33191	7338	313	28048	614	233.0	15312	612

H = Profondità del letto dello strato elementare											
N = Numero dei colpi del penetrometro per singolo avanzamento											
N _{1,60} = Numero dei colpi della prova SPT normalizzati											
φ° = N _{1,60} = (15 · N _{1,60}) ^{1/2} + 15 (Road Bridge Specification)											
Mo = 710 · N _{1,60} [Modulo Confinato]						[kN/m²] (Farrent)					
Qa1 = [(h · γ' · N _q) + (½ · b · γ' · N _γ)] / 3						b=1 m [kN/m²] (Qa Terzaghi; N _q , N _γ Meyerhof)					
Cu = 6.7 · N _{1,60}						[kN/m²] (Terzaghi)					
Ed = 600 · N _{1,60} [Modulo Edometrico]						[kN/m²] (Stroud & Butler)					
Qa2 = [(h · γ') + (Cu · N _c)] / 3						[kN/m²] (Qa Terzaghi; N _c =5.14)					
R _{pd} = M² · H / [A · e · (M + P)]						[kN/m²] (Formula degli Olandesi)					
Qa3 = (R _{dp} / 15÷30); Qa=(R _{pd} / 25)						[kN/m²] (Carico Ammissibile, Sanglerat)					



1.5.3 Registrazioni Sismiche MASW Pregresse

Per determinare la rigidità media dei terreni da indagare e la sua classificazione ai sensi delle NTC, sono state utilizzate due indagini MASW che permettono di raggiungere i seguenti obiettivi:

- ricostruire la geometria delle unità litotecniche, definire gli spessori delle principali coperture e caratterizzare con la velocità delle onde S, le unità litologico-tecniche;
- definire la tipologia di substrato ai sensi del DM 17/01/2018;

Il MASW (Park et al., 1999) è stato sviluppato in parte per superare le difficoltà dell'applicazione del SASW in ambienti rumorosi.

La tecnica che prevede la registrazione simultanea (in questo caso l'energizzazione è prodotta da una massa battente (di almeno 8-10 Kg) di 12 o più canali fornisce una ridondanza statistica delle misure di velocità di fase e ne avvalorata la veridicità. Il salvataggio delle tracce nel dominio temporale, previsto dal metodo, permette inoltre di distinguere e evidenziare, durante l'analisi, le onde di Rayleigh presenti nel record che, normalmente, sono caratterizzate da un'elevata ampiezza di segnale (circa il 60% dell'energia prodotta si distribuisce in onde di superficie).

Una particolare analisi spettrale, "overtone analysis", produce un grafico Velocità di fase-frequenza in cui si può distinguere il modo fondamentale delle onde di superficie da cui ricavare la curva di dispersione ed il profilo delle Vs per successiva inversione 1-D.

La tecnica permette inoltre di eseguire misure ripetute spostandosi nella direzione di allineamento per risalire ad un profilo bidimensionale che evidenzia le variazioni laterali delle Vs.

L'acquisizione è avvenuta tramite sismografo a 24 canali collegato a geofoni verticali a frequenza di 4.5 Hz, con una durata di acquisizione di 1s, e con passo di campionamento di 0.25 ms.

La distanza intergeofonica è stata di 2 m, mentre l'energizzazione è stata effettuata con una massa battente da 10 kg, con colpi effettuati a 4,0-6,0-8,0-10,0-12,0 m. dall' inizio dello stendimento.

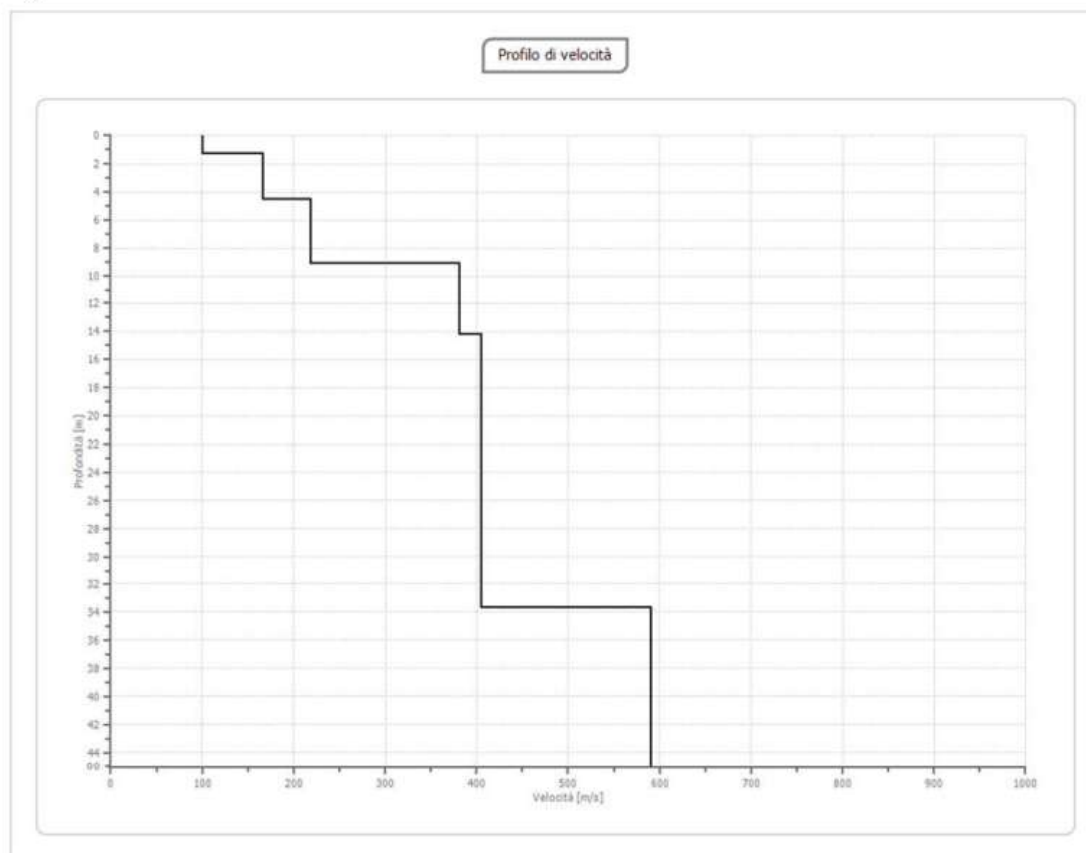
I dati acquisiti sono stati elaborati mediante software winMASW, per ricostruire il profilo della velocità delle onde di taglio Vs.

Nelle figure sottostanti sono riportati i risultati dell'inversione della curva di dispersione determinata tramite analisi MASW.



MASW-16-01

Figura 38: ANDAMENTO IN PROFONDITA' DELLA VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO



Al termine della elaborazione si è riscontrata una convergenza dei valori (Errore dell'elaborazione) pari a **0,250%**, con un fattore di disadattamento della soluzione pari a **0,039**.

Figura 39: TABELLA DELLA VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO E CARATTERISTICHE DEGLI STRATI IN PROFONDITA'

G0: Modulo di deformazione al taglio (*);												
Ed: Modulo edometrico (*);												
M0: Modulo di compressibilità volumetrica (*);												
Ey: Modulo di Young (*);												
*) Valori validi per piccolissime deformazioni comprese nel tratto lineare elastico del legame costitutivo dei materiali (deformazioni tangenziali inferiori alla soglia elastica).												
N.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	densità [Kg/cm³]	Coefficiente di Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	1.27	1.27	100.54	246.28	1800	0.4	18.2	109.18	84.92	50.95	15	24
2	2.29	1.03	166.38	551.82	1810	0.45	50.11	551.16	484.35	145.31	89	301.61
3	4.5	2.21	166.44	311.39	1880	0.3	52.08	182.29	112.85	135.42	44	302.19
4	9.06	4.55	218.72	409.19	1900	0.3	90.89	318.12	196.93	236.32	98	1192.19
5	14.22	5.17	381.72	714.14	1910	0.3	278.31	974.08	603	723.6	N/A	N/A
6	33.72	19.5	405.26	758.18	1920	0.3	315.34	1103.68	683.23	819.88	N/A	N/A
7	oo	oo	590.73	1105.15	1930	0.3	673.49	2357.21	1459.22	1751.07	0	N/A

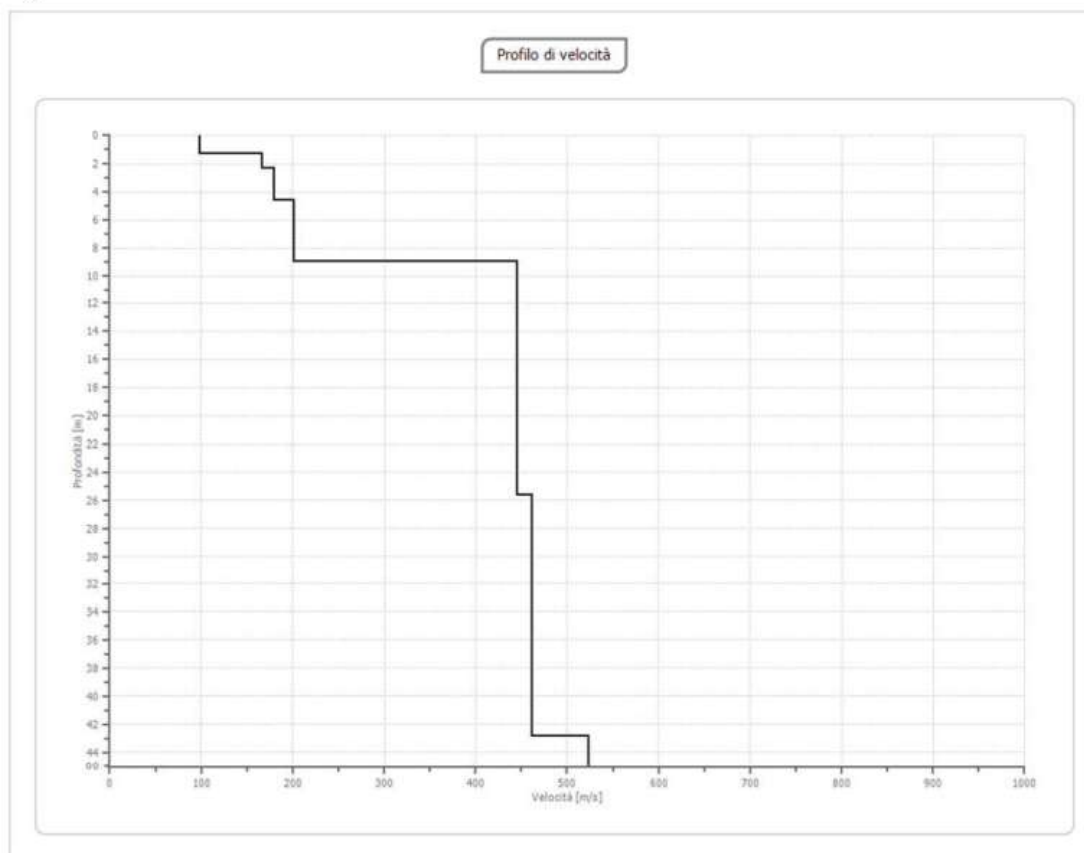
L'analisi dei risultati ottenuti dall'indagine MASW ha portato alla determinazione degli strati e delle velocità delle onde sismiche trasversali (V_s) fino a una profondità di circa **33,72 ml.** dal piano campagna.

Ai sensi del DM 14.01.2008 (GU del 04.02.2008, n. 29 – S.O. n. 30), punto 3.2.2. "Categoria di suolo e condizioni topografiche", il valore della velocità media delle onde sismiche di taglio nei primi 30 metri ($V_{s,30}$) ottenuto mediante l'indagine M.A.S.W. è risultato pari a **284,78 m/s**. Tenuto in considerazione l'errore derivante dall'elaborazione dei dati, risulta essere compreso tra **284,07 e 285,49 m/s** come evidenziato nella tabella di seguito allegata:



MASW-16-02

Figura 47: ANDAMENTO IN PROFONDITA' DELLA VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO



Al termine della elaborazione si è riscontrata una convergenza dei valori (Errore dell'elaborazione) pari a **0,198%**, con un fattore di disadattamento della soluzione pari a **0,034**.

Figura 48: TABELLA DELLA VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO E CARATTERISTICHE DEGLI STRATI IN PROFONDITA'

G0: Modulo di deformazione al taglio (*);												
Ed: Modulo edometrico (*);												
M0: Modulo di compressibilità volumetrica (*);												
Ey: Modulo di Young (*);												
*) Valori validi per piccolissime deformazioni comprese nel tratto lineare elastico del legame costitutivo dei materiali (deformazioni tangenziali inferiori alla soglia elastica).												
N.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	densità [Kg/cm³]	Coefficiente di Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	1.26	1.26	98.59	241.5	1800	0.4	17.5	104.98	81.65	48.99	14	21.75
2	2.28	1.02	166.76	553.08	1810	0.45	50.33	553.68	486.57	145.97	91	305.09
3	4.56	2.28	179.14	335.14	1880	0.3	60.33	211.16	130.72	156.86	66	437.23
4	8.98	4.42	200.94	375.92	1900	0.3	76.71	268.5	166.21	199.46	60	778.54
5	25.6	16.62	445.07	832.64	1910	0.3	378.34	1324.2	819.74	983.69	N/A	N/A
6	42.88	17.28	461.63	863.63	1920	0.3	409.15	1432.03	886.5	1063.8	N/A	N/A
7	oo	oo	523.7	979.76	1930	0.3	529.33	1852.65	1146.88	1376.25	0	N/A

L'analisi dei risultati ottenuti dall'indagine MASW ha portato alla determinazione degli strati e delle velocità delle onde sismiche trasversali (V_s) fino a una profondità di circa **42,88 ml.** dal piano campagna.

Ai sensi del DM 14.01.2008 (GU del 04.02.2008, n. 29 – S.O. n. 30), punto 3.2.2. "Categoria di suolo e condizioni topografiche", il valore della velocità media delle onde sismiche di taglio nei primi 30 metri ($V_{s,30}$) ottenuto mediante l'indagine M.A.S.W. è risultato pari a **298,52 m/s**. Tenuto in considerazione l'errore derivante dall'elaborazione dei dati, risulta essere compreso tra **297,93 e 299,11 m/s** come evidenziato nella tabella di seguito allegata:



1.5.4 Sintesi sulle Prove di Laboratorio Pregresse

Sono stati eseguiti nelle aree limitrofe 6 sondaggi a carotaggio continuo disposti come da planimetria riportata nella tavola 8 a pagina 11. Dai sondaggi sono stati prelevati campioni indisturbati sui quali sono state eseguite le seguenti prove di laboratorio:

- *Descrizione e qualità del campione*
- *Granulometrie*
- *Limite Liquido, Limite Plastico, Indice di Plasticità*
- *Determinazione del Limite di Ritiro*
- *Prova di compressione ad espansione laterale libera (ELL)*
- *Prova di Taglio Diretto CD, con Scatola di Casagrande*

Viene fornita di seguito una tabella riassuntiva delle principali caratteristiche geotecniche dei terreni fino a circa -16m dal p.c.:

SOND	CAMP	QUAL.	PROFONDITA'			LL	LP	Ip	Ic	σ	CU	C'	ϕ'
			Da	a	media	-	-	-	-	(KPa)	(KPa)	(KPa)	°
S16-S1	C1	Q5	5.2	5.5	5.4	48.7	30.4	18.3	1.67			23.90	27.80
	C2	Q5	10.2	10.5	10.4	-	-	-	-			15.40	26.90
S16-S3	C1	Q5	5.3	5.6	5.5	-	-	-	-			0.90	20.40
S17-23	C1	Q5	1.8	2.1	2.0	-	-	-	-			24.40	23.90
	C2	Q5	4.0	4.4	4.2	-	-	-	-	242.0	121.0		
	C3	Q5	9.1	9.4	9.2	-	-	-	-			42.50	25.90
	C4	Q5	14.1	14.5	14.3	-	-	-	-	397.0	198.5	9.20	27.10
S17-S24	C1	Q5	2.4	2.8	2.6	-	-	-	-			10.60	24.60
	C2	Q5	4.0	4.4	4.2	-	-	-	-			2.70	23.80
	C3	Q5	9.0	9.4	9.2	-	-	-	-			7.80	21.30
	C4	Q5	13.0	13.4	13.2	-	-	-	-			2.50	23.30
	C5	Q5	16.2	16.6	16.4	-	-	-	-			3.90	25.30
S21-S1	C1	Q5	2.2	2.5	2.4	59.9	29.9	30.0	1.05	87.3	43.7	11.90	25.30
	C2	Q5	6.0	6.5	6.3	63.1	28.6	34.5	1.33	180.0	90.0	13.70	22.20
	C3	Q5	11.3	11.6	11.5	64.6	28.6	36.0	1.30	264.0	132.0	12.90	21.60
S21-S2	C1	Q5	2.0	2.5	2.3	63.9	34.6	29.3	1.29	141.0	70.5	8.00	26.90
	C2	Q5	6.0	6.5	6.3	65.1	29.9	35.2	1.34	183.4	91.7	41.90	26.00
	C3	Q5	11.2	11.5	11.4	67.1	31.1	36.0	1.17	98.1	49.1	29.10	22.50

Dalla elaborazione dei dati risulta che la coesione non drenata media (Cu) si attesta attorno ai 90 KPa, l'angolo di attrito interno del materiale (ϕ') attorno ai 24°, ed infine, la coesione efficace media (C') si attesta fra i 10 ed i 15 KPa.

CU	C'	ϕ'
(KPa)	(KPa)	°
89.0	10.2	24.3
99.6	15.4	24.4

Media Geometrica dei dati dei campioni
Media Matematica dei dati dei campioni



2. RELAZIONE SISMICA

2.1 CLASSIFICAZIONE SISMICA DM 17/01/2018

In base alla classificazione contenuta nell'ordinanza del PCM. n° 3274 del 20 Marzo 2003, il comune di *Pavullo nel Frignano* ricade nella Zona Sismica n° 3 con $a_g = 0.15$ g.

zona	accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10 % in 50 anni $[a_g/g]$	accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) $[a_g/g]$
1	> 0.25	0,35
2	0,15-0,25	0,25
3	0,05-0,15	0,15
4	$< 0,05$	0,05

Nelle recenti Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 17/01/18) l'accelerazione orizzontale massima su sito di riferimento rigido orizzontale, non viene più riferita ai territori comunali ma ad una griglia di riferimento specifica.

Quindi per ottenere i parametri di riferimento bisogna introdurre la latitudine e la longitudine del luogo e il tempo di ritorno: ad esempio, per il sito in questione, con un $T_r=475$ anni si ottiene una accelerazione massima $a_g = 0.159$ g.

Anche nel DM 17/01/2018, per l'approccio semplificato, il suolo viene suddiviso nelle classiche cinque classi:

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>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.</i>
B	<i>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 tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>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.</i>
D	<i>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.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>



La classificazione avviene in base alla velocità delle onde S nel terreno, entro i primi 30 m di profondità dal p.c.

Se non si è in possesso della velocità delle onde S la normativa più recente (DM 17/01/2018) non prevede più le correlazioni fra la velocità delle onde S e il numero dei colpi dello Standard Penetration Test (N_{spt}) oppure fra le V_s e le C_u .

2.1.1 Classificazione del suolo in base alle V_{s30}

Per il calcolo della V_{s30} equivalente, rappresentativa dell'intero pacco di strati di 30 m di spessore, si ricorre alla relazione:

$$V_{s30} = 30 / \sum (h_i / V_{s30i})$$

Le misure delle V_s sono state ottenute dalle misure delle MASW eseguite in sito (vedi pagina 25-27).

Si riporta qui sotto la sintesi delle velocità delle onde trasversali (S) misurate dai 2 stendimenti MASW eseguiti in corrispondenza del fabbricato in progetto.

Elaborando le varie velocità delle onde trasversali ottenute nei vari strati ed applicando la formula precedente si ottengono, per le 2 registrazioni sismiche effettuate nell'area (per una profondità $h = 0$ m dal p.c.) le seguente velocità delle onde S:

- MASW 1 (2016) —> $V_{s30} = 285$ m/s
- MASW 2 (2016) —> $V_{s30} = 298$ m/s

Dopo aver calcolato le V_{s30} (velocità delle onde S equivalenti), si individua il tipo di suolo corrispondente: nel nostro caso (vedi anche nota 1 nella pagina precedente), si hanno valori delle onde S sempre compresi fra: $180 < V_{s30} < 360$ m/s, inoltre le caratteristiche meccaniche dei terreni aumentano con la profondità, quindi, applicando il metodo semplificato così come descritto nel DM 17/01/2018, siamo in presenza di una classe di suolo di tipo C.



2.2 SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO DEL SITO

Ai fini del DM 14/09/2005 e successive modifiche e dell'OPCM 3274 va definito lo spettro di risposta elastico, in accelerazione, per il sito in esame. Tale spettro indica, per ciascuna frequenza, la risposta allo scuotimento massimo (da terremoto) di un oscillatore elastico smorzato semplice (che rappresenta un edificio teorico 'tipo') con frequenza propria pari alla frequenza considerata.

Secondo l'ultima versione del DM 17/01/2018 (§ 3.2.3.2.1) tale spettro va calcolato secondo le formule sottostanti che valgono per le componenti orizzontali del moto del suolo.

Forma dello spettro elastico di riferimento

Accelerazione. Componenti orizzontali.

§.3.2.3.2.1

$$0 \leq T < T_B \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

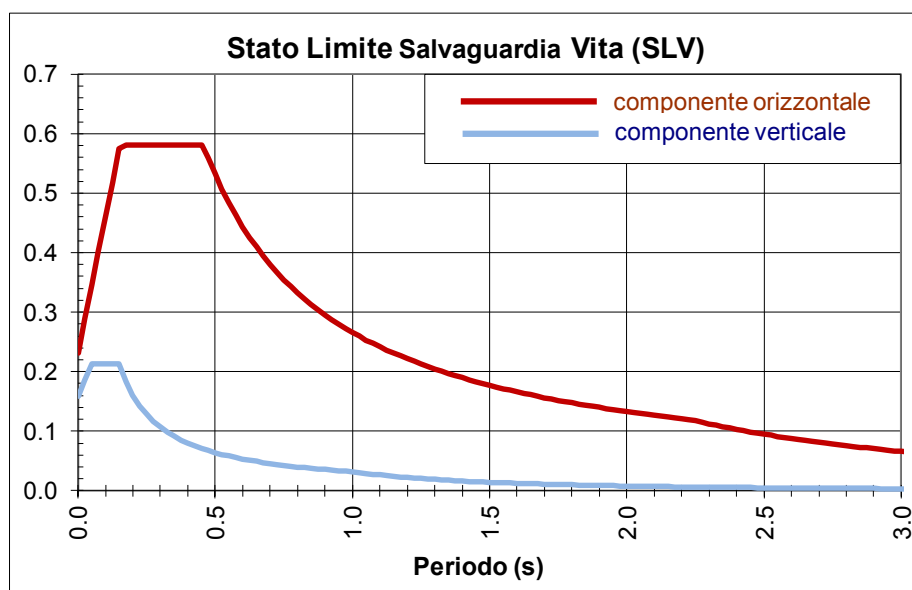
$$T_C \leq T < T_D \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

$S = S_S \times S_T$	coeff. ampl. stratigrafica x coeff. ampl. topografica tab.3.2V-VI
$\eta = (10 / (5 + \xi))^{1/2}$	ξ è lo smorzam. in % (normalmente 5%, diversamente si valuta in base alle caratteristiche dell'edificio)
F_o	fatt. amplif.spettrale max orizz. (> 2.2, allegato alla norma)
$T_c = C_c \times T_c^*$	(C_c in tab.3.2V e T_c^* in allegato alla norma)
$T_B = T_c / 3$	
$T_D = 4 a_g / g + 1.6$	

Con T si intende il periodo fondamentale di risonanza dell'edificio (espresso in secondi) e con a_g l'accelerazione massima di picco del sottosuolo (PGA) in caso di terremoto (m/s^2).

Dalle correlazioni con le Nspt si ottiene un **suolo C**; per questo tipo di suolo, con un tempo di ritorno **Tr=475 anni**, una amplificazione topografica **St=1.0** e un coefficiente di smorzamento = 5%, si ottengono le seguenti forme spettrali:



Quindi dalla sintesi dei dati (vedi ALLEGATO) è possibile fornire per il sito in oggetto il seguente quadro:

- 1) La categoria del suolo di fondazione è la **C**
- 2) L'accelerazione orizzontale di picco, riferita ad un suolo di tipo **C**, è di **0.58g**, con $T_r=475$ anni (dove g =accelerazione di gravità = 9.81 m/s^2).
- 3) Il coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s e il coefficiente C_c sono quelli relativi alla categoria di suolo di fondazione **C** descritti nella tabella sottostante.

Tab. 3.2.IV – Espressioni di S_s e di C_c

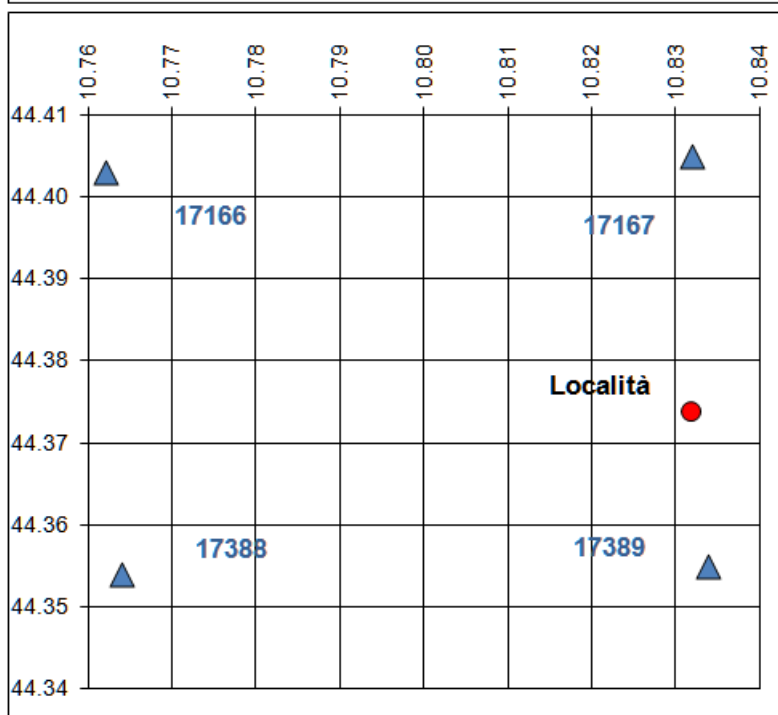
Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

Per i dettagli si veda l' [ALLEGATO E](#) e il DM 17/01/2018.



Coordinate geografiche della località in esame			
	LON	LAT	Tolleranza
	[°]	[°]	[°]
Località	10.8318	44.3739	0.0001
	[km]		
	0.014		

Coordinate geografiche dei 4 punti del reticolo				
ID	LON	LAT	DIST [°]	[km]
17389	10.8340	44.3550	0.0189	2.109
17388	10.7640	44.3540	0.0524	5.830
17167	10.8320	44.4050	0.0311	3.464
17166	10.7620	44.4030	0.0577	6.427



CARATTERISTICHE TERRENO

Topografia		T1
Coeff. topografico	S _T	1.0
Categoria suolo		C

VITA DELLA STRUTTURA

Vita nominale	V _N	50	[anni]
Classe d'uso	C _U	II	
Vita di riferimento	V _R	50	[anni]

PARAMETRI SISMICI

	SL	P _{VR}	T _R	a _g /g	F _o	T _c *
SLE	Operatività	81%	30	0.055	2.50	0.25
SLE	Danno	63%	50	0.069	2.50	0.26
SLU	Salv. Vita	10%	475	0.159	2.50	0.29
SLU	Collasso	5%	975	0.199	2.51	0.30

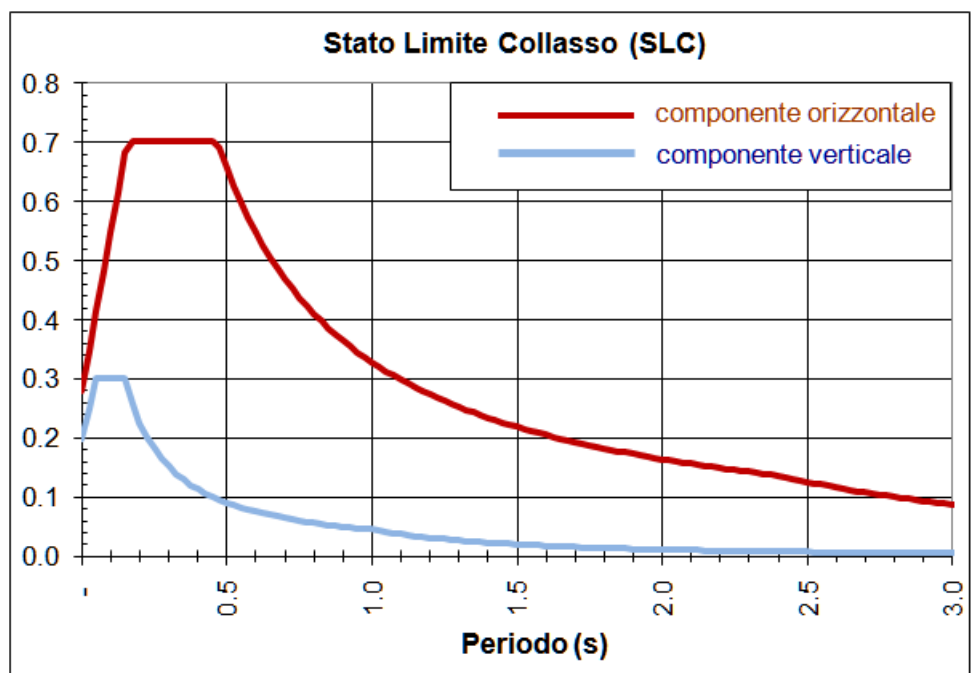
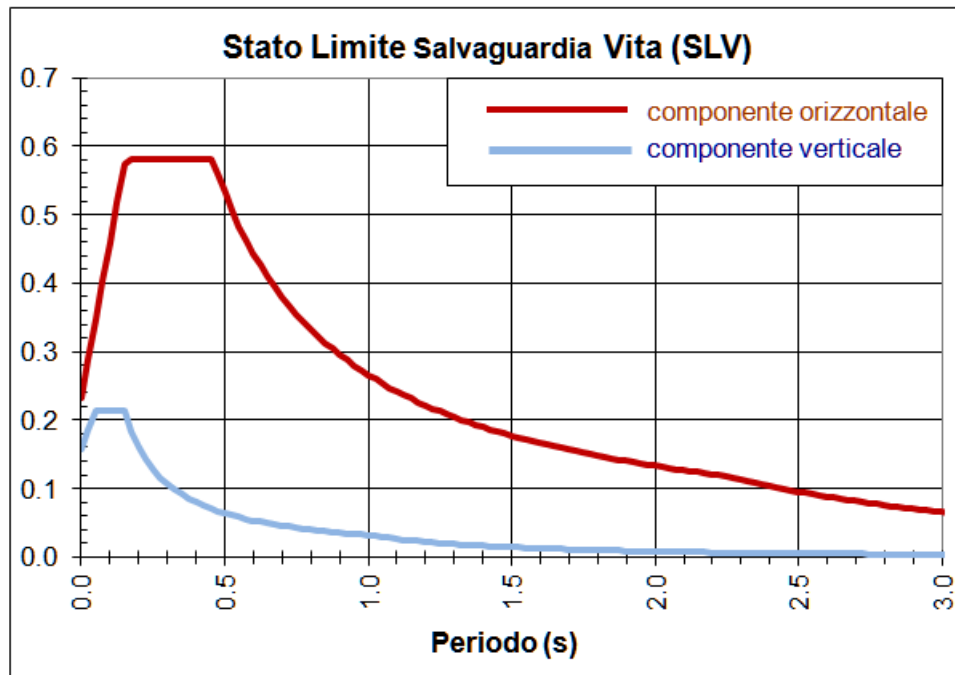
S	T _b	T _c	T _D	F _v
1.500	0.138	0.415	1.822	0.795
1.500	0.142	0.426	1.875	0.884
1.462	0.153	0.458	2.234	1.347
1.399	0.156	0.469	2.397	1.515



SPETTRI ELASTICI SLU

Tr = 475 anni (SLV)

Tr = 975 anni (SLC)





3. RELAZIONE GEOTECNICA

3.1 DATI DI PROGETTO

3.1.1 Introduzione

Gli interventi previsti riguardano la costruzione di una rotatoria sulla Via Giardini (SS12) al servizio del complesso ceramico MIRAGE S.p.A., ma anche della viabilità verso *Coscogno* ed il fondo-valle che conduce a Vignola.

Le precedenti e numerose indagini geognostiche pregresse che, avevano già fornito un quadro geologico e geotecnico di insieme, sono state integrate per questo lavoro, da 3 prove penetrometriche dinamiche DPSH e da una registrazione sismica a stazione singola.

Le elaborazioni delle 3 prove penetrometriche dinamiche DPSH sono raccolte nell'elaborato *Indagini Geognostiche e Prove di Laboratorio* da pagina 174 a pagina 188, mentre la registrazione sismica HVSR viene fornita anche in allegato alla presente relazione. In ogni caso la registrazione sismica HVSR fornisce risultati del tutto compatibili con le sismiche MASW eseguite poco a nord Ovest dell'area e raccolte nell'elaborato sopra ricordato.

Dalle prove penetrometriche eseguite per il presente lavoro ma anche dalle altre prove geognostiche pregresse è stato possibile ricavare informazioni che hanno permesso di ricostruire sia le caratteristiche meccaniche dei terreni presenti nell'area, ma anche la profondità del passaggio fra le argille consistenti (UNITA' A2) e le peliti molto consistenti (UNITA' B).

Per l'ubicazione di tutte le prove geognostiche eseguite nell'area si rimanda alla tavola 8 a pagina 11.

Infine nella tavola 9 a pagina 12 viene riportato il progetto planimetrico della rotatoria.

3.1.2 Parametri Caratteristici da prova DPSH

I dati riportati nelle tabelle che seguono riguardano la elaborazione della prova penetrometrica dinamica H-G03 elaborata eseguita per la rotatoria in oggetto.



Come già ricordato, l'elaborazione completa delle prove penetrometriche dinamiche H-G01-03 è disponibile nell'elaborato *Prove Geognostiche e Indagini di Laboratorio*.

I dati sono stati rielaborati per grandi superfici e sono stati rielaborati al 5° percentile di distribuzione della media così da ottenere i valori caratteristici (X_k). Il valori di progetto (X_d) vengono ricavati da quelli caratteristici secondo il DM 17/01/18 (tabella 6.2.II):

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1,0	1,0

Si riporta di seguito l'elaborazione della prova penetrometrica H-G02 eseguita durante la campagna di indagine 2022, con i relativi parametri caratteristi per “grandi superfici”:

PARAMETRO GEOTECNICO		STRATI ORIGINARI DPSH-G03									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		UNITA' STRATIGRAFICHE									
		-	A2	A1	B	C	B	C			
Profondità letto dello Strato	[m]	1.4	2.2	3.8	6.2	7.6	8.4	9.2	10.2	11.4	12.0
Spessore dello Strato	[m]	1.4	0.8	1.6	2.4	1.4	0.8	0.8	1.0	1.2	0.6
Nspt (Standard Penetration Test)	-	16	10	14	7	8	27	17	14	36	18
Peso Specifico del Terreno	γ [kN/m³]	19	19	19	18	19	20	20	19	20	20
Densità Relativa	D_r [%]	93	66	71	42	43	73	57	50	76	52
Coesione non drenata (con $\phi'=0$)	c_{uk} [kN/m²]	85	60	75	40	50	160	100	85	175	105
Angolo di attrito interno (solo con $C'=0$)	ϕ'_k [°]	29	26	28	24	26	33	30	29	35	30
Coesione efficace	C'_k [kN/m²]	25.0	17.5	20.0	12.5	15.0	45.0	30.0	25.0	50.0	30.0
Angolo di attrito interno (con $C'>0$)	ϕ'_k [°]	21.5	19.5	21.0	18.0	19.0	25.0	22.0	21.0	26.5	22.5
Grado di Consolidamento	OCR	1.4	0.4	0.6	2.2	2.0	>4	3.6	2.5	>4	2.6
Modulo Edometrico	E_d [kN/m²]	9700	6100	8600	4000	5000	16000	10200	8600	21500	10800
Modulo Elastico (Young)	E_s [kN/m²]	11700	8400	11500	6000	7500	71800	14500	12500	93000	15600
Modulo di Reazione (Winkler)	K_s [kN/m³]	17800 22800	15400 22400	21900 45200	12900 42500	16700 65600	42800 234200	30100 144800	27000 135600	57500 473100	33600 200500

UNITA' STRATIGRAFICHE

A1	Terreni Argillosi poco consistenti	Nspt<8
A2	Terreni Argillosi consistenti	8<Nspt<15
B	Argilliti molto consistenti	15<Nspt<30
C	Argilliti estremamente consistenti	Nspt>30



3.1.3 Caratterizzazione Stratigrafica e Geotecnica

Visto l'esito delle indagini geognostiche pregresse e recenti, tenuto conto delle stratigrafie e dei dati ricavati dalle prove penetrometriche dinamiche DPSH, eseguite nei pressi dell'intervento, ed infine esaminate le analisi di laboratorio ed i parametri geotecnici riassunti nella tabella riportata nel §.1.5.4 a pagina 24, si forniscono nelle pagine seguenti, le UNITA' litologico-geotecniche di sintesi, con i relativi parametri caratteristici.

Dalle indagini si ricava che nell'area vi sono 7-8 metri di depositi superficiale coesivi mediamente consistenti (A1-A2), quindi segue uno strato di alcuni metri di argille ed argilliti consistenti che sono riconducibili alla unità B, ed infine, solo a profondità notevoli, oltre gli 11 m dal p.c., si rinviene un substrato estremamente compatto, capace di portare al rifiuto strumentale (UNITA' C).

Generalmente il terreno mostra un aumento della resistenza al taglio non drenata (C_u) con la profondità dal p.c.

Meno evidente è l'aumento dei parametri efficaci: l'angolo di attrito, in alcuni casi, rimane quasi costante nelle varie unità.

Seguono alcune tabelle sulle principali unità litologiche che sono state riconosciute per l'area in oggetto:

UNITA' A1+A2 (Da 0 a -7/8 m dal p.c.)

Terreni Argillosi poco consistenti con N_{spt} in genere < 8

γ	= 19-20 KN/m ³	C_{u_k}	= 50-60 KPa
C'_k	= 5-10 KPa	OCR	= 0.5-1.0
ϕ'_k	= 18-21°	E_s	= 7-25 MPa

UNITA' B (da -7/8 a - 9/11 m dal p.c.)

Terreni Argillosi da consistenti a molto consistenti con $8 < N_{spt} < 30$

γ	= 20-21 KN/m ³	C_{u_k}	= 130 KPa
C'_k	= 15-20 KPa	OCR	> 1
ϕ'_k	= 23-25°	E_s	= 40-60 MPa

UNITA' C (oltre i -11 m dal p.c.)

Terreni Argillosi estremamente consistenti con $N_{spt} > 30$

γ	= 21 KN/m ³	C_{u_k}	= 160 KPa
C'_k	= 25-30 KPa	OCR	> 4
ϕ'_k	= 25-26°	E_s	= 80-100 MPa



3.2 QUADRO RIASSUNTIVO

Dalla sintesi delle indagini eseguite nell'area possiamo desumere il seguente quadro geologico e geotecnico:

1) Per la caratterizzazione stratigrafica e geotecnica si sono utilizzate diverse campagne di indagini geognostiche dalle quali si sono potute esaminare e mettere a confronto una quantità rilevante di dati sia di laboratorio che da numerose formule empiriche applicabili alle prove geognostiche eseguite sul campo. Per un quadro sulla ubicazione delle indagini geognostiche si veda la tavola 8 a pagina 11, mentre per un quadro sulle prove di laboratorio si veda il paragrafo 1.5.4 e l'elaborato *Indagini Geognostiche e Prove di Laboratorio*, da pag.423-498;

2) l'area presenta uno strato superficiale di materiale con caratteristiche meccaniche un po' più modeste dello spessore di circa 7-8 (Unità A1 e A2); quindi segue una unità B di argille ed argilliti consistenti con inclusi arenacei ed infine una unità C estremamente consistente che porta in breve tempo al rifiuto strumentale la prova penetrometrica dinamica H-G03;

3) in alcune verticali di indagine (prove penetrometriche o sondaggi a carotaggio continuo) sono state rinvenute tracce di acqua ad una profondità variabile fra i —3.5 ed i —4.5 m dal p.c.;

4) In base alla ricostruzione stratigrafica e soprattutto ai risultati ottenuti dalle registrazioni sismiche eseguite in sito, al terreno può essere attribuita una categoria di suolo C;

5) Per i parametri geotecnici da utilizzarsi nei calcoli strutturali che riguardano la rotatoria in progetto, si rimanda ai dati forniti nel §.3.1.3 a pagina 33;

6) Nell'elaborato *Indagini Geognostiche e Prove di laboratorio* si possono esaminare, da pag.174 a pag.188, i grafici e le tabelle, delle prove penetrometriche dinamiche H-G01/H-G02/H-G03, mentre, in allegato alla presente relazione viene riportata la simica a stazione singola HVSR eseguita in corrispondenza della prova H-G03.

7) Nell'elaborato *Indagini Geognostiche e Prove di laboratorio* vengono fornite anche le registrazioni sismiche pregresse (pagg.500-543) eseguite nelle aree limitrofe sempre sulla medesima litologia.



4. CONCLUSIONI

Il progetto riguarda la realizzazione di un rotatoria per regolare il traffico fra la Via Giardini, gli stabilimenti di proprietà della ceramica MIRAGE GRANITO CERAMICO S.p.A. e la strada provinciale che conduce prima a *Coscogno* e quindi al fondovalle per *Vignola*.

Per la ricostruzione stratigrafica e per ricavare i parametri meccanici del terreno si sono rielaborate numerose indagini, eseguite in passato nell'area, integrate da 3 prove penetrometriche dinamiche super pesanti DPSH e da una registrazione sismica HVSr.

Dal punto di vista stratigrafico e geotecnico i terreni che affiorano nell'area sono formati da uno strato superficiale di depositi coesivi mediamente consistenti, fino ad una profondità massima di 7-8 m dal p.c.; a partire da questa profondità i livelli diventano sempre più compatti (argilliti consistenti e molto consistenti).

Nella relazione vengono riportati i parametri caratteristici e di progetto del terreno di fondazione.

Sulla base del metodo semplificato descritto nel DM 17/01/2018, viste le registrazioni sismiche effettuate, l'area in oggetto ricade su un suolo di *categoria C*.

Per eventuali calcoli geotecnici riguardanti la rotatoria, si rimanda alle considerazioni sviluppate dal progettista.

Viste le stratigrafie ricavate dalle prove geognostiche pregresse e recenti, visti i parametri geotecnici del terreno, si ritiene che l'intervento in progetto sia compatibile con le caratteristiche geologiche, geotecniche e stratigrafiche dei terreni presenti.

Pavullo, Marzo 2023

IL GEOLOGO



APPENDICE A

Registrazione Sismica Passiva HVSR

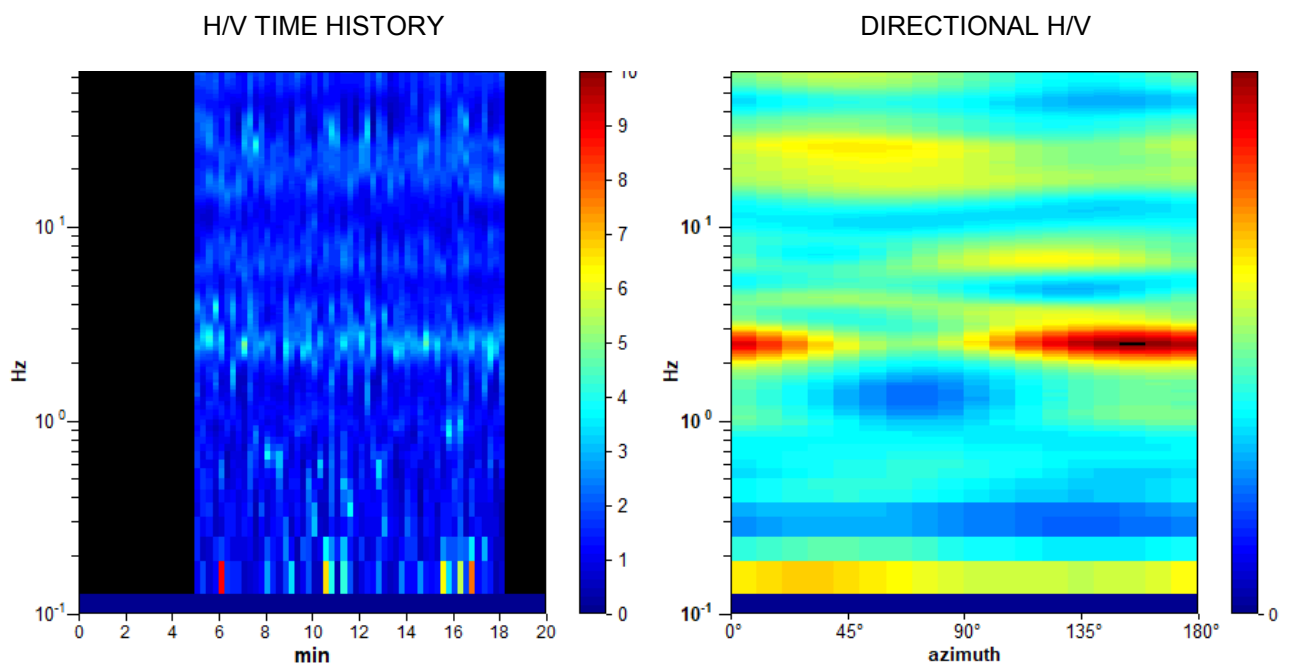


22_094a

TR_01

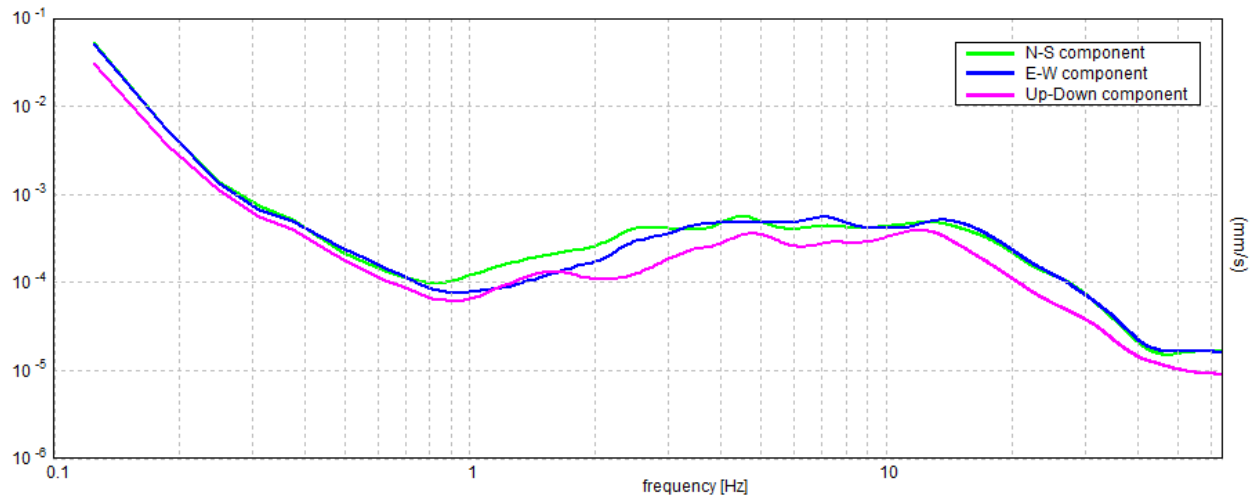
Instrument: TRS-0016/01-06
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: 51
Start recording: 08/11/22 16:13:42 End recording: 08/11/22 16:33:43
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS location: 010°50.0776 E, 44°22.3347 N (753.6 m)
(UTC time synchronized to the first recording sample): not available in this acquisition mode + 0 + 0 samples
Satellite no.: 04
Trace length: 0h20'00". Analyzed 66% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 15 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 20%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



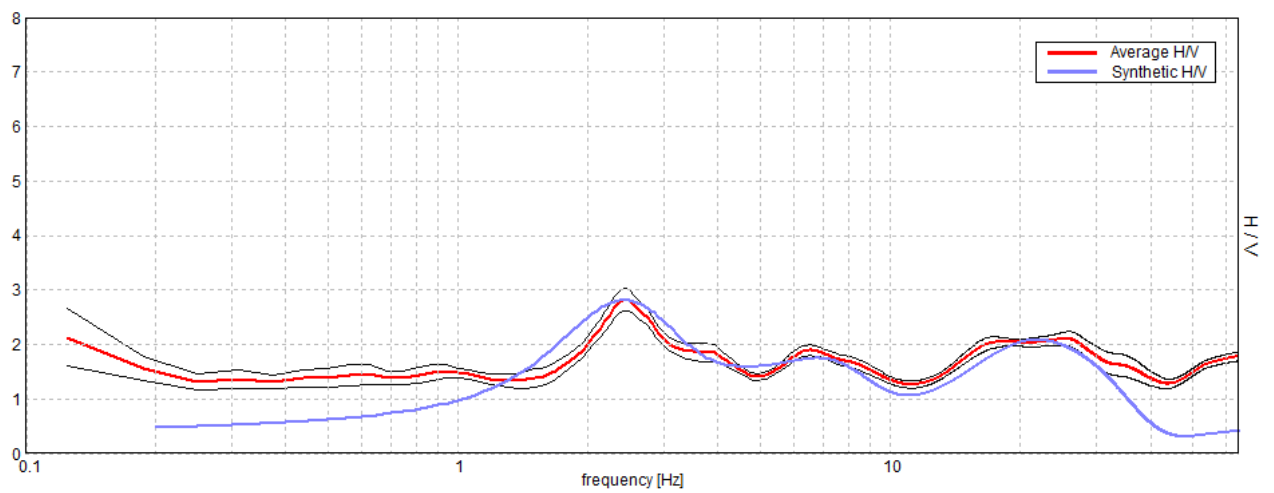


SINGLE COMPONENT SPECTRA



EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V

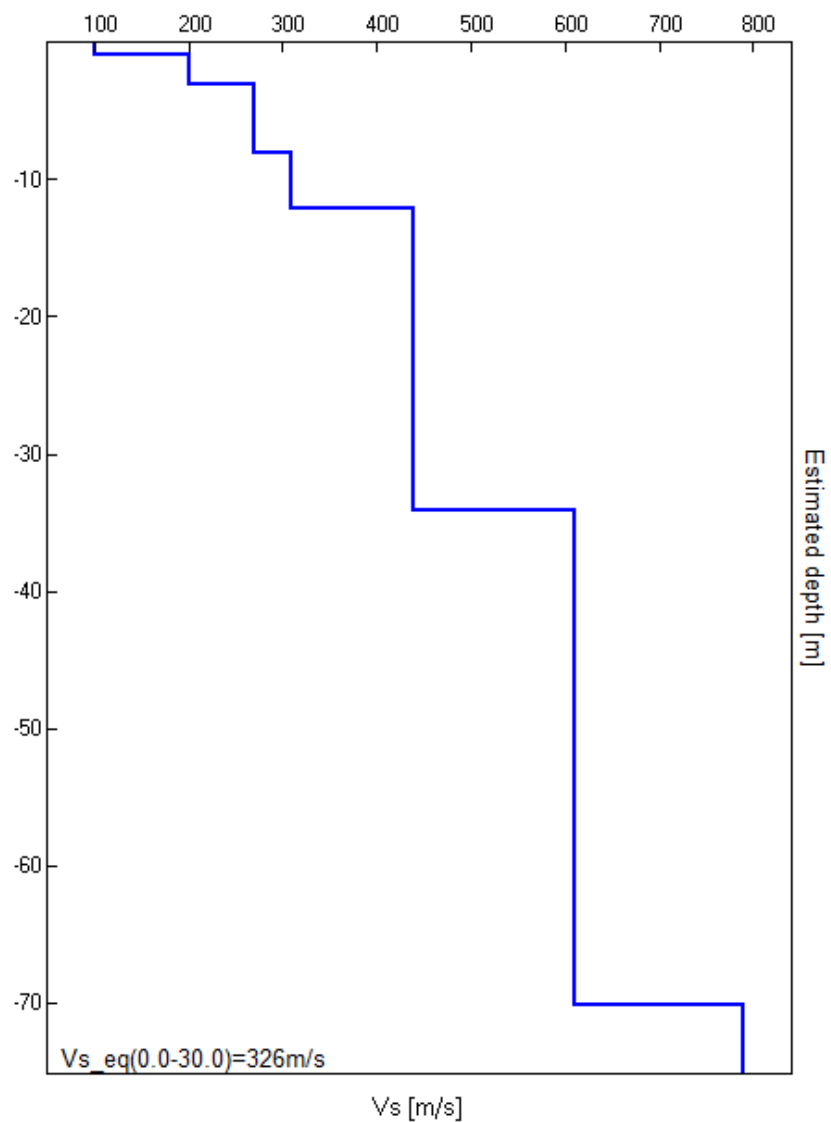
Max. H/V at 2.44 ± 0.06 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).





bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.90	0.90	100	0.42
3.10	2.20	200	0.42
8.10	5.00	270	0.42
12.10	4.00	310	0.42
34.10	22.00	440	0.42
70.10	36.00	610	0.42
inf.	inf.	790	0.42

Vs_eq(0.0-30.0)=326m/s





[According to the SESAME, 2005 guidelines. **Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.**]

Max. H/V at 2.44 ± 0.06 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$2.44 > 0.67$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$1937.8 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 60 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.563 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	4.813 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.82 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.02336 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.05695 < 0.12188$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1999 < 1.58$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

