



PROVINCIA
DI AREZZO

SETTORE VIABILITA' E LAVORI PUBBLICI
Servizio di Coordinamento Lavori Pubblici e PNRR



LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA'
ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS
TRA PIEVE S.STEFANO NORD E CANILI
lotto 1 stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori
sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone
CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013

PROGETTO ESECUTIVO

STAZIONE APPALTANTE: PROVINCIA DI AREZZO - Settore Viabilità e Lavori Pubblici

PROGETTISTA E RESPONSABILE INTEGRATORE PRESTAZIONI
SPECIALISTICHE

Ing. D. BONADIES
Ordine Ingegneri Provincia di Perugia n° A829

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

Ing. M. RASIMELLI
Ing. R. ALUIGI
Ing. S. PELLEGRINI
Ing. A. POLLI
Ing. M. MARELLI
Ing. A. LUCIA

IL GEOLOGO

Dott. Geol. S. PIAZZOLI

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Ing. L. IOVINE

VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO

Ing. P. BRACCIALI

PROTOCOLLO

DATA:

IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:



Str. del Colle, 1/a - Frac. Fontana
05132 Perugia - Italia



UNI ISO 9001:2008



UNI EN ISO 14001:2004

MANDATARIA



PINI
SWISS

PINI SWISS ENGINEERS SA

Via Besso 7 - 6900 Lugano - Svizzera

MANDANTE



PINI
ITALIA

PINI SWISS ENGINEERS Srl

Via Cavour 2 - 22074 Lomazzo (CO) - Italia

MANDANTE

SISMICA

RELAZIONE SISMICA

CODICE UNICO DI PROGETTO (CUP) I27H23000190001

P00_GEO0_GEO_RE04_B

REVISIONE

PROGETTO LIV. PROG. N. PROG.

-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

CODICE
ELAB.

P	0	0	G	E	0	0	G	E	O	R	E	0	4
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

B

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
D					
C					
B	REVISIONE A SEGUITO DI ISTRUTTORIA	DIC 2024	PIAZZOLI	ARCELLI	BONADIES
A	PRIMA EMISSIONE	GIUGNO 2024	PIAZZOLI	ARCELLI	BONADIES

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione Sismica	File: P00_GE00_GEO_RE04_B.doc Data: Dicembre 2024 Pag. 2 di 67
---	---

SOMMARIO

1.	PREMESSA _____	3
2.	NORMATIVE DI RIFERIMENTO _____	6
3.	STUDI E INDAGINI ESEGUITI _____	9
3.1	Generalità _____	9
3.2	Campagna di indagine progressa (2016) _____	10
3.3	Campagna di indagine eseguita per la presente progettazione (2020) _____	11
4.	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO, GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO DELL'AREA DI STUDIO _____	15
4.1	Inquadramento geomorfologico _____	15
4.2	Inquadramento geologico _____	18
4.3	Inquadramento idrogeologico _____	20
5.	MICROZONAZIONE SISMICA _____	23
6.	SISMICITA' E CLASSIFICAZIONE SISMICA DELL'AREA DI PROGETTO _____	27
6.1	Caratteristiche sismiche del territorio di studio _____	27
6.2	Classificazione sismica del territorio di studio – Pericolosità sismica _____	33
7.	CARATTERIZZAZIONE SISMICA SECONDO IL D.M. DEL 17.01.2018 _____	39
7.1	Azione sismica di progetto _____	39
7.2	Classificazione sismica dei terreni di fondazione _____	41
8.	RISULTATI DELLE INDAGINI GEOFISICHE _____	44
8.1	Elaborazione dei dati _____	44
8.3	Categoria di sottosuolo e condizioni topografiche _____	61
9.	SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE _____	63
9.1	Condizioni di esclusione della verifica _____	63

ALLEGATO: VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione Sismica	File: P00_GE00_GEO_RE04_B.doc Data: Dicembre 2024 Pag. 3 di 67
---	---

1. PREMESSA

Nel presente elaborato si riportano i risultati dello studio a carattere geologico e sismico eseguito a supporto del progetto esecutivo dei *“Lavori di ripristino della funzionalità della viabilità alternativa all'itinerario S.S.3 Bis tra Pieve Santo Stefano e Verghereto”*.

Per la redazione del presente studio geologico e sismico sono stati eseguiti sia sopralluoghi e rilievi che hanno riguardato il sito di progetto e l'area immediatamente circostante, nonché ricercati, consultati, analizzati ed utilizzati dati bibliografici e dati pubblicati dallo Stato e dalle altre Amministrazioni e Istituzioni Pubbliche inerenti l'area. Ai fini della caratterizzazione geologica e sismica dei terreni presenti, in ottemperanza alle Nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni (NTC2018), a supporto della presente progettazione sono stati utilizzati sia i risultati di indagini geognostiche precedenti, effettuate nell'anno 2016 dal ANAS S.p.A. Compartimento per la Viabilità della Regione Toscana, sia i risultati della campagna di indagine geognostica, sismica, geotecnica e ambientale specificamente pianificata dalla RPA ed eseguita nei mesi di aprile e maggio 2020.

Le indagini e gli studi eseguiti sono illustrati sinteticamente nel Cap. 3 *“Studi e indagini eseguiti”*.

I dati di riferimento per lo studio sismico eseguito e per la redazione della presente Relazione Sismica sono contenuti nei seguenti elaborati, allegati al progetto, ai quali si rimanda per i necessari o eventuali approfondimenti.

Nella prima tabella sono contenuti gli elaborati del precedente progetto che riguardava l'intero tracciato, nella seconda tabella gli elaborati del presente progetto esecutivo riguardante il Lotto 1 Stralcio 1.

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione Sismica	File: P00_GE00_GEO_RE04_B.doc Data: Dicembre 2024 Pag. 4 di 67
---	---

Elaborati relativi all'intero tracciato

DOCUMENTAZIONE INDAGINI GEOTECNICHE										
P	0	0	GE	0	0	GEO	RE	0 2 A	Relazione sui risultati delle indagini geotecniche	-
P	0	0	GE	0	0	GEO	RE	0 3 A	Risultati delle indagini geotecniche, geofisiche e delle prove di laboratorio	-
GEOLOGIA E GEOTECNICA										
P	0	0	GE	0	0	GEO	RE	0 1 A	Relazione Geologica	-
P	0	0	GE	0	0	GEO	PU	0 1 A	Planimetria con ubicazione delle indagini geotecniche e geofisiche - Tav. 1 di 2	1:5.000
P	0	0	GE	0	0	GEO	PU	0 2 A	Planimetria con ubicazione delle indagini geotecniche e geofisiche - Tav. 2 di 2	1:5.000
P	0	0	GE	0	0	GEO	CG	0 1 A	Carta geologica e geomorfologica - Tav. 1 di 2	1:5.000
P	0	0	GE	0	0	GEO	CG	0 2 A	Carta geologica e geomorfologica - Tav. 2 di 2	1:5.000
P	0	0	GE	0	0	GEO	FG	0 1 A	Profilo Geologico	1:2.000/200
P	0	0	GE	0	0	GEO	FG	0 2 A	Sezioni geologiche	1:400
P	0	0	GE	0	0	GEO	CI	0 1 A	Carta idrogeologica – Tav. 1 di 2	1:5.000
P	0	0	GE	0	0	GEO	CI	0 2 A	Carta idrogeologica – Tav. 2 di 2	1:5.000
P	0	0	GE	0	0	GET	RE	0 1 A	Relazione Geotecnica	-
P	0	0	GE	0	0	GET	FG	0 1 A	Profilo Geotecnico	1:2.000/200
SISMICA										
P	0	0	GE	0	0	GEO	RE	0 4 A	Relazione Sismica	-
P	0	0	GE	0	0	GEO	CS	0 1 A	Planimetria con classificazione sismica del territorio	1:5.000
GESTIONE DELLE MATERIE										
T	0	0	CA	0	0	CAN	RE	0 1 A	Relazione Gestione Materie	-
T	0	0	CA	0	0	CAN	CO	0 1 A	Corografia dei siti di cava e di deposito	1:50.000
T	0	0	SG	0	0	AMB	RE	0 1 A	Certificati delle analisi chimiche sulle terre e rocce da scavo	-

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione Sismica	File: P00_GE00_GEO_RE04_B.doc Data: Dicembre 2024 Pag. 5 di 67
---	---

Elaborati relativi al Lotto 1 Stralcio 1

DOCUMENTAZIONE INDAGINI GEOTECNICHE										
P	0	0	GE	0	0	GEO	PU	0 1 A	Planimetria con ubicazione delle indagini geotecniche e geofisiche	1:5.000
P	0	0	GE	0	0	GEO	RE	0 2 A	Relazione sui risultati delle indagini geotecniche	-
P	0	0	GE	0	0	GEO	RE	0 3 A	Risultati delle indagini geotecniche, geofisiche e delle prove di laboratorio	-
GEOLOGIA E GEOTECNICA										
P	0	0	GE	0	0	GEO	RE	0 1 A	Relazione Geologica	-
P	0	0	GE	0	0	GEO	CG	0 1 A	Carta geologico-geomorfologica	1:5.000
P	0	0	GE	0	0	GEO	FG	0 1 A	Profilo Geologico	1:2.000/200
P	0	0	GE	0	0	GEO	FG	0 2 A	Sezioni geologiche	1:400
P	0	0	GE	0	0	GEO	CI	0 1 A	Carta idrogeologica	1:5.000
P	0	0	GE	0	0	GET	RE	0 1 A	Relazione Geotecnica	-
P	0	0	GE	0	0	GET	FG	0 1 A	Profilo Geotecnico	1:2.000/200
SISMICA										
P	0	0	GE	0	0	GEO	RE	0 4 A	Relazione Sismica	-
P	0	0	GE	0	0	GEO	CS	0 1 A	Planimetria con classificazione sismica del territorio	1:5.000
GESTIONE DELLE MATERIE										
T	0	0	CA	0	0	CAN	RE	0 1 A	Relazione Gestione Materie	-
T	0	0	CA	0	0	CAN	CO	0 1 A	Corografia dei siti di cava e di deposito	1:50.000
T	0	0	SG	0	0	AMB	RE	0 1 A	Certificati delle analisi chimiche sulle terre e rocce da scavo	-

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione Sismica	File: P00_GE00_GEO_RE04_B.doc Data: Dicembre 2024 Pag. 6 di 67
---	---

2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO

Lo studio realizzato e la redazione della seguente relazione sono stati eseguiti in ottemperanza alle disposizioni contenute nelle normative di riferimento di seguito elencate.

- **Legge 2 febbraio 1974, n. 64** *“Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche” e successive modifiche ed integrazioni.*
- **Decreto Ministeriale 11 marzo 1988** *“Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”.*
- **Circolare Ministeriale LL.PP. 24 settembre 1988, n. 30483** *“Legge 2 febbraio 1974, art. 1 – D.M. 11 marzo 1988. Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l'applicazione”.*
- **Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 marzo 2003, n. 3274** *“Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica” e s.m.i..*
- **Legge regionale 03 gennaio 2005, n. 1** *“Norme per il governo del territorio”.*
- **Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 28 aprile 2006, n. 3519** *“Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone”.*
- **Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008** *“Norme tecniche per le costruzioni”.*
- **Circolare Ministeriale del 02 febbraio 2009, n. 617** *“Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al DM.14.01.2008”.*
- **Decreto del Presidente della Giunta Regionale 9 luglio 2009, n. 36/R** *“Regolamento di attuazione dell'art. 117, commi 1 e 2 della legge regionale 3 gennaio 2005 n. 1 (Norme per il governo del territorio). Disciplina sulle modalità di*

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione Sismica	File: P00_GE00_GEO_RE04_B.doc Data: Dicembre 2024 Pag. 7 di 67
---	---

svolgimento delle attività di vigilanza e verifica delle opere e delle costruzioni in zone soggette a rischio sismico”.

- **Decreto del Presidente della Repubblica 5 ottobre 2010, n. 207** “Regolamento di esecuzione ed attuazione del decreto legislativo 12 aprile 2006, n. 163, recante «Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE».
- **Decreto del Presidente della Giunta Regionale 25 ottobre 2011, n. 53/R** “Regolamento di attuazione dell’articolo 62 della legge regionale 3 gennaio 2005, n. 1 (Norme per il governo del territorio) in materia di indagini geologiche”.
- **Deliberazione della Giunta Regionale dell’8 ottobre 2012, n. 878** “Aggiornamento della classificazione sismica regionale in attuazione dell’O.P.C.M. 3519/2006 ed ai sensi del D.M. 14.01.2008 - Revoca della D.G.R.T. 431/2006”.
- **Deliberazione della Giunta Regionale del 26 maggio 2014, n. 421** “Aggiornamento dell’allegato 1 (elenco dei comuni) e dell’allegato 2 (mappa) della deliberazione G.R.T. n. 878 dell’8 ottobre 2012, recante “Aggiornamento della classificazione sismica regionale in attuazione dell’O.P.C.M. 3519/2006 ed ai sensi del D.M. 14.01.2008 - Revoca della D.G.R.T. 431/2006” e cessazione di efficacia dell’elenco dei Comuni a Maggior Rischio Sismico della Toscana (D.G.R.T. 841/2007).”
- **Decreto Legislativo 50/2016** “Codice degli appalti”.
- **Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018** “Norme tecniche per le costruzioni”.
- **DISS Database of Individual Seismogenic Sources**, version 3 su Google Earth – INGV, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.
- **DBMI15 Database Macrosismico Italiano 2015** – INGV, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.
- **Classificazione sismica al 31 gennaio 2020** – Presidenza del Consiglio dei Ministri – Dipartimento della Protezione Civile – Ufficio III – Attività Tecnico-Scientifiche per la previsione e la prevenzione dei Rischi - Servizio Rischio Sismico (Sito web).
- **Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale** - INGV, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (Sito web).

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione Sismica</p>	<p>File: P00_GE00_GEO_RE04_B.doc Data: Dicembre 2024 Pag. 8 di 67</p>
--	---

- **Valori di pericolosità sismica del territorio nazionale** - *INGV, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.*

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione Sismica	File: P00_GE00_GEO_RE04_B.doc Data: Dicembre 2024 Pag. 9 di 67
---	---

3. STUDI E INDAGINI ESEGUITI

3.1 Generalità

- Esame della documentazione fornita da ANAS S.p.A. Struttura Territoriale Toscana, riferita a progettazioni precedenti, in particolare: relazione geologica, relazione geotecnica, carta geologica, risultati delle indagini pregresse quali sondaggi geognostici a carotaggio continuo, prove SPT nel corso dei carotaggi, indagini sismiche tipo MASW, prove di compressione uniassiale e prove a trazione indiretta (Brasiliana) su carote litoidi.

- Ricognizione e rilevamento geologico lungo l'itinerario di progetto, con lo scopo di analizzare:

- caratteristiche geomorfologiche del territorio, con particolare attenzione alle forme riconducibili a corpi di frana e aree in erosione intercettati dall'arteria;

- relazione tra le opere d'arte presenti ed i terreni, in particolare attraverso l'esame dello stato di dissesto e degrado delle opere stesse;

- osservazioni sulle litologie e sulle sequenze stratigrafiche presenti lungo il tracciato e sul loro assetto giaciturale e strutturale, in particolare in rapporto alle scarpate stradali;

- processi erosivi e gravitativi e forme e accumuli correlati in corrispondenza delle scarpate stradali e dei versanti a monte e a valle;

- esame delle condizioni generali dei rivestimenti in reti metalliche delle scarpate in roccia e degli ammassi rocciosi a tergo;

- esame delle lesioni presenti sulla sede stradale e studio degli eventuali collegamenti di queste con movimenti franosi in atto;

- caratteristiche idrologiche dei corsi d'acqua intercettati dalla strada o prossimi ad essa ed esame delle loro azioni erosive e morfogenetiche sui terreni limitrofi.

- Esecuzione di una campagna geognostica, geotecnica e geofisica integrativa.

La campagna di indagine, eseguita dagli scriventi nei mesi di aprile e maggio 2020, ha previsto l'esecuzione di sondaggi geognostici a carotaggio continuo, con esecuzione di prove SPT, prelievo di campioni lapidei di roccia e campioni ambientali di terre e

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione Sismica	File: P00_GE00_GEO_RE04_B.doc Data: Dicembre 2024 Pag. 10 di 67
---	--

installazione di piezometri a tubo aperto, prove penetrometriche dinamiche, indagini sismiche tipo MASW, prove geotecniche di laboratorio sui campioni lapidei e analisi chimiche ambientali sui campioni di terre per analisi di caratterizzazione, test di cessione e aggressività nei confronti del calcestruzzo.

Le indagini sono state localizzate in corrispondenza delle zone di progetto non indagate nella precedente campagna.

Il giorno 24/04/2020 è iniziata l'esecuzione delle prove SCPT e delle indagini MASW, terminate il giorno successivo.

Il giorno 04/05/2020 sono iniziati i sondaggi geognostici, terminati il giorno 20/05/2020 con il completamento dei pozzetti di protezione dei piezometri installati, la smobilitazione del cantiere e il trasporto delle cassette catalogatrici presso un locale messo a disposizione dalla Struttura Territoriale Toscana dell'ANAS S.p.A..

Successivamente sono state seguite le prove di laboratorio sui campioni lapidei e le analisi chimiche sui campioni di terre da scavo.

Nei giorni 22/05/2020 e 29/05/2020 si è proceduto alla misurazione dei livelli idrici in corrispondenza dei piezometri a tubo aperto installati.

Di seguito si riporta una sintesi delle campagne di indagine eseguite.

3.2 Campagna di indagine progressa (2016)

Per la progettazione delle indagini da eseguire per la presente progettazione si è tenuto conto anche del piano di indagine già effettuato nell'anno 2016 dal ANAS S.p.A. Compartimento per la Viabilità della Regione Toscana.

In quella fase furono effettuate le indagini seguenti, con riferimento agli interventi di progetto definitivo.

- Sondaggio S3 (m 5,00) – n. 1 SPT (m 1,00-1,15 N_{spt} = R) – N. 1 campione lapideo (m 2,60-3,10)
- MASW3
- N. 1 prova di trazione indiretta "Brasiliana" – N. 1 prova di compressione monoassiale

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione Sismica	File: P00_GE00_GEO_RE04_B.doc Data: Dicembre 2024 Pag. 11 di 67
---	--

- Sondaggio S2 (m 5,00) – n. 1 SPT (m 1,00-1,15 Nspt = R) – N. 1 campione lapideo (m 4,54-4,88)
- MASW2
- N. 1 prova di trazione indiretta "Brasiliana" – N. 1 prova di compressione monoassiale

- Sondaggio S1 (m 5,00) – n. 1 SPT (m 1,00-1,10 Nspt = R) – N. 1 campione lapideo (m 4,60-5,00)
- MASW1
- N. 1 prova di trazione indiretta "Brasiliana" – N. 1 prova di compressione monoassiale

- Sondaggio S4 (m 8,00) – n. 1 SPT (m 2,40-2,85 Nspt = 7) – N. 1 campione lapideo (m 7,20-7,87)
- MASW4
- N. 1 prova di trazione indiretta "Brasiliana" – N. 1 prova di compressione monoassiale

3.3 Campagna di indagine eseguita per la presente progettazione (2020)

Nella successiva tabella sono riportati i sondaggi geognostici, con campionamenti e prove SPT, effettuati nel corso della campagna e l'indicazione dei piezometri a tubo aperto installati.

Sondaggio	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
Prof. (m)	15,8	12,0	19,9	19,5	30,5	13,4	24,7	12,0
SPT	3,0m (9-6-3) 6,0m (11-12-13) 9,0m (11-34-11)		3,0m (4-7-8) 6,4m (8-14-21)	2,5m (4-6-6) 5,0m (R)	3,0m (3-13-6) 5,0m (4-2-6)	3,0m (R)	3,2m (8-11-13) 6,2m (8-16-11)	3,0m (3-6-11) 5,5m (6-3-9)
Camp.Amb. (m)	0,0-1,0 6,0-7,0 11,0-11,6						0,0-1,0 9,0-10,0 18,0-19,0	0,0-1,0 4,0-5,0 7,0-8,0
Camp.Lit. (m)	13,5-14,0	10,6-11,0	18,0-18,4	17,6-18,0	29,7-30,0	10,0-10,6	21,2-21,7	11,2-11,7
Piezometro TA	X		X	X	X	X	X	X

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione Sismica	File: P00_GE00_GEO_RE04_B.doc Data: Dicembre 2024 Pag. 12 di 67
---	--

Nella campagna in oggetto sono state eseguite, inoltre, le seguenti prove penetrometriche dinamiche SCPT e indagini sismiche MASW:

- SCPT1 (m 5,20)
- SCPT2 (m 6,20)
- SCPT3 (m 3,00)
- SCPT4 (m 3,20)

➤ MASW5 – MASW13

Lungo il tracciato di progetto, in molti casi le diverse indagini sono state raggruppate in siti di particolare complessità geomorfologica.

Nell'elenco seguente vengono riportate le suddette indagini con riferimento alle progressive di progetto.

- | | |
|-----------------------------|---------------------|
| - Progr. 360 - 410... | S5 – SCPT3 – MASW12 |
| - Progr. 1.750 – 1.850 | S11 – MASW11 |
| - Progr. 2.000 – 2.075 | S10 – MASW10 |
| - Progr. 2.125 – 2.225 | SCPT2 – MASW9 |
| - Progr. 2.875 – 2.950... | S9 – MASW8 |
| - Progr. 3.515 | S8 |
| - Progr. 3.625 – 3.700..... | S7 – MASW7 |
| - Progr. 4.325 – 4.425... | SCPT4 – MASW6 |

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione Sismica	File: P00_GE00_GEO_RE04_B.doc Data: Dicembre 2024 Pag. 14 di 67
---	--

Nella seguente tabella riepilogativa sono riportate le opere di sostegno previste in progetto a cui sono associate le indagini di riferimento.

Tipologia Opera (v. tav. Opere di sostegno)	Progr. Opera (Sezioni)	Indagini di riferimento
B1.1	54-55	Rilievo geologico (cfr. opera sez. 36-38)
B1.2	39-43	S5 – SCPT3 – MASW12
B2.1	14-15	Rilievo geologico
	26-27	S4 – MASW4
	31-32	S4 – MASW4
	33-34	S4 – MASW4
	36-38	S4 – MASW4
	55-60	Rilievo geologico (cfr. opera sez. 36-38)
	62-67	Rilievo geologico (cfr. opera sez. 36-38)
B2.2	43-46	S5 – SCPT3 – MASW12
B2.3	75-76	Rilievo geologico (cfr. opera sez. 39-43)

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione Sismica	File: P00_GEO00_GEO_RE04_B.doc Data: Dicembre 2024 Pag. 15 di 67
---	---

4. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO, GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO DELL'AREA DI STUDIO

4.1 Inquadramento geomorfologico

L'area di studio è rappresentata da rilievi collinari, ad acclività variabile da blanda a sostenuta, ricadenti nell'estrema propaggine a sud dell'Appennino Settentrionale.

Il tracciato di progetto si sviluppa interamente a mezzacosta, sulla destra idrografica del Fiume Tevere e a ridosso del medesimo, non intercettandolo mai ma intercettando alcuni suoi tributari di destra e altri fossi minori.

Le quote entro cui è compreso l'intervento sono tipiche di un territorio da alto-collinare a basso-montano, e vanno da 560 m a 715 m s.l.m. circa.

L'elemento geomorfologico più evidente e significativo del territorio esaminato è la presenza di ampie depressioni impostate sui versanti, che si sviluppano a immediato ridosso del Tevere, e che sono occupate da vasti corpi di frana e, talora, depositi di versante. I corpi di frana si originano in corrispondenza di pronunciate nicchie nelle zone a monte, che raggiungono talora le linee di cresta, e si estendono fino all'alveo del Fiume Tevere o a quello dei suoi affluenti.

Un altro elemento geomorfologico caratterizzante il territorio, e responsabile in parte dell'andamento del tracciato, sono i pronunciati speroni rocciosi su cui terminano le linee di crinale, impostati nelle formazioni del substrato lapideo e, in genere, compresi tra una depressione e l'altra.

Le incisioni torrentizie sono limitate come numerosità lungo il tracciato, ma risultano molto approfondite, per cui rappresentano il livello di base per frane e dissesti di vario tipo che si sviluppano sui versanti. Un esempio è l'incisione del Fosso di Montenero Alto, nella zona settentrionale dell'area di intervento che, con il suo effetto di richiamo ha prodotto un movimento generalizzato di creep sulle coltri superficiali, che ha raggiunto la sede stradale producendo la deformazione, talora importante, con frane incipienti, di alcuni tratti della sede stradale medesima.

L'azione combinata di richiamo del corso d'acqua e delle condizioni litologiche del substrato (marne prevalenti) è stata causa anche di frane vere e proprie che attraversano il tracciato di progetto, oggi quiescenti. Tuttavia, intorno alla progr. 4.500,

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione Sismica	File: P00_GE00_GEO_RE04_B.doc Data: Dicembre 2024 Pag. 16 di 67
---	--

una di queste frane si è riattivata, anche a causa dell'assenza negli anni di manutenzione e di una corretta regimazione delle acque, producendo l'innescò di una frana di scorrimento la cui nicchia giunge fino a metà carreggiata. In corrispondenza del terreno ribassato si è misurato un abbassamento di circa 40-50 cm rispetto alla limitrofa parte rimasta in posto ma il sondaggio S12, eseguito al centro della zona ribassata, ha mostrato circa 50 cm di terreni di riporto al di sopra della vecchia pavimentazione stradale, evidenziando una ricarica eseguita nel passato che porterebbe a circa 90-100 cm l'abbassamento complessivo.

Anche il fosso intercettato intorno alla progr. 2.450 è molto inciso e produce sui versanti opposti una energica azione di richiamo. Questa si è manifestata con l'attivazione di processi gravitativi, oggi classificabili come stabilizzati e quiescenti.

Allo stato attuale anche una serie di dissesti minori e localizzati sta interessando la sede stradale lungo gran parte del tracciato di studio, affetta in più tratti da deformazioni e abbassamenti, riportati con apposita simbologia nella Carta Geologica e Geomorfologica.

Il Fiume Tevere rimane al di fuori del tracciato ma la sua vicinanza a quest'ultimo ha influenzato, e lo fa tutt'ora, l'equilibrio dei versanti a ridosso di esso, in particolare di quelli in destra idrografica che interessano il tracciato della S.S. 3 bis. I versanti sono in genere molto inclinati e il loro piede è lambito dal corso d'acqua. In molti tratti il fiume incide direttamente il substrato lapideo e, in alcuni punti, mostra di aver riescavato le proprie alluvioni: questo testimonia il recente sollevamento della catena appenninica e indica l'azione di forte richiamo che, per tale ragione, il fiume e i suoi affluenti, come abbiamo visto, esercitano sui versanti. Sono evidenti, inoltre, numerose anse del fiume che rappresentano il risultato dello spostamento dell'alveo ad opera dell'accumulo dei corpi di frana. Sono presenti anche tratti in cui il fiume, con altre anse di segno opposto, originatesi su lineamenti tettonico-strutturali, sta esercitando una forte azione di richiamo verso monte: in queste situazioni si sono originate alte scarpate in roccia, alla cui sommità è posta la sede stradale e che, per la fortissima pendenza e per l'assenza di vegetazione, sono molto esposte all'azione degli agenti meteorici. In questi casi i processi erosivi mettono a rischio la stabilità della sede stradale e delle opere di protezione presenti sul lato valle. Un esempio è rappresentato dall'ansa del Tevere, nella zona iniziale, intorno alla progr. 260 dove, pur non rilevandosi ancora effetti

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione Sismica	File: P00_GE00_GEO_RE04_B.doc Data: Dicembre 2024 Pag. 17 di 67
---	--

significativi sul corpo stradale per la presenza a valle di un muro di sostegno, il processo erosivo innescato dal fiume ha prodotto una scarpata fortemente inclinata, alta oltre 20 m, che ha raggiunto la base del muro mettendo a rischio l'infrastruttura.

Le zone di fondovalle sono limitate a quella del T. Cananeccia presso la confluenza nel Tevere (località Valsavignone) e quella del F. Tevere stesso che è estremamente ridotta nell'area di studio, in quanto incassata nei versanti, un poco più ampia soltanto nella zona immediatamente a monte di Molino del Becco.

Anche le condizioni meteorologiche, associate a quelle litologiche, hanno comportato l'attivazione di processi di versante che, nell'area settentrionale della zona di studio, producono una situazione di erosione e degrado delle litologie affioranti, con coinvolgimento della sede stradale. Nella zona di studio, come in quelle dei territori contermini, è presente una piovosità intensa e si hanno in genere anche frequenti precipitazioni nevose, processi tipici di queste aree montane e di spartiacque. Nell'area settentrionale del tracciato, tra le progressive 4.050 e 4.450 circa, sono presenti pareti rocciose a ridosso della sede stradale caratterizzate da spesse coltri eluvio-colluviali e, in particolare, da abbondante frazione argillosa nella compagine litoide: queste condizioni, insieme a quelle climatiche, sono causa di piccoli ma numerosi franamenti per prevalente colamento, che invadono la sede stradale. In questo tratto è presente, infatti, il membro FMA6 "Montecoronaro" della Formazione Marnoso-Arenacea Romagnola, in grande prevalenza costituito da marne siltose fittamente suddivise da densa fessurazione. Queste, a causa dell'alterazione superficiale e dell'assenza di copertura vegetale, tendono a produrre grandi quantità di materiale minuto e, localmente, distacco di blocchi, che raggiungono la carreggiata stradale, specialmente durante le stagioni avverse dal punto di vista meteorologico.

I fenomeni gravitativi presenti sono riconducibili in grande prevalenza a frane per scorrimento e colamento ma, molto frequentemente, le due tipologie coesistono nello stesso fenomeno.

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione Sismica	File: P00_GE00_GEO_RE04_B.doc Data: Dicembre 2024 Pag. 18 di 67
---	--

4.2 Inquadramento geologico

L'area interessata dal progetto ricade nel foglio 278 "Pieve Santo Stefano" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000.

L'area in oggetto ricade nella Catena Appenninica, in particolare in una piccola parte ricadente nel settore settentrionale Umbro-Marchigiano-Romagnolo.

L'assetto geologico-strutturale attuale è stato determinato da una serie di fasi, iniziate nel Triassico, che hanno portato alla formazione delle catene a pieghe Appenninica, Alpina e Dinarica. A partire dal Cretacico superiore inizia la convergenza tra i margini continentali delle due placche, formandosi una zona di subduzione che, nell'Eocene superiore, determina la totale completa consunzione del bacino oceanico interposto e la collisione tra il Blocco Sardo-Corso, posto sul margine della Placca Europea, e la Placca Adriatica, costituente un promontorio di quella africana, incuneato in quella europea. Focalizzando l'attenzione sul territorio di interesse, a partire dal Triassico medio si depositano successioni tipiche di un margine passivo, denominate "Toscane" e "Umbro- Marchigiane" in base della distribuzione geografica delle unità tettoniche di appartenenza. Nel corso dell'Oligocene-Miocene questo margine diviene attivo negli ultimi stadi della convergenza tra la Placca Europea (Blocco Sardo-Corso) e la Placca Adria (Appennino Settentrionale).

Durante la collisione, sulle Unità Toscane giungono le Unità Liguri, a loro volta già sovrapposte le une alle altre. Successivamente le Unità Toscane, con le sovrastanti Liguridi, si sovrappongono a loro volta alle Unità Umbro-Marchigiane, sedimentatesi più ad oriente. I meccanismi di costruzione di questo complesso edificio strutturale, costituito da una pila di unità tettoniche, di origine continentale, sormontata da unità di origine oceanica, probabilmente sono rappresentati da una serie di successivi sottoscorrimenti, inizialmente legati ad una zona di subduzione oceanica la cui immersione non è univocamente interpretata. Invece tutti gli autori concordano, per quanto riguarda le fasi collisionali ensialiche, su una vergenza verso est con inclinazioni verso ovest dei maggiori thrust crostali, processi che hanno portato alla costruzione dell'attuale edificio orogenico dell'Appennino Settentrionale. Nelle fasi più tardive hanno funzionato meccanismi di tipo prevalentemente gravitativo, che hanno fatto giungere le coltri liguri sulle Unità Umbro-Marchigiano-Romagnole più esterne.

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione Sismica	File: P00_GEO00_GEO_RE04_B.doc Data: Dicembre 2024 Pag. 19 di 67
---	---

L'area di studio ricade, all'interno dell'Appennino Settentrionale, nel settore in cui le Unità Umbro-Marchigiano-Romagnole sono sormontate dalle Unità Cervarola-Falterona. La struttura generale delle Unità Umbro-Marchigiano-Romagnole è caratterizzata, come quella delle Unità Cervarola-Falterona più occidentali, da thrust e pieghe associate, sia anticlinali di tetto che sinclinali di muro, anche in assetto rovesciato. Nel settore di studio le Unità Cervarola-Falterona sono rappresentate dall'Unità Tettonica Falterona con la formazione delle Arenarie del Monte Falterona (FAL) (Aquitaniense superiore p.p.), presente nella parte sud-occidentale dell'area di studio. La successione Umbro-Marchigiano-Romagnola è rappresentata da due unità tettoniche: nella parte centrale dall'Unità Tettonica Monte Nero con la Formazione Marnoso-Arenacea Romagnola, membro di Premilcuore (FMA3) (Langhiano p.p.); nella parte nord-orientale dall'Unità Tettonica Pietralunga, membro di Montecoronaro (FMA6) (Serravalliano p.p. – Tortoniano inferiore p.p.).

L'elemento tettonico dominante è la presenza di uno stile a faglie inverse con vergenza a ENE evolventesi verso est in sovrascorrimenti con associati rovesciamenti sul fronte. Nella parte meridionale dell'area di studio l'unità delle Arenarie del Falterona (FAL) si trova in posizione sovrascorsa sull'unità della Formazione Marnoso Arenacea Romagnola membro di Premilcuore (FMA3), la quale occupa gran parte dell'area di studio. Nella parte settentrionale tale unità si trova in posizione sovrascorsa sull'unità Formazione Marnoso Arenacea Romagnola membro di Montecoronaro (FMA6) che occupa la zona settentrionale dell'area di studio.

La cronologia delle deformazioni riportata nei documenti geologici ufficiali si basa soprattutto sull'età dei membri e delle litofacies della Marnoso-Arenacea Romagnola. L'età delle unità coinvolte negli accavallamenti varia dall'interno, cioè da SW, verso l'esterno, cioè verso NE e va dal Miocene medio in poi. Questa graduale variazione cronologica permette di ipotizzare una migrazione dell'avanfossa appenninica verso l'avampaese, con le unità occidentali che si sovrappongono tettonicamente a quelle poste ad oriente.

Nel Tortoniano la sedimentazione torbiditica si sposta più a est, dove si sviluppa il bacino della Formazione Marnoso-Arenacea Marchigiana: si tratta di una avanfossa complessa controllata dai processi di thrusting che coinvolgono probabilmente anche il substrato carbonatico.

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione Sismica	File: P00_GE00_GEO_RE04_B.doc Data: Dicembre 2024 Pag. 20 di 67
---	--

Nelle zone più esterne prosegue, nel Pliocene inferiore, l'attività compressiva: in questa fase si ha la migrazione verso l'esterno dello scollamento profondo che ripiega le strutture della fase intramessiniana e quindi anche substrato e coltri liguri. L'emersione dell'area avviene tra la fine del Messiniano e la parte terminale del Pliocene inferiore, dalle zone interne verso quelle esterne. Nel corso del Pleistocene si organizza la rete idrografica e vengono depositi sedimenti fluviali entro le vallate. Nel corso dell'Olocene si verifica la riescavazione dei depositi alluvionali pleistocenici e olocenici e l'approfondimento degli alvei fluviali e torrentizi entro le formazioni del substrato, per un processo di generale sollevamento dell'area; è in questa fase che il ringiovanimento dei versanti determina l'attivazione dei processi erosivi, dell'accumulo di depositi colluviali all'interno delle depressioni e al piede dei pendii e, localmente, l'attivazione dei fenomeni franosi.

4.3 Inquadramento idrogeologico

Dal punto di vista idrogeologico, nell'area in esame si sono individuati più complessi a comportamento omogeneo, caratterizzati da condizioni e gradi di permeabilità distinte.

Il substrato è stato distinto in due diversi complessi:

- complesso a permeabilità medio-bassa per fratturazione, rappresentato dalle formazioni delle Arenarie del Cervarola e dalla Marnoso-Arenacea Romagnola membro di Premilcuore, costituite da sequenze pelitico-arenacee con rapporto arenaria/pelite compreso tra 1/3 e 14/5;
- complesso a permeabilità bassa per fratturazione, rappresentato dalla formazione della Marnoso-Arenacea Romagnola membro di Montecoronaro, costituito da sequenze pelitico-arenacee con rapporto arenaria/pelite < 1/6.

In queste unità idrogeologiche possono attivarsi piccole falde acquifere sospese, nelle coltri di alterazione, oppure localizzate circolazioni idriche, anche in pressione, in profondità, all'interno di banchi arenacei o fessurati.

Per quanto riguarda i depositi di copertura si sono distinti due complessi idrogeologici.

- Il complesso a permeabilità media per porosità rappresentato dai depositi di versante, dagli accumuli di frana e dai conoidi alluvionali ha una granulometria di tipo limo-sabbioso debolmente argilloso nella matrice, con presenza di uno scheletro clastico di

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione Sismica	File: P00_GE00_GEO_RE04_B.doc Data: Dicembre 2024 Pag. 21 di 67
---	--

arenarie e marne. In tale complesso possono essere presenti piccole falde di variabile potenzialità idraulica che spesso alimentano la falda acquifera di fondovalle.

- Il complesso a permeabilità alta per porosità rappresentato dai depositi alluvionali di fondovalle ha una granulometria prevalentemente di tipo ghiaoso e sabbioso con percentuali minori di limo e argilla. In questo complesso è presente generalmente una falda acquifera di tipo freatico di significativa potenzialità idraulica.

Nella campagna di indagine pregressa non erano stati installati piezometri per il monitoraggio delle falde idriche presenti.

Nella campagna di indagine eseguita per la presente progettazione sono stati installati n. 7 piezometri a tubo aperto lungo l'intero tracciato in corrispondenza di n. 7 sondaggi eseguiti. Di seguito si elencano i piezometri installati, per ognuno dei quali è riportata la profondità di installazione) e le relative quote assolute e progressive di progetto.

Piezometro	S5 (15,8 m)	S7 (19,9 m)	S8 (19,5 m)	S9 (30,5 m)	S10 (13,5 m)	S11 (24,7 m)	S12 (12,0 m)
Q. assoluta (m s.l.m.)	578,5	708,0	707,0	691,8	662,7	651,0	708,9
Progr. (m)	390	3.694	3.515	2.922	2.043	1.811	4.510

I piezometri S5, S9, S11, S12 sono stati installati all'interno di corpi di frana, mentre i piezometri S7, S8 e S10 sono stati installati all'interno delle unità del substrato, in cui sono state riscontrate spesse coltri di alterazione.

Il giorno 22.05.2020 e il giorno 29.05.2020 sono state eseguite misure dei livelli piezometrici in corrispondenza dei piezometri installati.

Nella seguente tabella sono riportati i risultati delle misure eseguite, in termini di profondità del livello piezometrico (in metri) rispetto al piano di campagna.

Piezometro	S5	S7	S8	S9	S10	S11	S12
22.05.2020 Livello (m)	7,20	11,65	asciutto	12,25	asciutto	8,60	2,96
29.05.2020 Livello (m)	7,00	11,99	asciutto	12,27	asciutto	8,92	2,18

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione Sismica	File: P00_GE00_GEO_RE04_B.doc Data: Dicembre 2024 Pag. 22 di 67
---	--

Due piezometri su tre installati nel substrato lapideo non hanno restituito livelli d'acqua fino alle profondità di installazione. Tra tutti i piezometri installati solo S12 ha mostrato un livello piezometrico abbastanza superficiale (-2,96 m nella prima misura, -2,18 m nella seconda). Un'indicazione fornita dalle misure eseguite è la presenza di falde all'interno dei corpi di frana e, in parte, all'interno delle coltri di alterazione del substrato. In queste situazioni idrogeologiche la circolazione idrica sotterranea avviene all'interno dei depositi di copertura ed è sostenuta dal sottostante substrato che presenta valori di permeabilità inferiori.

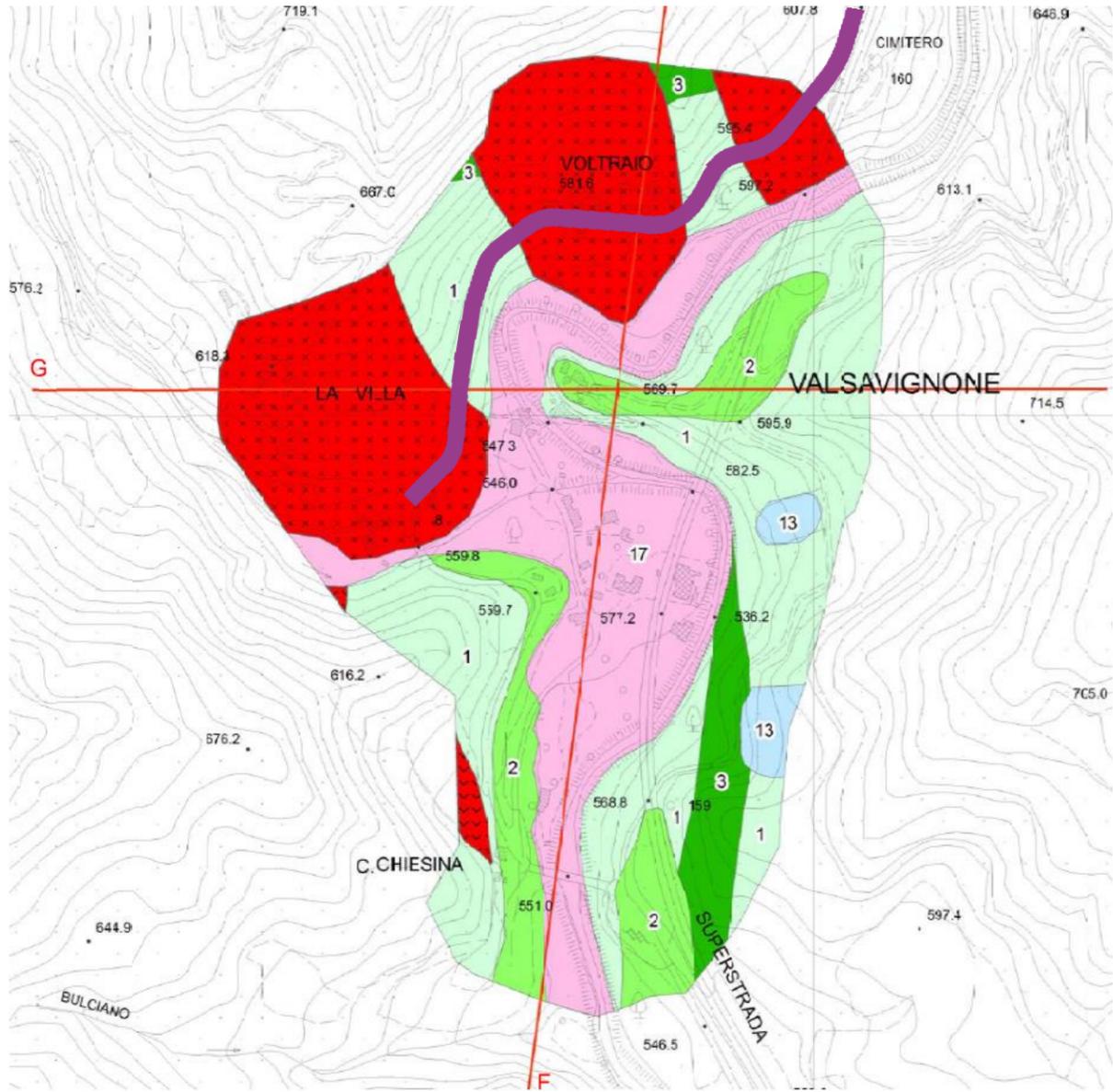
LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione Sismica	File: P00_GE00_GEO_RE04_B.doc Data: Dicembre 2024 Pag. 23 di 67
---	--

5. MICROZONAZIONE SISMICA

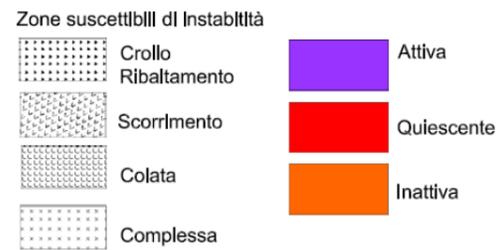
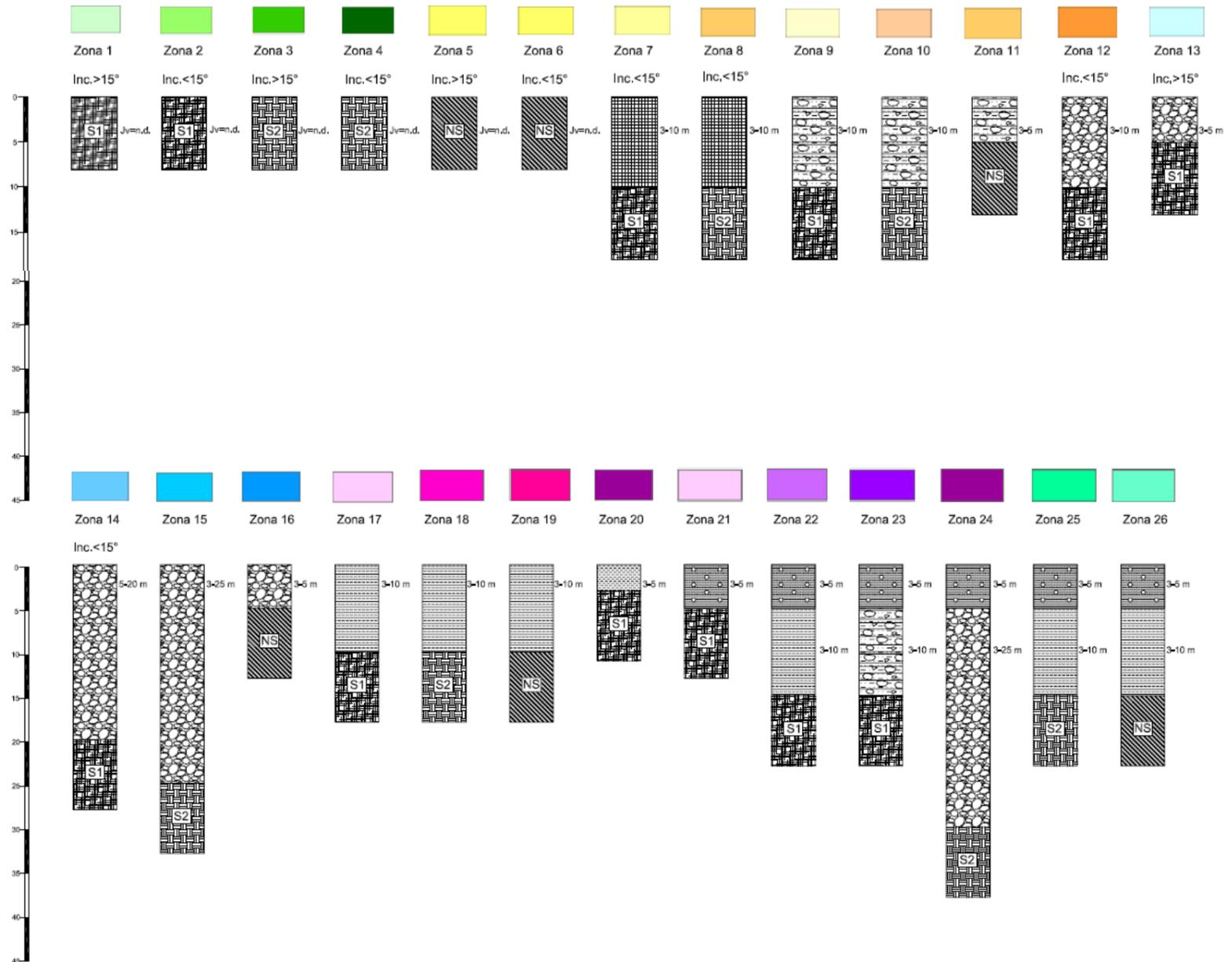
Il Comune di Pieve Santo Stefano (AR) si è dotato dello studio di Microzonazione Sismica (MS) di Livello 1 che, in particolare, ha riguardato anche la frazione Valsavignone, comprendente gran parte dell'area di progetto, come è evidenziato nelle figure seguenti.

Nel presente capitolo si allegano stralci della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS), prodotta nello studio suddetto.

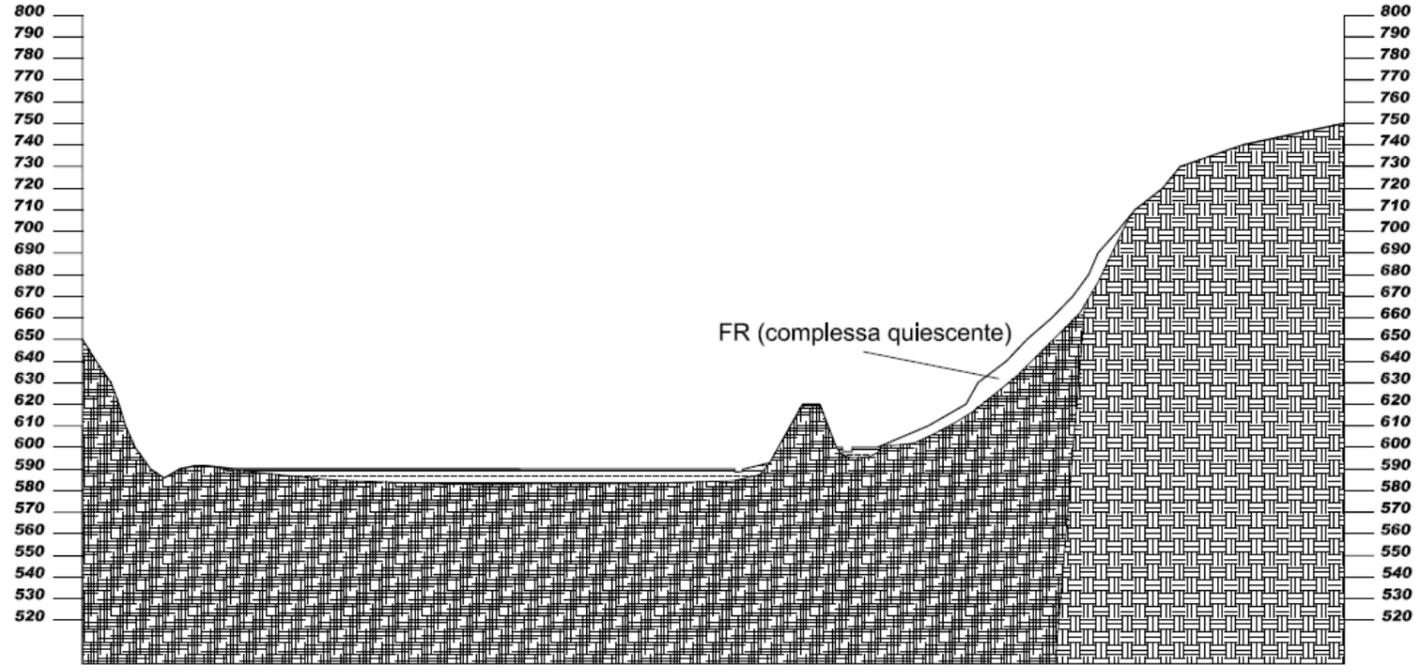
Stralcio della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica - Microzonazione Sismica del Comune di Pieve Santo Stefano- Frazione di Valsavignone, con tracciato di progetto



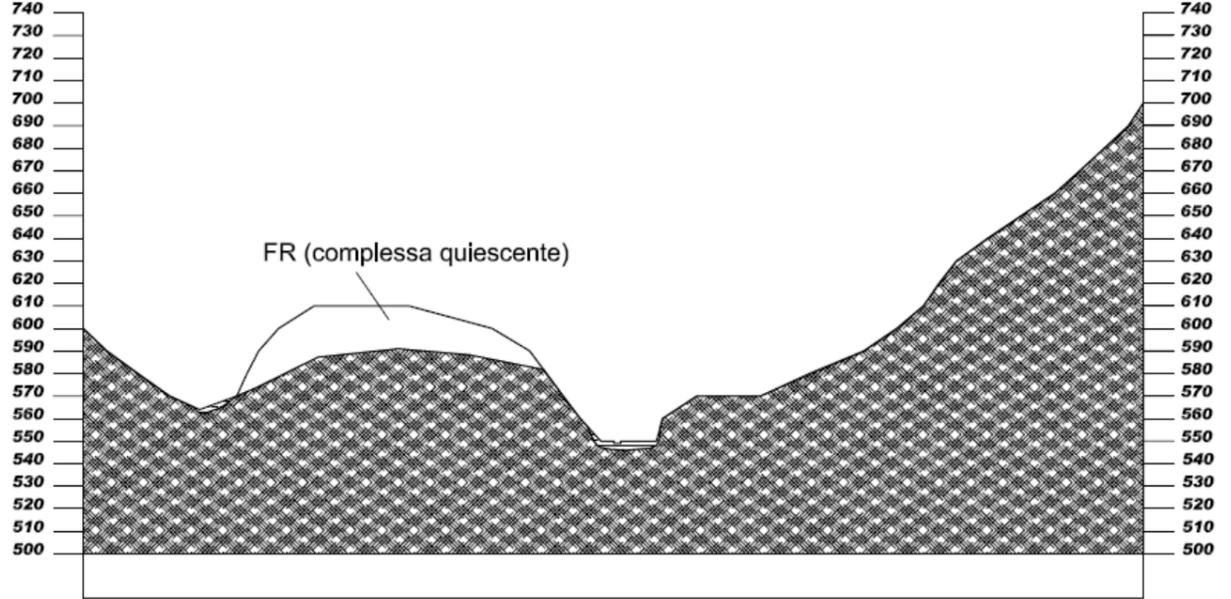
Zone stabili suscettibili di amplifcazioni locali



sezione F



sezione G



 Substrato Lapideo Stratificato (depositi Flyschoidi) che pur essendo caratterizzato da valori di Vs talvolta maggiori di 800 m/s non risulta ascrivibile alle zone stabili poiché, a causa di una spiccata variabilità delle litofacies sia in senso stratigrafico che areale (di difficile rappresentazione cartografica) e del differente grado di alterazione/fratturazione, non può essere univocamente considerato bedrock sismico.

 Substrato Lapideo Stratificato costituito da rocce tenere caratterizzate da valori di Vs < 800 m/s.

 Substrato Lapideo non Stratificato

 Terreni eterogenei prevalentemente limo argillosi con frammenti di origine antropica, poco consistenti.

 Limo argilloso debolmente sabbioso, da privo di consistenza a poco consistente, con torbe in quantità variabile.

 Elementi eterometrici ed eterogenei di pezzatura compresa tra le ghiaie ed i blocchi, angolosi e sub-angolosi, addensati, in matrice di limo sabbioso argilloso.

 Sabbia limosa mediamente addensata con livelli di ghiaia eterometrica addensata sub-angolosa e sub-arrotondata.

 Limo argilloso sabbioso consistente con inclusi arenacei eterometrici da angolosi a sub-angolosi; / Ghiaia e blocchi da sub-angolosi a sub-arrotondati, addensati, in matrice di limo sabbioso argilloso.

 Blocchi costituiti da frammenti arenitici monoformazionali di dimensioni comprese tra alcuni decimetri ed alcuni metri a contatto o parzialmente immersi in matrice; / Blocchi di lembi monoformazionali di dimensioni decimetriche ad elevato grado di fratturazione.

 Blocchi costituiti da frammenti arenitici monoformazionali di dimensioni comprese tra alcuni decimetri ed alcuni metri a contatto o parzialmente immersi in matrice; / Blocchi di lembi monoformazionali di dimensioni decimetriche ad elevato grado di fratturazione.

 Coltre di alterazione del substrato; / Substrato molto fratturato con $J_v > 10-15$.

 Limo argilloso sabbioso da molle a consistente con elementi eterometrici ed eterogenei generalmente sub-angolosi.

 Limo argilloso da molle a consistente con rari elementi eterometrici ed eterogenei in prevalenza arrotondati, con intercalazioni di ghiaie sabbiose.



LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione Sismica	File: P00_GE00_GEO_RE04_B.doc Data: Dicembre 2024 Pag. 26 di 67
---	--

La Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica mostra che gran parte del tracciato rientra in aree microzonate, ad eccezione del tratto settentrionale. Le sezioni geologiche intercettano il tracciato: la F in corrispondenza dell'abitato di Voltraio, la G nella parte iniziale del tracciato.

Entrambe le sezioni mettono in evidenza nei tratti che attraversano il tracciato stradale di progetto la presenza di frane complesse quiescenti che sovrastano un substrato lapideo stratificato non considerabile univocamente un substrato sismico, a causa della spiccata variabilità delle litofacies e del differente grado di alterazione/fratturazione.

Dalla carta delle MOPS risulta che il tracciato di progetto attraversa in n. 2 tratti la Zona 1, che fa parte delle "Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali", caratterizzata da Inc. > 15°, dalla litologia S1 (vedasi precedente descrizione) con $jv = n.d.$.

Inoltre, in altri n. 2 tratti attraversa una zona complessa quiescente che fa parte delle "Zone suscettibili di instabilità".

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione Sismica	File: P00_GE00_GEO_RE04_B.doc Data: Dicembre 2024 Pag. 27 di 67
---	--

6. SISMICITA' E CLASSIFICAZIONE SISMICA DELL'AREA DI PROGETTO

6.1 Caratteristiche sismiche del territorio di studio

Il territorio del comune di Pieve Santo Stefano, di cui la frazione Valsavignone fa parte, rientra in una zona con pericolosità sismica media. Ha risentito infatti, nel corso della storia, di effetti macrosismici in occasione di terremoti originatesi nelle aree sismogenetiche limitrofe, in particolar modo quelle dell'Appennino Umbro-Marchigiano-Romagnolo.

Facendo riferimento alla documentazione dell'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia), consultabile on-line sul sito relativo, nella Fig. 6.1 seguente è riportato uno stralcio della mappa del **DISS** (*Database of Individual Seismogenic Sources*) version 3 su Google Earth, in cui sono mostrati i sistemi di strutture tettoniche attive individuate nel territorio di interesse e nelle regioni limitrofe.

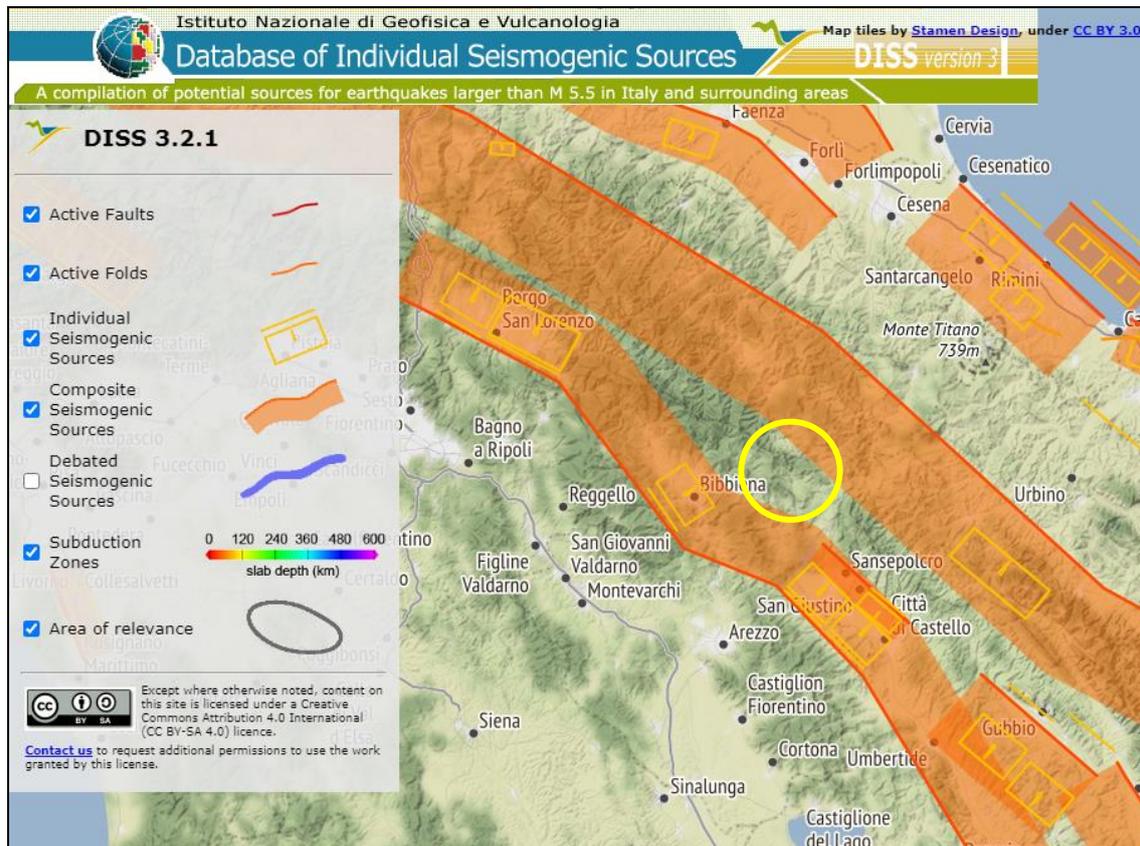


Fig. 6.1 - Stralcio del DISS per quanto riguarda le sorgenti sismogenetiche potenziali; nel cerchio l'area oggetto di studio (da DISS version 3, al sito <http://diss.rm.ingv.it/diss/>)

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione Sismica	File: P00_GE00_GEO_RE04_B.doc Data: Dicembre 2024 Pag. 28 di 67
---	--

Come risulta dalla mappa soprastante, l'area di progetto e quelle contermini ricadono nei pressi di 2 strutture sismogenetiche composite (*ITCS027 Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga a nord, e ITCS037 Mugello-Citta' di Castello-Leonessa a sud*) riportate nelle seguente tabella:

ITCS027 - Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga			
<i>Parameter</i>		<i>Quality</i>	<i>Evidence</i>
Min depth [km]	12.0	OD	Based on structural geology and geodynamic constraints.
Max depth [km]	22.0	OD	Based on structural geology and geodynamic constraints.
Strike [deg] min...max	90...160	OD	Based on geological constraints and structural geology.
Dip [deg] min...max	20...55	OD	Based on geological constraints and structural geology.
Rake [deg] min...max	70...110	EJ	Inferred from geological data.
Slip Rate [mm/y] min...max	0.1...0.5	EJ	Unknown, values assumed from geodynamic constraints.
Max Magnitude [Mw]	6.2	OD	Derived from maximum magnitude of associated individual source(s).

ITCS037 - Mugello-Citta' di Castello-Leonessa			
<i>Parameter</i>		<i>Quality</i>	<i>Evidence</i>
Min depth [km]	0.5	EJ	Inferred from regional tectonic considerations.
Max depth [km]	8.0	EJ	Inferred from regional tectonic considerations.
Strike [deg] min...max	280...330	EJ	Inferred from regional geological data.
Dip [deg] min...max	25...40	EJ	Inferred from regional geological data.
Rake [deg] min...max	260...280	EJ	Inferred from regional geological data.
Slip Rate [mm/y] min...max	0.1...1.0	EJ	Unknown, values assumed from geodynamic constraints.
Max Magnitude [Mw]	6.2	OD	Derived from maximum magnitude of associated individual source(s).

LD=Literature Data; OD=Original Data; ER=Empirical Relationship; AR=Analytical Relationship; EJ=Expert Judgement.

Tab. 6.1 – Parametri tettonici e sismici della sorgenti sismogenetiche

Nel sito dell'INGV è possibile consultare anche il **DBMI15 Database Macrosismico Italiano 2015**, il quale fornisce un set omogeneo di intensità macrosismiche provenienti da diverse fonti, relativo ai terremoti che hanno interessato il territorio italiano nella finestra temporale 1000-2014.

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione Sismica	File: P00_GE00_GEO_RE04_B.doc Data: Dicembre 2024 Pag. 29 di 67
---	--

Di seguito sono riportate le tabelle di sintesi rappresentanti l'elenco dei terremoti ricercati per la località di Valsavignone e, più in generale, per la località di Pieve Santo Stefano, precedute dalla tabella di inquadramento, dalle quali risulta un numero totale di eventi rispettivamente pari a 2 e 48, a partire dall'anno 1000.

Valsavignone

PlaceID IT_47358
 Coordinate (lat, lon) 43.735, 11.994
 Comune (ISTAT 2015) Pieve Santo Stefano
 Provincia Arezzo
 Regione Toscana
 Numero di eventi riportati 2

Effetti	In occasione del terremoto del								
	Year	Mo	Da	Ho	Mi Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
6	1957	04	30	06	05 08.00	Alta Valtiberina	57	5	4,23
2	1960	10	29	00	08 39.00	Mugello	69	7	4,91

Tab. 6.2 - DBMI15, Database Macrosismico Italiano 2015 per la località Valsavignone (AR)

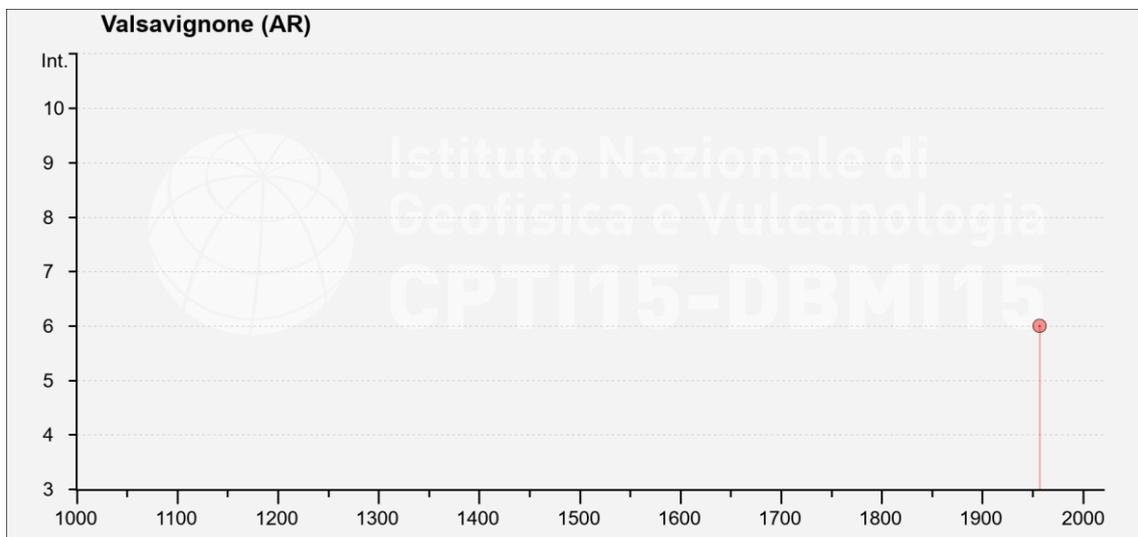


Fig. 6.2 – Diagramma della distribuzione temporale delle intensità dei terremoti per la località Valsavignone (AR) (fonte DBMI15)

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione Sismica	File: P00_GE00_GEO_RE04_B.doc Data: Dicembre 2024 Pag. 30 di 67
---	--

Pieve Santo Stefano

PlaceID IT_47353
Coordinate (lat, lon) 43.670, 12.041
Comune (ISTAT 2015) Pieve Santo Stefano
Provincia Arezzo
Regione Toscana
Numero di eventi riportati 48

Effetti	In occasione del terremoto del				
	Year Mo Da Ho Mi Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
6-7	1559 04 11 20	Alta Valtiberina	3	6-7	4,86
7-8	1694 04 08	Alta Valtiberina	6	7-8	5,4
7	1731 03 29	Alta Valtiberina	9	6	4,76
6-7	1781 06 03	Cagliese	157	10	6,51
6-7	1856 06 05	Alta Valtiberina	2	5-6	4,4
3	1892 11 21	Alta Valtiberina	22	5-6	4,25
NF	1895 05 18 19 55 12.00	Fiorentino	401	8	5,5
3-4	1897 12 18 07 24 20.00	Alta Valtiberina	132	7	5,09
NF	1899 06 26 23 17 22.00	Valle del Bisenzio	138	7	5,02
4-5	1902 06 27 16 48	Casentino	13	6	4,46
NF	1904 11 17 05 02	Pistoiese	204	7	5,1
3	1911 02 19 07 18 30.00	Forlivese	181	7	5,26
4	1917 04 26 09 35 59.00	Alta Valtiberina	134	9-10	5,99
7	1918 11 10 15 12 28.00	Appennino forlivese	187	9	5,96
6	1919 06 29 15 06 13.00	Mugello	565	10	6,38
NF	1924 01 02 08 55 13.00	Senigallia	76	7-8	5,48
3-4	1930 10 30 07 13	Senigallia	268	8	5,83
NF	1941 12 19	Monti Sibillini	30	7	5,02
7	1948 06 13 06 33 36.00	Alta Valtiberina	142	7	5,04
3	1956 04 26 03 00 03.00	Appennino bolognese	89	6	4,74
2	1956 06 03 01 45 57.00	Appennino forlivese	62	6	4,51
5	1957 04 30 06 05 08.00	Alta Valtiberina	57	5	4,23
4	1969 08 09 09 20 57.00	Appennino tosco-romagnolo	33	5	4,2
4	1984 04 29 05 02 59.00	Umbria settentrionale	709	7	5,62
3-4	1985 11 24 06 54 04.08	Appennino forlivese	29	5-6	4,29
5	1987 07 05 13 12 37.46	Montefeltro	90	6	4,44
4	1989 07 09 03 54 37.25	Montefeltro	48	5	4,09
4-5	1990 05 08 22 33 15.91	Alta Valtiberina	64	5	3,77
5	1991 01 14 07 38 36.65	Casentino	62	5	4,26
NF	1993 01 17 10 51 23.39	Alta Valtiberina	76	5	4,26

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione Sismica	File: P00_GE00_GEO_RE04_B.doc Data: Dicembre 2024 Pag. 31 di 67
---	--

NF	1993 06 05 19 16 17.02	Valle del Topino	326	6	4,72
3-4	1997 09 26 00 33 12.88	Appennino umbro-marchigiano	760	7-8	5,66
4-5	1997 09 26 09 40 26.60	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	5,97
5	1997 10 02 19 38 02.29	Alta Valtiberina	55		4,42
2	1997 10 14 15 23 10.64	Valnerina	786		5,62
3-4	1998 04 05 15 52 21.01	Appennino umbro-marchigiano	395		4,78
3	1999 01 25 22 45 58.08	Appennino forlivese	97	5	4,36
NF	2000 05 08 12 29 56.20	Faentino	126	5	4,67
NF	2000 05 10 16 52 11.60	Faentino	151	5-6	4,82
NF	2000 06 22 12 16 35.58	Bacino di Gubbio	107	5	4,47
2-3	2000 08 01 02 34 31.00	Montefeltro	84	5-6	4,27
5	2001 11 26 00 56 55.46	Casentino	211	5-6	4,63
4-5	2002 02 21 14 36	Casentino	43	5	4,09
4	2003 01 26 20 15 03.07	Appennino forlivese	63	5-6	4,5
3-4	2003 01 29 23 50 16.38	Appennino forlivese	71	4-5	4,06
NF	2003 12 07 10 20 33.04	Forlivese	165	5	4,18
NF	2005 07 15 15 17 18.00	Forlivese	173	4-5	4,29
NF	2006 10 21 07 04 10.01	Anconetano	287	5	4,21

Tab. 6.3 - DBMI15, Database Macrosismico Italiano 2015 per la località Pieve Santo Stefano

(AR)

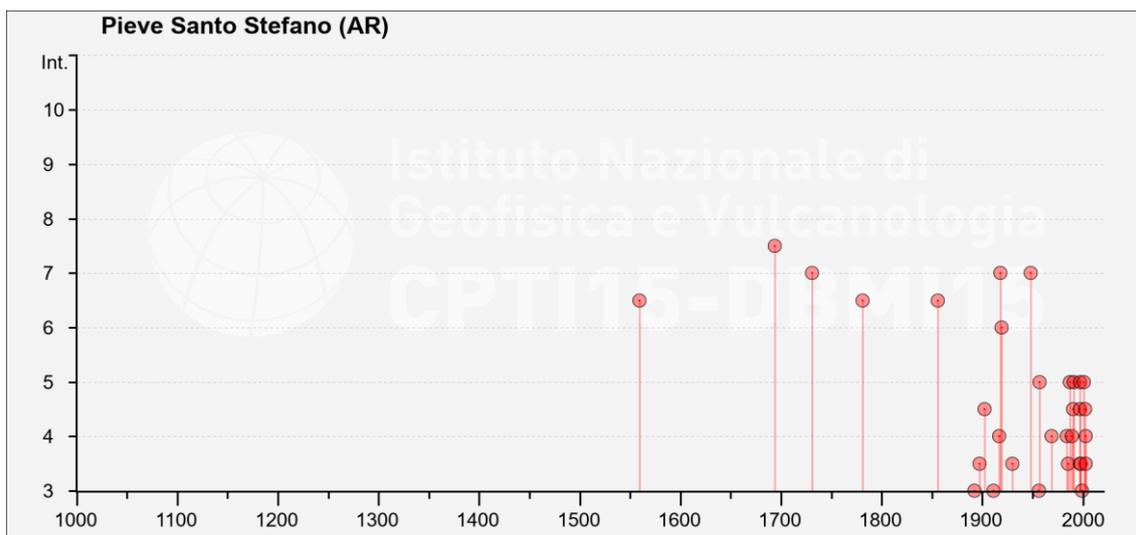


Fig. 6.3 – Diagramma della distribuzione temporale delle intensità dei terremoti per la località Pieve Santo Stefano (AR) (fonte DBMI15)

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione Sismica	File: P00_GEO00_GEO_RE04_B.doc Data: Dicembre 2024 Pag. 32 di 67
---	---

Come visibile nelle tabelle e figure sopra riportate, il territorio di Valsavignone e, più in generale, il territorio di Pieve Santo Stefano non sono stati interessati direttamente nel periodo storico considerato da epicentri di terremoti di intensità massima ≥ 5 .

Nel territorio di studio sono comunque state registrate intensità macrosismiche correlate a terremoti originatisi nelle aree sismogenetiche più vicine, con intensità locale massima pari a 7-8 nella finestra temporale considerata.

Nello specifico, gli effetti maggiori, di intensità locale pari a 7-8, sono stati registrati nell'evento del 08.04.1694 (Alta Valtiberina, $Io=7-8$, $Mw=5,4$), mentre quelli di intensità pari a 7 negli eventi del 29.03.1731 (Alta Valtiberina, $Io=6$, $Mw=4,76$), del 10.11.1918 (Appennino forlivese, $Io=9$, $Mw=5,96$) e del 13.06.1948 (Alta Valtiberina, $Io=7$, $Mw=5,04$).

Inoltre, sono stati registrati altri eventi con intensità locale ≥ 5 :

- n. 3 eventi di intensità locale pari a 6-7
 - 11.04.1559, Alta Valtiberina, $Io=6-7$, $Mw=4,86$
 - 03.06.1781, Cagliese, $Io=10$, $Mw=6,51$
 - 05.06.1856, Alta Valtiberina, $Io=5-6$, $Mw=4,4$
- n. 2 eventi di intensità locale pari a 6;
 - 29.06.1919, Mugello, $Io=10$, $Mw=6,38$
 - 30.04.1957, Alta Valtiberina, $Io=5$, $Mw=4,23$
- n. 5 eventi di intensità locale pari a 5.
 - 30.04.1957, Alta Valtiberina, $Io=5$, $Mw=4,23$
 - 05.07.1987, Montefeltro, $Io=6$, $Mw=4,44$
 - 14.01.1991, Casentino, $Io=5$, $Mw=4,26$
 - 02.10.1997, Alta Valtiberina, $Mw=4,42$
 - 26.11.2001, Casentino, $Io=5-6$, $Mw=4,63$

L'evento più recente riportato, di intensità locale NF, è quello del 21.10.2006 (Anconetano, $Io=5$, $Mw=4,21$).

Gli effetti dei terremoti risentiti nel territorio di Valsavignone e, più in generale, di Pieve Santo Stefano sono, quindi, di media intensità.

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione Sismica	File: P00_GE00_GEO_RE04_B.doc Data: Dicembre 2024 Pag. 33 di 67
---	--

6.2 Classificazione sismica del territorio di studio – Pericolosità sismica

Per quanto concerne la classificazione sismica del territorio, facendo riferimento all'Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri del 20 marzo 2003, n. 3274, e degli atti di recepimento delle Regioni (in particolare quello della Regione Toscana, DGR n. 878 del 8 ottobre 2012, aggiornato poi dal DGR n. 421 del 26 maggio 2014), il Comune di Pieve Santo Stefano è classificato in **Zona Sismica 2** (Zona 2 - In questa zona forti terremoti sono possibili) (Fig. 6.4).

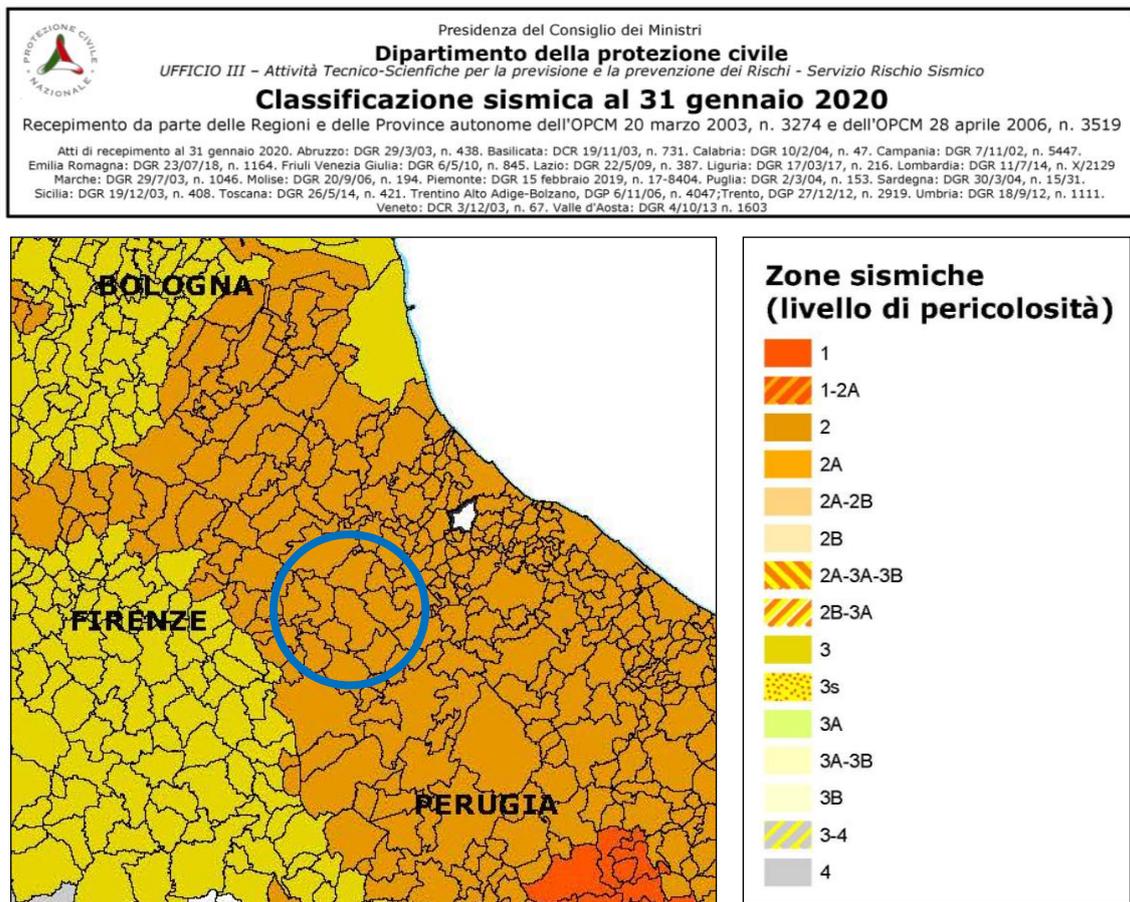


Fig. 6.4 – Classificazione sismica al 2020 del Comune di Pieve Santo Stefano (AR)
(Dipartimento della Protezione Civile)

Con riferimento alla classificazione sismica del territorio basata sulla pericolosità, nella tabella seguente è riportata la suddivisione delle zone sismiche in rapporto

all'accelerazione di picco su terreno rigido (OPCM 3519/06), mentre nella successiva Fig. 6.5 viene riportata la mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale.

Zona sismica	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g)
1	$a_g > 0,25$
2	$0,15 < a_g \leq 0,25$
3	$0,05 < a_g \leq 0,15$
4	$a_g \leq 0,05$

Tab. 6.4 - Suddivisione delle zone sismiche in relazione all'accelerazione di picco su terreno rigido (OPCM 3519/06)

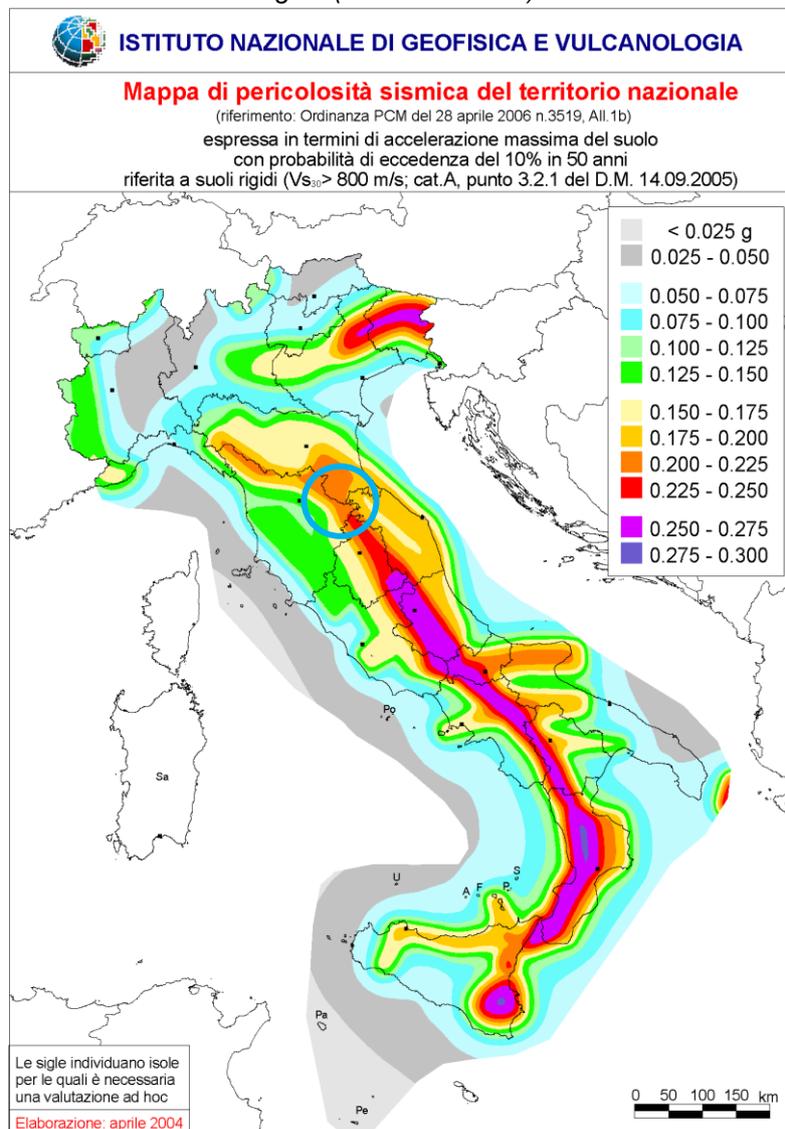


Fig. 6.5 – INGV – Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale

Relazione Sismica

Nella Fig. 6.6 seguente è riportato il dettaglio della mappa suddetta calato a livello regionale.

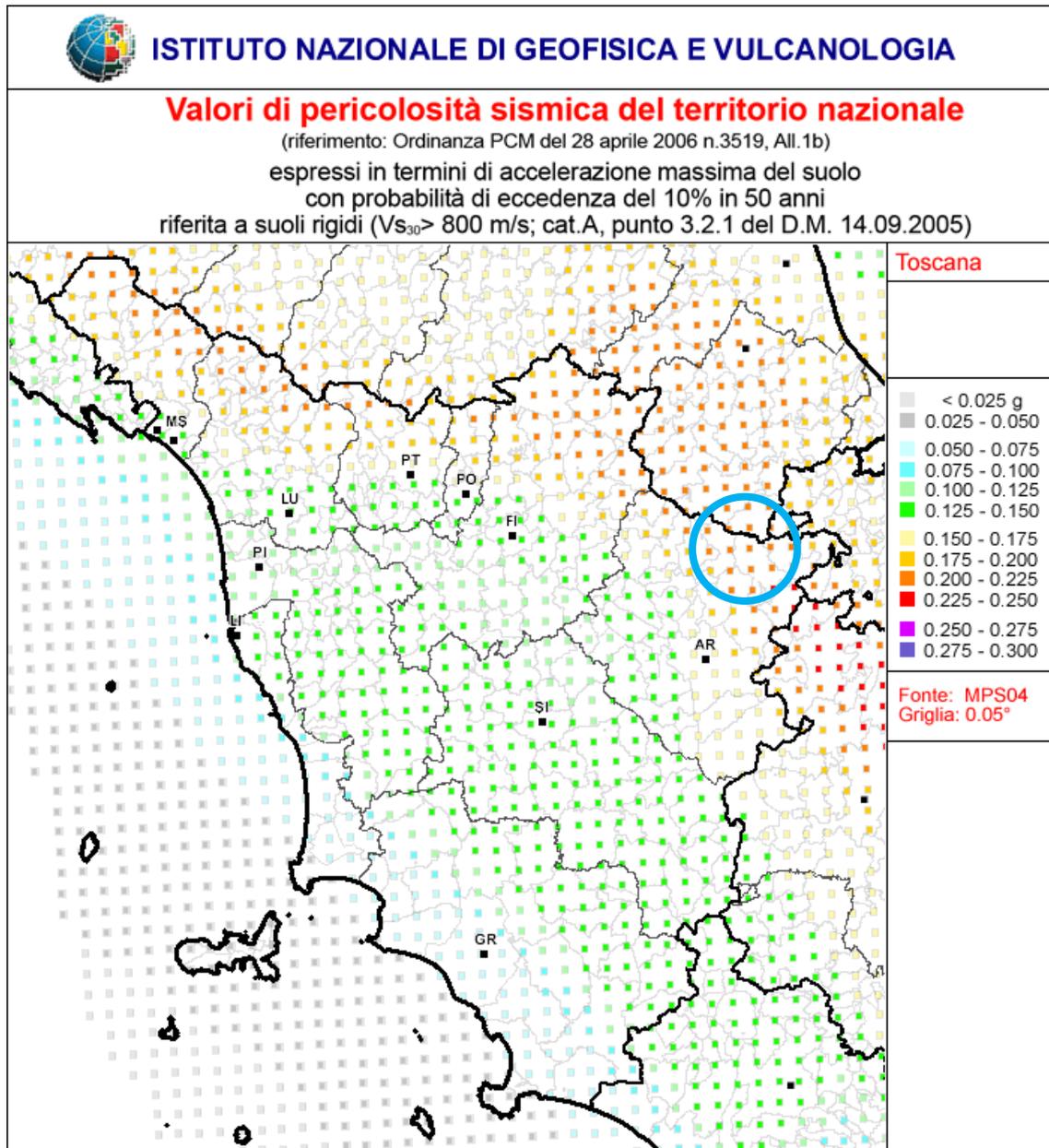


Fig. 6.6 – INGV – Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale – Regione Toscana

Nella Fig. 6.7 seguente è riportato il dettaglio della mappa suddetta calato a livello locale. Da tale dettaglio si evince che l'area di progetto è posta all'interno della fascia di pericolosità con $a_g = 0,200-0,225$.

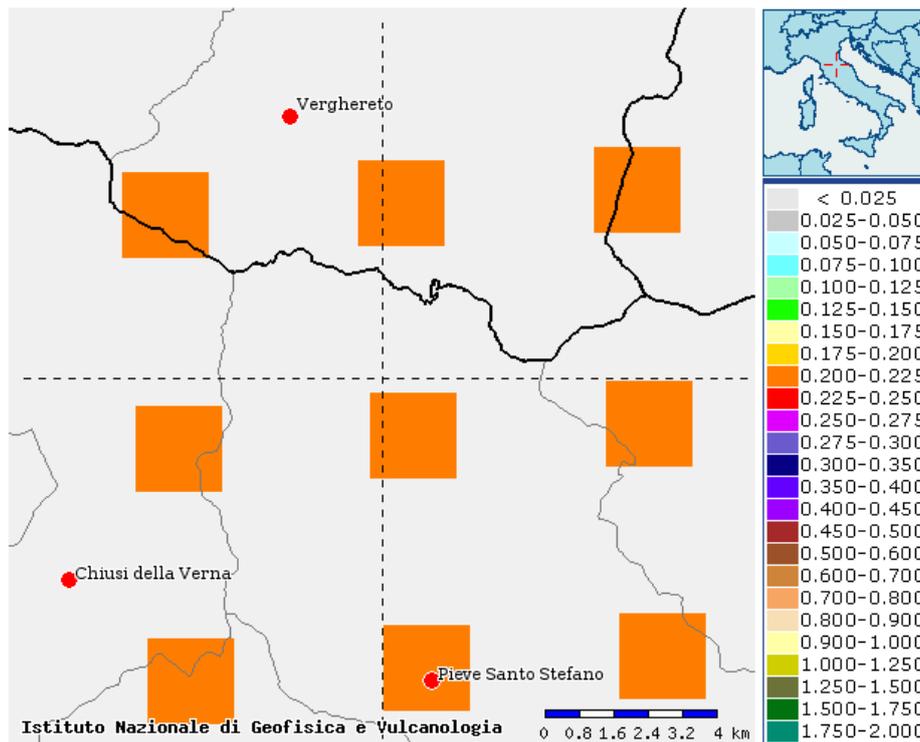


Fig. 6.7 - Mappa di pericolosità sismica MPS04. Accelerazione massima " a_g " attesa su suolo rigido con una probabilità del 10% in 50 anni

Al fine di individuare gli intervalli di magnitudo e distanza dominanti per la pericolosità sismica, è stata condotta un'analisi di disaggregazione (o deaggregazione) della pericolosità sismica (McGuire, 1995; Bazzurro and Cornell, 1999).

L'analisi di disaggregazione è stata effettuata in corrispondenza di un nodo, contiguo al sito di progetto, della griglia adottata per la redazione delle mappe di pericolosità sismica del territorio nazionale (Gruppo di Lavoro MPS dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia INGV, 2004).

I dati di disaggregazione sono desumibili dalla pagina del sito dell'INGV di Milano <http://esse1-gis.mi.ingv.it>, dedicata alla pericolosità sismica di base (al bedrock rigido e orizzontale) nazionale, nel quale sono stati disaggregati tutti i valori mediani di

scuotimento, espresso in termini di accelerazione orizzontale di picco a_g su suolo di riferimento rigido affiorante di categoria A, corrispondenti a 9 periodi di ritorno (T_R): 30, 50, 72, 100, 140, 200, 475, 1000 e 2500 anni, su griglia di calcolo con passo pari a 0.5° in latitudine e longitudine.

I risultati dell'analisi di disaggregazione in termini di magnitudo e distanza ($M - R$) sono riportati in Figura 6.8 e Tabella 6.5.

Essi esprimono, per il sito di progetto e per la prefissata probabilità di eccedenza, tutte le combinazioni tra 11 valori di magnitudo M e 20 valori di distanza R , e permettono di definire il contributo di sorgenti sismogenetiche a distanza R capaci di generare terremoti di magnitudo M .

In fondo alla tabella vengono anche forniti i valori medi di magnitudo e distanza.

In accordo con la mappa di disaggregazione sismica, per il sito di progetto sono attesi eventi sismici di magnitudo media $M = 5.16$ e distanza epicentrale media pari a $R = 6.78$ km.

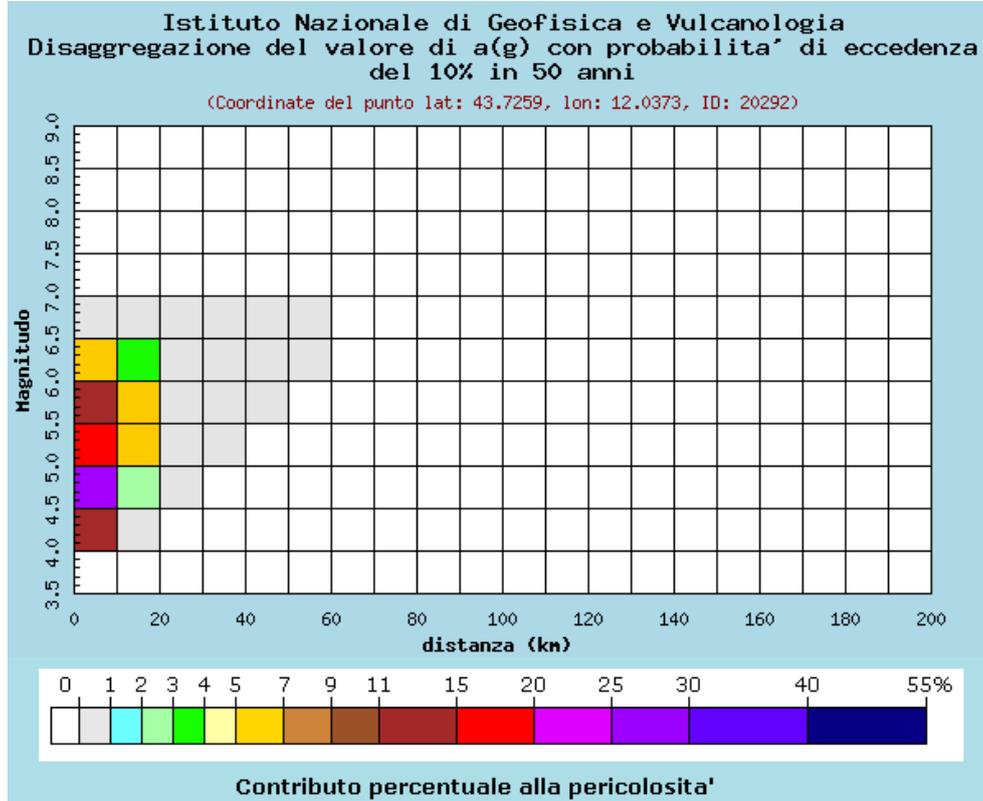


Fig. 6.8 - Grafico di disaggregazione magnitudo–distanza

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA'
 DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS
 TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI
 Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone
 CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013
 PROGETTO ESECUTIVO
Relazione Sismica

File:
 P00_GE00_GEO_RE04_B.doc
 Data: Dicembre 2024
 Pag. 38 di 67

Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 43.7259, lon: 12.0373, ID: 20292)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	13.500	28.700	19.900	11.800	5.700	0.396	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	0.489	2.990	5.000	5.220	3.550	0.201	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.000	0.009	0.324	0.882	0.856	0.033	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.000	0.001	0.094	0.221	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.041	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.160	6.780	1.090

Tab. 6.5 – Risultati della disaggregazione magnitudo–distanza

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione Sismica	File: P00_GE00_GEO_RE04_B.doc Data: Dicembre 2024 Pag. 39 di 67
---	--

7. CARATTERIZZAZIONE SISMICA SECONDO IL D.M. DEL 17.01.2018

7.1 Azione sismica di progetto

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) adottano un approccio prestazionale alla progettazione delle strutture nuove e alla verifica di quelle esistenti. Nei riguardi dell'azione sismica l'obiettivo è il controllo del livello di danneggiamento della costruzione a fronte dei terremoti che possono verificarsi nel sito di costruzione. L'azione sismica così individuata viene poi variata per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo effettivamente presente nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie. Tali modifiche caratterizzano la *risposta sismica locale*.

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido (categoria **A**) con superficie topografica orizzontale (categoria **T1**), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} come definite nel § 3.2.1, nel periodo di riferimento V_R , come definito nel § 2.4. In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica locale dell'area della costruzione.

Ai fini della presente normativa le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento P_{VR} nel periodo di riferimento V_R , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

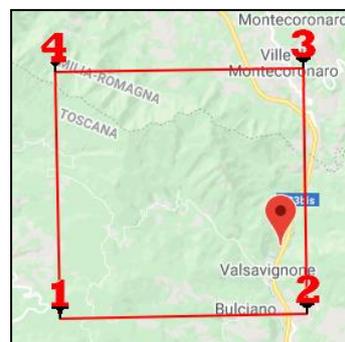
- a_g)** accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_o)** valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T*c)** valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Tali parametri utilizzati per la determinazione della pericolosità sismica fanno capo ad un reticolo di riferimento costituito da una maglia di punti definiti in termini di latitudine e

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione Sismica	File: P00_GE00_GEO_RE04_B.doc Data: Dicembre 2024 Pag. 40 di 67
---	--

longitudine crescenti. Inserendo, quindi, i valori delle coordinate riferite al sito ove ricade l'opera di progetto, il programma utilizzato della società GEOSTRU (*Geostru-PS* è un software per individuare la pericolosità sismica direttamente dalla mappa geografica) permette di calcolare i parametri sismici utilizzando le tabelle dei parametri che definiscono l'azione sismica con i dati ufficiali, così come pubblicati nel D.M. 17/01/2018, e automaticamente consente la formulazione delle suddette tre variabili riferite agli stati limite di esercizio e stati limite ultimi, che brevemente si riportano:

- SLO** – stato limite di operatività;
- SLD** – stato limite di danno;
- SLV** – stato limite di salvaguardia della Vita;
- SLC** – stato limite di prevenzione del collasso.



Il sito in oggetto è compreso nella maglia del reticolato di riferimento i cui vertici sono definiti dalle seguenti coppie di coordinate relative ai valori di latitudine e longitudine:

Siti di riferimento

- Sito 1** ID: 20291 Lat: 43,7250 Lon: 11,9682 Distanza: 5221,881
- Sito 2** ID: 20292 Lat: 43,7259 Lon: 12,0373 Distanza: 1631,281
- Sito 3** ID: 20070 Lat: 43,7759 Lon: 12,0362 Distanza: 4068,729
- Sito 4** ID: 20069 Lat: 43,7750 Lon: 11,9669 Distanza: 6416,353

Le coordinate sono espresse nel sistema di riferimento **ED50**.

In particolare per il sito in oggetto sono state considerate come rappresentative del sito di interesse progettuale le seguenti coppie di coordinate riferite ai seguenti sistemi di riferimento:

Sistema WGS84:

Lat 43,738599° - Lng 12,029024°

Sistema ED50:

Lat 43,739551° - Lng 12,029989°

Il software utilizzato converte i dati dal sistema WGS84 al sistema ED50 in automatico.

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione Sismica	File: P00_GEO00_GEO_RE04_B.doc Data: Dicembre 2024 Pag. 41 di 67
---	---

7.2 Classificazione sismica dei terreni di fondazione

Successivamente all'approvazione delle N.T.C. dell'anno 2008 (D.M: 14/01/2008) ed al loro aggiornamento dell'anno 2018 (D.M. 17/01/2018), la classificazione sismica dei terreni di fondazione avviene sulla base della raccolta di parametri di carattere litologico, stratigrafico, sismico, geotecnico, topografico, quindi da informazioni che sono state desunte dallo studio eseguito sul sito ed aree limitrofe.

L'aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni", approvato con D.M. 17/01/2018, pubblicato sulla G.U. del 20 febbraio 2018, al punto 3.2.2 riportano le "Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche" per la determinazione dell'azione sismica di progetto.

Per la definizione dell'azione sismica di progetto la norma fa riferimento ad un approccio semplificato, basato su categorie di sottosuolo di riferimento.

Tali categorie sono illustrate nella Tab. 3.2.II, allegata al punto 3.2.2 della normativa e sono di seguito riportate.

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

Categoria	Categorie di sottosuolo
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , 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.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , 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.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione Sismica	File: P00_GE00_GEO_RE04_B.doc Data: Dicembre 2024 Pag. 42 di 67
---	--

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

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

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

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

con:

h_i spessore dell'i-esimo strato;

$V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_S non inferiore a 800 m/s.

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

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione Sismica	File: P00_GEO00_GEO_RE04_B.doc Data: Dicembre 2024 Pag. 43 di 67
---	---

muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

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

Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definibili come descritto al § 3.2.3 della normativa.

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

Per quanto concerne le condizioni topografiche, per condizioni complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale, mentre per configurazioni superficiali semplici si utilizza la classificazione riportata nella Tab. 3.2.III allegata al punto 3.2.2 della normativa.

Tab. 3.2.III – Categorie topografiche

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione Sismica	File: P00_GE00_GEO_RE04_B.doc Data: Dicembre 2024 Pag. 44 di 67
---	--

8. RISULTATI DELLE INDAGINI GEOFISICHE

Ai fini di ricostruire il profilo sismo stratigrafico dei terreni su cui sono previste le opere in progetto, congiuntamente alla caratterizzazione sismica dei terreni presenti, in ottemperanza alle Nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni (NTC2018), sono stati utilizzati sia i risultati di indagini geognostiche precedenti, effettuate nell'anno 2016 dal ANAS S.p.A. Compartimento per la Viabilità della Regione Toscana, sia i risultati della campagna di indagine geognostica, sismica, geotecnica e ambientale specificamente pianificata dalla RPA ed eseguita nei mesi di aprile e maggio 2020 a supporto della presente progettazione (vedi Cap. 3 "Studi e indagini eseguiti").

Nello specifico, il sottosuolo è stato indagato dal punto di vista sismico tramite i risultati di n. 4 indagini sismiche di tipo MASW (MASW1-4) effettuate nella campagna d'indagine dell'anno 2016, e n. 9 indagini sismiche di tipo MASW (MASW5-13) effettuate a supporto della presente progettazione (2020), la cui ubicazione è riportata negli elaborati grafici specifici **P00_GE00_GEO_PU01_A** "*Planimetria con ubicazione delle indagini geotecniche e geofisiche - Tav. 1 di 2*" e **P00_GE00_GEO_PU02_A** "*Planimetria con ubicazione delle indagini geotecniche e geofisiche - Tav. 2 di 2*".

I risultati delle indagini eseguite sono stati utilizzati per la ricostruzione del profilo verticale delle velocità delle onde di taglio V_s e, quindi, per la determinazione della velocità equivalente $V_{s,E}$, al fine di definire la classificazione sismica del sottosuolo per il calcolo dell'azione sismica di riferimento ai sensi delle NTC2018.

Per i dettagli dell'indagine sismica eseguita si rimanda all'elaborato **P00_GE00_GEO_RE03_A** "*Risultati delle indagini geotecniche, geofisiche e delle prove di laboratorio*".

8.1 Elaborazione dei dati

L'elaborazione dei dati ha permesso, in base all'andamento delle velocità delle onde di taglio V_s con la profondità, la ricostruzione sismostratigrafica dei terreni interessati dalle opere in progetto e la determinazione della velocità equivalente $V_{s,E}$ di propagazione delle onde di taglio necessaria, ai sensi delle NTC2018, per la definizione della categoria di sottosuolo.

Di seguito si riportano i risultati delle prospezioni sismiche eseguite.

Indagine sismica con tecnica MASW – Campagna 2016:

MASW1

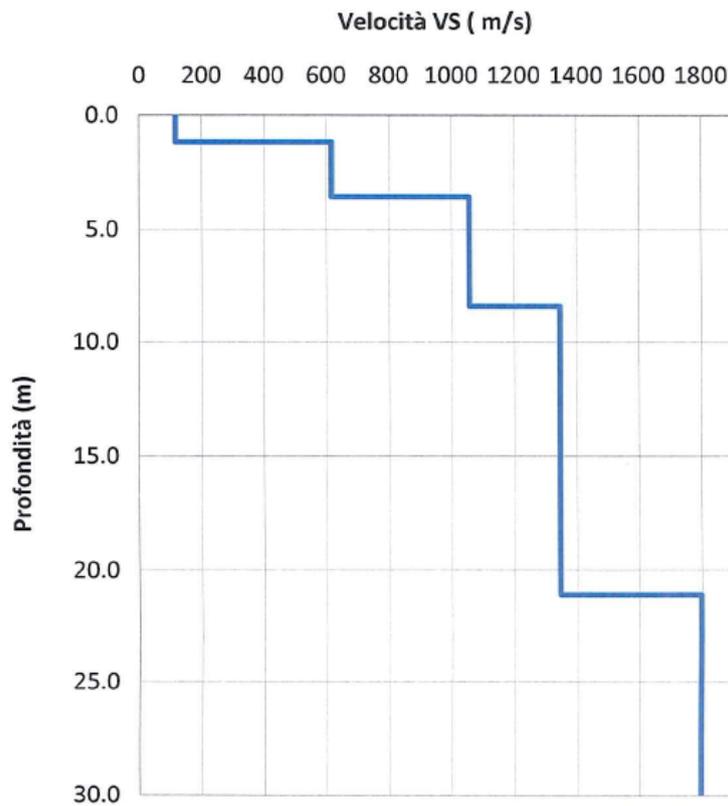


Fig. 7.1 – MASW1: profilo verticale delle V_s

Sismostrato	Profondità		Spessore	V_s (m/s)
1	0.00	1.20	1.2	120.00
2	1.20	3.60	2.4	620.00
3	3.60	8.40	4.8	1060.00
4	8.40	21.10	12.70	1350.00
5	21.10	30.00	inf.	1800.00

Tab. 8.1 – MASW1: tabella sismostratigrafica di sintesi

Il modello sismostratigrafico ricavato ha messo in risalto la presenza di n. 4 sismostrati sovrastanti il semispazio (Fig. 8.1).

Il bedrock sismico ($V_s > 800$ m/s) è stato intercettato alla profondità di 3,60 m da p.c. ($V_s = 1060$ m/s).

Dal profilo di velocità delle onde di taglio, considerata la profondità del bedrock sismico locale di 3,60 m, si ottiene per $V_{s,3.60}$ il valore di **260 m/s**.

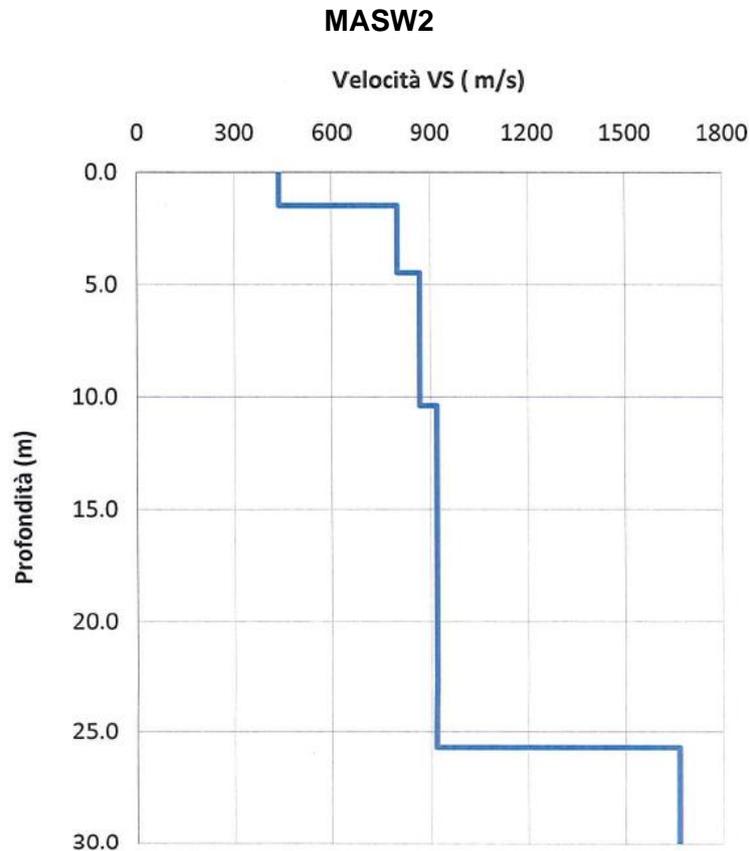


Fig. 8.2 – MASW2: profilo verticale delle Vs

Sismostrato	Profondità		Spessore	Vs (m/s)
1	0.00	1.50	1.5	440.00
2	1.50	4.50	3	800.00
3	4.50	10.40	5.9	870.00
4	10.40	25.70	15.30	920.00
5	25.70	30.00	inf.	1670.00

Tab. 8.2 – MASW2: tabella sismostratigrafica di sintesi

Il modello sismostratigrafico ricavato ha messo in risalto la presenza di n. 4 sismostrati sovrastanti il semispazio (Fig. 8.2).

Il bedrock sismico ($V_s > 800$ m/s) è stato intercettato alla profondità di 1,50 m da p.c. ($V_s = 800$ m/s).

Dal profilo di velocità delle onde di taglio, considerata la profondità del bedrock sismico locale di 1,50 m, si ottiene un valore di $V_{s,E} > \mathbf{di 800 m/s}$.

MASW3

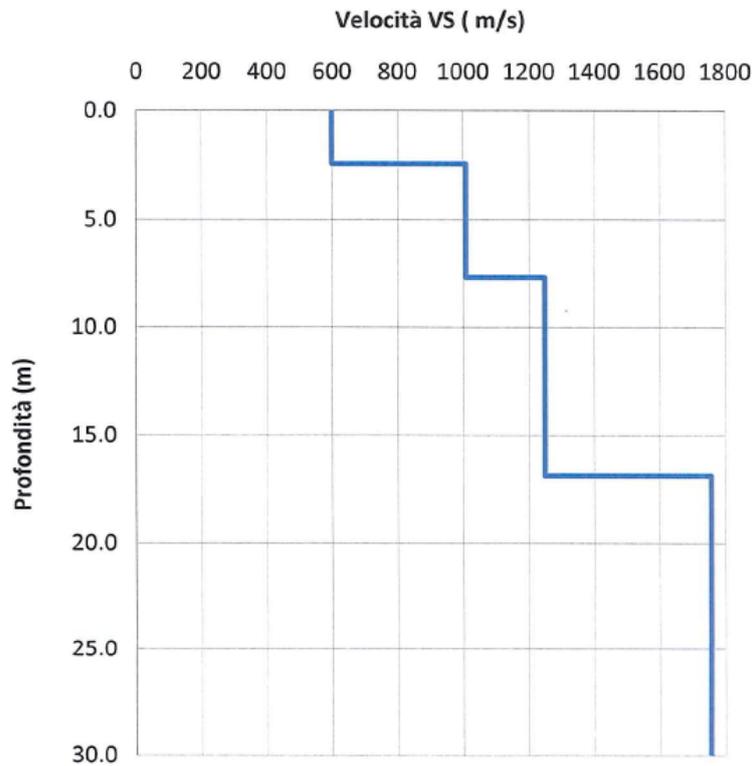


Fig. 8.3 – MASW3: profilo verticale delle Vs

Sismostrato	Profondità		Spessore	Vs (m/s)
1	0.00	2.50	2,5	600.00
2	2.50	7.70	5.2	1010.00
3	7.70	16.90	9.2	1250.00
4	16.90	inf.	inf.	1760.00

Tab. 8.3 – MASW3: tabella sismostratigrafica di sintesi

Il modello sismostratigrafico ricavato ha messo in risalto la presenza di n. 3 sismostrati sovrastanti il semispazio (Fig. 8.3).

Il bedrock sismico ($V_s > 800$ m/s) è stato intercettato alla profondità di 2,50 m da p.c. ($V_s = 1010$ m/s).

Dal profilo di velocità delle onde di taglio, considerata la profondità del bedrock sismico locale di 2,50 m, si ottiene un valore di $V_{s,E} > \mathbf{di\ 800\ m/s}$.

MASW4

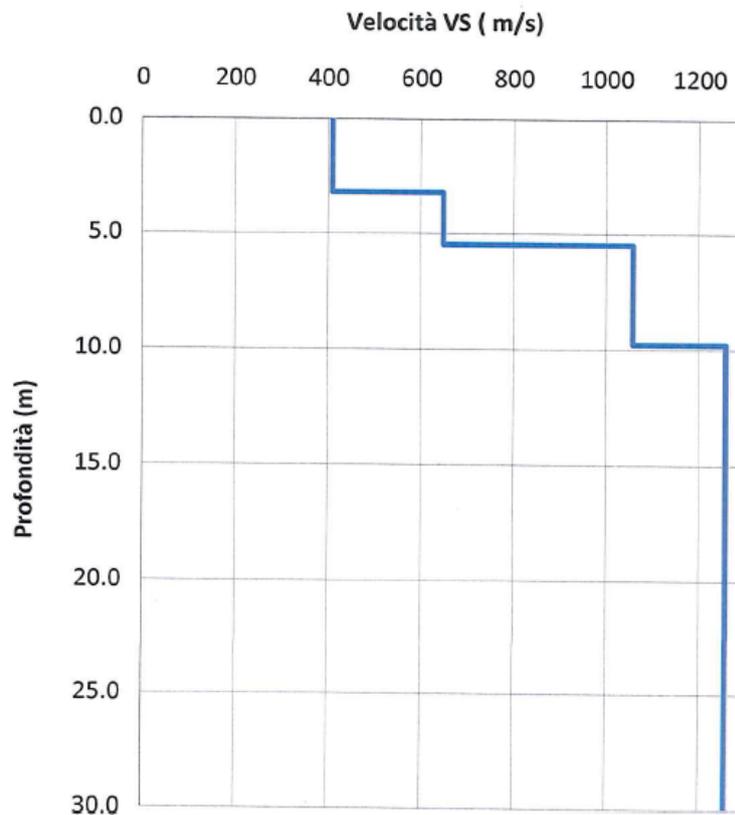


Fig. 8.4 – MASW4: profilo verticale delle Vs

Sismostrato	Profondità	Spessore	Vs (m/s)
1	0.00	3.20	410.00
2	3.20	5.50	650.00
3	5.50	9.80	1060.00
4	9.80	inf.	1260.00

Tab. 8.4 – MASW4: tabella sismostratigrafica di sintesi

Il modello sismostratigrafico ricavato ha messo in risalto la presenza di n. 3 sismostrati sovrastanti il semispazio (Fig. 8.4).

Il bedrock sismico ($V_s > 800$ m/s) è stato intercettato alla profondità di 5,50 m da p.c. ($V_s = 1060$ m/s).

Dal profilo di velocità delle onde di taglio, considerata la profondità del bedrock sismico locale di 5,50 m, si ottiene per $V_{s,5.50}$ il valore di **485 m/s**.

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione Sismica	File: P00_GE00_GEO_RE04_B.doc Data: Dicembre 2024 Pag. 49 di 67
---	--

❖ Indagine sismica con tecnica MASW – Campagna 2020:

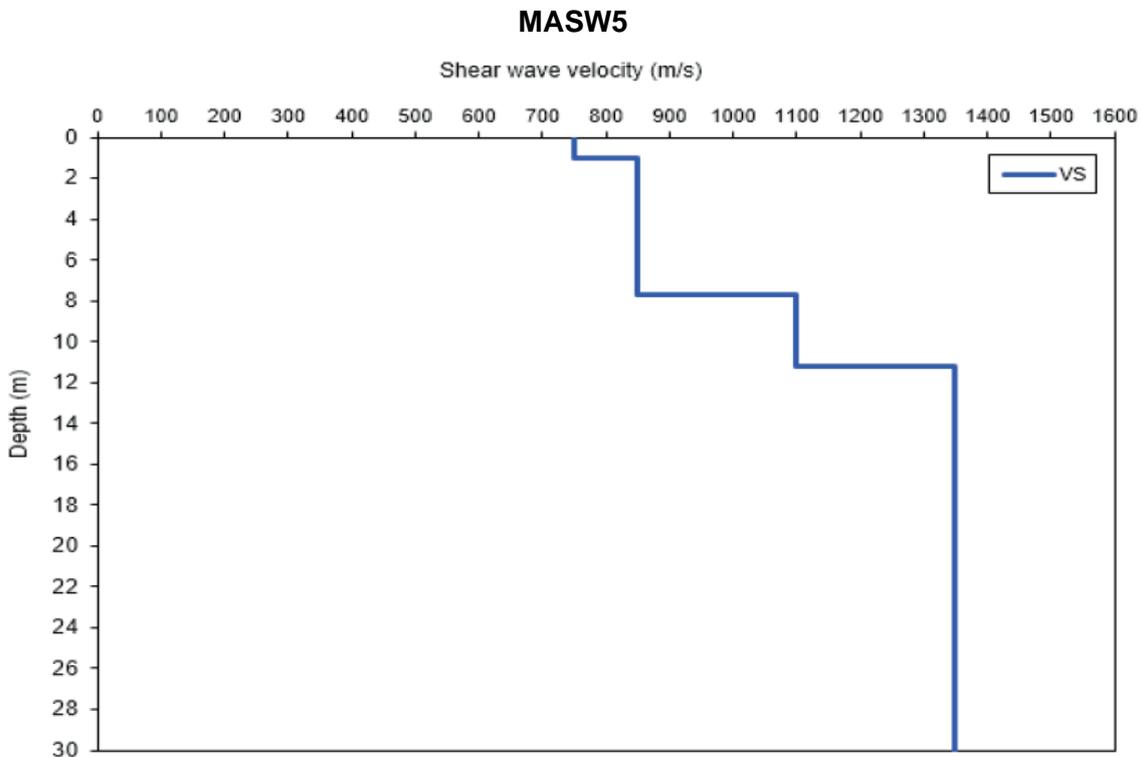


Fig. 8.5 – MASW5: profilo verticale delle V_s

N. STRATO	VELOCITA' V_s (m/sec)	VELOCITA' V_p (m/sec)	Mod. deform. Taglio – G0 (Mpa)	Mod. Edometrico – Ed (Mpa)	Mod. di Young – E_y (Mpa)	PROFONDITA' H (metri)
1	750	1403	1012,50	3543,75	2632,50	1,0
2	850	1590	1300,50	4551,75	3381,30	7,7
3	1100	2057	2178,00	7623,00	5662,80	11,2
4	1350	2525	3280,50	11481,75	8529,3	Da 11,2 in poi

Tab. 8.5 – MASW5: tabella sismostratigrafica di sintesi

Il modello sismostratigrafico ricavato ha messo in risalto la presenza di n. 3 sismostrati sovrastanti il semispazio (Fig. 8.5).

Il bedrock sismico ($V_s > 800$ m/s) è stato intercettato alla profondità di 1,00 m da p.c. ($V_s = 850$ m/s).

Dal profilo di velocità delle onde di taglio, considerata la profondità del bedrock sismico locale di 1,00 m, si ottiene un valore di $V_{s,E} > \mathbf{di 800 m/s}$.

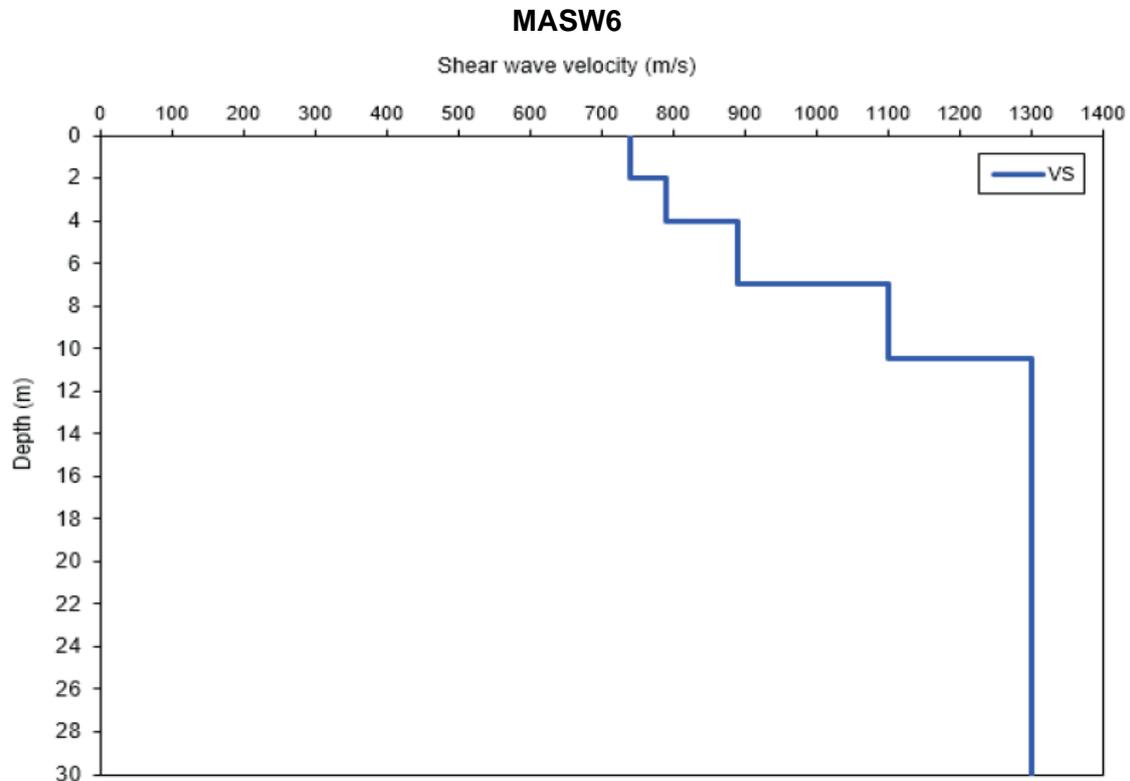


Fig. 8.6 – MASW6: profilo verticale delle V_s

N. STRATO	VELOCITA' V_s (m/sec)	VELOCITA' V_p (m/sec)	Mod. deform. Taglio - G_0 (Mpa)	Mod. Edometrico - E_d (Mpa)	Mod. di Young - E_y (Mpa)	PROFONDITA' H (metri)
1	740	1384	985,68	3449,88	2562,77	2,0
2	790	1477	1123,38	3931,83	2920,79	4,0
3	890	1665	1425,78	4990,23	3707,03	7,0
4	1100	2057	2178,00	7623,00	5662,80	10,5
5	1300	2432	3042,00	10647,00	7909,20	Da 10,5 in poi

Tab. 8.6 – MASW6: tabella sismostratigrafica di sintesi

Il modello sismostratigrafico ricavato ha messo in risalto la presenza di n. 4 sismostrati sovrastanti il semispazio (Fig. 8.6).

Il bedrock sismico ($V_s > 800$ m/s) è stato intercettato alla profondità di 4,00 m da p.c. ($V_s = 890$ m/s).

Dal profilo di velocità delle onde di taglio, considerata la profondità del bedrock sismico locale di 4,00 m, si ottiene per $V_{S,4.00}$ il valore di **764 m/s**.

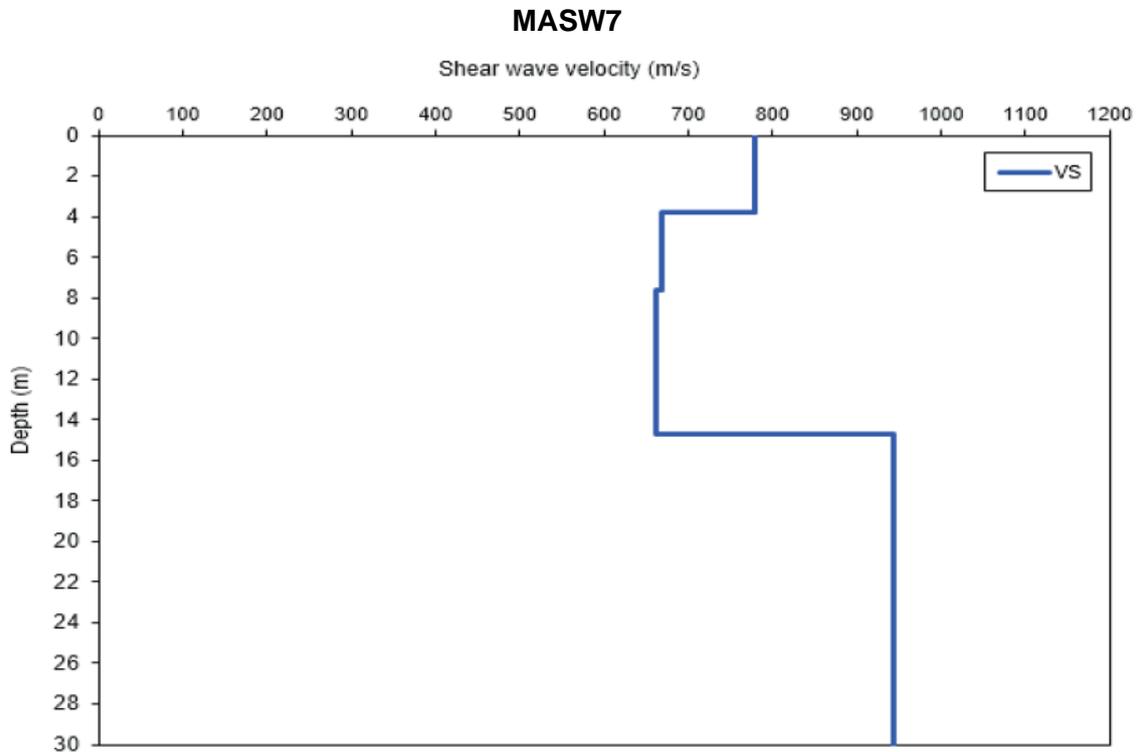


Fig. 8.7 – MASW7: profilo verticale delle Vs

N. STRATO	VELOCITA' Vs (m/sec)	VELOCITA' Vp (m/sec)	Mod. deform. Taglio - G0 (Mpa)	Mod. Edometrico - Ed (Mpa)	Mod. di Young - Ey (Mpa)	PROFONDITA' H (metri)
1	780	1459	1095,12	3832,92	2847,31	3,8
2	669	1252	807,10	2824,85	2098,46	7,6
3	663	1241	792,98	2775,44	2061,75	14,7
4	944	1766	1604,97	5617,39	4172,92	Da 14,7 in poi

Tab. 8.7 – MASW7: tabella sismostratigrafica di sintesi

Il modello sismostratigrafico ricavato ha messo in risalto la presenza di n. 3 sismostrati sovrastanti il semispazio (Fig. 8.7).

Il bedrock sismico ($V_s > 800$ m/s) è stato intercettato alla profondità di 14,70 m da p.c. ($V_s = 944$ m/s).

Dal profilo di velocità delle onde di taglio, considerata la profondità del bedrock sismico locale di 14,70 m, si ottiene per $V_{s,14.70}$ il valore di **692 m/s**.

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione Sismica	File: P00_GE00_GEO_RE04_B.doc Data: Dicembre 2024 Pag. 52 di 67
---	--

L'indagine sismica MASW7 ha mostrato alcune riduzioni di valore delle V_S del terreno, procedendo in profondità lungo la verticale, come di seguito descritto.

Partendo dal presupposto, convenzionalmente accettato con riferimento alla Tabella 3.2.II del D.M. 17.01.2018, che riduzioni di velocità V_S di uno strato di terreno rispetto al soprastante in una sequenza verticale (convenzionalmente definite inversioni di velocità di taglio), configurino una stratigrafia del sito in cui verrebbe meno il requisito del "graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità", si deve valutare se le riduzioni di velocità V_S rilevate siano da considerare "inversioni". Questa valutazione, dati i presupposti di cui sopra, è necessaria per stabilire, in ultima analisi, se è possibile classificare il suolo dell'area di progetto in una delle categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato oppure, in caso non fosse classificabile nelle categorie suddette, sia necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche, ai sensi del par. 3.2.2 del D.M. 17/01/2018.

Per l'argomentazione in oggetto è determinante stabilire sia l'entità del decremento di velocità che il riconoscimento, o meno, di un trend complessivo di aumento della velocità con l'incremento della profondità.

Il secondo aspetto è soddisfatto, se si considera il profilo V_S di sito della prova MASW eseguita (Fig. 8.7).

Per quanto riguarda il primo aspetto, esso risponde, in particolare, al quesito se i decrementi di velocità di taglio rilevati nell'indagine si possano considerare o meno inversioni di velocità. A tale riguardo si fa riferimento al Paragrafo 2.5.2.1 delle Linee Guida degli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" (Protezione Civile Nazionale, Presidenza del Consiglio dei Ministri - Dipartimento della Protezione Civile, Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome – Settembre 2008):

"La presenza di una inversione di velocità nel profilo delle V_S di una successione litostratigrafica si intende realizzata quando un terreno rigido sovrasta stratigraficamente un terreno meno rigido (soffice) con un rapporto $V_{S\text{ rig}}/V_{S\text{ sof}} > 2$, con la V_S dello strato più rigido maggiore di 500 m/s".

Di seguito viene effettuata la valutazione, quindi, per la prova MASW eseguita, della sussistenza o meno delle condizioni suddette, al fine di stabilire la presenza o meno di inversioni di velocità.

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione Sismica	File: P00_GE00_GEO_RE04_B.doc Data: Dicembre 2024 Pag. 53 di 67
---	--

La prova sismica ha evidenziato un certo numero di sismostrati, ad ognuno dei quali è stato assegnato un valore di V_S , come documentato. Nella prova in questione n. 2 sismostrati, lungo la verticale, sono caratterizzati da valori di V_S inferiori rispetto ai sismostrati soprastanti, cosicché sono state individuate n. 2 coppie di sismostrati costituite da un terreno rigido sovrastante e da un terreno meno rigido (soffice) sottostante.

Di seguito si riporta il grafico della MASW7, con evidenziati gli strati di terreno classificabili come “soffici” in rapporto ai strati rigidi sovrastanti.

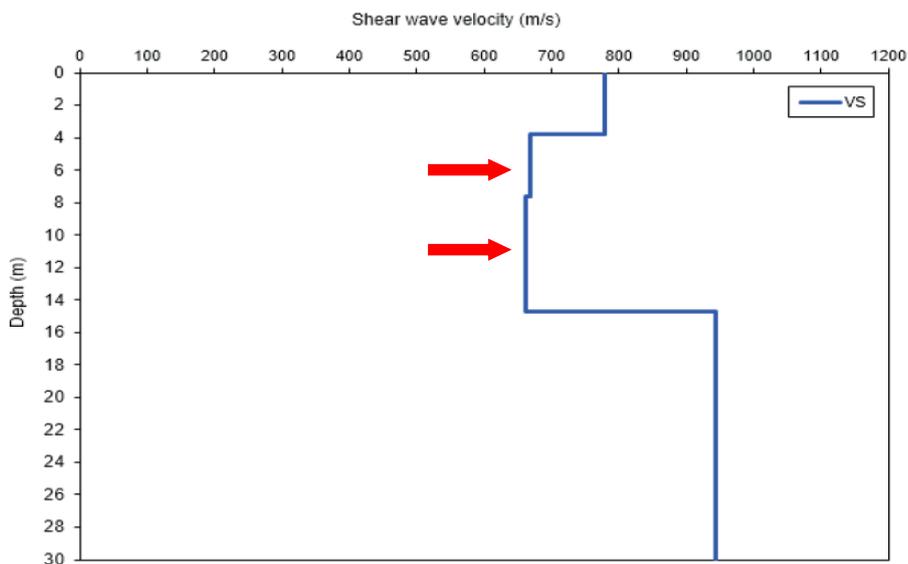


Fig. 8.8 – MASW7: riduzioni dei valori delle V_S lungo il profilo di velocità

- 1) **Terreno soffice 1** (Sismostrato 2 con $V_S=669$ m/s) sotto **terreno rigido** (Sismostrato 1 con $V_S=780$ m/s)
- 2) **Terreno soffice 2** (Sismostrato 3 con $V_S=663$ m/s) sotto **terreno rigido** (Sismostrato 2 con $V_S=669$ m/s)

Per lo strato soffice e per il sovrastante strato rigido si determina il valore del rapporto $V_{S\text{ rig}}/V_{S\text{ sof}}$ e di V_S dello strato più rigido.

- 1) $V_{S\text{ rig}}/V_{S\text{ sof}} = 780/669 = 1,17 (< 2)$

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione Sismica	File: P00_GE00_GEO_RE04_B.doc Data: Dicembre 2024 Pag. 54 di 67
---	--

$$V_{S \text{ rig}} = 780 \text{ m/s } (> 500 \text{ m/s})$$

Inversione di velocità = NO

$$2) V_{S \text{ rig}}/V_{S \text{ sof}} = 669/663 = 1,01 (< 2)$$

$$V_{S \text{ rig}} = 669 \text{ m/s } (> 500 \text{ m/s})$$

Inversione di velocità = NO

Quindi nella MASW7 non è realizzata la presenza di inversioni di velocità. Di conseguenza è possibile attribuire al terreno indagato una delle categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato, ai sensi del par. 3.2.2 del D.M. 17/01/2018.

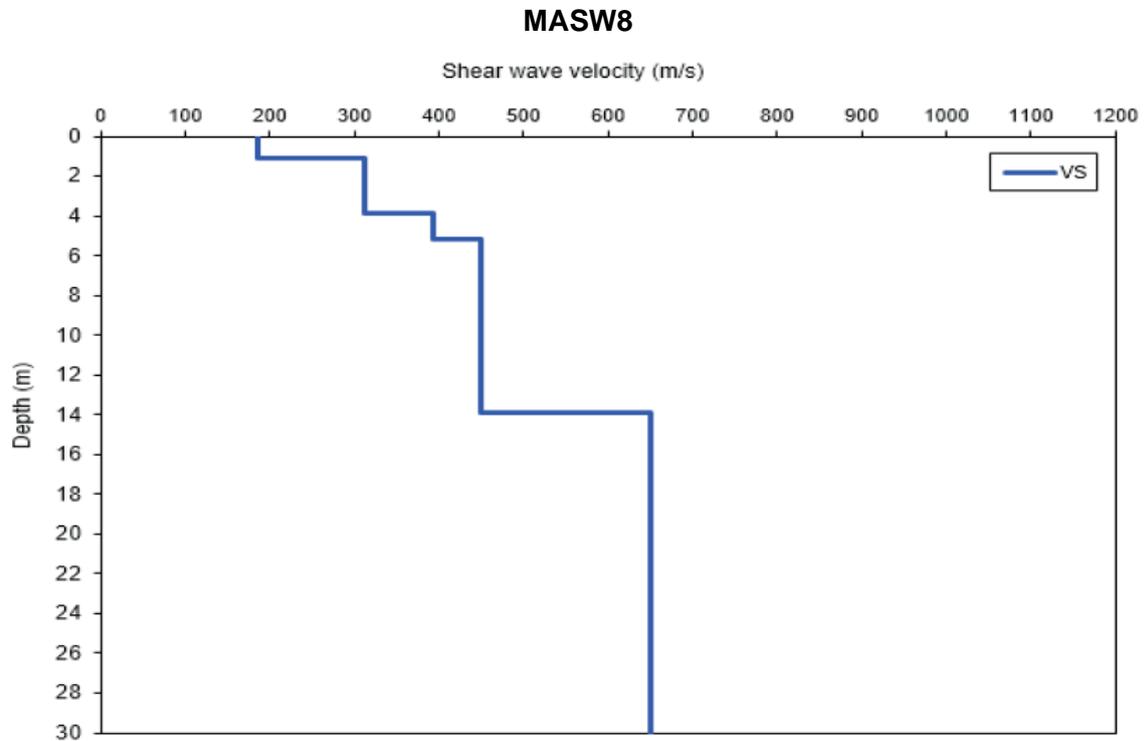


Fig. 8.9 – MASW8: profilo verticale delle V_s

N. STRATO	VELOCITA' V_s (m/sec)	VELOCITA' V_p (m/sec)	Mod. deform. Taglio - G_0 (Mpa)	Mod. Edometrico - E_d (Mpa)	Mod. di Young - E_y (Mpa)	PROFONDITA' H (metri)
1	185	346	61,65	215,77	160,28	1,1
2	312	649	175,26	759,44	473,19	3,9
3	394	821	280,55	1215,73	757,49	5,2
4	450	937	364,76	1580,62	984,85	13,9
5	650	1354	762,35	3303,52	2058,35	Da 13,9 in poi

Tab.8.8 – MASW8: tabella sismostratigrafica di sintesi

Il modello sismostratigrafico ricavato ha messo in risalto la presenza di n. 4 sismostrati sovrastanti il semispazio (Fig. 8.9).

Il bedrock sismico ($V_s > 800$ m/s) non è stato intercettato per tutta la lunghezza del tratto indagato.

Dal profilo di velocità delle onde di taglio, considerata la profondità del bedrock sismico locale maggiore di 30 m, si ottiene per $V_{s,30}$ il valore di **481 m/s**.

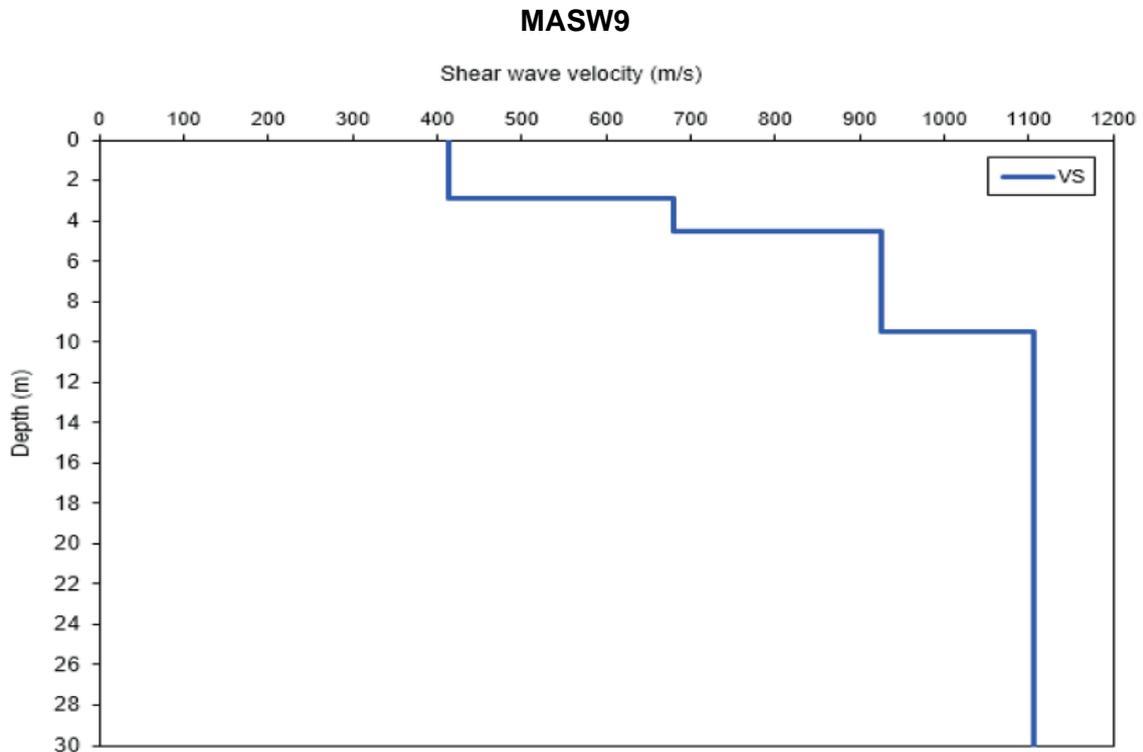


Fig. 8.10 – MASW9: profilo verticale delle V_s

N. STRATO	VELOCITA' V_s (m/sec)	VELOCITA' V_p (m/sec)	Mod. deform. Taglio - G_0 (Mpa)	Mod. Edometrico - E_d (Mpa)	Mod. di Young - E_y (Mpa)	PROFONDITA' H (metri)
1	415	777	310,65	1087,26	807,68	2,9
2	681	1274	835,93	2925,74	2173,41	4,5
3	927	1734	1547,38	5415,83	4023,19	9,5
4	1106	2069	2202,92	7710,22	5727,59	Da 9,5 in poi

Tab. 8.9 – MASW9: tabella sismostratigrafica di sintesi

Il modello sismostratigrafico ricavato ha messo in risalto la presenza di n. 3 sismostrati sovrastanti il semispazio (Fig. 8.10).

Il bedrock sismico ($V_s > 800$ m/s) è stato intercettato alla profondità di 4,50 m da p.c. ($V_s = 927$ m/s).

Dal profilo di velocità delle onde di taglio, considerata la profondità del bedrock sismico locale di 4,50 m, si ottiene per $V_{S,4.50}$ il valore di **483 m/s**.

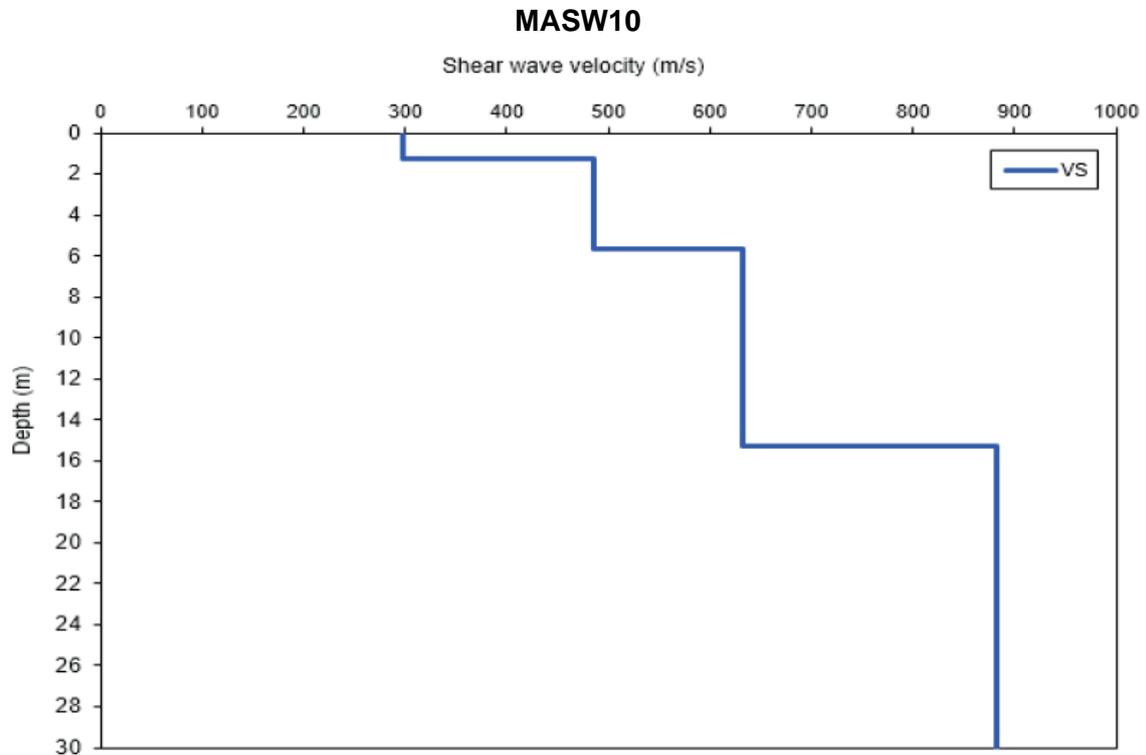


Fig. 8.11 – MASW10: profilo verticale delle Vs

N. STRATO	VELOCITA' Vs (m/sec)	VELOCITA' Vp (m/sec)	Mod. deform. Taglio - G0 (Mpa)	Mod. Edometrico - Ed (Mpa)	Mod. di Young - Ey (Mpa)	PROFONDITA' H (metri)
1	297	555	158,64	555,23	412,46	1,3
2	485	907	423,52	1482,33	1101,16	5,7
3	632	1183	720,00	2520,00	1872,00	15,3
4	882	1650	1401,10	4903,83	3642,85	Da 15,3 in poi

Tab. 8.10 – MASW10: tabella sismostratigrafica di sintesi

Il modello sismostratigrafico ricavato ha messo in risalto la presenza di n. 3 sismostrati sovrastanti il semispazio (Fig. 8.11).

Il bedrock sismico ($V_s > 800$ m/s) è stato intercettato alla profondità di 15,30 m da p.c. ($V_s = 882$ m/s).

Dal profilo di velocità delle onde di taglio, considerata la profondità del bedrock sismico locale di 15,30 m, si ottiene per $V_{s,15.30}$ il valore di **533 m/s**.

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione Sismica	File: P00_GE00_GEO_RE04_B.doc Data: Dicembre 2024 Pag. 58 di 67
---	--

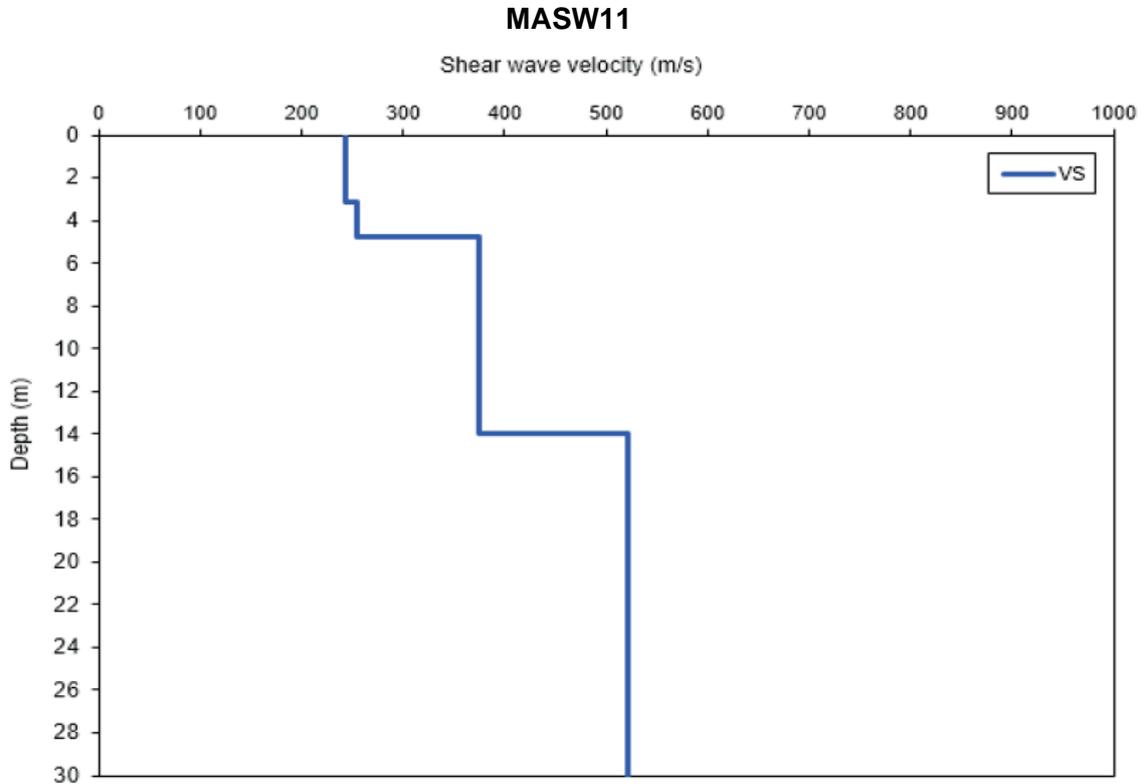


Fig. 8.12 – MASW11: profilo verticale delle V_s

N. STRATO	VELOCITA' V_s (m/sec)	VELOCITA' V_p (m/sec)	Mod. deform. Taglio - G0 (Mpa)	Mod. Edometrico - Ed (Mpa)	Mod. di Young - E_y (Mpa)	PROFONDITA' H (metri)
1	243	456	107,05	374,67	278,33	3,1
2	255	477	117,05	409,66	304,32	4,8
3	375	782	268,30	1162,63	724,41	14,0
4	521	1086	517,62	2243,04	1397,59	Da 14,0 in poi

Tab. 8.11 – MASW11: tabella sismostratigrafica di sintesi

Il modello sismostratigrafico ricavato ha messo in risalto la presenza di n. 3 sismostrati sovrastanti il semispazio (Fig. 8.12).

Il bedrock sismico ($V_s > 800$ m/s) non è stato intercettato per tutta la lunghezza del tratto indagato.

Dal profilo di velocità delle onde di taglio, considerata la profondità del bedrock sismico locale maggiore di 30 m, si ottiene per $V_{s,30}$ il valore di **402 m/s**.

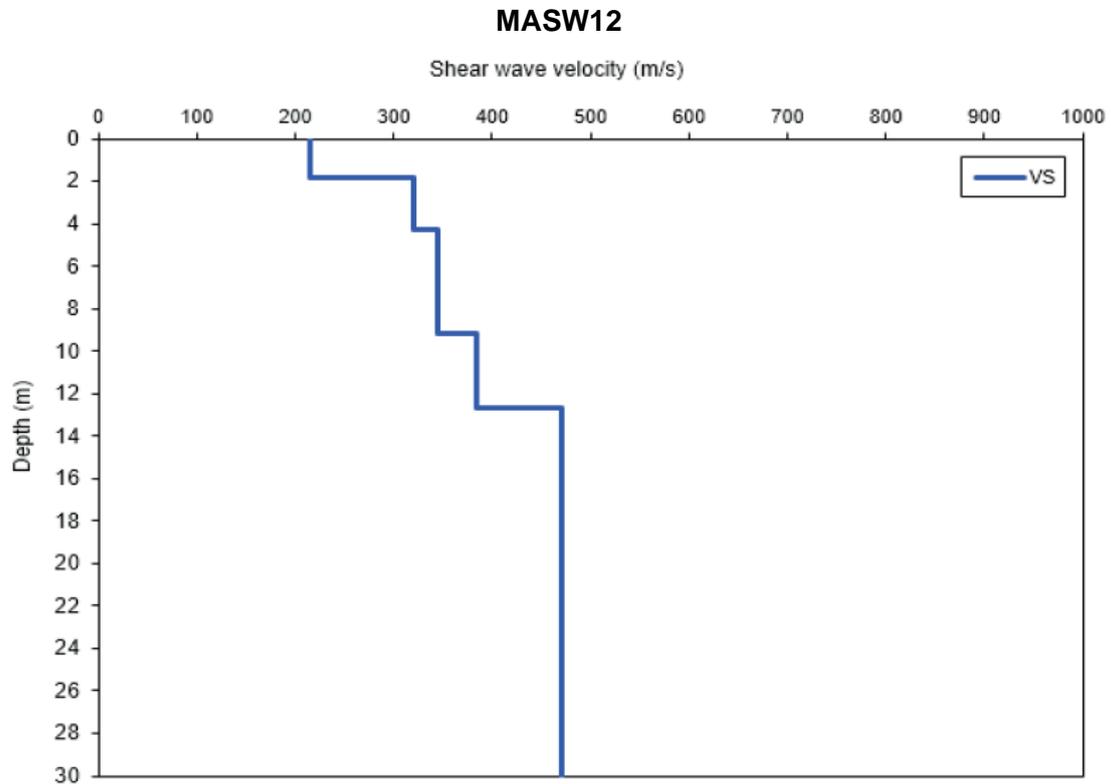


Fig. 8.13 – MASW12: profilo verticale delle Vs

N. STRATO	VELOCITA' Vs (m/sec)	VELOCITA' Vp (m/sec)	Mod. deform. Taglio - G0 (Mpa)	Mod. Edometrico - Ed (Mpa)	Mod. di Young - Ey (Mpa)	PROFONDITA' H (metri)
1	216	404	84,16	294,58	218,83	1,8
2	320	598	184,32	645,12	479,23	4,3
3	345	645	214,25	749,86	557,04	9,2
4	385	720	266,81	933,82	693,69	12,7
5	471	881	399,51	1398,29	1038,73	Da 12,7 in poi

Tab.87.12 – MASW12: tabella sismostratigrafica di sintesi

Il modello sismostratigrafico ricavato ha messo in risalto la presenza di n. 4 sismostrati sovrastanti il semispazio (Fig. 8.13).

Il bedrock sismico ($V_s > 800$ m/s) non è stato intercettato per tutta la lunghezza del tratto indagato.

Dal profilo di velocità delle onde di taglio, considerata la profondità del bedrock sismico locale maggiore di 30 m, si ottiene per $V_{s,30}$ il valore di **393 m/s**.

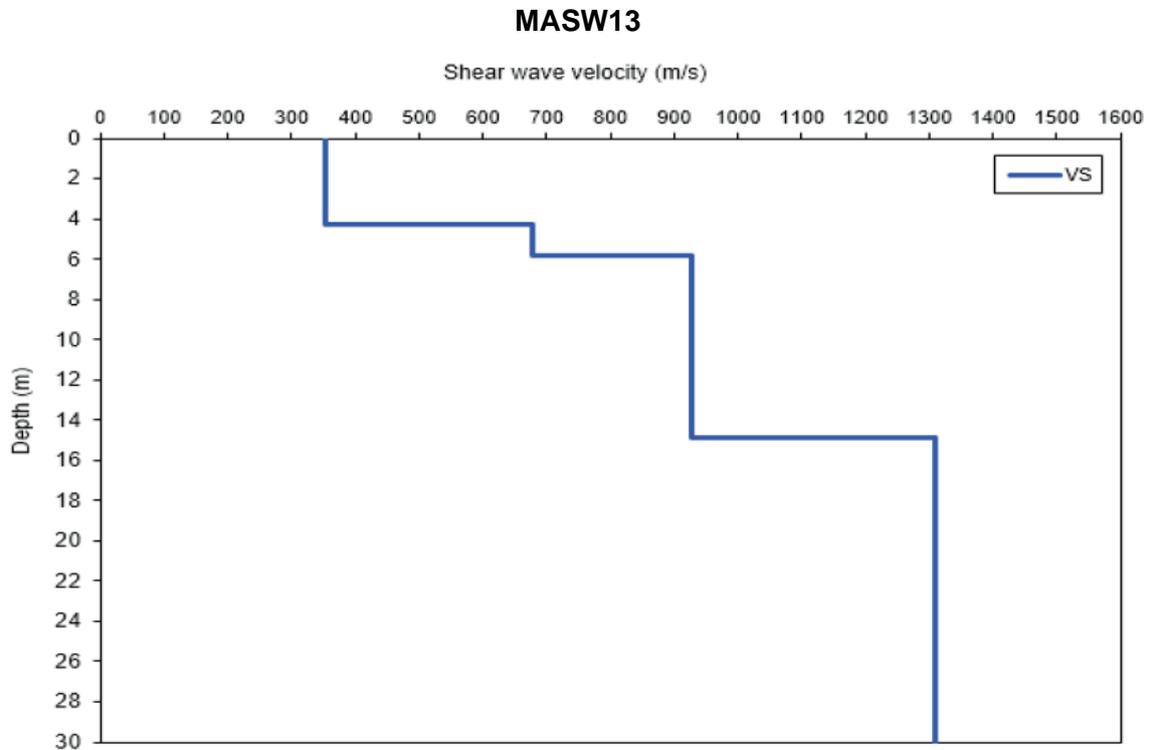


Fig. 8.14 – MASW13: profilo verticale delle V_s

N. STRATO	VELOCITA' V_s (m/sec)	VELOCITA' V_p (m/sec)	Mod. deform. Taglio - G_0 (Mpa)	Mod. Edometrico - E_d (Mpa)	Mod. di Young - E_y (Mpa)	PROFONDITA' H (metri)
1	354	663	226,21	791,72	588,14	4,3
2	677	1266	825,38	2888,83	2145,99	5,8
3	928	1736	1550,81	5427,85	4032,11	14,9
4	1310	2452	3092,55	10823,92	8040,62	Da 14,9 in poi

Tab. 8.13 – MASW13: tabella sismostratigrafica di sintesi

Il modello sismostratigrafico ricavato ha messo in risalto la presenza di n. 3 sismostrati sovrastanti il semispazio (Fig. 8.14).

Il bedrock sismico ($V_s > 800$ m/s) è stato intercettato alla profondità di 5,80 m da p.c. ($V_s = 928$ m/s).

Dal profilo di velocità delle onde di taglio, considerata la profondità del bedrock sismico locale di 5,80 m, si ottiene per $V_{s,5.80}$ il valore di **405 m/s**.

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione Sismica	File: P00_GE00_GEO_RE04_B.doc Data: Dicembre 2024 Pag. 61 di 67
---	--

8.3 Categoria di sottosuolo e condizioni topografiche

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si è fatto riferimento all'approccio semplificato precedentemente riportato, che si basa sull'individuazione di apposite categorie di sottosuolo e categorie topografiche, alle quali vengono associati dei parametri che modificano lo spettro di risposta in accelerazione del moto sismico di riferimento, relativo all'affioramento della formazione rigida (categoria di sottosuolo A) su superficie orizzontale (categoria topografica T1), in modo da tener conto degli effetti stratigrafici e topografici.

Sulla base dei risultati delle indagini geofisiche di tipo MASW, precedentemente illustrati, in base ai valori di velocità equivalente $V_{S,E}$ di propagazione delle onde di taglio, è possibile definire la categoria di sottosuolo ai sensi delle NTC2018 così come segue:

<i>Indagine sismica</i>	<i>Profondità bedrock sismico (m)</i>	<i>$V_{S,E}$ (m/s)</i>	<i>Categoria di sottosuolo</i>
MASW1 (2016)	3,60	260	E
MASW2 (2016)	1,50	> 800	A
MASW3 (2016)	2,50	> 800	A
MASW4 (2016)	5,50	485	B
MASW5 (2020)	1,00	> 800	A
MASW6 (2020)	4,00	764	B
MASW7 (2020)	14,70	692	B
MASW8 (2020)	> 30	481	B
MASW9 (2020)	4,50	483	B
MASW10 (2020)	15,30	533	B
MASW11 (2020)	> 30	402	B
MASW12 (2020)	> 30	393	B
MASW13 (2020)	5,80	405	B

Tab. 8.14 – Categoria di sottosuolo in base alle NTC 2018

Dalla precedente tabella si evince quindi che come categoria di sottosuolo di riferimento per le valutazioni strutturali e geotecniche, in riferimento agli interventi del progetto esecutivo e quindi alle prove ricadenti in questa porzione di tracciato (MASW4 e MASW12), è da impiegarsi una **categoria di sottosuolo di tipo B**, cioè:

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione Sismica	File: P00_GE00_GEO_RE04_B.doc Data: Dicembre 2024 Pag. 62 di 67
---	--

“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”.

Nella seguente tabella riepilogativa per ciascun intervento previsto nel Lotto 1 Stralcio 1 è riportata la categoria di sottosuolo in base alle NTC 2018.

Tipologia Opera (v. tav. Opere di sostegno)	Progr. Opera (Sezioni)	Categoria di sottosuolo (NTC 2018)
B1.1	54-55	B
B1.2	39-43	B
B2.1	14-15	B
	26-27	B
	31-32	B
	33-34	B
	36-38	B
	55-60	B
	62-67	B
B2.2	43-46	B
B2.3	75-76	B

Inoltre, per quanto concerne le condizioni topografiche, in base alla classificazione riportata nella Tab. 3.2.III allegata al punto 3.2.2 delle NTC2018 ed in base alle caratteristiche topografiche del sito, l'intera area di progettazione esecutiva, nonché la restante parte di tracciato esclusa dalla presente progettazione, rientrano nella categoria **T2 - Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$** .

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione Sismica	File: P00_GE00_GEO_RE04_B.doc Data: Dicembre 2024 Pag. 63 di 67
---	--

9. SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE

Il sito presso il quale sono ubicate le opere in progetto deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente limo-sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

Oltre la soglia volumetrica γ_v ed avvicinandosi alle condizioni di rottura, il carattere ciclico delle azioni sismiche, variabili in ampiezza e frequenza, può produrre una variazione, rispetto alle condizioni statiche, della resistenza al taglio del terreno.

Quest'ultima, con riferimento al criterio di Mohr-Coulomb, può essere espressa in termini di tensioni efficaci, nella forma:

$$\tau_f = c' + (\sigma - u) \cdot \tan \phi' = c' + (\sigma'_0 - \Delta u) \cdot \tan \phi'$$

dove σ'_0 rappresenta la tensione statica normale al piano di sollecitazione, agente in condizioni precedenti al moto sismico.

Per liquefazione di un terreno s'intende una vera e propria transizione di fase, caratterizzata dal pressoché totale annullamento della sua resistenza al taglio e dalla perdita del mutuo contatto fra i granelli solidi (azzeramento dello stato tensionale efficace), con il terreno che si comporta come un fluido pesante.

Tali fenomeni causano immancabilmente il collasso delle sovrastanti strutture, anche se dimensionate con criteri antisismici.

9.1 Condizioni di esclusione della verifica

La normativa (D.M.17/01/2018), prevede che la verifica a liquefazione possa essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;

2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 8.1 (a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Figura 8.1 (b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

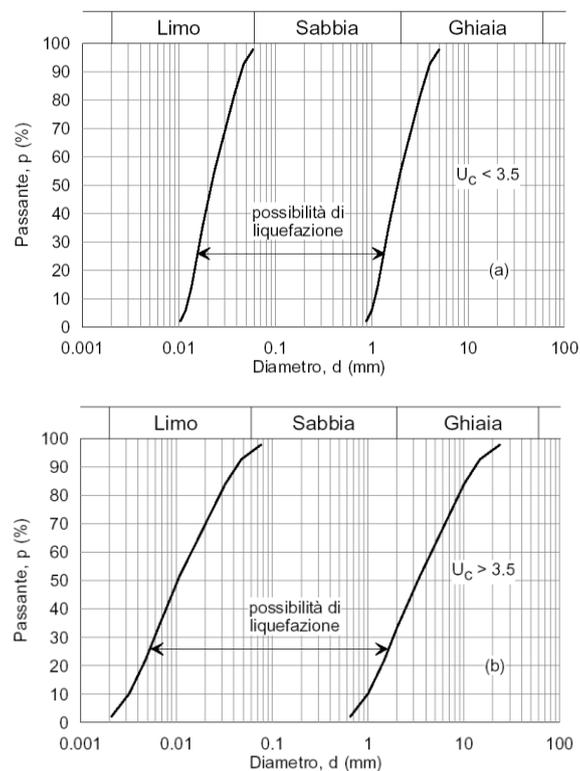


Fig. 9.1 - Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione Sismica	File: P00_GE00_GEO_RE04_B.doc Data: Dicembre 2024 Pag. 65 di 67
---	--

Secondo tale normativa, quando la condizione 1 non risulti soddisfatta, le indagini geotecniche devono essere finalizzate almeno alla determinazione dei parametri necessari per la verifica delle condizioni 2, 3 e 4.

Nel caso in esame, può omettersi il controllo della stabilità dei terreni nei confronti della liquefazione, in quanto per il sito di progetto risulta verificata la condizione n. 4: le stratigrafie dei sondaggi geognostici eseguiti nei terreni oggetto di progettazione esecutiva (S4 e S5), infatti, mostrano chiaramente la presenza, sopra il bedrock, di materiali a granulometria prevalentemente grossolana e, in minor parte, medio-fine, tale da poter asserire che le curve granulometriche ricadono esternamente ai fusi granulometrici *lower* e *upper bound* di normativa, come di seguito riassunto:

- *Sondaggio S4*
 - 0,00 - 3,80m = materiale prevalentemente grossolano (Corpo stradale)
 - 3,80 – 4,10m = materiale prevalentemente fine (Alterazione bedrock)
 - 4,10 - 4,50m = materiale prevalentemente grossolano (Alterazione bedrock)
 - 4,50 – 8,00m = bedrock

- *Sondaggio S5*
 - 0,00 - 7,50m = materiale prevalentemente grossolano (Corpo stradale)
 - 7,50 – 11,60m = materiale prevalentemente medio-fine (Alterazione bedrock)
 - 11,60 – 12,20m = = materiale grossolano (Alterazione bedrock)
 - 12,20 – 15,80m = bedrock

Tuttavia, si è proceduto ugualmente con l'analisi semplificata per la valutazione della stabilità nei confronti della liquefazione, ai sensi delle NTC2018, utilizzando i risultati delle n. 2 prove sismiche MASW eseguite nella porzione di tracciato oggetto di progettazione esecutiva (MASW4 e MASW12).

Tale verifica è stata effettuata tramite l'utilizzo del *Software Liquefazione vers. 1.3* (versione per Excel) di EPC s.r.l.. Il presente foglio di calcolo in Excel, diviso in più schede, permette di determinare il coefficiente di sicurezza da prove in sito SPT, CPT e sismiche (V_s) con i metodi di vari autori, calcolando, infine, il rischio di liquefazione.

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione Sismica	File: P00_GEO0_GEO_RE04_B.doc Data: Dicembre 2024 Pag. 66 di 67
---	--

Il metodo di elaborazione delle prove sismiche è quello di Andrus e Stokoe (1997), mentre la valutazione del rischio di liquefazione è basata sul metodo di Iwasaki et. Al. (1978).

Il metodo di calcolo di Andrus e Stokoe (1997) permette di determinare la resistenza al taglio mobilitata (CRR) partendo dalla determinazione della velocità delle onde sismiche di taglio (V_s), ottenuta attraverso prove sismiche, e di calcolare il fattore di sicurezza F_s .

Il fattore di sicurezza F_s è il rapporto tra le resistenze disponibili nel terreno e le sollecitazioni a cui esso può essere soggetto, ed è espresso dalla seguente relazione:

$$F_s = CCR / CSR$$

dove CRR (Cyclic Resistance Ratio) indica la resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclico e CSR (Cyclic Stress Ratio) la sollecitazione di taglio massima indotta dal sisma.

Ai fini di una maggiore comprensibilità del fenomeno dovuto alla liquefazione è possibile applicare ai metodi che prevedono il calcolo del fattore di sicurezza F_s (ottenuto, in questo caso, con il metodo di Andrus e Stokoe, 1997), un indice rappresentativo del rischio di liquefazione e definito da Iwasaki et. Al. (1978) come Indice del Potenziale di Liquefazione (IP_L). Tale indice è stato introdotto allo scopo di fornire una misura integrale degli effetti della liquefazione per una singola verticale. In base al valore di IP_L è possibile fornire un'indicazione della pericolosità di liquefazione attraverso la seguente tabella che compara i valori di IP_L con il grado di pericolosità di liquefazione.

Classi di Pericolosità	Valore di IP_L	Pericolosità di Liquefazione
1	$IP_L = 0$	Molto Bassa
2	$0 < IPL \leq 5$	Bassa
3	$5 < IPL \leq 15$	Alta
4	$IP_L > 15$	Molto Alta

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione Sismica	File: P00_GE00_GEO_RE04_B.doc Data: Dicembre 2024 Pag. 67 di 67
---	--

Nella verifica si è adottato come terremoto di scenario (condizioni di evento dominante, che contribuisce maggiormente alla pericolosità sismica del sito) quello caratterizzato da magnitudo $M=5.16$ e distanza epicentrale pari a $R=6.78$ km, valori medi ricavati dall'analisi di deaggregazione di cui al §5.2, e massima accelerazione temibile al suolo $a_{max}=0.307g$ (vedi Tabella 9.1 seguente), relativa al periodo di ritorno T_R associato allo stato limite di salvaguardia della vita SLV ($V_N=50$ anni e coefficiente d'uso $C_u=1$).

Classe	Stato limite	V_N	C_U	V_R	P_{VR}	T_R	a_g	S_s	S_T	S	a_{max}
-	-	anni	-	anni	-	anni	g	-	-	-	g
II	SLV	50	1	112.5	10%	475	0.213	1.200	1.200	1.440	0.307

Tab. 9.1 – Parametri sismici

Inoltre, il livello di falda, che sulla base dei rilievi piezometrici effettuati in corrispondenza del piezometro installato nel foro di sondaggio S5 è stato intercettato alla profondità di 7.20 m da p.c. in data 22/05/2020 e alla profondità di 7.00 m da p.c. in data 29/05/2020, ai fini della verifica a liquefazione è stato ipotizzato, in via cautelativa, a quota piano campagna.

❖ **Risultato della verifica a liquefazione**

L'analisi eseguita ha evidenziato che i terreni sono caratterizzati da un "rischio di liquefazione molto basso" (Iwasaki et Al., 1978), con un indice del potenziale di liquefazione "IP_L" nullo.

Di conseguenza, in base alle valutazioni sopra espresse, **la probabilità di occorrenza del fenomeno di liquefazione è trascurabile e l'ambiente fisico entro cui ricadono le opere in progetto non risulta vulnerabile alla liquefazione.**

Si riporta in allegato in calce alla presente relazione il dettaglio della verifica alla liquefazione eseguita.

**ALLEGATO:
VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE**

PROVA SISMICA MASW 4 (2016)

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

DATI INSERITI

$H_{falda} = 0$

$a_{max}/g = 0,307$

$R = 6,78$

$M = 5,16$



TEORIE DI CALCOLO

[ANDRUS E STOKOE \(1997\)](#)

STRATIGRAFIA TERRENO

$S_{TOT.} = 23,00$

PRIMO STRATO		$H_1 = 3,2$	
Parametri da inserire		Parametri calcolati	
H_1	= 3,2	γ_{H_2O}	= 1,00
γ	= 1,8	σ_{vo}	= 0,58
V_S	= 410	$\sigma_{vo'}$	= 0,26
V_{S1C}	= 210	P.neutra	= 0,32
S_1	= 3,2	r_d	= 0,98
FC	= 10		
V_{S1}	= 576,40		

SECONDO STRATO		$H_2 = 5,5$	
Parametri da inserire		Parametri calcolati	
H_2	= 5,5	γ_{H_2O}	= 1,00
γ	= 1,8	σ_{vo}	= 0,99
V_S	= 650	$\sigma_{vo'}$	= 0,44
V_{S1C}	= 210	P.neutra	= 0,55
S_2	= 2,3	r_d	= 0,96
FC	= 10		
V_{S1}	= 798,09		

TERZO STRATO		$H_3 = 9,8$	
Parametri da inserire		Parametri calcolati	
H_3	= 9,8	γ_{H_2O}	= 1,00
γ	= 2,6	σ_{vo}	= 2,55
V_S	= 1060	$\sigma_{vo'}$	= 1,57
V_{S1C}	= 220	P.neutra	= 0,98
S_3	= 4,3	r_d	= 0,91
FC	= 0		
V_{S1}	= 947,26		

QUARTO STRATO		$H_4 = 23$	
Parametri da inserire		Parametri calcolati	
H_4	= 23	γ_{H_2O}	= 1,00
γ	= 2,6	σ_{vo}	= 5,98
V_S	= 1260	$\sigma_{vo'}$	= 3,68
V_{S1C}	= 220	P.neutra	= 2,30
S_4	= 13,2	r_d	= 0,56
FC	= 0		
V_{S1}	= 909,72		

Committente: ANAS S.P.A.
 Riferimento: STRADA STATALE N. 3 BIS/E45 - TIBERINA
 Località: VALSAVIGNONE Prov.: AR
 Oggetto: MASW4 (2016)

MENU PRINCIPALE

ANALISI METODO

Committente: **ANAS S.P.A.**
Riferimento: **STRADA STATALE N. 3 BIS/E45 - TIBERINA**
Località: **VALSAVIGNONE** Prov.: **AR**
Oggetto: **MASW4 (2016)**



EPC LIBRI

ANALISI

Metodi che utilizzano	Fattore di sicurezza		Magnitudo di riferimento (M)	Indice del Potenziale di Liquefazione (PL)	Rischio liquefazione Iwasaki et al. (1978)
	Fs (Autore)	OPCM 3274			
Prove Sismiche (Vs) Andrus e Stokoe (1997)	> 1,0	>1,25	5,16	0,000	Molto Basso

STRATIGRAFIA 4

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

(DA PROVE SISMICHE)

METODO DI ANDRUS E STOKOE (1997)



EPC LIBRI

FORMULE:

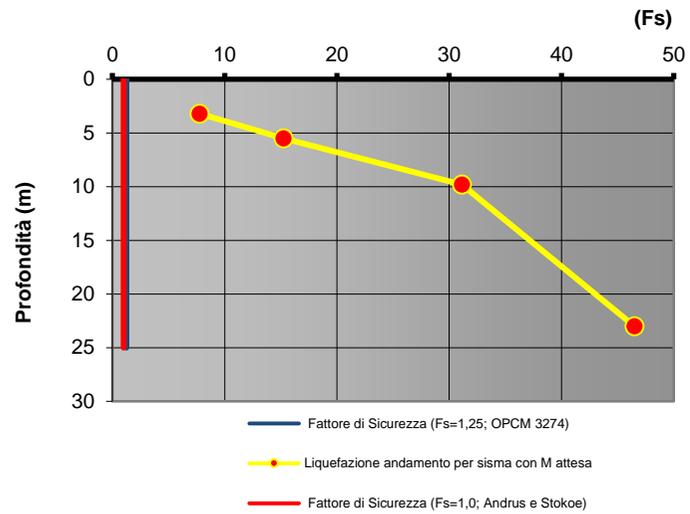
RISULTATI:

		RISULTATI:					
		1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO	4° STRATO		
$V_{s1} = V_s \cdot \left(\frac{1}{\sigma'_{vo}} \right)^{0,25}$	Spessore	3,2	2,3	4,3	13,2		
	V_{s1}	576,400	798,087	947,260	909,722		
$CRR = 0,03 \cdot \left(\frac{V_{s1}}{100} \right)^2 + \frac{0,9}{(V_{s1C} - V_{s1})} - \frac{0,9}{V_{s1C}}$	CRR	0,990	1,905	2,687	2,477		
$CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vo}} = 0,65 \cdot \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \cdot r_d \cdot \frac{1}{MSF}$	M = 5,16	CSR	0,128	0,125	0,086	0,053	
r_d		0,98	0,96	0,91	0,56		
1	< $F_s = CRR/CSR$	M = 5,16	F_s	7,764	15,216	31,129	46,492
				Verificato	Verificato	Verificato	Verificato
1,25	< $F_s = CRR/CSR$	M = 5,16	$F_s (O.P.C.M.)$	7,764	15,216	31,129	46,492
				Verificato	Verificato	Verificato	Verificato
RISCHIO di Liquefazione (Iwasaki et al., 1978)		Molto Basso					
PROBABILITA' di Liquefazione (Juang et al., 2001) [P_L (%)]		0,00	0,00	0,00	0,00		
SUSCETTIBILITA' di Liquefazione (Juang et al., 2001)		Liquef. incerta	Liquef. incerta	Liquef. incerta	Liquef. incerta		

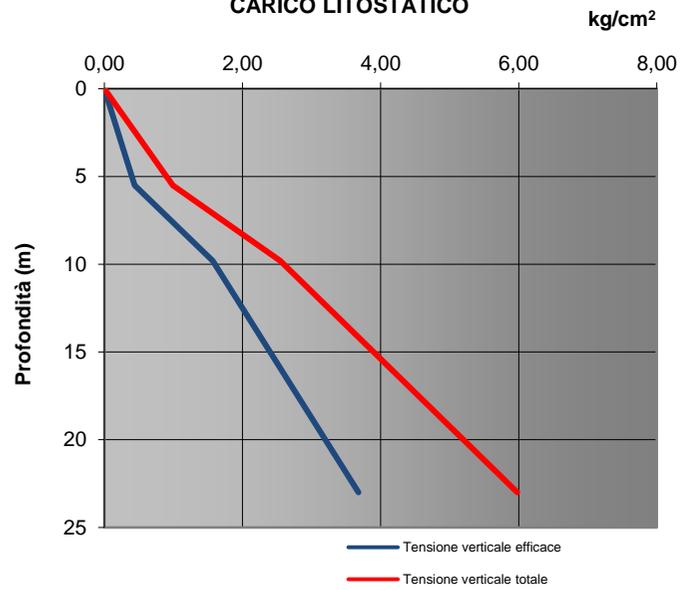
Committente: ANAS S.P.A.
 Riferimento: STRADA STATALE N. 3 BIS/E45 - TIBERINA
 Località: VALSAVIGNONE Prov.: AR
 Oggetto: MASW4 (2016)

STRATIGRAFIA 4

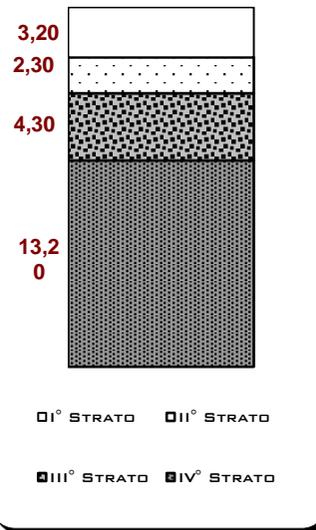
TEORIA DI ANDRUS E STOKOE (1997)



CARICO LITOSTATICO



COLONNA STRATIGRAFICA



PROVA SISMICA MASW 12 (2020)

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

DATI INSERITI

$H_{falda} = 0$

$a_{max}/g = 0,307$

$R = 6,78$

$M = 5,16$



TEORIE DI CALCOLO

[ANDRUS E STOKOE \(1997\)](#)

STRATIGRAFIA TERRENO

$S_{TOT.} = 23,00$

PRIMO STRATO		$H_1 = 1,8$
Parametri da inserire		Parametri calcolati
$H_1 = 1,8$		$\gamma_{H2O} = 1,00$
$\gamma = 1,8$		$\sigma_{vo} = 0,32$
$V_S = 216$		$\sigma_{vo'} = 0,14$
$V_{S1C} = 210$		P.neutra = 0,18
$S_1 = 1,8$		$r_d = 0,99$
FC = 10		
$V_{S1} = 350,64$		

SECONDO STRATO		$H_2 = 9,2$
Parametri da inserire		Parametri calcolati
$H_2 = 9,2$		$\gamma_{H2O} = 1,00$
$\gamma = 1,8$		$\sigma_{vo} = 1,66$
$V_S = 336$		$\sigma_{vo'} = 0,74$
$V_{S1C} = 210$		P.neutra = 0,92
$S_2 = 7,4$		$r_d = 0,93$
FC = 15		
$V_{S1} = 362,76$		

TERZO STRATO		$H_3 = 12,7$
Parametri da inserire		Parametri calcolati
$H_3 = 12,7$		$\gamma_{H2O} = 1,00$
$\gamma = 1,8$		$\sigma_{vo} = 2,29$
$V_S = 385$		$\sigma_{vo'} = 1,02$
$V_{S1C} = 210$		P.neutra = 1,27
$S_3 = 3,5$		$r_d = 0,84$
FC = 15		
$V_{S1} = 383,48$		

QUARTO STRATO		$H_4 = 23$
Parametri da inserire		Parametri calcolati
$H_4 = 23$		$\gamma_{H2O} = 1,00$
$\gamma = 2,6$		$\sigma_{vo} = 5,98$
$V_S = 471$		$\sigma_{vo'} = 3,68$
$V_{S1C} = 220$		P.neutra = 2,30
$S_4 = 10,3$		$r_d = 0,56$
FC = 0		
$V_{S1} = 340,06$		

Committente: ANAS S.P.A.

Riferimento: STRADA STATALE N. 3 BIS/E45 - TIBERINA

Località: VALSAVIGNONE Prov.: AR

Oggetto: MASW12 (2020)

MENU PRINCIPALE

ANALISI
METODO

Committente: **ANAS S.P.A.**
Riferimento: **STRADA STATALE N. 3 BIS/E45 - TIBERINA**
Località: **VALSAVIGNONE** Prov.: **AR**
Oggetto: **MASW12 (2020)**



EPC LIBRI

ANALISI

Metodi che utilizzano	Fattore di sicurezza		Magnitudo di riferimento (M)	Indice del Potenziale di Liquefazione (PL)	Rischio liquefazione Iwasaki et al. (1978)
	Fs (Autore)	OPCM 3274			
Prove Sismiche (Vs) Andrus e Stokoe (1997)	> 1,0	>1,25	5,16	0,000	Molto Basso

STRATIGRAFIA 4

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

(DA PROVE SISMICHE)

METODO DI ANDRUS E STOKOE (1997)



EPC LIBRI

FORMULE:

$$V_{s1} = V_s \cdot \left(\frac{1}{\sigma'_{vo}} \right)^{0,25}$$

$$CRR = 0,03 \cdot \left(\frac{V_{s1}}{100} \right)^2 + \frac{0,9}{(V_{S1C} - V_{s1})} - \frac{0,9}{V_{S1C}}$$

$$CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vo}} = 0,65 \cdot \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \cdot r_d \cdot \frac{1}{MSF}$$

RISULTATI:

	1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO	4° STRATO
Spessore	1,8	7,4	3,5	10,3

V_{s1}	350,641	362,760	383,475	340,063
----------	---------	---------	---------	---------

CRR	0,358	0,385	0,432	0,335
-----	-------	-------	-------	-------

M = 5,16	CSR	0,129	0,122	0,109	0,053
----------	-----	-------	-------	-------	-------

r_d	0,99	0,93	0,84	0,56
-------	------	------	------	------

1	< $F_s = CRR/CSR$	M = 5,16	F_s	2,779	3,163	3,944	6,293
				Verificato	Verificato	Verificato	Verificato

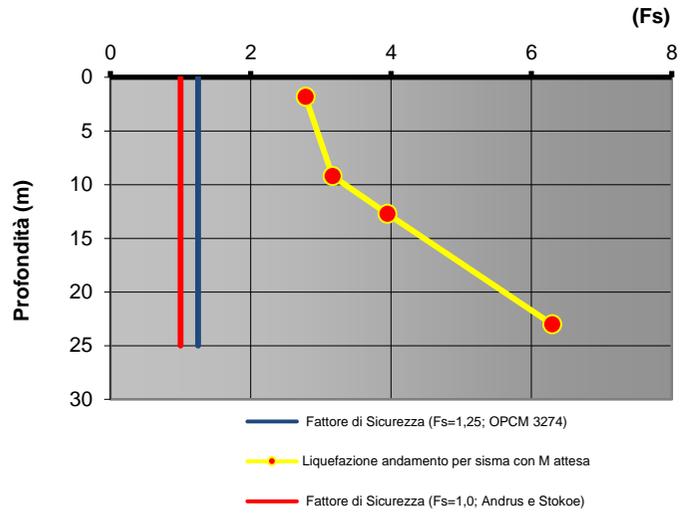
1,25	< $F_s = CRR/CSR$	M = 5,16	$F_s (O.P.C.M.)$	2,779	3,163	3,944	6,293
				Verificato	Verificato	Verificato	Verificato

RISCHIO di Liquefazione (Iwasaki et al., 1978)	Molto Basso			
PROBABILITA' di Liquefazione (Juang et al., 2001) [P_L (%)]	0,01	0,01	0,00	0,00
SUSCETTIBILITA' di Liquefazione (Juang et al., 2001)	Liquef. incerta	Liquef. incerta	Liquef. incerta	Liquef. incerta

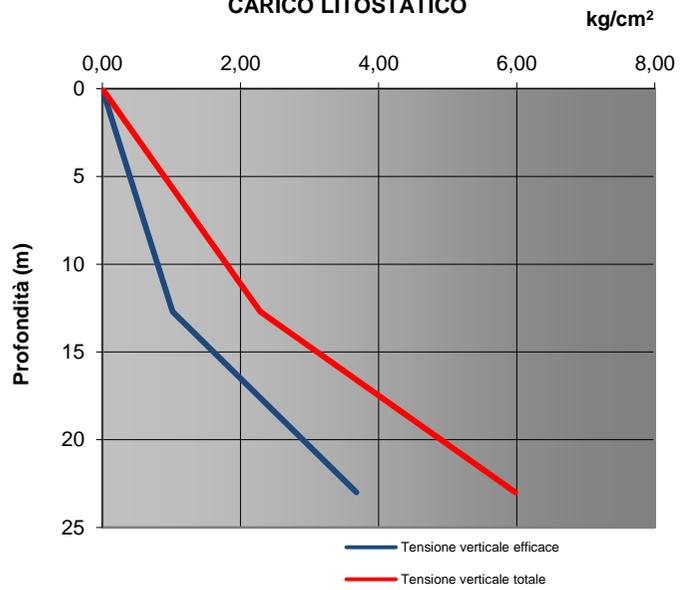
Committente: ANAS S.P.A.
 Riferimento: STRADA STATALE N. 3 BIS/E45 - TIBERINA
 Località: VALSAVIGNONE Prov.: AR
 Oggetto: MASW12 (2020)

STRATIGRAFIA 4

TEORIA DI ANDRUS E STOKOE (1997)



CARICO LITOSTATICO



COLONNA STRATIGRAFICA

