

COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA

Città Metropolitana di Bologna

III[^] Area - Gestione del Territorio

SETTORE LAVORI PUBBLICI

INTERVENTO DI RICUCITURA TRATTI PISTE CICLO-PEDONALI LUNGO IL PERCORSO VIA FONDE' - VIA REMIGIA

COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA

CUP: E67H23001070006

INTERVENTO COFINANZIATO: PR FESR 2021-2027 – Azione 2.8.1. Bando per favorire la realizzazione di piste ciclabili e progetti di mobilità dolce e ciclopedonale (D.G.R. 658/2023)

PROGETTO ESECUTIVO

IL DIRIGENTE III[^] AREA
GESTIONE DEL TERRITORIO
Ing. Giuseppe COLAROSSO

PROGETTO GENERALE
INFRASTRUTTURE:
geom. Luca LA GANGA
geom. Aurelio ESPOSITO

PROGETTO STRUTTURE
Ing. Andrea SERENI
PROGETTO IMPIANTI IIPP
Ing. Giovanni STAGNI

IL RESPONSABILE DEL
SETTORE
Ing. Irene CAVINA

SUPPORTO PROGETTO VERDE:
Marco GRILLINI

PROGETTO IDRAULICO
Ing. Michele ANSALONI

IL RESPONSABILE UNICO
DEL PROGETTO
Ing. Irene CAVINA

SUPPORTO PROGETTO:
Ing. Luca MAGI
Ing. Enrico TORTORI
geom. Fabio SASSI

COORDINATORE SICUREZZA
PROGETTAZIONE:
Ing. Claudia PRESTIA

OGGETTO:

RELAZIONE GEOLOGICA

REV.	DATA	OGGETTO REVISIONE	TAVOLA:
00	3/24	EMISSIONE	ES.1
			SCALA:

Comune di San Lazzaro Di Savena

Piazza Bracci n° 1, 40068 San Lazzaro di Savena

Tel. 051 / 6228111 Fax 051 / 6228014

COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA

CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA

COMMESSA 24.001


COMMITTENTE

COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA

**PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA
CICLOPEDONALE IN VIA FONDÈ**

MODELLO GEOLOGICO, SISMICO E GEOTECNICO




	dott. geol. PAOLO TRENTI dott. geol. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
	PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE'	
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE'	
Provincia	BOLOGNA	
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	

SOMMARIO

1.	REDAZIONE ED EMISSIONE DEL DOCUMENTO	4
2.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	5
3.	BIBLIOGRAFIA	6
4.	PREMESSE	8
5.	MODELLO GEOLOGICO	9
5.1.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	9
5.2.	INQUADRAMENTO IDROLOGICO	13
5.3.	MODELLO GEOLOGICO DEL SITO	15
6.	MODELLO SISMICO	16
6.1.	INQUADRAMENTO DELL'AREA	16
6.2.	PROCEDURE SPERIMENTALI PER LA DETERMINAZIONE DELLA CATEGORIA DI SUOLO	22
6.2.1.	Sismica passiva (HVSr)	22
6.2.1.1.	Indagine in sismica passiva (HVSr)	24
6.2.2.	Modello sismico del sottosuolo	25
6.3.	PARAMETRI SISMICI DI SITO	26
6.3.1.	Pericolosità sismica di base	26
6.4.	PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO	28
7.	MODELLO GEOTECNICO	31
7.1.	PROVA PENETROMETRICA DINAMICA	31
7.1.1.	Resistenza alla penetrazione dinamica	31
7.1.2.	Resistenza al taglio	32
7.1.3.	Densità relativa	32
7.1.4.	Parametri di deformabilità	33
7.2.	RILIEVO DEL LIVELLO STATICO DELLA FALDA	33
7.3.	ANALISI DEI RISULTATI	33
7.3.1.	Prove penetrometriche	33
7.4.	PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO	35
7.5.	DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI	36
7.5.1.	Approccio teorico	36
7.5.2.	Calcolo dei parametri caratteristici	39
7.6.	VERIFICA DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	39
8.	VERIFICA DELLA STABILITÀ	40
8.1.	INTRODUZIONE ALL'ANALISI DI STABILITÀ	40
8.1.1.	Metodo equilibrio limite (LEM)	40
8.1.2.	Metodo dei conci	40
8.1.3.	Metodo di Newmark (1965) (superficie singola)	42
8.2.	VERIFICHE DELLA STABILITÀ	43
8.2.1.	Sezioni topografiche verificate	43
8.2.2.	Sez. 2	44
8.2.3.	Sez. 4	50
8.2.4.	Sez. 6	56
9.	CONCLUSIONI	62

redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	3 di 63

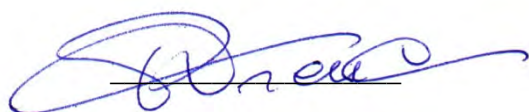
	dott. geol. PAOLO TRENTI dott. geol. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE		
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE	
Provincia	BOLOGNA	
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	


1. REDAZIONE ED EMISSIONE DEL DOCUMENTO


Progetto STUDIO CP	24.001.240305.R0
Archivio STUDIO CP	24.001
Responsabile del progetto	Dott. Geol. Paolo Trenti
Coordinamento analisi dati	Dott. Geol. Maria Cristina Verrecchia
Modellazione sismica e geotecnica	Dott. Geol. Paolo Trenti
Revisione	1
Redazione del documento	Dott. Geol. Paolo Trenti
Emissione	5 marzo 2024
Data inizio incarico	30 dicembre 2023
Data ultimazione incarico	5 marzo 2024
Approvazione	Dott. Geol. Maria Cristina Verrecchia
Rilascio del documento	6 marzo 2024
Composizione del documento	n° 63 pagine e n° 14 allegati.
Lista di distribuzione	Il presente documento, in una copia in PDF con firme certificate (P7M), è stato consegnato alla committenza per gli usi consentiti dalla Legge.

Redazione del documento

Approvazione del documento




redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	4 di 63


	dott. geol. PAOLO TRENTI dott. geol. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE		
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE	
Provincia	BOLOGNA	
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La stesura della seguente relazione è stata eseguita in ottemperanza alle disposizioni contenute nelle normative di riferimento elencate di seguito:

- “Norme tecniche per le costruzioni”. Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 17 gennaio 2018, pubblicato su GU n. 42 del 20 febbraio 2018 - S. O. n.8;
- Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018 - Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP.;
- Circolare 5 agosto 2009 del Ministro dei LL.PP.
- Aggiornamento dell'Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (ARTT. 22 E 49, L.R. N. 24/2017) di cui alla Deliberazione della Giunta Regionale 29 aprile 2019, N. 630 – DGR 476/2021.
- Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017) – DGR 630/2019.
- Approvazione aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico denominato "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica", di cui alla Deliberazione dell'Assemblea Legislativa 2 maggio 2007, N. 112 – DGR 2193/2015.
- Atto d'indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1, della L.R. 20/2000 "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio", in merito a "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica". DAL 112/2007 - Emilia-Romagna.
- Approvazione Programma per gli studi di microzonazione sismica - Ordinanza n. 70 del 13 novembre 2012 – Regione Emilia-Romagna.
- Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica. OPCM 3274 del 20 marzo 2003.
- AGI: raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche, Giugno 1977.
- AGI: raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio, Maggio 1990.
- AGI: aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica – Linee guida, Marzo 2005 (edizione provvisoria).
- EN 1990 Eurocode 0, Basis of Design.
- EN 1997 Eurocode 7, Geotechnical Design.
- EN 1998 Eurocode 8, Design of Structures for Earthquake Resistance.
- ISO 31-11: Quantities and Units, Mathematical Signs and Symbols for Use in the Physical Sciences and Technology, 1992.
- UNI ISO 2955: Rappresentazione delle unità SI e di altre unità usate nei sistemi con insiemi limitati di caratteri, 1987.


redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	5 di 63

	dott. geol. PAOLO TRENTI dott. geol. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	Oggetto
		modello geologico, sismico, geotecnico
PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE		
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE	
Provincia	BOLOGNA	
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	

3. BIBLIOGRAFIA


- AA.VV.: Atti del XX Convegno Nazionale di Geotecnica. Patron ed., Bologna, 1999.
- AA.VV.: Atti del XXI Convegno Nazionale di Geotecnica. Patron ed., Bologna, 2002.
- AA.VV.: Atti del XXII Convegno Nazionale di Geotecnica. Patron ed., Bologna, 2004.
- AA.VV.: Atti del XXIII Convegno Nazionale di Geotecnica. Patron ed., Bologna, 2007.
- AA.VV.: Atti del V Convegno dei Ricercatori di Ingegneria Geotecnica. Helvelius ed., Bari, 2006.
- AA.VV.: Manuale di Ingegneria Civile - Sezione Terza. E.S.A.C. - Cremonese – Roma 1983.
- AA.VV.: Note illustrative della Carta Geomorfologica della Pianura Padana, S.E.L.C.A., Firenze, 2001.
- AA.VV.: Atti IARG 2004-2005-2006-2007-2008-2009-2010-2011-2012-2013-2014-2015-2016-2017-2018-2019-2020.
- AA.VV.: Atti IAGIG 2011-2012-2013-2014-2015-2016-2017-2018-2019-2020.
- AGI: Corso di Formazione Professionale – Geotecnica Sismica. Bologna, Maggio 2013.
- ALBARELLO D. *et al.*: La caratterizzazione sismica del sottosuolo con tecniche passive. Corso di aggiornamento professionale sulla microzonazione sismica. Pavia 2006.
- AMOROSI A. *et al.*: Cyclic patterns of facies and pollen associations from Late Quaternary deposits in the subsurface of Bologna. *GeoActa* vol 1, 2001 – 2002, pp. 83,94. Bologna
- ARAI H. *et al.*: 2004. S-Wave Velocity Profiling by Inversion of Microtremor H/V Spectrum, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 94, p. 53-63; DOI: 10.1785/0120030028.
- ARMILLOTTA P.: Recupero parziale mediante elettrosmosi dei cedimenti differenziali di costruzioni adibite a civili abitazioni con stabilizzazione dei loro terreni di fondazione che presentano la componente argillosa. Parma, settembre 2002.
- BERGONZONI A. *et al.*: Geologia del territorio di pianura del Comune di Bologna – Carta geomorfologia – Carta Litologica. Ed. S.E.L.C.A , Firenze 2000.
- BIANCHI F. *et al.*: Problematiche connesse al progetto delle fondazioni in zona sismica – Ordine degli Ingegneri della Provincia di Bologna. Bologna 2004.
- BOND A. *et al.*: Decoding Eurocode 7. Taylor & Francis, Oxon 2008.
- BOWLES J.E.: Foundation analysis and design. MacGraw Hill Libri Italia Ed., Milano, 1991.
- CANCELLI A. *et al.*: Problemi geologici e geotecnici connessi al territorio della città di Modena. Atti II Congr. Naz. ASS.I.R.C.CO, Ferrara 1984.
- CARLONI G.C. *et al.*: Neotettonica del margine padano dell 'Appennino Bolognese, in relazione agli indizi geomorfologici ed alle strutture sismogenetiche. *Mem. Soc. Geol. It.*, 19, 627-634, 1978.
- CASTELLARO S. *et al.*: Stratigrafia sismica passiva: una nuova tecnica accurata, rapida ed economica, *Geologia Tecnica e Ambientale*, vol. 3, 2005.
- CASTELLARO S. *et al.*: The effect of velocity inversions on H/V, *Pure appl. Geophysics*, Basel 2009.
- CASTELLARIN A. *et al.*: Analisi strutturale del Fronte Appenninico Padano. *Giorn. Geol.* , 47, 47-75, 1985.
- CESTARI F.: Prove geotecniche in sito; Geo-Graph Ed., Segrate, 1990.
- COMUNI DI CASTENASO, OZZANO DELL'EMILIA, SAN LAZZARO DI SAVENA (Associazione Valle dell'Idice): PSC in forma associata.
- CREMASCHI M. *et al.*: L'evoluzione della pianura emiliana durante l'età del bronzo, l'età romana e l'alto medioevo; geomorfologia ed insediamenti. Padusa, Rovigo 1980.
- CREPELLANI T. *et al.*: Dinamica dei terreni per le applicazioni simiche. Dario Flaccovio Ed., Palermo 2010.
- DONDI L. *et al.*: Evoluzione sedimentaria e paleogeografica nella Pianura Padana. In: G. Cremonini, F. Ricci Lucchi ed.. Guida alla Geologia del margine appenninico - padano, S.G.I, Guide geologiche regionali, pp. 47-58, 1982.
- ELMI C. *et al.*: Caratteri sismotettonici dell'Emilia-Romagna. Quaderni della Mercanzia, 21, 44 pp., Bologna, 1974.
- FRANK R. *et al.*: Designers' Guide to EN 1997-1 Eurocode 7: Geotechnical Design - General Rules. Thomas Telford Ltd. London 2008.
- FARDIS R. *et al.*: Designers' Guide to EN 1998-1 and EN 1998-5 Eurocode 8. Thomas Telford Ltd. London 2005.
- GALLIPOLI R. *et al.*: 2000. Comparison of geological and geophysical prospecting techniques in the study of a landslide in southern Italy, *European J. Environ. and Eng. Geophysics*, 4, 117-128.
- GEOLOGICAL SURVEY OF ITALY: Chromatic Handbook for the printing of geological maps. S.E.L.C.A. Firenze 2002.
- GULVANESSIAN H. *et al.*: Designer's guide to EN 1990, Thomas Telford, London, 2002.
- KANAI K., 1957. The requisite conditions for predominant vibration of round. *Bull. Earthquake Res. Inst. Tokyo Univ.*, 31, 457.

redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	6 di 63

	dott. geol. PAOLO TRENTI dott. geol. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
	PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE	
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE	
Provincia	BOLOGNA	
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	

- ISHIHARA, K.: Stability of natural deposits during Earthquakes. In: Proceedings of the Eleventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco (1985)
- LACHET C. et al.: 1994. Numerical and theoretical investigations on the possibilities and limitation of Nakamura's technique, *J. Phys. Earth*, 42, 377-397.
- LAMBE W.T. *et al.*: *Meccanica dei terreni*. Dario Flaccovio Ed., Palermo, 1997.
- MALATESTA A.: *Geologia e paleobiologia dell'era glaciale*. Nuova Italia Scientifica, 6, Roma, 1985.
- MATTEOTTI G. *et al.*: *Orientamenti pratici del progetto delle opere di fondazione e di sostegno*. Sindacato Ingegneri Liberi Professionisti del Veneto e della Provincia di Padova.
- MINISTERO DELL'UNIVERSITÀ E DELLA RICERCA SCIENTIFICA: *Carta geomorfologica della pianura Padana*, Ed. S.E.L.C.A., Firenze, 1997.
- MUCCIARELLI M. *et al.*: 2001. A critical review of 10 years of microtremors HVSR technique, *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 42, 255-266.
- MULARGIA F. *et al.*: Effetti di sito e V_{s30} : una risposta alla normativa antisismica. *Il Geologo dell'Emilia Romagna*, Anno VII/2007, N. 25 Nuova Serie. Bologna, 2007.
- MULARGIA F. *et al.*: Experimental uncertainty in the $V_s(z)$ profile and seismic soil classification, *Seismological research letters*, V80 N6, 2009.
- NAKAMURA Y., 1989. A method for dynamic characteristics estimates of subsurface using microtremor on the round surface, *QR of RTRI*, 30, 25-33.
- NOGOSHI M. *et al.*: On the propagation characteristics of microtremors, *J. Seism. Soc. Japan*, 23, 264-280, 1970.
- ORR T.: *Proceedings of the 1st International Workshop on the Evaluation of Eurocode 7*, Trinity College, Dublin 2005.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA, FEDERAZIONE DELLE CASSE DI RISPARMIO E DELLE BANCHE DEL MONTE DELL'EMILIA ROMAGNA: *Il mondo della natura in Emilia Romagna: la pianura e la costa*. Bologna, 1990.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA: *Atti del Congresso: 1st European Congress on Regional Geological Cartography and Information System*. Bologna, 1994.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA: *Atti del Congresso: 7th European Congress on Regional Geological Cartography and Information System*. Bologna, 2012.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA: *Carta dei Rischi Geo-Ambientali*; Bologna, 1994.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA: *Carta Tecnica Regionale*; Bologna.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA: *I Suoli dell'Emilia Romagna*; Bologna, 1994.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA: *Cartografia geologica – progetto CARG* – <http://geo.regione.emilia-romagna.it>. 2007.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA: *Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia Romagna*; S.E.L.C.A., Firenze, 1988.
- RICCI LUCCHI F. *et al.*: 1982 - Evoluzione sedimentaria e paleogeografica del margine appenninico. In: CREMONINI G. *et al.*: *Guida alla Geologia del margine appenninico-padano*, S.G.L., *Guide geologiche regionali*, pp. 17-46.
- RICCI LUCCHI F. *et al.*: Pliocene fan deltas in the Intraappenninic basin, Bologna. IAS, 2nd European Regional meeting, 1981, 79-162.
- STUCCHI *et al.*: DBMI04, il database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI04. <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04/> Quaderni di Geofisica, Vol. 49, pp.38. 2007.
- VAN BALLEGOOY *et al.*: Assessment of various CPT based liquefaction severity index frameworks relative to the Ishihara (1985) H1-H2 boundary curves. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 79 pp. 347-364, 2015.
- VIGGIANI C.: *Fondazioni*. Hevelius Editrice, Brindisi 2003.
- YI F.: Estimating soil fines contents from CPT data. 3rd International Symposium on Cone Penetration Testing. Las Vegas, Nevada USA, 2014.

redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	7 di 63

 <small>STUDIO</small> <small>CP</small> <small>INGEGNERIA</small>	dott. geol. PAOLO TRENTI dott. geol. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE'		
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE'	
Provincia	BOLOGNA	
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	

4. PREMESSE


Il Comune di San Lazzaro di Savena intende realizzare un nuovo collegamento ciclopedonale in sicurezza, a sud, tra le frazioni di Idice e La Cicogna, sfruttando l'asse di via Fondè. Nello specifico il progetto riguarderà il collegamento con l'attuale pista ciclopedonale che partendo da via Vernizza, terminerà all'incrocio con via Viganò per un nuovo tratto di circa 300 metri.

Al fine di verificare le caratteristiche geologiche geotecniche e sismiche dei terreni presenti nell'area, ci si è avvalsi di conoscenze dirette degli scriventi e dei risultati di un'indagine in sito realizzando le seguenti fasi:

- modellazione geologica del sito;
- modellazione sismica del sito;
- modellazione geotecnica del sito.

Questo documento riporta i risultati delle indagini eseguite, espone i procedimenti di calcolo e riassume i risultati ottenuti.

redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	8 di 63

	dott. geol. PAOLO TRENTI dott. geol. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
	PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE	
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE	
Provincia	BOLOGNA	
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	

5. MODELLO GEOLOGICO

5.1. Inquadramento geologico e geomorfologico

La zona interessata dall'indagine è situata nella zona rurale a SE di S. Lazzaro di Savena, appartenente alla Città Metropolitana di Bologna.

Ci troviamo in zona di medio-alta Pianura Padana nelle vicinanze della via Emilia.

L'area presenta una quota media di 60 m s.l.m. e morfologicamente siamo in zona pianeggiante che mostra un lieve digradare verso N. A grande scala l'area risulta compresa tra il Torrente Savena, ad W, ed il Torrente Idice, ad E.

I depositi della Pianura Padana sono rappresentativi di un cuneo sedimentario sintettonico che ha raccolto, nel corso del Pliocene – Pleistocene – Olocene, i sedimenti derivati dall'erosione delle vicine catene montuose (gli Appennini a Sud e le Alpi a Nord), con uno spessore totale di 4000 m.

Questi sedimenti sono stati deposti per un lungo periodo di tempo in ambiente marino con evoluzione da sedimenti di mare aperto (RIL: substrato Pliocenico marino) a sedimenti marini marginali (IMO: Sabbie di Imola; vecchio ciclo Qm - Quaternario marino), mostrando quindi un trend regressivo. Successivamente il progressivo riempimento del bacino ha permesso l'instaurarsi di ambienti continentali alluvionali che hanno, fin ai giorni nostri e per uno spessore di 1000 - 1500 m, condizionato la natura dei depositi (Supersistema Emiliano-Romagnolo, ex ciclo Qc). Questi normalmente consistono, a partire dal pedeappenninico, in depositi di conoide, generalmente ghiaie e in subordine sabbie ed argille, che testimoniano la brusca perdita di potenza dei corsi d'acqua allo sbocco sulla pianura (depositi di alta pianura); successivamente sono i depositi degli alvei dei fiumi e delle piane alluvionali che determinano cicli sedimentari a grande variazione sia orizzontale sia verticale, costituiti da sabbie, limi ed argille (media e bassa pianura). La presenza di ciclicità in queste variazioni ha permesso di distinguere, all'interno del Supersistema, Sintemi di rango inferiore: il Sintema Emiliano - Romagnolo Inferiore e quello Superiore. A sua volta il Sintema Superiore si suddivide in Subsintemi. A partire da circa 300 m di profondità verso il piano di campagna attuale riconosciamo AES 4 – AES 5 – AES 6 – AES 7 – AES 8.


Dal punto di vista geologico la zona esaminata presenta depositi ascrivibili a AES8, cioè Subsistema di Ravenna in facies di piana alluvionale.

SUCCESSIONE NEOGENICO-QUATERNARIA DEL MARGINE APPENNINICO PADANO

AES - SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE

Ghiaie, sabbie, limi ed argille di piana intravalliva, di conoide e di piana alluvionale. Sintema parzialmente suddiviso in subsintemi limitati, in affioramento, da scarpate di terrazzo fluviale e paleosuoli e nel sottosuolo della pianura da bruschi contatti fra depositi fini alluvionali e palustri su depositi grossolani di conoide e di piana alluvionale. Dove AES non è suddivisa in subsintemi è costituita da depositi fini prevalentemente limoso-

redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	9 di 63

	dott. GEOL. PAOLO TRENTI dott. GEOL. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
	PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE'	
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE'	
Provincia	BOLOGNA	
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	

argillosi, intensamente pedogenizzati, con spessore massimo di 20 metri circa. Spessore massimo in pianura circa 300 m. Pleistocene medio – Olocene.

AES8a - Unità di Modena

Nei settori intravallivi ghiaie prevalenti organizzate in 2 ordini di terrazzi alluvionali. Negli sbocchi vallivi e nella piana alluvionale ghiaie, sabbie, limi ed argille. Limite superiore sempre affiorante dato da un suolo calcareo di colore bruno olivastro e bruno grigiastro privo di reperti archeologici romani, o più antichi, non rimaneggiati. Limite inferiore dato da una superficie di erosione fluviale nelle aree intravallive e dal contatto netto sul suolo non calcareo (o scarsamente calcareo) di epoca romana (o più antica) nelle aree di pianura.

Spessore massimo in pianura 7 metri, nel sottosuolo circa 10m. Età post-romana (IV-VI sec. d.C. - Attuale; datazione archeologica).

AES8 – Subsistema di Ravenna

Nei settori intravallivi ghiaie passanti a sabbie e limi organizzate in numerosi ordini di terrazzi alluvionali. Negli sbocchi vallivi e nella piana alluvionale ghiaie, sabbie, limi ed argille. Limite superiore dato da suoli variabili da non calcarei a calcarei. I suoli non calcarei e scarsamente calcarei hanno colore bruno scuro e bruno scuro giallastro, spessore dell'alterazione da 0,5 ad 1,5 m, contengono frequenti reperti archeologici di età del Bronzo, del Ferro e Romana. I suoli calcarei appartengono all'unità AES8a. Limite inferiore erosivo sui depositi marini e alluvionali sottostanti. Subsistema contenente una unità a limiti inconformi di rango gerarchico inferiore (AES8a) che, dove presente, ne costituisce il tetto stratigrafico. Spessore massimo in pianura di 25 metri circa. Pleistocene sup. - Olocene (14 ka - attuale; datazione 14 C).

Al di sotto di queste Unità troviamo:

IMO3 - Membro di Castel San Pietro

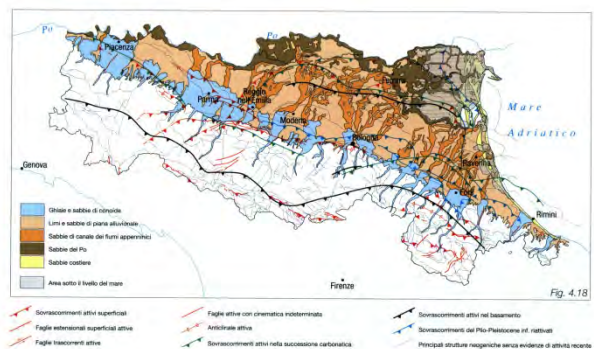
Sabbie ed arenarie giallastre generalmente fini e finissime, a stratificazione obliqua, con *ripples* ed *hummocky cross-bedding* localmente riconoscibili, in strati generalmente amalgamati, alternate a rari strati decimetri di peliti sabbiose. Nella parte alta sono presenti livelli di ghiaie fini frequentemente silicee e locali corpi di ghiaie ben selezionate contenenti tritume organogeno. Depositi di spiaggia e subordinatamente di delta conoide. Contatto inferiore eteropico su IMO2 o erosivo su IMO1. Spessore di alcune decine di metri.

Nella cartografia riportata in allegato in Tav. 3-4 sono riprodotte le emergenze geologiche principali presenti nella zona.


TETTONICA

L'evoluzione strutturale dell'Appennino settentrionale s'inserisce in un modello a falde caratterizzato dall'impilamento di elementi tettonici, spesso con significato paleogeografico.

A grande scala siamo alla presenza di un settore tirrenico della catena in cui domina un campo



redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	10 di 63

	dott. geol. PAOLO TRENTI dott. geol. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE		
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE	
Provincia	BOLOGNA	
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	

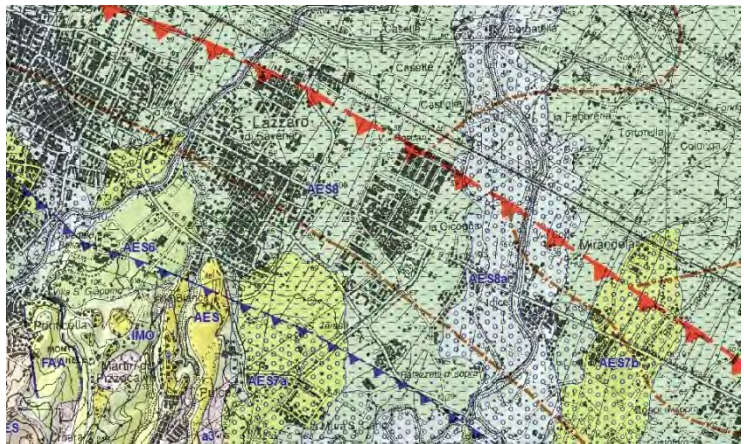
deformativo estensionale mentre nel settore adriatico prevale una compressione attiva. In quest'ultimo settore, in cui si colloca l'Emilia-Romagna, le evidenze geologiche, le sezioni sismiche e gli studi morfotettonici indicano, infatti, come la tettonica attiva sia generalmente caratterizzata dalla presenza di strutture compressive attive, come sovrascorrimenti e piegamenti, come indicato anche dalle soluzioni dei meccanismi focali dei terremoti.

L'individuazione di sistemi sismogenetici (faglie, sovrascorrimenti etc.) è stata fatta dalla Regione Emilia-Romagna preliminarmente accorpendo faglie attive, intendendo per "attive" strutture che possano attivarsi in un intervallo di tempo futuro che interessi la nostra società (Wallace, 1986), con strutture potenzialmente attive per *creep* asismico.

Lungo il margine risulta attivo il thrust pede-appenninico tra Bologna e Parma, mentre blind-thrust attivi caratterizzano il settore ad Est di Bologna. Attivi risultano anche sovrascorrimenti nell'area di catena, come il sistema che si sviluppa tra Castiglione de' Pepoli e M. Orsaro (crinale tosco-emiliano) e le strutture nell'area di S. Sofia (Appennino romagnolo). Esistono poi sovrascorrimenti profondi attivi anche nel basamento.

Il principale elemento morfologico della zona è il margine appenninico - padano che spesso coincide con la struttura più interna del Pede Apenninic Thrust Front (PTF).


Pur essendo due ambienti geomorfologici ben distinguibili, l'Appennino e la Pianura Padana sono strettamente correlati. Il fronte della catena appenninica non coincide con il limite morfologico catena-pianura (margine appenninico - padano) ma è individuabile negli archi esterni delle Pieghe Emiliane e Ferraresi sepolte dai sedimenti quaternari padani. Quindi, il vero fronte appenninico, circa all'altezza del Po, sovrascorre verso nord sulla piattaforma padano - veneta. Si può così schematizzare che l'evoluzione del territorio dell'Emilia - Romagna coincida con l'evoluzione del settore esterno della catena nord-appenninica.



In questo settore, a monte del PTF, affiorano i terreni appartenenti alle falde alloctone apicali dell'edificio orogenico, formato per accrezione di prismi sedimentari durante e successivamente la fase di collisione ensialica (subduzione tipo A), nello svolgimento dell'orogenesi alpina iniziata nell'Eocene Medio; si tratta di terreni del dominio ligure esterno assieme ai depositi su di esso sedimentati.

Al di sotto delle unità alloctone, i sondaggi per la ricerca di idrocarburi e le prospezioni sismiche indicano la presenza di terreni appartenenti alla porzione basale della successione post-evaporitica (Messiniano superiore - Pliocene inferiore, zona a G. Margaritae) del margine appenninico-padano e alla successione miocenica umbro-marchigiano-romagnola, ben affioranti più ad S-E. Da ciò si evince che anche qui la messa in posto principale della coltre alloctona è riferibile, come lungo gran parte del margine appenninico padano, al Pliocene

redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	11 di 63

	dott. geol. PAOLO TRENTI dott. geol. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE		
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE	
Provincia	BOLOGNA	
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	

inferiore (zona a G. Puncticulata). Ciononostante, deformazioni anche importanti (pieghe, faglie inverse e trascorrenti) si ritrovano anche nelle Sabbie di Imola del Pleistocene medio e, talora, anche nei depositi del Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI), che risultano piegati in maniera concordante con i depositi sottostanti (FAA e IMO). Anche la presenza di depositi alluvionali a quote molto elevate rispetto all'alveo attuale ed i dati del sottosuolo indicano che questo settore dell'Appennino è stato interessato recentemente da importanti sollevamenti. I primi depositi tabulari che suturano in discordanza angolare i terreni piegati più recenti (IMO e AEI) sono quelli del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES) ed è quindi ipotizzabile che l'ultima importante fase tettonica sia collocabile cronologicamente tra la deposizione di AEI ed AES, cioè nel Pleistocene medio, circa 0.35-0.45 M.A.

Questa attività tettonica tardo pliocenica e quaternaria sovrimposta alla messa in posto delle falde ha complicato notevolmente l'assetto di questo settore; evidenze di tettonica polifasica sono riscontrabili in ogni formazione.


Oltre alle evidenze di tettonica regionale appena descritte, e che verranno riprese successivamente, in tutto il basso Appennino bolognese sono presenti terreni argillosi con caratteri deformativi che suggeriscono deformazioni pseudo-diapiriche. In particolare, ciò è suggerito dall'aspetto caotico tipo *mélange* e dai contatti tettonici verticalizzati che confinano le argille tra i depositi epiliguri e pliocenici, lasciando ipotizzare un'estrusione delle argille duttili sottostanti le placche più rigide della successione epiligure e del Pliocene intra-appenninico. Questa risalita di argille con meccanismi pseudo diapirici è probabilmente favorita, oltre che dalle compressioni orizzontali cui è sottoposto il margine, dal forte inspessimento delle argilliti alloctone; infatti se si osserva una sezione dal crinale al margine appenninico si nota come gli spessori della coltre alloctona siano assottigliati in presenza delle aree più sollevate (< 1000 m), ad esempio lungo il crinale appenninico, ed inspessiti più a valle dove superano i 5000 m.

Infine, per concludere il quadro evolutivo delle strutture, quelle che mostrano evidenze di attività più recente sembrano essere le Faglie Antiappenniniche, con componente trascorrente, che tagliano i depositi del Pleistocene medio e tutte le strutture sopra citate. In corrispondenza di queste faglie, trasversali al margine, si sono impostati anche i principali corsi d'acqua (Savena, Idice, Quaderna). La "Linea dell'Idice", faglia subverticale, corrisponde a uno degli svincoli meccanici orientali attraverso cui si realizza l'avanzamento del settore appenninico bolognese. L'entità dei movimenti orizzontali di queste strutture è generalmente dell'ordine delle centinaia di metri, raramente superiori al chilometro.

All'attività tardiva del PTF e a quella delle faglie trasversali sono probabilmente da riferirsi anche i retroscorrimenti che interessano e raddoppiano i gessi messiniani che qui sono confinati tra il Savena e l'Idice.

Il PTF mostra geometrie complesse, con scaglie minori al fronte e back - thrusts, e presenta evidenze di movimenti, anche importanti, fino al Pleistocene superiore. E' quindi evidente la strutturazione fuori sequenza, in particolare nelle zone più interne, di questo complesso, probabilmente determinata dal sollevamento recente della catena dovuto a raddoppi del basamento della catena e alla conseguente riattivazione della falda

redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	12 di 63

	dott. geol. PAOLO TRENTI dott. geol. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
	PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE	
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE	
Provincia	BOLOGNA	
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	

alloctona.

I rilievi effettuati sulle unità geologiche più recenti (Sabbie di Imola e Supersintema Emiliano-Romagnolo) hanno permesso di individuare, con vario grado di interpretazione, la presenza di strutture tettoniche attive nel Pleistocene medio e superiore.

L'evoluzione del principale elemento strutturale affiorante, il fronte della catena emersa coincidente con il PTF, risente di svincoli trasversali con andamento antiappenninico che avrebbero frammentato il margine in settori caratterizzati da diversa velocità di sollevamento e diverso grado di deformazione.

A valle del PTF la catena appenninica prosegue sepolta dai depositi quaternari padano - adriatici.

Le principali strutture sepolte di questo settore appartengono alla porzione nord-occidentale delle Pieghe Romagnole. Tali strutture, che mostrano geometrie da piega - faglia, determinano gli alti di Spilamberto e di Castelfranco Emilia.

Dai rapporti geometrici con le varie unità stratigrafiche, osservabili grazie alle prospezioni geofisiche, emerge che queste strutture sono state attive principalmente nel Pliocene e sono sigillate da gran parte dello spessore dei depositi del Pleistocene inferiore.

5.2. Inquadramento idrologico

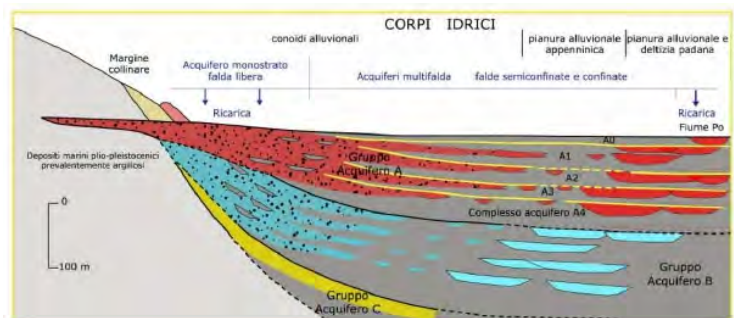
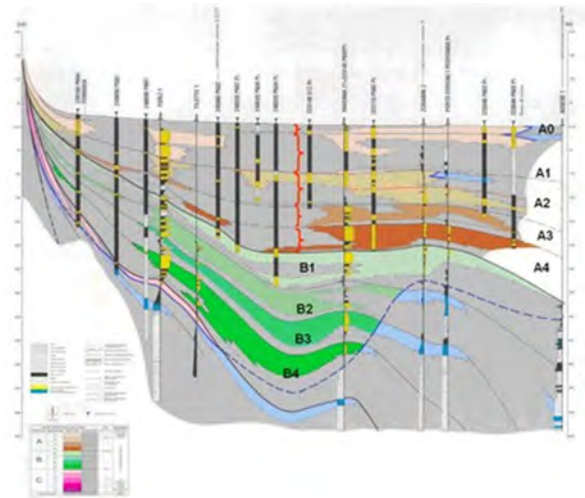
Ci troviamo in una zona di medio-alta pianura compresa tra i due torrenti Savena e Idice che costituiscono i collettori principali delle acque piovane. In particolare, siamo in sinistra idrografica del Torrente Idice, nelle vicinanze della confluenza col Torrente Zena.

Trovandoci in un'area rurale, le acque pluviali vengono portate ai collettori da sistemi di canali.


Dall'analisi del Piano Gestione Rischio alluvioni (Tavv. 5-6 in allegato) risulta che l'area, in riferimento al reticolo principale naturale, non presenta un rischio alluvioni; per quanto concerne al reticolo secondario, il tracciato della

pista ciclabile si trova sul limitare della area P2-M (alluvioni poco frequenti – tempo di ritorno tra 100 e 200 anni – media probabilità).

La Pianura Padana è costituita da terre sciolte dovute all'azione di *weathering* e trasporto della catena alpina e appenninica; quindi, possiamo dire che gli acquiferi della pianura emiliano – romagnola sono costituiti principalmente dai depositi di origine alluvionale presenti nella porzione più superficiale della pianura, per uno spessore di circa 400-500 m e, in



redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	13 di 63

	dott. geol. PAOLO TRENTI dott. geol. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE		
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE	
Provincia	BOLOGNA	
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	

minima parte, da depositi marino marginali.

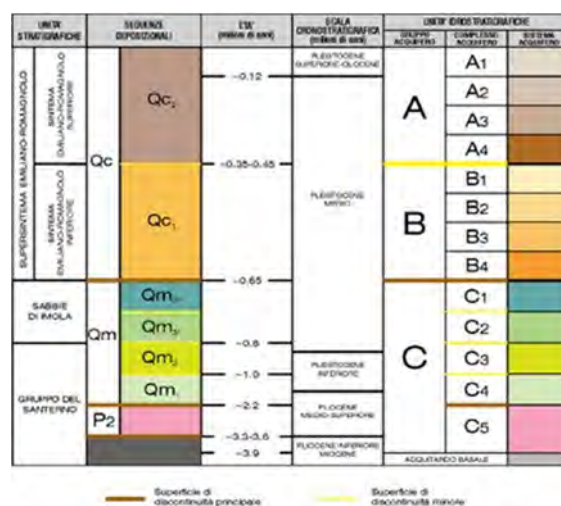
Procedendo quindi dal margine verso nord, si trovano nell'ordine: le conoidi alluvionali, la pianura alluvionale appenninica e la pianura alluvionale e deltizia del Po. La pianura alluvionale appenninica è caratterizzata da una lieve pendenza topografica ed è formata dai sedimenti fini trasportati dai fiumi appenninici, costituiti da alternanze di limi più o meno argillosi, argille e sabbie limose. Essa inizia laddove i corpi ghiaiosi si chiudono e passano lateralmente a sabbie, presenti come singoli corpi nastriformi di pochi metri di spessore, che rappresentano i depositi di riempimento di canale e di argine prossimale. Talvolta si ritrovano degli orizzonti argillosi molto ricchi di sostanza organica che testimoniano il succedersi degli eventi di trasgressione marina che hanno interessato la zona costiera dell'Emilia-Romagna durante il Pleistocene e che costituiscono dei veri e propri livelli guida.

Dal punto di vista idrogeologico i rari e discontinui depositi sabbiosi della pianura alluvionale appenninica, costituiscono degli acquiferi di scarso interesse, anche perché la loro ricarica è decisamente scarsa e deriva unicamente dall'acqua che, infiltratasi nelle zone di ricarica delle conoidi, riesce molto lentamente a fluire sino alla pianura.


I Gruppi Acquiferi e i Complessi Acquiferi

Con la pubblicazione del volume "Riserve Idriche Sotterranee della Regione Emilia-Romagna", pubblicato in collaborazione ad ENI-AGIP nel 1998 e la realizzazione del progetto di Cartografia Geologica d'Italia in scala 1:50.000 (progetto CARG) , il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia – Romagna ha proposto una nuova stratigrafia valida a livello di bacino per i depositi alluvionali e marino marginali presenti nelle prime centinaia di metri del sottosuolo, riassunta schematicamente nella figura a lato.

I depositi della pianura sono stati suddivisi in tre nuove unità stratigrafiche, denominate Gruppi Acquiferi A, B e C: il Gruppo Acquifero A è il più recente ed ha un'età che va dall'Attuale sino a 350.000 – 450.000 anni; il Gruppo Acquifero B, intermedio, va da 350.000 – 450.000 anni sino a 650.000 circa; il Gruppo Acquifero C è il più vecchio e va da 650.000 sino a oltre 3 milioni di anni. Il Gruppo Acquifero A e il Gruppo Acquifero B sono costituiti principalmente da depositi alluvionali e in particolare dalle ghiaie delle conoidi alluvionali, dai depositi fini di piana alluvionale e dalle sabbie della piana del Fiume Po; il gruppo acquifero C è formato principalmente da depositi costieri e marino marginali ed è costituito principalmente da pacchi di sabbie alternati a sedimenti più fini. In prossimità dei principali sbocchi vallivi il gruppo acquifero C contiene anche delle ghiaie intercalate alle sabbie, che costituiscono i delta conoide dei fiumi appenninici durante il Pleistocene



redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	14 di 63

	dott. geol. PAOLO TRENTI dott. geol. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE		
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE	
Provincia	BOLOGNA	
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	

inferiore e medio.

Esiste una corrispondenza tra i Gruppi Acquiferi (definiti come Unità Idrostratigrafiche) e le Unità Stratigrafiche utilizzate nella Carta Geologica d'Italia. Nello specifico, il Gruppo Acquifero A corrisponde al Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES), il Gruppo acquifero B al Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI), il Gruppo Acquifero C a diverse unità affioranti nell'Appennino, la più recente delle quali è la Formazione delle Sabbie di Imola (IMO).

Le Unità Idrostratigrafiche sono formate da una o più sequenze deposizionali caratterizzate da alternanze cicliche di depositi fini (alla base) e grossolani (al tetto) molto spessi. All'interno di ciascuna sequenza, si trovano depositi costituiti da differenti litologie, corrispondenti a vari sistemi e ambienti deposizionali. Alla base di ciascuna sequenza si trova un livello molto continuo a scarsa permeabilità che funge da acquicludo tra le diverse unità individuate.

Per quanto riguarda la idrogeologia sotterranea della zona analizzata, siamo in presenza di uno strato superficiale sabbioso limoso sovrapposto a ghiaie nelle quali non è risultata, fino alla profondità indagata, presente una falda. Da indagini bibliografiche sotto al primo strato di ghiaia asciutta si trovano altri strati di ghiaia che risultano intervallati da strati impermeabili.

5.3. Modello geologico del sito


L'analisi dei dati ricavati permette di definire il modello geologico del sito.


Esso è inserito in una zona di pianura, alla quota media di 60 m s.l.m., compresa fra gli attuali corsi del T. Savena a W e del T. Idice ad E.

Le litologie locali appartengono alla piana alluvionale interfluviale. Tipicamente siamo in presenza di uno strato superficiale sabbioso limoso sovrapposto a ghiaie. I depositi ghiaiosi possono presentare, in profondità, alternanze gradate verso l'alto, con passaggio da sedimenti più grossolani a sedimenti più fini, relitto del susseguirsi di eventi di maggiore e minore energia deposizionale. Da indagini eseguite nell'area in oggetto non risulta la presenza di una falda superficiale.

Allo scopo di caratterizzare il sito dal punto di vista sismico e geotecnico si eseguiranno:

- un'indagine diretta mediante prove penetrometriche dinamiche con penetrometro dinamico medio, spinte alla profondità massima consentita dallo strumento;
- un prelievo di un campione di terreno da conferire al Laboratorio Geotecnico per l'esecuzione di una Prova di Taglio Casagrande allo scopo di ricavare i parametri c' e ϕ' ;
- un'indagine in sismica passiva, eseguita con il metodo HVSR, finalizzata al conseguimento delle caratteristiche sismostratigrafiche del sottosuolo

redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	15 di 63

	dott. geol. PAOLO TRENTI dott. geol. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
	PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE'	
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE'	
Provincia	BOLOGNA	
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	

6. MODELLO SISMICO

6.1. Inquadramento dell'area

Il territorio del Comune di San Lazzaro di Savena, ai sensi dell'OPCM 3274/2003, è classificato come zona sismica di terza categoria.

La sismicità della zona^a, nel campo vicino, è legata alla presenza delle strutture sismogenetiche (da N a S) ITCS051 – Carpi - Poggio Renatico, ITCS047 – Castelvetro di Modena – Castel San Pietro e ITCS027 – Bore – Montefeltro – Fabriano - Laga.

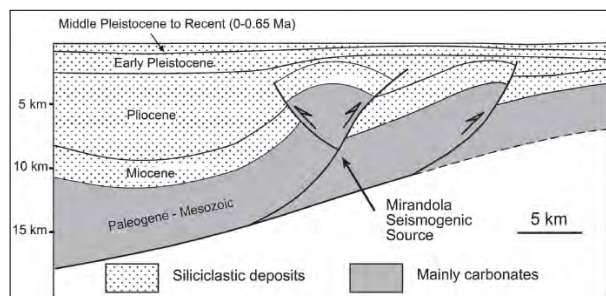
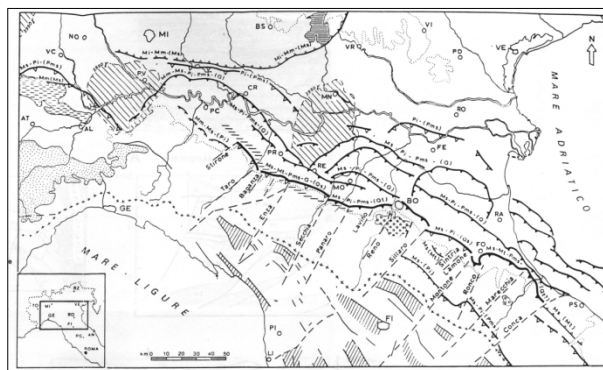
ITCS051 – Carpi - Poggio Renatico. Questa sorgente composita attraversa tutta la regione nelle pozioni inferiori delle valli del Reno e del Secchia ed appartiene

al *Ferrara Arc trust front*. Questo sistema di faglie è l'arco NE-vergente esterno al vertice nord-orientale della catena appenninica settentrionale, ben addentrato nella Pianura Padana, e segna il *trust* appenninico NE con potenziale sismogenetico di danneggiamento più avanzato. Questa sorgente è stata aggiornata con le ricerche sviluppate durante l'European Project GeoMol.

Il 20 e 29 maggio 2012 due eventi sismici con Mw 5.9 e 5.8 e la successiva sequenza di *aftershock* colpiscono la pianura centrale del Po c.a. 40 km a N di Bologna. Durante la sequenza sismica un sistema di faglie compressionali pure fu generato dai *blind thrusts* dalla porzione orientale del *Ferrara Arc*, attivando così un tratto di 50 km di questo fronte esterno sepolto dell'Appennino settentrionale. I meccanismi focali degli shock più grandi concordano con la compilazione degli attuali indicatori di stress tettonico che mostrano nell'area la tensione orizzontale massima orientata N-S, cioè orientata perpendicolarmente alle principali tendenze strutturali. La maggior parte della sequenza sismica era limitata tra 1 e 12 km di profondità, sopra il distacco basale locale dell'*Outer Thrust Front* dell'Appennino settentrionale.


Oltre la sequenza del 2012, i cataloghi storici e strumentali (Boschi *et al.*, 2000; Gruppo di Lavoro CPTI, 2004; Pondrelli *et al.*, 2006; Guidoboni *et al.*, 2007) mostrano una sismicità intermedia sparsa della regione (4,5<Mw<5,0), con la singolarità dell'evento sismico ferrarese del 22 febbraio 1346 (Mw 5.8) nel settore nord-occidentale della zona.

Questa sorgente è la parte principale della porzione nascosta del *trust* dell'Appennino romagnolo esterno e



^a DISS Working Group (2015). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.0: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; DOI:10.6092/INGV.IT-DISS3.2.0

redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	16 di 63

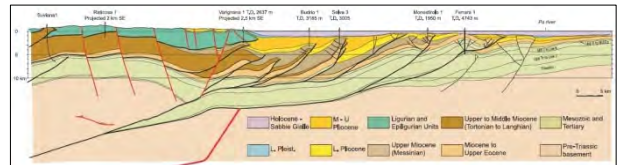
	dott. geol. PAOLO TRENTI dott. geol. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
	PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE	
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE	
Provincia	BOLOGNA	
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	

può spiegare la sismicità di danno della regione. In realtà, dati di sottosuolo (ad esempio, Cassano *et al.*, 1986) mostrano anticlinali sepolte ben sviluppate, tra cui la Sorgente Sismogenetica Mirandola (in figura). Inoltre, ci sono ben note anomalie dei *pattern* fluviali in questo settore (Castaldini *et al.*, 1979), per il quale Burrato *et al.* (2003) ipotizzano un'origine tettonica. Questi ultimi autori propongono che i segmenti dei *blind trusts* dedotti da dati del sottosuolo possano essere potenziali fonti, in questo settore, di terremoti con Mw 5.5.

Un segmento di questa sorgente è la fonte sismogenetica del terremoto di Mw 5.8, 29 maggio 2012, secondo shock principale della sequenza del 2012. Lo *slip rate* è basato su osservazioni geologiche (0.25 – 0.50 mm/a). La magnitudo massima è stata presa da quella delle principali sorgenti singole associate (Mw 5.9).

ITCS047 – Castelvetro di Modena – Castel San Pietro è una sorgente composita che attraversa la regione in tutta l'Alta Valle del Reno, intorno alla città di Bologna, e appartiene al *Pedeapenninic Trust Front*. Si tratta di un sistema di faglie NE-vergente, in parte composta da piccoli archi, ai piedi della catena Appenninica settentrionale.

Cataloghi storici e strumentali (Boschi *et al.*, 2000; Gruppo di Lavoro CPTI, 2004; Pondrelli *et al.*, 2006; Guidoboni *et al.*, 2007) mostrano una concentrazione di sismicità sia media (4,5 < Mw < 5.0) sia elevata nel settore centrale ed orientale della regione. I terremoti principali, da E a W, si sono verificati nelle date 3 gennaio 1505 (Mw 5.5, Bologna), 20 aprile 1929 (Mw 5.5, Bolognese) e 20 luglio 1399 (Mw 5.4, Modenese). Inoltre ebbe luogo un altro evento, appena a sud della zona, il 6 febbraio 1455 (Mw 5.4, Bolognese).

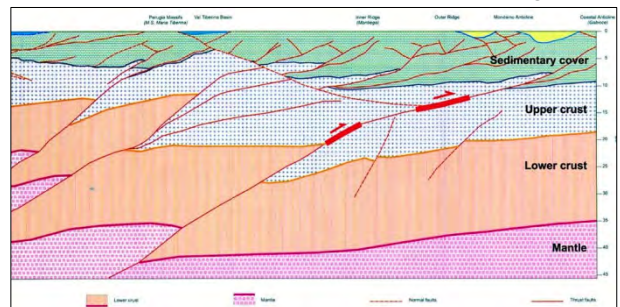


Dati del sottosuolo (Pieri e Groppi, 1981; Cassano *et al.*, 1986), anomalie dei *pattern* fluviali (Amorosi *et al.*, 1996) e analisi strutturali (Castellarin *et al.*, 1985) denotano l'attività tettonica corrente del *Pedeapenninic Trust Front* che conferisce il potenziale sismogenetico a questa zona.

Due porzioni di questa sorgente sismogenetica (ITIS091 - Casalecchio di Reno e ITIS103 - Crespellano) sono state associate con i maggiori eventi verificatisi, quello del 1505 e quello del 1929.


Lo *slip rate* della sorgente Castelvetro di Modena - Castel San Pietro Terme (0,1 - 0,5 mm/a) è stato dedotto da osservazioni geologiche in strutture adiacenti che condividono lo stesso ambiente tettonico. La magnitudo massima attribuita (Mw 5.6) è stata dedotta da quella del principale evento associato.

ITCS027 – Bore/Montefeltro/Fabriano/Laga. Questo *thrust* regionale è ben inquadrato nel profilo sismico a riflessione CROP03 (Barchi *et al.*, 1998; Finetti *et al.*, 2001; Lavecchia *et al.*, 2004), riprodotto in figura ed è stato interpretato:



1) come una struttura importante litosferica, che taglia l'intera crosta dal basamento metamorfico fino ai livelli

redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	17 di 63

	dott. geol. PAOLO TRENTI dott. geol. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE		
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE	
Provincia	BOLOGNA	
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	

più alti (Barchi *et al.*, 1998.; Lavecchia *et al.*, 2003, 2004);

2) o come uno degli elementi principali del prisma di accrezione della fascia appenninica (Bally *et al.*, 1986; Doglioni *et al.*, 1994). In quest'ultimo caso i terremoti sarebbero generati all'interfaccia ove la copertura sedimentaria è delaminata rispetto al basamento metamorfico.

La geometria della zona sismogenetica è vincolata dalle singole fonti contenute all'interno: *strike* tra 88° (sorgente Loiano) e 160° (Camerino e sorgenti Sarnano), e *dip* della zona compreso tra 20° e 54° verso SW. Il *rake* si presume essere, sulla base di considerazioni geodinamiche generali, di *thrusting* puro (90°).

Le sorgenti sismogenetiche individuali contenute all'interno di questa fonte da N a S sono:

- 1) Loiano;
- 2) Cagli;
- 3) Fabriano;
- 4) Camerino;
- 5) Sarnano.

Queste sorgenti sono state identificate analizzando i campi macrosismici dei loro terremoti associati e utilizzando l'interpretazione di profili sismici profondi a riflessione.

La regione Umbria-Marche è stata oggetto di studi approfonditi mediante profili sismici a riflessione e diverse interpretazioni, del suo stile strutturale, sono disponibili in letteratura.

Le principali differenze nell'interpretazione dello stile strutturale di questa regione riguardano la posizione del livello di scollamento basale del *thrust* e la presenza o meno di livelli di scollamento secondario. Alcuni ricercatori (Bally *et al.*, 1986; Doglioni *et al.*, 1994) indicano il fondo delle Evaporiti Triassiche come livello di scollamento basale, e propongono che una sottile pelle tettonica abbia caratterizzato l'evoluzione Paleogene-Neogene. Altri ricercatori (Barchi *et al.*, 1998; Finetti *et al.*, 2001; Lavecchia *et al.*, 2003) considerano che anche la parte superiore del basamento sia stata coinvolta nel *thrust*, e propongono uno spesso stile strutturale di scorrimento. In generale c'è un buon accordo tra le ricerche (Coward *et al.*, 1999; Barchi *et al.*, 1998; Calamita *et al.*, 1994) circa la presenza di due livelli di scollamento principale all'interno il prisma di accrezione, con la parte inferiore che sarebbe coincidente con la parte inferiore delle Evaporiti Triassiche su cui si originerebbero le rampe di *thrust* superiore e la parte più superficiale in coincidenza con le Marne a Fucoidi o Formazione della Scaglia Cinerea, su cui si staccerebbero *thrusts* minori.


Lo stile di deformazione della regione Umbria-Marche è caratterizzato da due principali livelli strutturali:

- 1) un livello più basso composto da anticlinali profonde e ampie che deformando la successione carbonatica Mesozoico-Paleogene, avrebbero prodotto sovrascorrimenti e distacchi sulle Evaporiti Triassiche;
- 2) un livello superficiale costituito da piccole e strette anticlinali, che si trova nelle zone assiali delle anticlinali maggiori e sviluppato nei sedimenti Neogenici di avanfossa.

Queste ultime strutture mostrano un più complesso schema strutturale rispetto a quelle più profonde.

Altre caratteristiche geometriche di questa regione sono:

redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	18 di 63

	dott. geol. PAOLO TRENTI dott. geol. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE'		
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE'	
Provincia	BOLOGNA	
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	

- 1) la presenza di *thrust* complessi, a causa della presenza di diversi livelli di distacco potenziale nei sedimenti stratificati;
- 2) diminuzione della lunghezza d'onda delle anticlinali verso l'alto;
- 3) disarmonia tra i diversi livelli strutturali.

La regione Marche interna è attualmente interessata solo da bassa attività sismica. Tuttavia terremoti dannosi hanno colpito questa zona negli ultimi due secoli con epicentri allineati lungo una stretta striscia (Fabriano nel 1741, M 6.2; Cagli nel 1781, M 6.2; Camerino nel 1799, M 5.8 M, e Sarnano nel 1873, M 6.0). I campi macrosismici di questi terremoti sono caratterizzati da ampie aree di risentimento, che suggeriscono ipocentri piuttosto profondi, indicando anche una continuità laterale del rilascio sismico su strutture profonde.

La sorgente composita del Nord Appennino si trova a W delle aree sismogenetiche Pesaro- Senigallia e Marchigiana meridionale, che sono associate con sismicità superficiale. Si suppone che le tre aree sismogenetiche possono essere parte dello stesso *thrust* litosferico, la cui attivazione in tempi diversi e a diverse profondità produce terremoti dannosi su due strisce parallele.

Nella tabella seguente^b sono elencati gli eventi sismici storici riportati dal Catalogo DBMI15 e relativi al Comune di San Lazzaro di Savena.

File downloaded from CPTI15-DBMI15 v3.0												
Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani - Database Macrosismico Italiano												
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV)												
Seismic history of	San Lazzaro di Savena											
PlaceID	IT_40212											
Coordinates (lat, lon)	44.470, 11.408											
Municipality (ISTAT 2015)	San Lazzaro di Savena											
Province	Bologna											
Region	Emilia-Romagna											
No. of reported earthquakes	3											
Int. at place	N	Year	Mo	Da	Ho	Mi	Se	EpicentralArea	LatDef	LonDef	IoDef	MwDef
3	2405	1929	8	17	4	25		Bolognese	44.481	11.131	4-5	3.89
3	3059	1972	10	25	21	56	11.31	Appennino settentrionale	44.503	9.865	5	4.87
3-4	3520	1987	5	2	20	43	53.32	Reggiano	44.81	10.694	6	4.71


Utilizzando i dati ricavati dal sito web dell'INGV è stata analizzata la disaggregazione^c dei dati sismici relativi al nodo più vicino del reticolo in cui è suddiviso il territorio nazionale. Per il vicino nodo 16954 (posto alla distanza di 2583 m) il dato medio è di magnitudo Mw 4.93 con una distanza epicentrale media di 6.97 km ed

^b Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macro seismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi: <http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>.

Parametro	Descrizione
Is	Intensità al sito (MCS)[F=felt - percepito; NF=not felt - non percepito; NR=not reported - non segnalato; RS=registrazione strumentale] - valori intermedi (3-4 / 6-7 indicano incertezza nel dato)
Data	Tempo origine: anno mese giorno ora
Ax	Area epicentrale
Np	Codice dell'elemento di catalogo
Io	Intensità epicentrale (MCS)
Mw	Magnitudo momento

^c La disaggregazione (o deaggregazione) della pericolosità sismica (McGuire, 1995; Bazzurro and Cornell, 1999) è un'operazione che consente di valutare i contributi di diverse sorgenti sismiche alla pericolosità di un sito. La forma più comune di disaggregazione è quella bidimensionale in magnitudo e distanza (M-R) che permette di definire il contributo di sorgenti sismogenetiche a distanza R capaci di generare terremoti di magnitudo M. Espresso in altri termini il processo di disaggregazione in M-R fornisce il terremoto che domina lo scenario di pericolosità (terremoto di scenario) inteso come l'evento di magnitudo M a distanza R dal sito oggetto di studio che contribuisce maggiormente alla pericolosità sismica del sito stesso. Analogamente alla disaggregazione in M-R è possibile definire la disaggregazione tridimensionale in M-R-ε dove ε rappresenta il numero di deviazioni standard per cui lo scuotimento (logaritmico) devia dal valore mediano predetto da una data legge di attenuazione dati M ed R.

redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	19 di 63

	dott. geol. PAOLO TRENTI dott. geol. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE'		
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE'	
Provincia	BOLOGNA	
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	

un valore ϵ di 1.13.

I dati disaggregati^d mostrano la distribuzione descritta dalla tabella riportata di seguito

Disaggregazione del valore di $a(g)$ con probabilita' di eccedenza del 5% in 50 anni (Coordinate del punto: lat. 44.467 lon. 11.459 - ID 16954)											
Distanza in km	Magnitudo Mw										
	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	0.0000	19.100	34.200	18.300	6.6700	0.1010	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	1.3600	5.6100	6.8000	4.7600	0.3100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.0000	0.0833	0.8610	1.3300	0.1510	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0000	0.0197	0.2510	0.0597	0.0013	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0208	0.0255	0.0054	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0012	0.0013	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

dall'esame della quale si evince che la classe sismica dominante è individuata da terremoti con magnitudo comprese fra 4.5 e 7.0 il cui epicentro è nell'intervallo di distanza 0-10 km per un totale percentuale del 78.4%. Nell'intervallo di distanze epicentrali 10-20 km è rappresentato il 18.8% dei sismi con magnitudo comprese fra 4.0 e 7.0. Nell'intervallo 0-20 km vi è quindi il 97.2% dei sismi con magnitudo comprese fra 4.0 e 7.0 mentre per $d > 20$ km i sismi rappresentano il restante 2.8%. Gli eventi con Mw nell'intervallo 6.5-7.0, legati soprattutto alla sismicità toscana, rappresentano comunque lo 0.008% e, data la distanza > 30 km, sono da considerarsi ininfluenti.


Nel sito dell'INGV sono anche disponibili gli spettri di risposta a pericolosità uniforme $S_a(T)$ con probabilità di eccedenza in 50 anni. I dati relativi al 50° percentile sono riassunti nella tabella seguente.

Prob. di ecc. in 50 aa	Spettri di risposta a pericolosità uniforme										
	50° percentile (Coordinate del punto: lat. 44.467 lon. 11.459 - ID 16954)										
	Periodo (in sec)										
	0.10	0.15	0.20	0.30	0.40	0.50	0.75	1.00	1.50	2.00	
2%	0.2801	0.5811	0.7189	0.7221	0.6963	0.5849	0.4877	0.2945	0.2053	0.1121	0.0756
5%	0.2157	0.4537	0.5547	0.5376	0.5145	0.4198	0.3529	0.2128	0.1448	0.0789	0.0539
10%	0.1709	0.3613	0.4367	0.4213	0.3976	0.3217	0.2689	0.1632	0.1082	0.0591	0.0400
22%	0.1241	0.2736	0.3203	0.3092	0.2865	0.2263	0.1849	0.1123	0.0741	0.0406	0.0269
30%	0.1066	0.2345	0.2790	0.2700	0.2471	0.1940	0.1587	0.0960	0.0634	0.0349	0.0221
39%	0.0925	0.2018	0.2455	0.2365	0.2165	0.1688	0.1358	0.0812	0.0537	0.0287	0.0184
50%	0.0805	0.1761	0.2143	0.2070	0.1860	0.1460	0.1147	0.0659	0.0437	0.0233	0.0152
63%	0.0696	0.1533	0.1844	0.1766	0.1593	0.1216	0.0970	0.0525	0.0349	0.0186	0.0120
81%	0.0556	0.1238	0.1474	0.1416	0.1232	0.0972	0.0716	0.0368	0.0226	0.0132	0.0080

Dall'analisi dei dati suelencati il catalogo CPTI15 è stato interrogato per parametri, con centro nel punto d'interesse (simboleggiato da un quadrato rosso) e con raggio 30 km, per analizzare i sismi (e le relative intensità MCS) che formano l'*hazard* dell'area, ottenendo i risultati compendati nella grafica a pagina seguente.

^d Tratti da "Convenzione INGV-DPC 2004 – 2006 - Progetto S1 - Proseguimento della assistenza al Dipartimento della Protezione Civile per il completamento e la gestione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 e progettazione di ulteriori sviluppi - Mappe interattive di pericolosità sismica (versione 1.1 - 31 luglio 2007)"

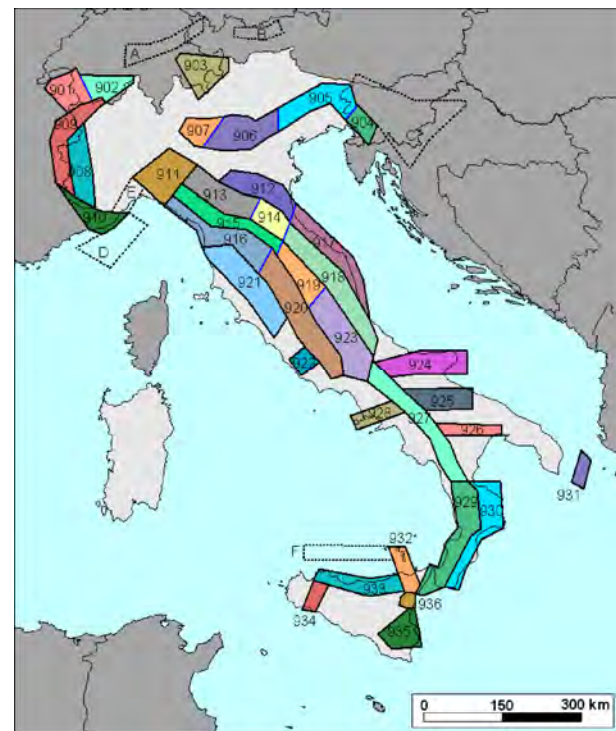
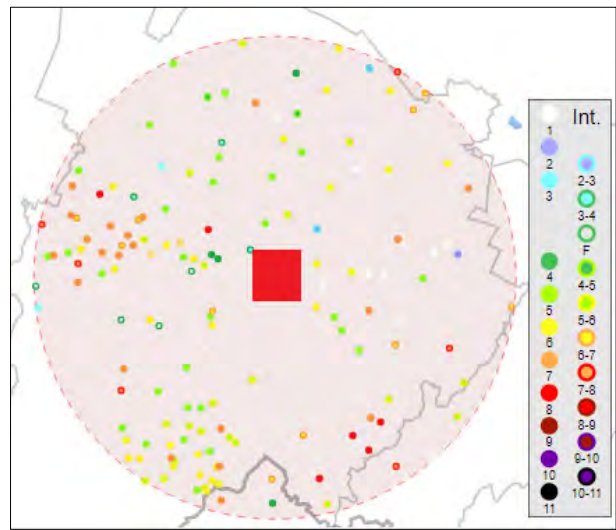
redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R.0	0	05/03/2024	20 di 63

	dott. geol. PAOLO TRENTI dott. geol. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	 Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
 PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE' 		
 Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE'	
 Provincia	BOLOGNA	
 Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	

Gli eventi citati in tabella appartengono alle zone sismogenetiche 912, 913 e 914^e.


Procedendo dal Tirreno all'Adriatico, le zone-sorgente da 912 a 923, longitudinali rispetto all'asse della catena appenninica, modificano le precedenti zone da 27 a 55 di ZS4 sulla base di vedute aggiornate sulla fagliazione attiva e sulla geometria delle sorgenti sismogenetiche. In particolare, le zone 912 e 917 rappresentano la porzione più esterna della fascia in compressione dell'arco appenninico settentrionale, ottenute tenendo conto delle nuove informazioni sulla geometria delle sorgenti sismogenetiche e sul regime di stress in atto. Il numero di terremoti che ricadono nella zona 917 è sicuramente inferiore a quello degli eventi nella zona 912. In quest'ultima, la sismicità sembra evidenziare l'andamento del fronte compressivo sepolto più avanzato (a ridosso del Po). In queste zone si osserva in atto un regime tettonico debolmente compressivo. Strutture compressive (prevalentemente *thrust*) allineate lungo la costa o a breve distanza da essa sono responsabili della sismicità.

Le zone 913, 914 e 918 derivano dalla scomposizione della fascia che da Parma si estende fino all'Abruzzo. In questa fascia accadono terremoti prevalentemente compressivi nella porzione nord-occidentale e probabilmente distensivi in quella più sud-orientale; si possono altresì avere meccanismi trascorrenti nelle zone di svincolo che dissecano la continuità longitudinale delle strutture. L'intera fascia è caratterizzata da terremoti storici che raramente hanno raggiunto valori di magnitudo molto elevati. Le profondità ipocentrali sono mediamente maggiori in questa fascia di quanto non siano in quella più esterna; lo testimoniano anche quegli eventi che hanno avuto risentimenti su aree piuttosto vaste. Queste zone ricadono invece in una fascia di transizione a carattere misto, in cui convivono meccanismi diversi (essenzialmente compressivi a NW e distensivi a SE).



^e Gruppo di Lavoro INGV (2004). Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'OPCM 3274/2003. Zonazione sismogenetica ZS9. Rapporto conclusivo. INGV, Aprile 2004.

redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	21 di 63

	dott. geol. PAOLO TRENTI dott. geol. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE'		
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE'	
Provincia	BOLOGNA	
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	

Per queste zone la Tab. 6 in Gruppo di Lavoro INGV (2004) indica, dopo le analisi di completezza, un valore di $M_{w_{max}}$ pari a 6.14, valore prossimo a quello dei sismi del maggio 2012 (Finale Emilia 20/05/2014 – MI 5.9 [Mw 6.1], Mirandola-S. Felice S.P. 29/05/2012 – MI 5.8 [Mw 5.9] ^f).

6.2. Procedure sperimentali per la determinazione della categoria di suolo

Nel sito in oggetto è stata eseguita una misura del rumore sismico ambientale (HVSr) della durata di 30'.

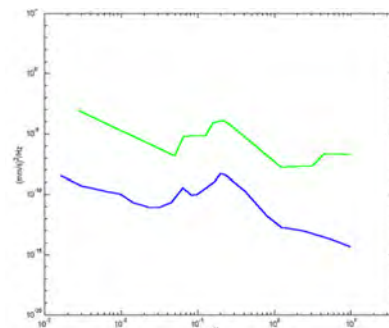
La misura HVSr è stata eseguita con un tromografo digitale progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico. Lo strumento (TROMINO[®], 10 x 7 x 14 cm per 1 kg di peso) è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente, alimentato da 2 batterie AA da 1.5 V, fornito di GPS interno e senza cavi esterni. I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alla frequenza di campionamento di 128 Hz.

6.2.1. Sismica passiva (HVSr)

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Si chiama anche microtremore perché riguarda oscillazioni molto piccole (10^{-15} – 10^{-12} [m/s²]² in termini di accelerazione), molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel campo vicino.

I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi giacché il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva.

Nelle zone in cui non è presente alcuna sorgente di rumore locale, in assenza di vento e nel caso in cui il terreno sia roccioso e pianeggiante, lo spettro in frequenza del rumore di fondo presenta l'andamento illustrato in figura, dove la curva in basso rappresenta il rumore di fondo "minimo" di riferimento secondo il servizio geologico statunitense (USGS) mentre la curva in alto rappresenta il "massimo" di tale rumore e dove i picchi a 0.14 e 0.07 Hz sono comunemente interpretati come originati dalle onde oceaniche. Tali componenti spettrali vengono attenuate pochissimo anche dopo tragitti di migliaia di chilometri per effetto di guida d'onda^g. A tale andamento generale, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie o anche il semplice passeggiare di una persona) e naturali che però si attenuano fortemente a frequenze superiori a 20 Hz, a causa dell'assorbimento anelastico originato dall'attrito interno delle rocce.




Tali componenti spettrali vengono attenuate pochissimo anche dopo tragitti di migliaia di chilometri per effetto di guida d'onda^g. A tale andamento generale, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie o anche il semplice passeggiare di una persona) e naturali che però si attenuano fortemente a frequenze superiori a 20 Hz, a causa dell'assorbimento anelastico originato dall'attrito interno delle rocce.

Nel tragitto dalla sorgente s al sito x le onde elastiche (tanto di terremoto quanto di microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di guida d'onda, attenuazioni che dipendono dalla natura

^f Pondrelli S. *et al.*: Quick regional centroid moment tensor solutions for the Emilia 2012 (northern Italy) seismic sequence. ANNALS OF GEOPHYSICS, 55, 4, 2012; doi: 10.4401/ag-6146.

^g Si intende per guida d'onda il fenomeno per cui un campo di onde tende a rimanere confinato dentro un canale (es. un tubo o una fibra in ottica) a causa delle riflessioni delle onde con l'interfaccia di confinamento. In sismica il fenomeno si verifica nei mezzi stratificati ed è all'origine delle onde di Rayleigh e di Love.

redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	22 di 63

	dott. geol. PAOLO TRENTI dott. geol. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
	PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE	
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE	
Provincia	BOLOGNA	
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	

del sottosuolo attraversato. Questo significa che, se da un lato l'informazione relativa alla sorgente viene persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica di "ray tracing", è presente comunque una parte debolmente correlata nel segnale che può essere estratta e che contiene le informazioni relative al percorso del segnale ed in particolare relative alla struttura locale vicino al sensore.

Dunque, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartata dalla sismologia classica, contiene informazione. Questa informazione è però "sepolta" all'interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune.

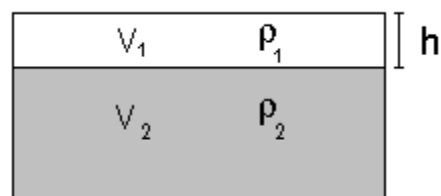
Una di queste è la tecnica dei rapporti spettrali o, semplicemente, HVSR.

Il tipo di stratigrafia che le tecniche di sismica passiva possono restituire si basa sul concetto di contrasto di impedenza. Per strato si intende, cioè, un'unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto di impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo a partire dagli spettri del rumore sismico registrati in un sito. Tra questi la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (HVSR), applicata da Nogoshi e Igarashi (1970). Il metodo fu in seguito reso popolare principalmente da Nakamura (1989) come strumento per la determinazione dell'amplificazione sismica locale. Mentre su questo punto non è ancora stato raggiunto consenso, è invece ampiamente riconosciuto che l'HVSR è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali di risonanza dei sottosuoli. Riconosciuta questa capacità e dato che, se è disponibile una stima delle velocità delle onde elastiche, le frequenze di risonanza possono essere convertite in stratigrafia, ne risulta che il metodo HVSR può essere in linea di principio usato come strumento stratigrafico.

Le basi teoriche dell'HVSR sono relativamente semplici in un sistema stratificato in cui i parametri variano solo con la profondità (1-D).

Considerando il sistema in figura a lato in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità (ρ_1 e ρ_2) e le diverse velocità delle onde sismiche (V_1 e V_2), un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene (parzialmente) riflessa dall'orizzonte che separa i due strati. L'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente (λ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore h del primo strato. In altre parole, la frequenza fondamentale di risonanza (ν) dello strato 1 relativa alle onde P è pari a




$$\nu = V_{P1}/(4 h) \quad [1]$$

mentre quella relativa alle onde S è

$$\nu = V_{S1}/(4 h) \quad [2]$$

redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	23 di 63

	dott. geol. PAOLO TRENTI dott. geol. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE		
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE	
Provincia	BOLOGNA	
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	

Questo effetto è sommabile cosicché la curva HVSR mostra come massimi relativi le frequenze di risonanza dei vari strati. Ciò, insieme ad una stima delle velocità, è in grado di fornire previsioni sullo spessore h degli strati. L'informazione è per lo più contenuta nella componente verticale del moto ma la prassi di usare il rapporto tra gli spettri orizzontali e quello verticale, piuttosto che il solo spettro verticale, deriva dal fatto che il rapporto fornisce un'importante normalizzazione del segnale per il contenuto in frequenza, la risposta strumentale e l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto. La normalizzazione, che rende più semplice l'interpretazione del segnale, è alla base del successo del metodo. Rileviamo inoltre come i microtremori siano solo in parte costituiti da onde di volume, P o S, e in misura molto maggiore da onde superficiali, in particolare da onde di Rayleigh (Lachet e Bard, 1994). Tuttavia, ci si può ricondurre a risonanza delle onde di volume poiché le onde di superficie sono prodotte da interferenza costruttiva di queste ultime e poiché la velocità dell'onda di Rayleigh è molto prossima a quella delle onde S. L'applicabilità pratica della semplice formula [2] è stata già dimostrata in molti studi sia nell'ambito della prospezione geofisica sia nell'ambito ingegneristico (Gallipoli *et al.*, 2000; Mucciarelli e Gallipoli, 2001; Castellaro *et al.*, 2005). Poiché la situazione illustrata è tipica delle coltri sedimentarie sovrastanti basamenti rocciosi, il metodo HVSR è parso immediatamente applicabile alla determinazione dello spessore delle coltri sedimentarie (Ibs-Von Seht e Wohlenberg, 1999).

In questo lavoro i segnali saranno analizzati non solo attraverso i rapporti spettrali HVSR ma anche attraverso gli spettri delle singole componenti, come in Mulargia e Castellaro (2006).

Dalle registrazioni del rumore sismico sono state ricavate e analizzate:

1. le curve HVSR, ottenute col software Grilla in dotazione a TROMINO[®], secondo la procedura descritta in Castellaro *et al.* (2005), con parametri:
 - larghezza delle finestre d'analisi 20^s,
 - lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale,
 - rimozione delle finestre con rapporto STA/LTA (media a breve termine / media a lungo termine) superiore ad 2,
 - rimozione manuale di eventuali transienti ancora presenti.
2. le curve dello spettro di velocità delle tre componenti del moto (ottenute dopo analisi con gli stessi parametri del punto 1).

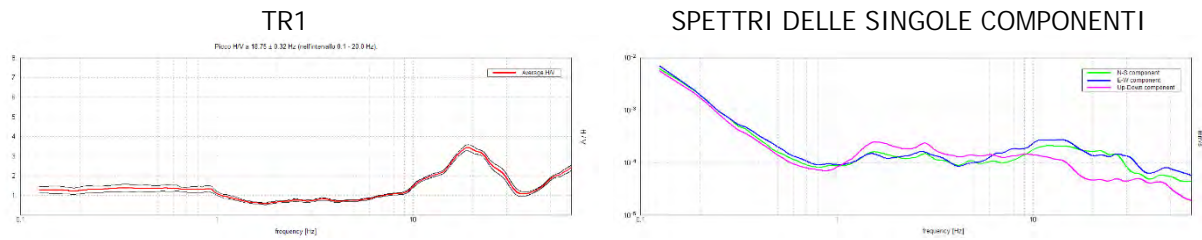
6.2.1.1. Indagine in sismica passiva (HVSR)

In accordo con le indicazioni del protocollo SESAME lo strumento è stato orientato a N.

Dopo le operazioni di elaborazione dati descritte sopra, si sono ottenuti i diagrammi H/V riportati qui di seguito.

redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	24 di 63

PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE'	
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE'
Provincia	BOLOGNA
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA



La ricerca dei picchi da interpretare è stata effettuata, congiuntamente, nel grafico H/V e in quello degli spettri singoli. In particolare, i picchi H/V di origine stratigrafica sono quelli generati da un minimo nelle componenti verticali del moto (N-S e E-W) che significa minimo delle onde di Rayleigh alla frequenza di risonanza. Oltre a questo, può esistere un massimo nelle componenti orizzontali del modo, (massimo delle onde SH).

Il tracciato, procedendo dalle alte frequenze verso le basse, cioè dalla superficie in profondità, presenta un primo picco a frequenza $\cong 18.75$ Hz, dovuto al contatto fra i terreni superficiali e le sottostanti ghiaie. Al di sotto è presente un picco a 10.2 Hz, che indica la presenza di alternanze nello strato ghiaioso. Più in profondità, senza contrasti d'impedenza evidenti, vi è il passaggio con la Formazione delle Sabbie di Imola (IMO).

Il picco di risonanza principale del sito si colloca alla frequenza di 18.75 Hz con un valore del rapporto H/V attorno a 3.5, stimatore di medio-alta amplificazione sismica.

6.2.2. Modello sismico del sottosuolo

Allo scopo di creare un modello sismico del sito, è stata eseguita l'inversione delle curve H/V mirando a far corrispondere le frequenze dei picchi principali e la forma generale della curva (tecnica del "best fit").

L'ancoraggio fornito da indagini in sito nella disponibilità degli scriventi, stabilendo la profondità h del primo strato fonte di contrasto d'impedenza e la sua Vs ha dato, con le notazioni sovrariportate, la possibilità di passare da un modello sismico "relativo" a uno vincolato^h.

Nell'inversione sono state seguite le procedure descritte in Arai e Tokimatsu (2004), usando il solo modo fondamentale delle onde di Rayleigh e Love.

Nella tabella riportata di seguito vi sono i parametri usati nel modello e nella figura il confronto tra la curva H/V teorica e sperimentale e gli spettri delle singole componenti ed il modello sismico del sottosuolo sviluppato per il calcolo di Vs₃₀.

TR1

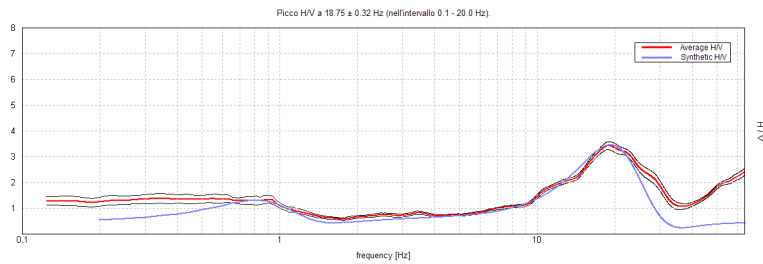
Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
3.50	3.50	287
11.80	8.30	575
171.80	160.00	620
∞	∞	975

Parametri del modello.

^h Castellaro S, Mulargia F.: Stime di Vs₃₀ a stazione singola tramite misure H/V vincolate. GNGTS, Roma, Novembre 2007.

redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	24.001.240305.R0	0	05/03/2024	25 di 63

PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE	
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE
Provincia	BOLOGNA
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA



Confronto tra curva H/V teorica e sperimentale.

Applicando il procedimento di calcolo indicato dall'OPCM 3274/2003 e dalle NTC18, per le misure eseguite si ottiene, assumendo un'incertezza associata alla stima pari al 20%ⁱ:

TR1

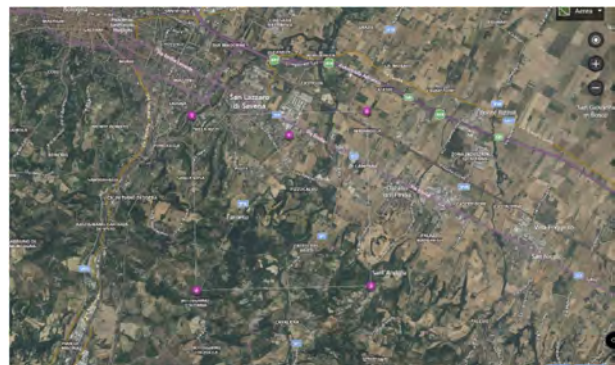
$$Vs_{30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{Vs_i}} = 536m/s \pm 20\%$$

Il sottosuolo, tenendo conto delle incertezze, sarebbe quindi classificabile in categoria B.

Essendo il sito pianeggiante è attribuibile la categoria topografica T1.

6.3. Parametri sismici di sito

Il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono. Alla scala della singola opera o del singolo sistema geotecnico, la risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (sottosuolo di categoria A, definito al § 3.2.2 NTC18).




6.3.1. Pericolosità sismica di base

Vita nominale (Vn):	50	[anni]
Classe d'uso:	III	-
Coefficiente d'uso (Cu):	1.5	-
Periodo di riferimento (Vr):	75	[anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLO:	45	[anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLD:	75	[anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLV:	712	[anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLC:	1462	[anni]
Tipo di interpolazione:	Media ponderata	

ⁱ Asten e Boore, 2005; Mulargia e Castellaro, 2009.

redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	26 di 63

	dott. geol. PAOLO TRENTI dott. geol. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
	PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE'	
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE'	
Provincia	BOLOGNA	
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	

Coordinate geografiche del punto		
Latitudine (WGS84):	44.4597244	[°]
Longitudine (WGS84):	11.4271688	[°]
Latitudine (ED50):	44.4606628	[°]
Longitudine (ED50):	11.4281588	[°]

Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito e valori della distanza rispetto al punto in esame.

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	16953	44.466270	11.389300	3146.17
2	16954	44.467480	11.459280	2583.40
3	17176	44.417500	11.460970	5461.02
4	17175	44.416280	11.391050	5747.83

Parametri di pericolosità sismica per TR diversi da quelli previsti nelle NTC18, per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento.

Punto 1


Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
	30	0.056	2.473	0.258
SLO	45	0.066	2.465	0.268
	50	0.070	2.462	0.271
	72	0.080	2.475	0.277
SLD	75	0.082	2.474	0.278
	101	0.093	2.463	0.284
	140	0.107	2.451	0.286
	201	0.124	2.426	0.288
	475	0.171	2.378	0.310
SLV	712	0.195	2.396	0.314
	975	0.216	2.411	0.317
SLC	1462	0.242	2.435	0.324
	2475	0.280	2.468	0.332

Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
	30	0.057	2.466	0.259
SLO	45	0.068	2.450	0.268
	50	0.071	2.446	0.271
	72	0.083	2.452	0.277
SLD	75	0.084	2.452	0.278
	101	0.096	2.454	0.282
	140	0.111	2.434	0.284
	201	0.129	2.404	0.288
	475	0.178	2.369	0.309
SLV	712	0.203	2.388	0.314
	975	0.225	2.404	0.317
SLC	1462	0.253	2.427	0.324
	2475	0.294	2.459	0.332

Punto 3

redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	27 di 63

	dott. geol. PAOLO TRENTI dott. geol. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
	PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE'	
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE'	
Provincia	BOLOGNA	
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.059	2.463	0.260
	45	0.072	2.443	0.267
	50	0.075	2.438	0.269
	72	0.088	2.435	0.276
SLD	75	0.089	2.436	0.276
	101	0.101	2.447	0.280
	140	0.116	2.448	0.283
	201	0.134	2.438	0.284
SLV	475	0.182	2.434	0.296
	712	0.207	2.455	0.303
	975	0.229	2.471	0.309
	1462	0.256	2.503	0.316
SLC	2475	0.296	2.545	0.325

Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.058	2.472	0.259
	45	0.069	2.457	0.268
	50	0.073	2.454	0.270
	72	0.084	2.460	0.276
SLD	75	0.086	2.460	0.277
	101	0.096	2.457	0.282
	140	0.110	2.471	0.285
	201	0.127	2.457	0.286
SLV	475	0.173	2.449	0.296
	712	0.196	2.464	0.303
	975	0.216	2.475	0.309
	1462	0.241	2.501	0.315
SLC	2475	0.279	2.534	0.324

Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	45	0.068	2.454	0.268
SLD	75	0.085	2.457	0.277
SLV	712	0.200	2.414	0.310
SLC	1462	0.248	2.455	0.321

6.4. Pericolosità sismica di sito

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ : 5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$: 1.000

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica:

T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°

Stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.016	0.020	0.067	0.081
kv	0.008	0.010	0.034	0.040
amax [m/s ²]	0.805	0.997	2.355	2.822
Beta	0.200	0.200	0.280	0.280

Muri di sostegno NTC 2018

redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	28 di 63

PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE

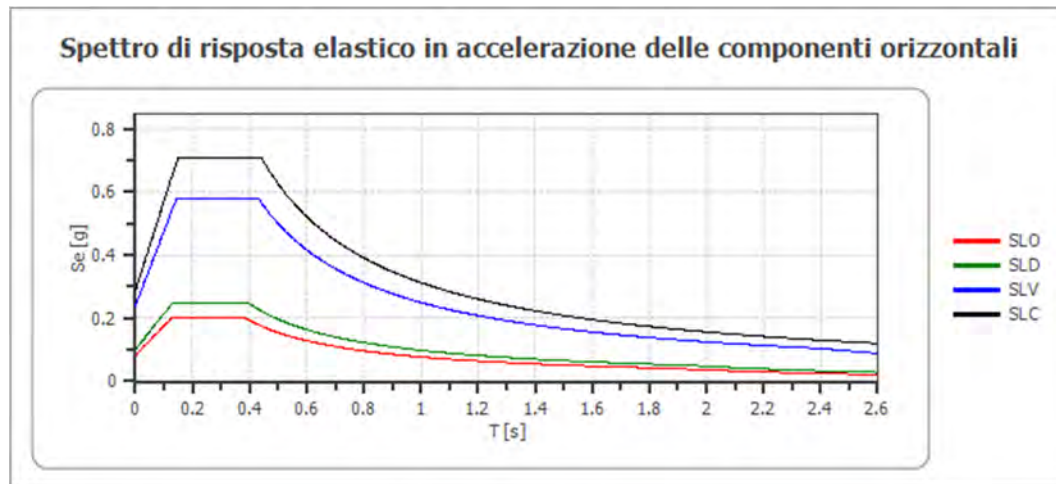
Comune SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE

Provincia BOLOGNA

Committente COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.048	0.091	--
kv	--	0.024	0.046	--
amax [m/s ²]	0.805	0.997	2.355	2.822
Beta	--	0.470	0.380	--

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1.5	0.068	2.454	0.268	1.200	1.430	1.000	1.200	1.000	0.128	0.383	1.874	0.082	0.201
SLD	1.5	0.085	2.457	0.277	1.200	1.420	1.000	1.200	1.000	0.131	0.394	1.939	0.102	0.250
SLV	1.5	0.200	2.414	0.310	1.200	1.390	1.000	1.200	1.000	0.144	0.431	2.400	0.240	0.580
SLC	1.5	0.248	2.455	0.321	1.160	1.380	1.000	1.160	1.000	0.148	0.443	2.592	0.288	0.706

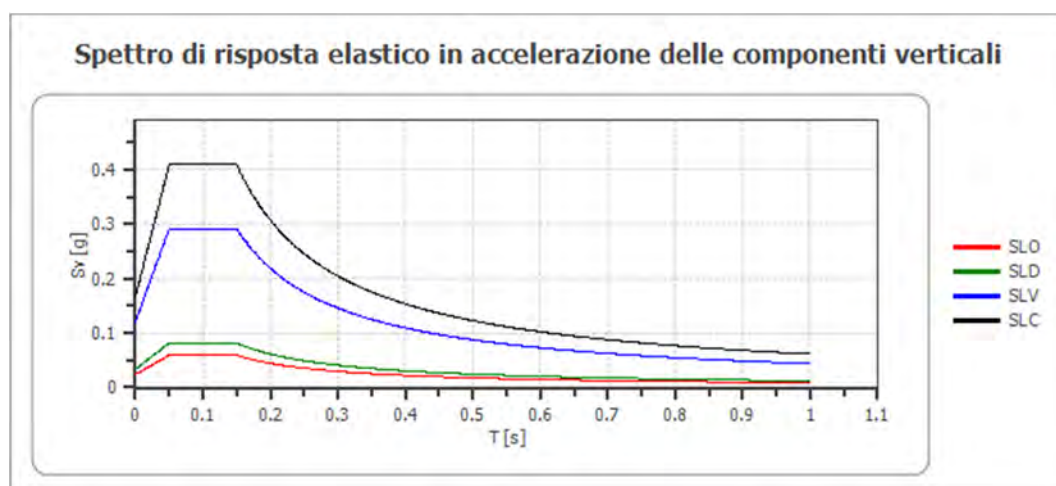
Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ :


5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$:

1.000




redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	24.001.240305.R0	0	05/03/2024	29 di 63

	dott. geol. PAOLO TRENTI dott. geol. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
	PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE	
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE	
Provincia	BOLOGNA	
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	

	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1.5	0.068	2.454	0.268	1	1.430	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.024	0.059
SLD	1.5	0.085	2.457	0.277	1	1.420	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.033	0.082
SLV	1.5	0.200	2.414	0.310	1	1.390	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.121	0.292
SLC	1.5	0.248	2.455	0.321	1	1.380	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.167	0.409

redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	30 di 63

	dott. geol. PAOLO TRENTI dott. geol. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE'		
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE'	
Provincia	BOLOGNA	
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	

7. MODELLO GEOTECNICO

Come accennato nelle premesse, l'acquisizione dei dati geomeccanici dei terreni costituenti il sottosuolo dell'area in studio è stata realizzata mediante l'esecuzione di tre prove penetrometriche dinamiche con penetrometro dinamico medio (DPM), il prelievo di un campione di terreno ed esecuzione di prova di taglio Casagrande C.D. e il rilievo del livello statico della prima falda.

L'ubicazione delle indagini è riportata in allegato.

7.1. Prova penetrometrica dinamica

Ogni prova penetrometrica è stata eseguita utilizzando un penetrometro dinamico montato su un cingolato, che ricade nella categoria DPM (penetrometro dinamico medio) secondo la suddivisione ISSMFE 1988.

Per infiggere la punta conica, un maglio di massa 30 kg è fatto cadere ripetutamente da un'altezza di 0.20 m su di una testa di battuta. La testa di battuta è collegata rigidamente alla punta mediante aste di prolunga di 1.0 m ciascuna. La resistenza alla penetrazione che offre il terreno è data dal numero dei colpi necessari per infiggere la punta conica per un tratto definito (0.10 m). L'energia cinetica che possiede lo strumento è determinata dal prodotto della massa del maglio utilizzato per l'accelerazione di gravità e per l'altezza di



caduta. Poiché le caratteristiche litologiche dei terreni presenti in zona garantivano ottime capacità di autosostentamento delle pareti del foro, si è operato senza l'uso di rivestimenti: al fine di verificare l'assenza dell'attrito laterale si sono ruotate le aste per un giro e mezzo dopo ogni metro d'infissione. Nei rapporti di prova in allegato sono riportati, in funzione della profondità, il numero dei colpi di maglio necessari per ottenere un avanzamento di 10 cm della punta del penetrometro e la resistenza dinamica alla penetrazione, quest'ultima espressa in MPa.

L'analisi dei risultati delle prove penetrometriche è stata eseguita impiegando le metodologie di valutazione illustrate nei paragrafi seguenti.


7.1.1. Resistenza alla penetrazione dinamica

La "formula degli olandesi" permette di ricavare R_d (resistenza di rottura dinamica alla punta), parametro caratteristico dello stato di addensamento di un terreno incoerente e della consistenza di un terreno coesivo, in funzione di M (peso massa battente), e (n° colpi per un avanzamento di 10 cm), A (sezione punta conica), P (peso delle aste di prolunga), P_p (peso della massa passiva).

$$R_d = \frac{M \times M \times h}{A \times e \times (M + P + P_p)}$$

Dal valore N_{10} (numero dei colpi necessari per conseguire un'infissione pari a 0.10 m) relativo al penetrometro

redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	31 di 63

	dott. geol. PAOLO TRENTI dott. geol. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
	PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE	
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE	
Provincia	BOLOGNA	
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	

usato si può risalire al valore N_{SPT} mediante la seguente relazione :

$$0.7 N_{SPT} \geq N_{10} \geq 1.2 N_{SPT}$$

Conoscendo la natura del terreno e N_{10} si può ricavare N_{SPT} dalla seguente tabella.

Terreni prevalentemente coesivi	Terreni prevalentemente granulari
$N_{10}/N_{SPT} \geq 0.7-0.8$ per $8 \leq N_{10} \leq 14$	$N_{10}/N_{SPT} \geq 0.95-1.0$ per $8 \leq N_{10} \leq 15$
$N_{10}/N_{SPT} \geq 0.8-1.0$ per $14 \leq N_{10} \leq 18$	$N_{10}/N_{SPT} \geq 1.0-1.2$ per $15 \leq N_{10} \leq 30$

7.1.2. Resistenza al taglio

I metodi d'interpretazione delle prove penetrometriche sulla resistenza al taglio fanno riferimento a correlazioni di tipo sperimentale o a soluzioni differenti nel caso si tratti di terreni incoerenti o di terreni coerenti. Nel caso di terreni incoerenti un metodo di facile applicabilità e con ottima correlazione sperimentale è quello della Road Bridge Specification. Questo metodo è valido sia per le sabbie sia per le sabbie fini limose.

Il metodo si basa sulla seguente relazione :

$$\phi = \sqrt{(a * N_{spt}) + b}$$

con a e b coefficienti adimensionali sperimentali e con N_{SPT} uguale al numero dei colpi medio per lo strato considerato.

Nel caso di terreni prevalentemente coesivi nel calcolo della resistenza al taglio in termini di tensioni totali (c_u) bisogna tenere presente che nessuna correlazione tiene conto delle pressioni efficaci e del grado di sovraconsolidazione (OCR). In genere i metodi rinvenibili nella letteratura specializzata si applicano ad argille non sensitive e portano a una sottostima della coesione non drenata nel caso di materiali con elevato indice di sensibilità.

È stata adottata la correlazione proposta da Benassi e Vannelli su esperienze della ditta Sunda (1983) e tarata per i nostri terreni che si può riassumere come di seguito:

$$q_c = 1.5 \div 2.0 N_{SPT}$$


$$N_k = 3/20 q_c + 12$$


$$c_u = (q_c - \sigma'_{v0})/N_k$$

7.1.3. Densità relativa

La determinazione della densità relativa (D_r), associata ad altre informazioni circa la composizione granulometrica del materiale e la storia dello stato tensionale del deposito, risulta di grande interesse nelle analisi di problemi associati alla probabilità di liquefazione di depositi sabbiosi saturi. E' inoltre un utile elemento di stima del comportamento di terreni prevalentemente granulari in campo statico.

Per la determinazione della densità relativa sono applicati vari metodi, tra cui quelli di Gibbs e Holtz (per depositi normal consolidati) e quello di Peck e Bazaara per depositi sovraconsolidati.

redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	32 di 63

	dott. geol. PAOLO TRENTI dott. geol. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
	PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE	
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE	
Provincia	BOLOGNA	
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	

Il metodo, che si basa sulle seguenti relazioni

$$D_r = \sqrt{\frac{N_{spt}}{20 * (1 + a * \sigma)}} \quad \text{per } \sigma \leq 70 \text{ kPa}$$

$$D_r = \sqrt{\frac{N_{spt}}{20 * (3.25 + a * \sigma)}} \quad \text{per } \sigma > 70 \text{ kPa}^j$$

risponde meglio ai casi studiati e può essere impiegato sia per le sabbie fini sia per quelle grossolane, per qualunque valore di pressione efficace.

7.1.4. Parametri di deformabilità

Le resistenze misurate alla punta del penetrometro danno una misura delle caratteristiche del terreno solo a grandi deformazioni. Tuttavia, da numerosi studi noti in letteratura e da correlazioni sperimentali con prove di laboratorio, una valutazione del modulo elastico E in condizioni edometriche per i terreni prevalentemente granulari può essere eseguita con sufficiente approssimazione tramite la relazione:

$$E = B * \sqrt{N_{spt}}^k$$

Questa relazione riassume, interpolandoli, i risultati sperimentali ottenuti da diversi autori, le cui correlazioni si possono facilmente rinvenire nella bibliografia specializzata.

Per quanto riguarda i terreni prevalentemente coesivi si fa riferimento alla correlazione proposta da Sanglerat:

$$E = \beta * N_{spt}^l$$

7.2. Rilievo del livello statico della falda

La lettura piezometrica è stata eseguita con un freatimetro elettrico di produzione OTR – Milano. Lo strumento è dotato di un cavo centimetrato che collega un sensore con il sistema elettronico di misura. Quando l'acqua chiude il circuito, si attiva un segnale ottico e acustico. L'operatore rileva, direttamente sul cavo centimetrato, il livello dell'acqua dalla quota di riferimento (piano di calpestio, testa del tubo ecc.).

7.3. Analisi dei risultati

7.3.1. Prove penetrometriche

Dall'elaborazione dei dati rilevati durante l'esecuzione dell'indagine in sito, secondo i criteri illustrati nel capitolo precedente, è stata ricavata la seguente parametrizzazione geotecnica.

DPM1^m

^j Dove:

- a = coefficiente adimensionale;
- σ = pressione litostatica efficace.

^k Con B = 7 Mpa.

^l Con $\beta = 10^{1.163-0.029 * N_{spt}}$.

^m Prof: profondità strato; Tipo: **Coesivo - Incoerente - CI** intermedio; γ : Peso unità di volume; γ_s : Peso unità di volume saturo; cu: Coesione non drenata; ϕ : Angolo di attrito; Ed: modulo edometrico; G: modulo di taglio; DR: densità relativa.

redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	33 di 63



dott. GEOL. PAOLO TRENTI
dott. GEOL. MARIA CRISTINA VERRECCHIA

Oggetto

modello geologico, sismico, geotecnico


PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE'	
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA - VIA FONDE'
Provincia	BOLOGNA
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA

Profondità	NSPT	Tipo terreno	γ	γ_s	cu	ϕ	Ed	G	DR
m	-	-	kN/mc	kN/mc	kPa	°		kPa	%
0.1	0.8	IC	14.32	18.04	11.4	27	930	4860	22
0.2	0.8	IC	14.32	18.04	11.4	27	930	4860	21
0.3	3.0	IC	15.98	18.24	46.2	28	3180	17900	42
0.4	1.5	IC	14.91	18.14	23.1	27	1680	9330	30
0.5	2.3	IC	15.49	18.14	34.5	28	2430	13660	36
0.6	3.8	IC	16.48	18.34	57.6	28	3930	22080	46
0.7	2.3	IC	15.49	18.14	34.5	28	2430	13660	35
0.8	3.0	IC	15.98	18.24	46.2	28	3180	17900	40
0.9	2.3	IC	15.49	18.14	32.4	28	2430	13660	35
1.0	4.5	IC	16.97	18.34	64.8	28	4690	26260	48
1.1	9.8	IC	19.22	21.18	140.4	30	9940	54270	70
1.2	24.8	IC	20.79	21.77	356.7	34	24960	130280	100
1.3	12.0	IC	19.81	21.77	172.8	31	12200	66000	76
1.4	9.0	IC	19.02	20.89	129.6	30	9190	50340	65
1.5	8.3	IC	18.73	20.59	118.8	29	8440	46390	62
1.6	5.3	IC	17.36	18.44	75.6	29	5440	30350	49
1.7	3.8	IC	16.48	18.34	54.0	28	3930	22080	41
1.8	4.5	IC	16.97	18.34	64.8	28	4690	26260	45
1.9	3.8	IC	16.48	18.34	51.0	28	3930	22080	40
2.0	4.5	IC	16.97	18.34	61.2	28	4690	26260	44
2.1	6.0	IC	17.75	18.53	81.6	29	6190	34400	50
2.2	6.0	IC	17.75	18.53	81.6	29	6190	34400	50
2.3	7.5	IC	18.44	18.63	102.0	29	7690	42420	55
2.4	6.8	IC	18.14	18.53	91.8	29	6940	38420	52
2.5	6.0	IC	17.75	18.53	81.6	29	6190	34400	49
2.6	5.3	IC	17.36	18.44	71.4	29	5440	30350	45
2.7	4.5	IC	16.97	18.34	61.2	28	4690	26260	41
2.8	5.3	IC	17.36	18.44	71.4	29	5440	30350	44
2.9	7.5	IC	18.44	18.63	96.3	29	7690	42420	53
3.0	9.8	IC	19.22	21.18	125.1	30	9940	54270	59
3.1	8.3	IC	18.73	20.59	105.9	29	8440	46390	54
3.2	7.5	IC	18.44	18.63	96.3	29	7690	42420	51
3.3	13.5	IC	20.10	22.06	173.4	31	13700	73710	68
3.4	9.8	IC	19.22	21.18	125.1	30	9940	54270	58
3.5	15.8	IC	20.30	22.36	202.2	32	15950	85190	73
3.6	92.4	I	19.28	21.76	--	40	21300	448780	100
3.7	112.7	I	18.79	21.44	--	42	25380	540830	100
3.8	172.7	I	13.48	18.08	--	45	37490	808280	100

DPM2

Profondità	NSPT	Tipo terreno	γ	γ_s	cu	ϕ	Ed	G	DR
m	-	-	kN/mc	kN/mc	kPa	°		kPa	%
0.1	0.8	IC	14.32	18.04	11.4	27	930	4860	22
0.2	0.8	IC	14.32	18.04	11.4	27	930	4860	21
0.3	1.5	IC	14.91	18.14	23.1	27	1680	9330	30
0.4	2.3	IC	15.49	18.14	34.5	28	2430	13660	36
0.5	1.5	IC	14.91	18.14	23.1	27	1680	9330	29
0.6	1.5	IC	14.91	18.14	23.1	27	1680	9330	29
0.7	1.5	IC	14.91	18.14	23.1	27	1680	9330	29
0.8	2.3	IC	15.49	18.14	34.5	28	2430	13660	35
0.9	2.3	IC	15.49	18.14	32.4	28	2430	13660	35
1.0	2.3	IC	15.49	18.14	32.4	28	2430	13660	34
1.1	3.0	IC	15.98	18.24	43.3	28	3180	17900	39
1.2	3.0	IC	15.98	18.24	43.3	28	3180	17900	39
1.3	3.0	IC	15.98	18.24	43.3	28	3180	17900	38
1.4	3.8	IC	16.48	18.34	54.0	28	3930	22080	43
1.5	4.5	IC	16.97	18.34	64.8	28	4690	26260	46
1.6	5.3	IC	17.36	18.44	75.6	29	5440	30350	50
1.7	6.0	IC	17.75	18.53	86.4	29	6190	34400	52
1.8	7.5	IC	18.44	18.63	108.0	29	7690	42420	58
1.9	11.3	IC	19.61	21.57	152.7	30	11440	62070	70
2.0	15.8	IC	20.30	22.36	213.9	32	15950	85190	83
2.1	76.6	I	19.20	21.72	--	41	18120	376360	100
2.2	90.1	I	19.29	21.77	--	43	20850	438500	100

redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R.0	0	05/03/2024	34 di 63

	dott. geol. PAOLO TRENTI dott. geol. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
	PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE'	
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE'	
Provincia	BOLOGNA	
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	

2.3	142.7	I	16.86	20.21	--	45	31440	675400	100
-----	-------	---	-------	-------	----	----	-------	--------	-----

DPM3

Profondità	NSPT	Tipo terreno	γ	γ_s	cu	ϕ	Ed	G	DR
m	-	-	kN/mc	kN/mc	kPa	°		kPa	%
0.1	0.8	IC	14.32	18.04	11.4	27	930	4860	22
0.1	0.8	IC	14.32	18.04	11.4	27	930	4860	22
0.2	0.8	IC	14.32	18.04	11.4	27	930	4860	21
0.3	2.3	IC	15.49	18.14	34.5	28	2430	13660	37
0.4	3.0	IC	15.98	18.24	46.2	28	3180	17900	42
0.5	3.0	IC	15.98	18.24	46.2	28	3180	17900	41
0.6	3.0	IC	15.98	18.24	46.2	28	3180	17900	41
0.7	3.0	IC	15.98	18.24	46.2	28	3180	17900	41
0.8	3.0	IC	15.98	18.24	46.2	28	3180	17900	40
0.9	3.8	IC	16.48	18.34	54.0	28	3930	22080	45
1.0	3.0	IC	15.98	18.24	43.3	28	3180	17900	39
1.1	3.8	IC	16.48	18.34	54.0	28	3930	22080	44
1.2	6.8	IC	18.14	18.53	97.2	29	6940	38420	58
1.3	12.8	IC	19.91	21.87	183.6	31	12950	69860	79
1.4	14.3	IC	20.20	22.26	205.2	31	14450	77550	82
1.5	12.8	IC	19.91	21.87	183.6	31	12950	69860	77
1.6	11.3	IC	19.61	21.57	162.0	30	11440	62070	72
1.7	9.8	IC	19.22	21.18	140.4	30	9940	54270	66
1.8	7.5	IC	18.44	18.63	108.0	29	7690	42420	57
1.9	17.3	IC	20.50	22.56	234.3	32	17450	92790	86
2.0	18.8	IC	20.50	22.56	254.7	33	18950	100340	89
2.1	15.8	IC	20.30	22.36	213.9	32	15950	85190	81
2.2	23.3	IC	20.69	21.38	315.6	34	23460	122860	97
2.3	27.8	IC	20.99	22.56	376.8	35	27970	145110	100
2.4	20.3	IC	20.59	20.59	275.1	33	20460	107910	89
2.5	15.8	IC	20.30	22.36	213.9	32	15950	85190	78
2.6	11.3	IC	19.61	21.57	152.7	30	11440	62070	65
2.7	8.3	IC	18.73	20.59	111.9	29	8440	46390	55
2.8	7.5	IC	18.44	18.63	102.0	29	7690	42420	52
2.9	10.5	IC	19.42	21.38	134.7	30	10690	58180	61
3.0	9.0	IC	19.02	20.89	115.5	30	9190	50340	56
3.1	25.5	IC	20.79	21.97	327.4	35	25710	133990	94
3.2	26.3	IC	20.79	22.16	336.9	35	26460	137680	95
3.3	32.3	I	16.86	20.29	--	37	9200	167090	100
3.4	69.1	I	19.02	21.62	--	42	16610	341570	100
3.5	105.1	I	19.05	21.61	--	45	23870	516050	100
3.6	7.5	I	18.44	18.63	96.3	48	7690	690530	100
3.7	175.7	I	13.07	17.82	--	48	38090	821460	100
2.3	142.7	I	16.86	20.21	--	45	31440	675400	100


Il sottosuolo vede la presenza di terreni superficiali limoso sabbiosi debolmente argillosi di potenza media attorno a 3.5 m. Nella posizione DPM 2 la prova si è arrestata a causa della presenza di un ciottolo imperforabile. Al di sotto di 3.5 m sono presenti delle ghiaie grossolane e addensate che si sono dimostrate a loro volta imperforabili dopo una penetrazione di pochi intervalli di avanzamento.

I fori, indagati con freaticometro, hanno evidenziato l'assenza della prima falda superficiale fino alla massima profondità indagata. L'individuazione della falda è legata al tipo di incarico ricevuto e al periodo di osservazione strettamente connesso con l'incarico.

7.4. Prove di Laboratorio Geotecnico

Come in precedenza indicato, il campione prelevato nel corso delle terebrazioni è stato conferito al Laboratorio Geotecnico. Preparata un'idonea quantità di materiale, esso è stato sottoposto a prova di taglio in scatola di

redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	35 di 63

	dott. geol. PAOLO TRENTI dott. geol. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
	PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE	
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE	
Provincia	BOLOGNA	
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	

Casagrande, in condizioni consolidate e drenate. Si è operato su di un campione rimaneggiato e ricostruito per ricavare i valori della resistenza allo "stato critico", più indicati e cautelativi per l'analisi della stabilità dei versanti. La Normativa di riferimento è la UNI CEN ISO/TS 17892-10, Norma AGI(1994), ASTM D3080-03.

Nella tabella che segue sono indicati i risultati desunti dall'elaborazione dei dati ricavati dalla prova.

SONDAGGIO	PROFONDITA'	Tensioni verticali	c'	ϕ'
n°	m	kPa	kPa	°
C1	0.50-1.00	49-98-196	4.6	21.9

7.5. Determinazione dei parametri geotecnici caratteristici

7.5.1. Approccio teorico

L'Eurocodice 7: "Eurocode 7: Geotechnical design - Part 1: General rules", introduce il concetto dei valori caratteristici dei parametri geotecnici. Il valore caratteristico, inteso come "una stima cautelativa del parametro che influenza l'insorgere dello stato limite in considerazione", dovrà essere utilizzato in qualsiasi tipo di verifica geotecnica, sia si tratti di SLU (stati limite ultimi ovvero potenziale presenza di una superficie di rottura) o di SLE (stati limite di esercizio ossia deformazioni di tipo elastico o di consolidazione a prescindere dallo stato di rottura).

Lo stesso concetto fa parte della più ampia trattazione agli stati limite (SL), volta ad armonizzare la progettazione strutturale con quella geotecnica.

Si pone in evidenza che l'unica metodologia delineata dall'EC7 per la definizione dei valori caratteristici è di natura statistica. Questa non è resa obbligatoria (non costituisce un "principio" e pertanto non deve essere necessariamente adottata dai singoli stati membro); tuttavia, non sono esplicitamente espressi altri metodi di natura oggettiva, se non, al punto 2.4.5.2 12(P), l'eventuale utilizzo di tavole standardizzate (a discrezione degli stati membri). Il ricorso a valori caratteristici tabulati ha un costo, che consiste nella maggiorazione della cautela e il conseguente sovradimensionamento delle strutture di fondazione; infatti, il citato punto precisa che "... when using standard tables of characteristic values related to soil investigation parameters, the characteristic value shall be selected as a very cautious value".


Se si utilizzano metodi statistici, la derivazione del valore caratteristico deve essere tale che la probabilità calcolata di un valore peggiore (più sfavorevole) che governi l'insorgere dello stato limite in considerazione non sia maggiore del 5%. Si tratta pertanto di un margine conservativo del 5% (che può coincidere, secondo i casi, con un 5° percentile o un 95° percentile della distribuzione statistica in considerazione), il quale ci garantisce probabilisticamente di avere un 95% dei casi per i quali il valore caratteristico ci cautele.

Ne deriva che:

- una stima cautelativa del valore medio è una selezione del valore medio del limitato insieme dei valori del parametro geotecnico, con un livello di confidenza del 95%;
- dove l'analisi riguarda una rottura locale, una stima cautelativa del "low value" è il 5° frattile.

Con riferimento al punto a) va specificato che si cita il valore medio poiché molto di frequente è questo il

redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	36 di 63

	dott. geol. PAOLO TRENTI dott. geol. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE'		
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE'	
Provincia	BOLOGNA	
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	

valore che è ritenuto governare l'insorgere dello stato limite. Si tratta del valore medio del campione dei dati (campione generalmente piuttosto limitato in geotecnica) all'interno del volume di suolo (o dello spessore, lungo la profondità) interessato dalla potenziale superficie di rottura.

La frase "*una selezione del valor medio*" indica che dobbiamo scegliere tra un set di valori medi. Benché la media del parametro all'interno del volume di suolo interessato dalla potenziale superficie di rottura sia unica, il fatto che noi estraiamo un campione generalmente limitato di dati implica l'esistenza di una incertezza, la cosiddetta *incertezza epistemica*.

Ossia, se abbiamo estratto un campione con un certo valor medio di ϕ , non è detto che un altro campione casualmente estratto nello stesso volume di suolo mostri di nuovo la medesima media.

Ne discende che il calcolo da eseguire è quello dell'intervallo di confidenza della media al 90%, il cui *lower* (o *upper*) *bound* delimiti una regione con livello di confidenza del 95%. Quindi, rammentando che se $\Pr(x_1 < X < x_2) = 0.9$, per motivi di simmetria $\Pr(X < x_2) = 0.95$.

La citata frase del punto a) corrisponde pertanto ad affermare che bisogna selezionare un 5° percentile della distribuzione della media. La distribuzione del valor medio, nel caso di distribuzione normale, è generalmente calcolata utilizzando la *t* di Student a $n-1$ gradi di libertà e ipotizzando che la media del campione coincida con la media della popolazione, usando la seguente relazione:

$$x_k = \bar{x} \pm t_{n-1}^{0.95} \left(\frac{s}{\sqrt{n-1}} \right)^n \quad [4]$$


Si pone in evidenza che in questo lavoro si utilizza l'*unbiased estimator* per la deviazione standard della popolazione, per cui il dividendo sotto radice risulta essere $n-1$.

In riferimento al punto b), questo caso si differenzia dall'antecedente quando la rottura sia "*locale*", ossia interessi volumi relativamente piccoli del terreno. Questo avviene generalmente in casi di verifica alla rottura alla punta di pali di piccolo diametro e micropali o di fondazioni di larghezza contenuta, ma è comunque da verificare in base alle oscillazioni stocastiche dei valori di resistenza del terreno (tali oscillazioni sono materializzate ad esempio dal segnale delle penetrometrie continue). Se la superficie di rottura può svilupparsi in un piccolo volume di terreno, lo stato limite ultimo potrebbe essere governato da una fluttuazione statistica meno resistente e non dalla media di tutte le fluttuazioni, come avviene invece nel caso di grandi volumi di rottura. In definitiva, nell'ipotesi di piccoli volumi interessati dalla superficie di rottura, il valore caratteristico consiste nel 5° percentile della distribuzione del campione (e non della media campionaria). Questa è l'interpretazione più comune del valore caratteristico da parte della comunità dei tecnici; tale interpretazione

ⁿ Ove

- x_k = valore caratteristico desiderato
- \bar{x} = valore medio (ignoto) della popolazione, ipotizzato essere il valore medio del campione
- t = valore caratteristico della distribuzione di Student a $n-1$ gradi di libertà con probabilità $u = 95\%$
- s = deviazione standard del campione
- n = numero dei dati

redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	37 di 63

	dott. geol. PAOLO TRENTI dott. geol. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
	PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE	
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE	
Provincia	BOLOGNA	
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	

risulta incompleta ed erronea se applicata indiscriminatamente, ossia non in relazione al volume interessato dalla rottura. La formula da applicare quindi è la seguente:

$$X_k = \bar{X} \pm Z_{0,05} \cdot S \approx \bar{X} \pm 1.645 \cdot S \text{ } [5]$$

L'ampiezza della zona del terreno che governa il comportamento del sistema geotecnico nello stato limite considerato è quindi uno dei fattori che incidono sulla scelta del valore caratteristico. Questo fattore, troppo spesso non adeguatamente considerato, è stato introdotto poiché l'EC7 ha inteso inserire, semplificandoli, i concetti tipici della moderna trattazione geotecnica basata sulla geostatistica e sui campi aleatori; molto sinteticamente, a ogni punto del terreno corrisponde una variabile aleatoria che caratterizza il parametro geotecnico in considerazione.

Pertanto, il segnale di una penetrometria lungo una determinata verticale, ad esempio, è considerato come una realizzazione, o traiettoria, di un processo aleatorio o segnale stocastico. Noto il processo aleatorio in una successione omogenea, caratterizzato da media, varianza e autocovarianza, è noto il comportamento del terreno anche in relazione alle ciclicità tipiche dei parametri geotecnici. Tornando all'osservazione che spesso la verifica è governata dalla resistenza media lungo la superficie di rottura, come scrivono Lacasse e Nadim *"... maggiori sono le dimensioni entro le quali i parametri sono mediati, più le fluttuazioni attorno al trend tendono ad elidersi nel calcolo della media spaziale"*. Ciò pone in evidenza il fatto che, se la struttura di fondazione è sufficientemente rigida, i carichi sono trasferiti dalle zone deboli a quelle forti del terreno, con un meccanismo di compensazione strutturale simile al descritto meccanismo di compensazione spaziale delle fluttuazioni casuali dei parametri statistici. Questo concetto implica che, in presenza di strutture di fondazioni rigide, il valore caratteristico corrisponde al 5° percentile della media [4], anche se non si è in presenza di grandi volumi di rottura.


In sintesi, all'interno di uno strato omogeneo e dello spessore d'influenza dello stato limite considerato, valgono le seguenti regole:

- Se esiste compensazione spaziale (il volume interessato dallo stato limite, o il suo spessore in una dimensione è significativamente maggiore della lunghezza delle fluttuazioni nei parametri di resistenza del terreno), allora il valore caratteristico corrisponde al 5° percentile della media [4] ed è generalmente non molto distante dalla media stessa.
- Se esiste compensazione strutturale (fondazioni sufficientemente rigide tali da distribuire le sollecitazioni omogeneamente sul terreno), allora il valore caratteristico è lo stesso del precedente caso A.
- Se non esiste compensazione strutturale, né compensazione spaziale, allora il valore caratteristico è il 5° percentile della distribuzione statistica del campione, ed è generalmente piuttosto distante dalla media [5].

° Ove

- X_k = valore caratteristico desiderato
- x = valore medio (ignoto) della popolazione, ipotizzato essere uguale al valore medio del campione
- Z = distribuzione normale standardizzata
- S = deviazione standard del campione

redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	38 di 63

	dott. geol. PAOLO TRENTI dott. geol. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
	PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE	
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE	
Provincia	BOLOGNA	
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	

Le considerazioni sin qui espresse si applicano a termini che presentano una distribuzione normale. Spesso però in natura (nel caso, ad esempio, della cu o del modulo Ed) si assiste alla presenza di distribuzioni log-normali. In questo caso sono applicabili i metodi di Angus o di Cox espressi dalle seguenti notazioni:

Metodo di Angus

$$L_{1-\alpha}(Y, S^2) = \bar{Y} + \frac{S^2}{2} - \frac{t_{1-\alpha/2}(n-1)}{\sqrt{n}} * \sqrt{S^2(1 + \frac{S^2}{2})} \quad [6]$$

Metodo di Cox

$$L_{1-\alpha}(Y, S^2) = \bar{Y} + \frac{S^2}{2} \pm z_{1-\alpha/2} * \sqrt{\frac{S^2}{n} + \frac{S^4}{2(n-1)}} \quad [7]$$

dove

\bar{Y}	valore medio del dataset con distribuzione log-normale
z	distribuzione normale standardizzata
t	valore della distribuzione di Student a n-1 gradi di libertà
S	deviazione standard del campione
N	numero di dati

7.5.2. Calcolo dei parametri caratteristici

Delle prove in sito e di Laboratorio eseguite si è analizzato il segnale relativo alle grandezze geotecniche ricavate dall'elaborazione dei dati acquisiti.


Le tabelle seguenti riassumono le valorizzazioni dei parametri caratteristici ricavati dalle indagini in sito e di Laboratorio Geotecnico.


DPM1-DPM2-DPM3 -LABORATORIO

Unità stratigrafica	γ	γ_s	cu	c'	ϕ	Ed	G	Lito
-	kN/mc	kN/mc	kPa	kPa	°	kPa	kPa	
1	17.20	19.16	89.3	4.6	21.9	3969	21600	LSA
2	16.26	19.55		0.1	41.3	10947	262420	GS

7.6. Verifica del potenziale di liquefazione

Le Unità Stratigrafiche esaminate in assenza di falda non sono da ritenersi suscettibili di liquefazione.

redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	39 di 63

	dott. geol. PAOLO TRENTI dott. geol. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
	PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE'	
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE'	
Provincia	BOLOGNA	
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	

8. VERIFICA DELLA STABILITÀ

8.1. Introduzione all'analisi di stabilità

La risoluzione di un problema di stabilità richiede la presa in conto delle equazioni di campo e dei legami costitutivi. Le prime sono di equilibrio, i secondi descrivono il comportamento del terreno. Tali equazioni risultano particolarmente complesse in quanto i terreni sono dei sistemi multifase, che possono essere ricondotti a sistemi monofase solo in condizioni di terreno secco, o di analisi in condizioni drenate.

Nella maggior parte dei casi ci si trova a dover trattare un materiale che se saturo è per lo meno bifase, ciò rende la trattazione delle equazioni di equilibrio notevolmente complicata. Inoltre, è in pratica impossibile definire una legge costitutiva di validità generale, poiché i terreni presentano un comportamento non-lineare già a piccole deformazioni, sono anisotropi e inoltre il loro comportamento dipende non solo dallo sforzo deviatorico ma anche da quello normale. A causa delle suddette difficoltà sono introdotte delle ipotesi semplificative:

(a) si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione (C) e angolo di resistenza al taglio (ϕ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi, si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.

(b) in alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

8.1.1. Metodo equilibrio limite (LEM)

Il metodo dell'equilibrio limite consiste nello studiare l'equilibrio di un corpo rigido, costituito dal pendio e da una superficie di scorrimento di forma qualsiasi; da tale equilibrio vengono calcolate le tensioni da taglio (τ) e confrontate con la resistenza disponibile (τ_f), valutata secondo il criterio di rottura di Coulomb, da tale confronto ne scaturisce la prima indicazione sulla stabilità attraverso il coefficiente di sicurezza $F = \tau_f / \tau$.

Tra i metodi dell'equilibrio limite alcuni considerano l'equilibrio globale del corpo rigido (Culman), altri a causa della non omogeneità dividono il corpo in conci considerando l'equilibrio di ciascuno (Fellenius, Bishop, Janbu ecc.).

Di seguito vengono discussi i metodi dell'equilibrio limite dei conci.


8.1.2. Metodo dei conci

La teoria della verifica di stabilità considera varie tipologie di superfici generabili nel piano di sezione di un pendio, forme associate a osservazioni dirette della morfologia di movimenti di massa in campo, fatte da geomorfologi, geologi e ingegneri nel corso degli ultimi 100 anni.

- Circolari
- Spirali logaritmiche
- Generiche: serie di punti (nodi) collegati da tratti rettilinei
- Generiche smussate: superficie smussata interpolante serie di punti.

In CHING R.K. - FREDLUND D.G. (1983) e in BORSELLI L. (2017) viene affrontato l'argomento di come, in una

redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	40 di 63

	dott. geol. PAOLO TRENTI dott. geol. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE		
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE	
Provincia	BOLOGNA	
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	

verifica di stabilità, l'impiego di superfici circolari possa non condurre alla valutazione del coefficiente di sicurezza F_s minimo. La superficie può essere, idealmente, divisa in due zone: la zona di spinta e resistenza attiva (prevalente) a monte e la zona di spinta e resistenza passiva (minoritaria) a valle, delimitate dal passaggio per l'orizzontale dell'inclinazione della superficie ipotetica di scorrimento. Nella zona di spinta passiva il fattore di sicurezza minimo F_s è dato dal minore valore di $F_{resistente_{passiva}}$ e maggior $F_{agente_{passiva}}$ fra tutti i possibili. Questa condizione si ottiene quando la pendenza della porzione di valle della superficie è pari a $-(45^\circ - \phi'/2)$ ove ϕ' è l'angolo di attrito interno dello strato col quale, verso valle, la superficie si interseca con la superficie topografica. Nella parte di monte della superficie ipotetica di scorrimento il vincolo è tale per cui l'inclinazione non deve superare il valore di $(45^\circ + \phi'/2)$. Quindi nelle verifiche di stabilità è sempre necessario che l'inclinazione locale non violi il criterio di Mohr-Coulomb e di spinta delle terre nelle zone dove prevalgono le spinte attive e le spinte passive, condizioni che, nelle superfici a forma circolare pura (come nei metodi di Fellenius e Bishop), non sempre sono rispettate a causa della geometria di generazione dei cerchi.

In conseguenza di ciò sono spesso da preferire, e comunque da verificare, superfici di forma generica che rispettino i valori limite d'inclinazione locale.

Le verifiche della stabilità sono state condotte utilizzando il codice di calcolo SLOPE STABILITY ANALYSIS PROGRAM - SSAP ver. 5.2.3 Build 14089, redatto da Prof. Geol. Borselli L. (Institute of Geology-Faculty of Engineering, Universidad Autonoma de San Luis Potosi - San Luis Potosi, Mexico).

Metodo di verifica utilizzato:

- Borselli (2016)


Motore di ricerca delle superfici:


- Sniff Random Search (SRS) (Zhu (2005) - Borselli, 2009). Il metodo si basa sulla strategia che tende a massimizzare, durante la generazione di superfici random, il passaggio negli strati che hanno le caratteristiche di resistenza più scadenti. Mentre con i metodi precedenti la generazione random avviene in modo pseudo-casuale o, al limite, riceve un condizionamento solo per la forma (metodo convex random search), il metodo Sniff Search permette di "sentire" durante la generazione delle superfici quali sono i livelli o le inclusioni o gli strati più deboli incontrati, e quindi tenta, in via preferenziale, di passare in essi. Quindi rispetto ai metodi classici, praticamente "ciechi" nei confronti delle caratteristiche geotecniche locali, il metodo è dotato di un "*know-how* geomeccanico" che di fatto lo rende un sistema esperto.

La generazione delle superfici, naturalmente, seleziona e scarta tutte le superfici che violano il criterio di Mohr-Coulomb e di spinta delle terre nelle zone dove prevalgono le spinte attive e le spinte passive.

Le verifiche sono state condotte applicando i coefficienti sismici k_h e k_v indicati nella tabella che segue.

	SLV
k_h	0.0670
k_v	0.0335

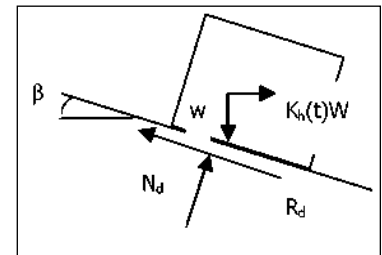
redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	41 di 63

	dott. geol. PAOLO TRENTI dott. geol. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
	PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE	
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE	
Provincia	BOLOGNA	
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	

8.1.3. Metodo di Newmark (1965) (superficie singola)

Il metodo pseudo-statico per l'analisi di stabilità di un pendio restituisce un fattore di sicurezza sulla stabilità ma non fornisce nessuna informazione circa la deformazione associata a una potenziale superficie di scorrimento.

Un'analisi che consenta di stimare gli spostamenti indotti da un sisma su un pendio, risulterebbe sicuramente più utile per stabilire il suo livello di sicurezza dopo un evento sismico senza contare, inoltre, che le accelerazioni indotte dal sisma e quindi le forze d'inerzia sono variabili durante l'evento, pertanto, anche il fattore di sicurezza subirà una variazione nel corso del sisma. In particolare, quando le forze d'inerzia di una massa potenzialmente instabile supereranno le resistenze del terreno, il fattore di sicurezza sarà inferiore all'unità.



Con il metodo di analisi introdotto da Newmark (1965) è possibile prevedere per una massa potenzialmente instabile quale sarà lo spostamento permanente totale del pendio sotto l'azione di un'accelerazione variabile nel tempo.

Newmark schematizzò la massa potenzialmente instabile soggetta alle forze d'inerzia con un blocco rigido che scorre su un piano inclinato sottoposto ad un'accelerazione che induce nello stesso delle forze d'inerzia nella direzione del piano.

Il fattore di sicurezza, variabile nel tempo, si ottiene dalla:

$$F_s(t) = \frac{\text{resistenza_disponibile}}{\text{forza_instabilizzante}} = \frac{R_d(t)}{D_d(t)} = \frac{[\cos \beta - k_h(t) \sin \beta] \tan \phi}{\sin \beta + k_h(t) \cos \beta}$$

dove:

- \$\beta\$ = angolo d'inclinazione del piano;
- \$\phi\$ = angolo d'attrito tra blocco e piano;
- \$k_h\$ = coefficiente sismico orizzontale.

Quando il piano inclinato vibra con un'accelerazione \$a_h(t) = k_h(t)g\$ (trascurando l'effetto della componente verticale), il blocco sarà sottoposto ad una forza d'inerzia \$k_h(t)W\$.

Il fattore di sicurezza dinamico decresce, ovviamente, all'aumentare del coefficiente \$k_h\$ fino ad avere, in corrispondenza di un valore di \$k_h\$, un fattore pari ad 1. A questo valore di \$k_h\$ corrisponde un'accelerazione limite \$a_y = k_y g\$, che rappresenta il valore limite di accelerazione che produce l'instabilità del blocco pertanto, valori dell'accelerazione superiori a tale limite produrranno spostamenti del blocco rispetto al piano.

Il caso più semplice che conduce alla determinazione dello spostamento permanente del blocco è rappresentato da un impulso di accelerazione di ampiezza \$A\$ costante e durata \$D_t\$.


Se l'accelerazione limite \$a_y\$ è più piccola del valore \$A\$, il blocco subirà, nel tempo \$t\$, uno spostamento con accelerazione relativa data da:

$$a_{rel}(t) = A - a_y \quad t_0 \leq t \leq t_0 + \Delta t$$

dove \$A\$ è l'accelerazione del piano inclinato.

Integrando \$a_{rel}(t)\$ nel periodo \$t_0 \div t\$, otteniamo:

redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	42 di 63

	dott. geol. PAOLO TRENTI dott. geol. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE		
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE	
Provincia	BOLOGNA	
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	

$$v_{rel}(t) = \int_{t_0}^t a_{rel}(t) dt = [A - a_y] \times (t - t_0)$$

che, a sua volta, per integrazione nello stesso intervallo, fornisce lo spostamento relativo:

$$d_{rel}(t) = \int_{t_0}^t v_{rel}(t) dt = \frac{1}{2} [A - a_y] (t - t_0)^2 .$$

Quando l'impulso A termina, il blocco continuerà a muoversi con accelerazione relativa pari a:

$$a_{rel}(t) = 0 - a_y = -a_y \quad t_0 + \Delta t \leq t \leq t_1$$

fino al tempo t_1 , in cui la velocità relativa sarà nulla.

Integrando nuovamente l'accelerazione relativa e, in seguito, la velocità relativa nell'intervallo $t_0 + \Delta t \div t_1$, otteniamo lo spostamento relativo che segue il termine dell'impulso, che sarà:

$$d_{rel}(t_1) = \frac{1}{2} (A - a_y) \Delta t^2 \frac{A}{a_y} .$$

Per un impulso rettangolare la velocità massima può essere espressa come $v_{max} = A \times \Delta t$, che sostituita nell'espressione precedente restituisce lo spostamento relativo in funzione della velocità massima:

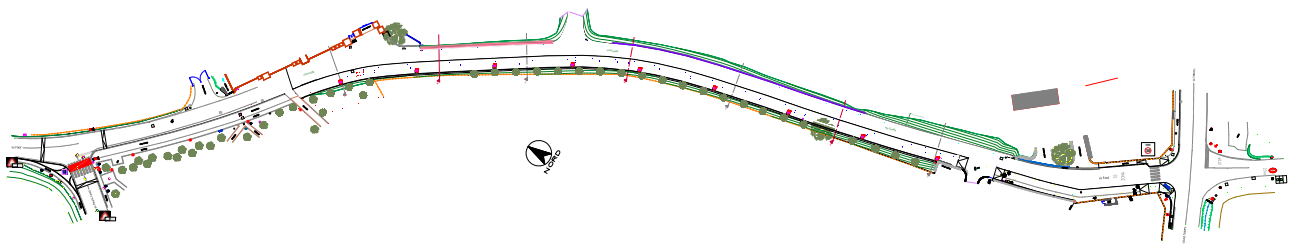
$$d_{rel} = \frac{v_{max}}{2a_y} \left(1 - \frac{a_y}{A}\right)$$

8.2. Verifiche della stabilità

Il modello geotecnico adottato per le verifiche della stabilità è descritto numericamente nelle sezioni seguenti.


8.2.1. Sezioni topografiche verificate

La verifica della stabilità è stata realizzata utilizzando i profili del terreno nelle condizioni attuali, intermedio e di progetto. Le tracce delle sezioni verificate, Sez. 2, Sez. 4 e Sez. 6 sono nella grafica che segue.



Le verifiche della stabilità sono state distinte in tre fasi: stato attuale, stato intermedio (che riguarda la fase di scavo della scarpata) e stato finale ad opera ultimata. I parametri geomeccanici utilizzati nelle verifiche sono quelli a lungo termine (drenati) per gli stati attuale e finale e quelli a breve termine (non drenati) per quanto riguarda lo stato intermedio.

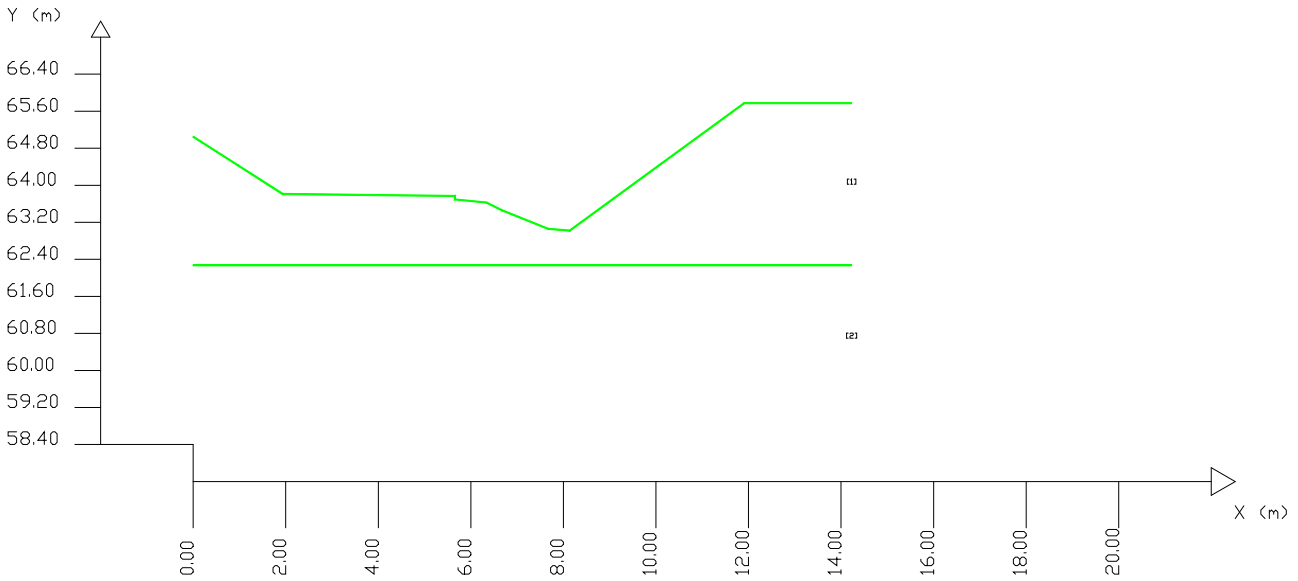
redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R.0	0	05/03/2024	43 di 63

	dott. geol. PAOLO TRENTI dott. geol. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
	PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE'	
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE'	
Provincia	BOLOGNA	
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	

8.2.2. Sez. 2

Stato attuale

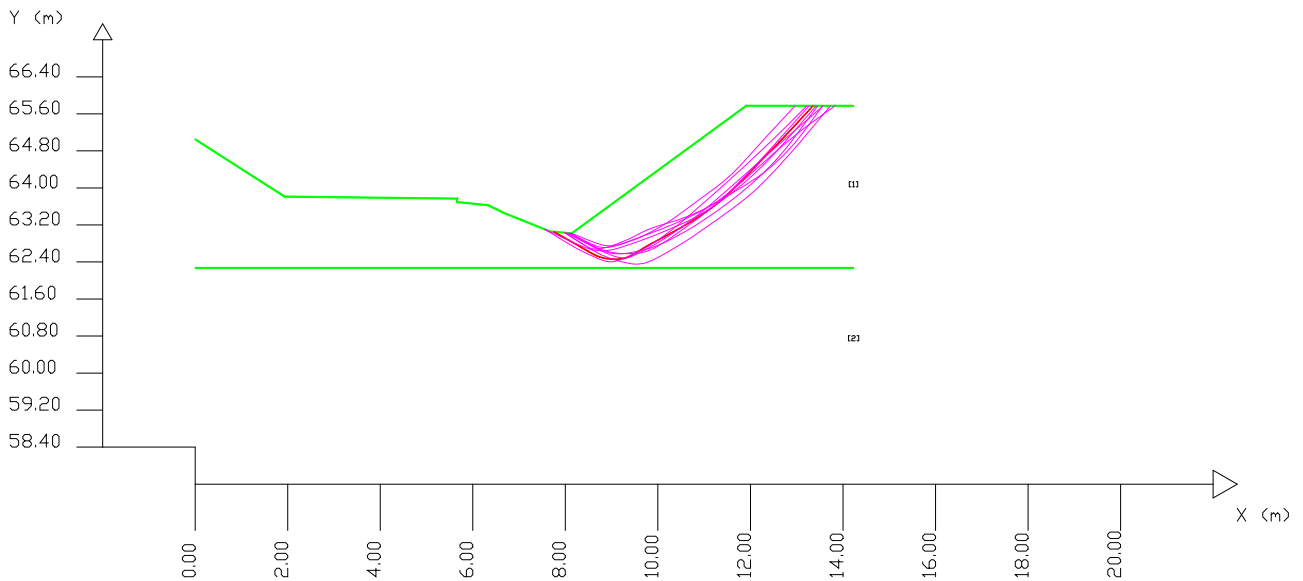
----- PARAMETRI GEOMECCANICI -----						
		ϕ_i°	c°	C_u	γ_{amm}	γ_{amm_sat}
STRATO	1	21.90	4.60	0.00	17.20	19.16
STRATO	2	41.00	0.10	0.00	16.26	19.55



La verifica è stata condotta su 15 000 superfici.


Il coefficiente di sicurezza F_s minore ha il valore di 1.2975 (> 1.1).

Nella grafica che segue vi sono le 10 superfici critiche calcolate con F_s nel range 1.2975÷1.3227.



Sulla superficie a F_s minore (1.2975) è stata effettuata la verifica degli spostamenti in condizioni dinamiche ottenendo quanto segue.

redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	44 di 63

	dott. geol. PAOLO TRENTI dott. geol. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
	PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE'	
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE'	
Provincia	BOLOGNA	
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	

```

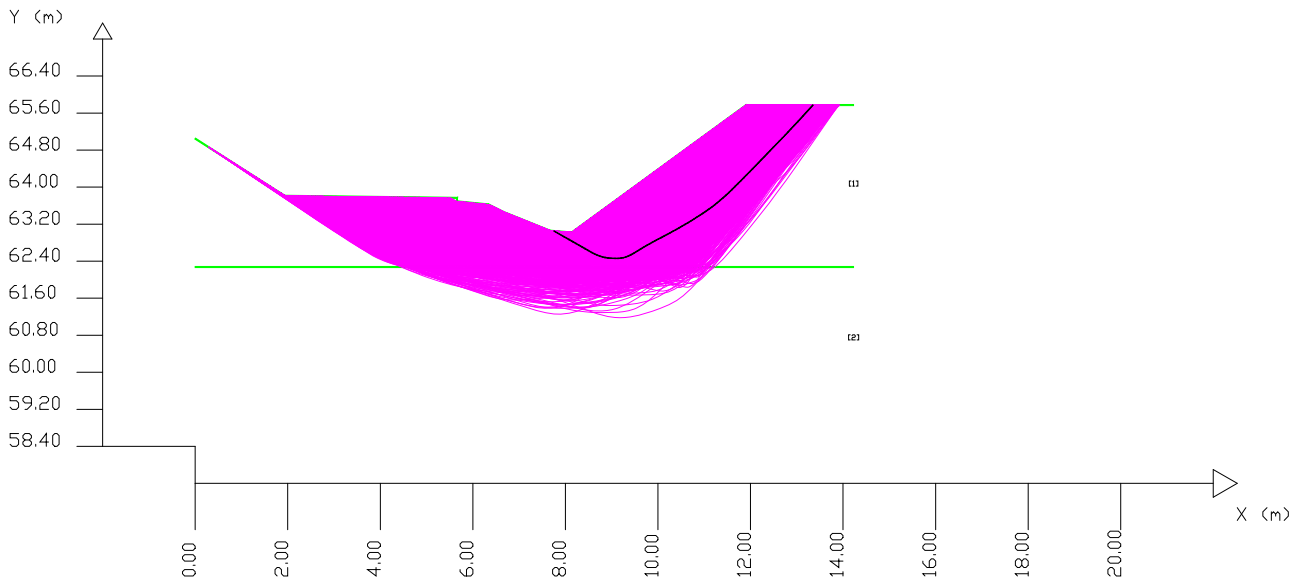
----- RISULTATI VERIFICA SU SUPERFICIE SINGOLA -----
METODO DI CALCOLO.....Fs.....lambda.....MLD.....Kc.....Esito.....Note..
JANBU_RIGOROSO(1973)..... 1.2425 1.0000 0.0918 0.1825 Verificata
SPENCER(1973)..... 1.2930 1.0711 0.1015 0.2038 Verificata
SARMA_I(1973)..... 1.2912 0.9732 0.1020 0.2038 Verificata
MORGENSTERN-PRICE(1965)..... 1.2993 0.9543 0.1024 0.2063 Verificata
CHEN-MORGENSTERN(1983)..... 1.2986 0.9160 0.1022 0.2050 Verificata
SARMA_II(1979)..... 1.2904 0.9291 0.1028 0.2050 Verificata
BORSELLI(2016)..... 1.2975 0.7123 0.1021 0.2038 Verificata
NOTE di Calcolo:-----
[0]--> Fs<1.0 oppure non convergenza calcolo
[1]--> Fs>50
[2]--> Kc=0.0 per FS<1.0
[3]--> Kc=0.0 per Fs>50
[4]--> Calcolo Kc senza convergenza
[5]--> Calcolo Kc non attivato
MLd: Minimum Lithostatic Deviation, Tinti & Mannucci (2006)
Kc: Coefficiente sismico orizzontale critico, per avere Fs=1.0. (Sarma,1973)

SPOSTAMENTO ATTESO S(cm) CON 10% PROB. ECCENDENZA - da BIONDI et al.(2011) , , BANDINI et al.(2015), DU(2018) -
METODO DI NEWMARK(1965) PER BLOCCO RIGIDO
.....||----- S(cm) per Amax(g) ATTESA IN SITO-----||
METODO DI CALCOLO.....Kc.....Sr.....0.1g...0.2g...0.4g...0.6g...0.8g...1.0g
JANBU_RIGOROSO(1973)..... 0.1825 0.896 0.001 0.005 0.810 2.135 3.576 5.046
SPENCER(1973)..... 0.2038 0.902 0.001 0.001 0.576 1.713 2.991 4.310
SARMA_I(1973)..... 0.2038 0.907 0.001 0.001 0.579 1.722 3.006 4.332
MORGENSTERN-PRICE(1965)..... 0.2063 0.770 0.001 0.001 0.471 1.424 2.499 3.610
CHEN-MORGENSTERN(1983)..... 0.2050 0.688 0.001 0.001 0.430 1.289 2.257 3.256
SARMA_II(1979)..... 0.2050 0.909 0.001 0.001 0.568 1.703 2.980 4.299
BORSELLI(2016)..... 0.2038 0.919 0.001 0.001 0.586 1.746 3.047 4.391

```

Gli spostamenti attesi, per $A_{max}(g) = 0.2g$ (la PGA del sito è risultata pari a $0.200g$), sono nulli (0.001 cm).

Nella figura che segue sono rappresentate le superfici esaminate.




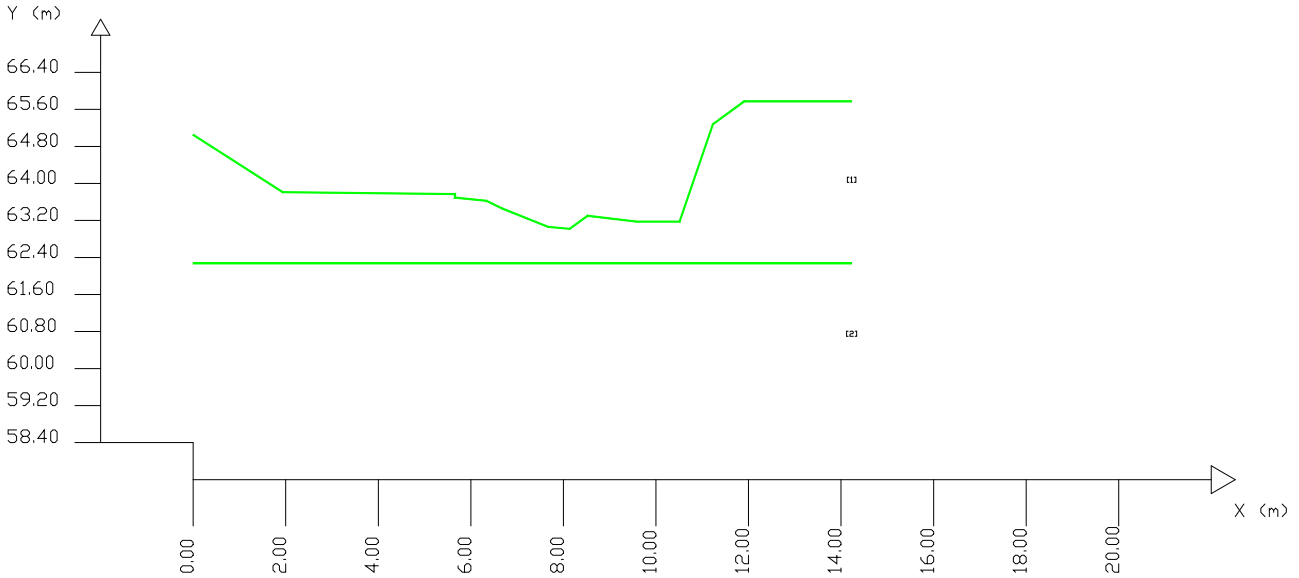
La verifica della sezione esaminata, allo stato attuale, risulta soddisfatta.

Stato intermedio

----- PARAMETRI GEOMECCANICI -----						
		ϕ_i	c'	C_u	γ_{sat}	γ_{sat}
STRATO	1	0.00	0.00	89.3	17.20	19.16
STRATO	2	41.00	0.10	0.00	16.26	19.55

redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	45 di 63

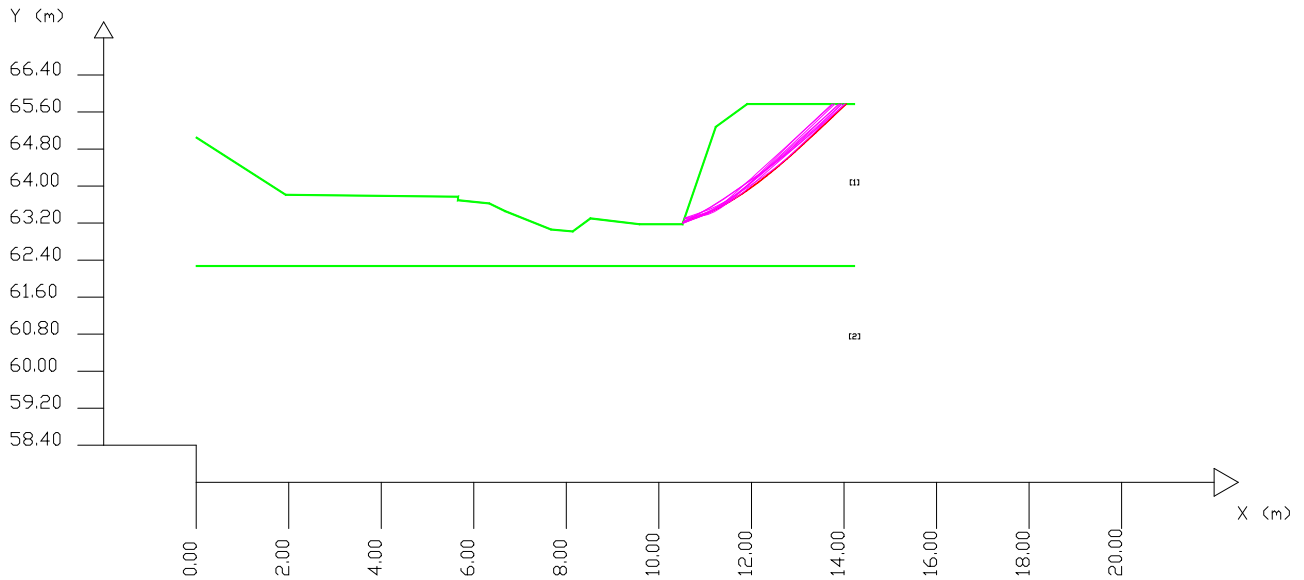
	dott. geol. PAOLO TRENTI dott. geol. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	 Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
	 PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE' 	
 Comune	 SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE' 	
 Provincia	 BOLOGNA 	
 Committente	 COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA 	



La verifica è stata condotta su 15 000 superfici.

Il coefficiente di sicurezza F_s minore ha il valore di 9.1168 (> 1.1).


Nella grafica che segue vi sono le 10 superfici critiche calcolate con F_s nel range 9.1164÷9.5310.



Sulla superficie a F_s minore (9.1164) è stata effettuata la verifica degli spostamenti in condizioni dinamiche ottenendo quanto segue.

----- RISULTATI VERIFICA SU SUPERFICIE SINGOLA -----						
METODO DI CALCOLO.....	F_s	lambda.....	MLD.....	Kc.....	Esito....	Note..
JANBU_RIGOROSO(1973).....	8.9221	1.0000	0.6560	0.0000	Verificata	[4]
SPENCER(1973).....	9.1164	1.2500	0.0341	0.0000	Verificata	[4]
SARMA_I(1973).....	9.1154	1.2500	0.4376	0.0000	Verificata	[4]
MORGENSTERN-PRICE(1965).....	9.1090	1.2500	0.0399	0.0000	Verificata	[4]
CHEN-MORGENSTERN(1983).....	9.1117	1.2500	0.0325	0.0000	Verificata	[4]
SARMA_II(1979).....	9.1182	1.2500	0.0311	0.0000	Verificata	[4]
BORSELLI(2016).....	9.1164	1.2500	0.0317	0.0000	Verificata	[4]

redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	46 di 63

	dott. GEOL. PAOLO TRENTI dott. GEOL. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
	PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE'	
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE'	
Provincia	BOLOGNA	
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	

NOTE di Calcolo:-----

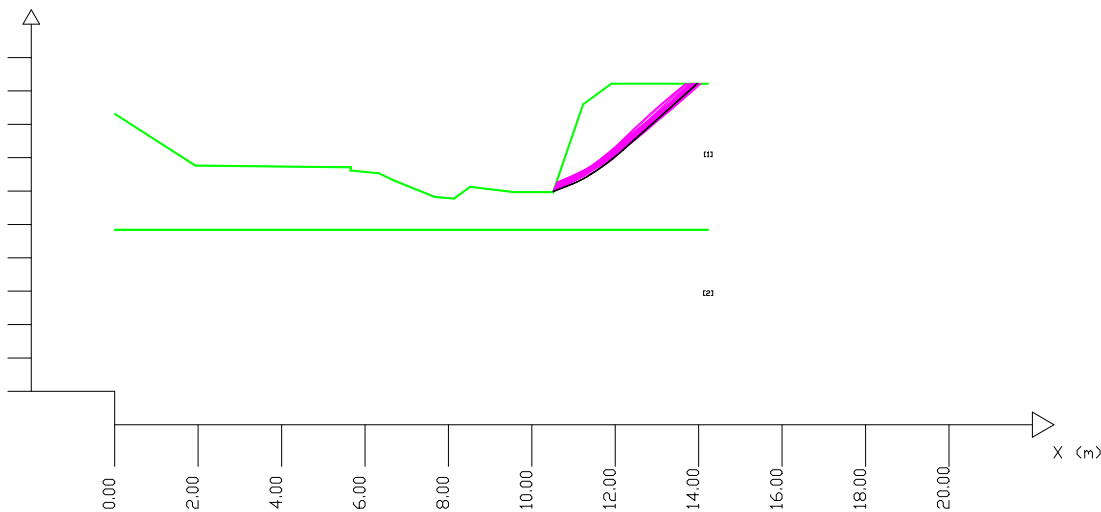
[0]--> $F_s < 1.0$ oppure non convergenza calcolo
 [1]--> $F_s > 50$
 [2]--> $K_c = 0.0$ per $F_s < 1.0$
 [3]--> $K_c = 0.0$ per $F_s > 50$
 [4]--> Calcolo K_c senza convergenza
 [5]--> Calcolo K_c non attivato
 MLD: Minimum Lithostatic Deviation, Tinti & Mannucci (2006)
 Kc: Coefficiente sismico orizzontale critico, per avere $F_s = 1.0$. (Sarma,1973)

SPOSTAMENTO ATTESO S(cm) CON 10% PROB. ECCEDENZA - da BIONDI et al.(2011) , , BANDINI et al.(2015), DU(2018) - METODO DI NEWMARK(1965) PER BLOCCO RIGIDO

METODO DI CALCOLO	Kc	Sr	0.1g	0.2g	0.4g	0.6g	0.8g	1.0g
JANBU_RIGOROSO(1973)	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SPENCER(1973)	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SARMA_I(1973)	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
MORGENSTERN-PRICE(1965)	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CHEN-MORGENSTERN(1983)	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SARMA_II(1979)	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
BORSELLI(2016)	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Gli spostamenti attesi, per $A_{max}(g) \leq 1.0$ (la PGA del sito è risultata pari a 0.200g), sono nulli (0.000 cm).

Nella figura che segue sono rappresentate le superfici esaminate con $F_s < 10$. Le restanti superfici con $F_s > 10$ non sono state rappresentate.




La verifica della sezione esaminata, allo stato intermedio, risulta soddisfatta.

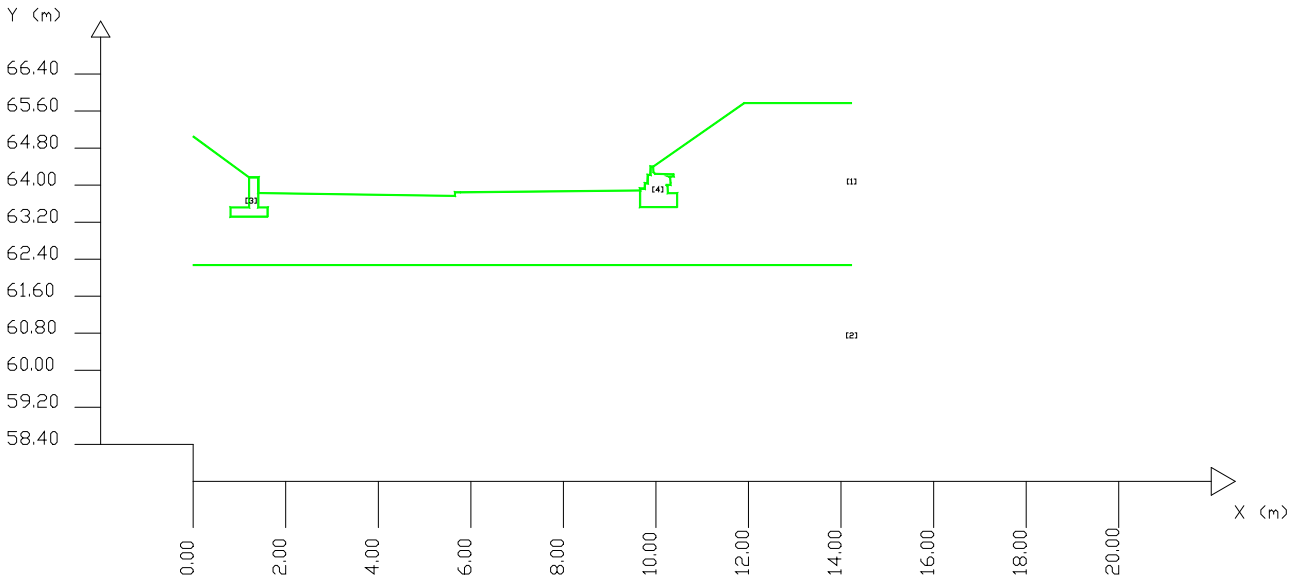
Stato finale

Nello stato finale è stata introdotta la presenza del muro a gravità tipo Löffel e di un piccolo muro in c.a.

PARAMETRI GEOMECCANICI							
		f_i	c	C_u	γ_{sat}	γ_{sat}	
STRATO	1	21.90	4.60	0.00	17.20	19.16	
STRATO	2	41.00	0.10	0.00	16.26	19.55	
STRATO	3	50.00	100.00	0.00	24.00	24.00	muro in c.a.
STRATO	4	50.00	50.00	0.00	22.00	22.00	muro tipo Löffel

redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	47 di 63

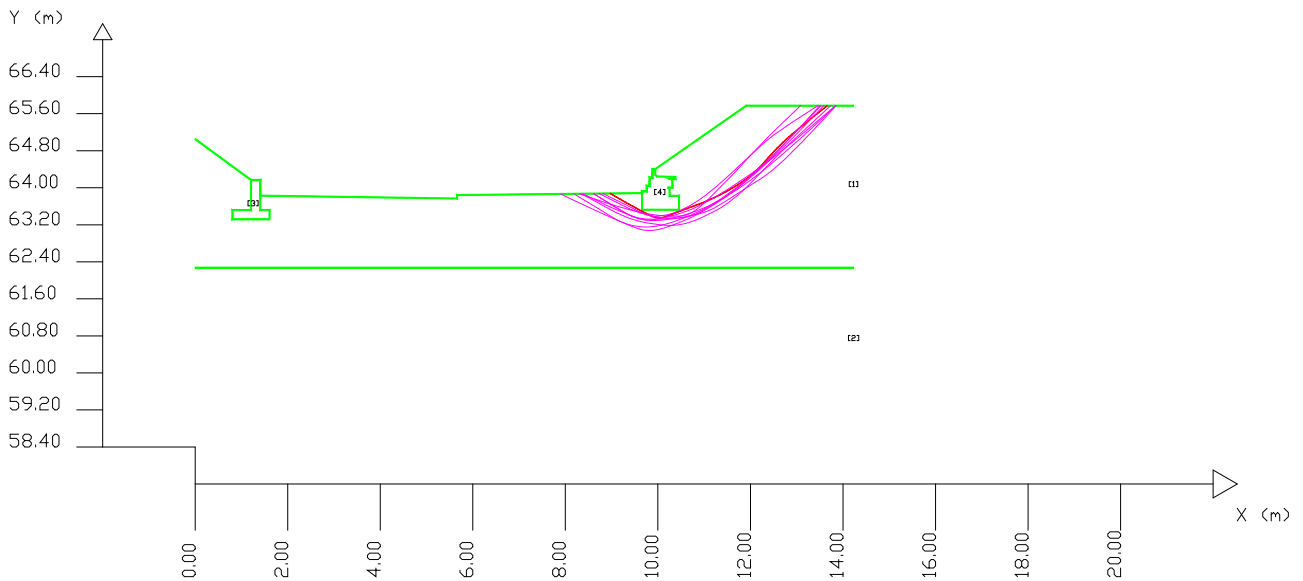
	dott. GEOL. PAOLO TRENTI dott. GEOL. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	 Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
	 PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE`	
 Comune	 SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE`	
 Provincia	 BOLOGNA	
 Committente	 COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	



La verifica è stata condotta su 15 000 superfici.

Il coefficiente di sicurezza F_s minore ha il valore di 1.522 (> 1.1).


Nella grafica che segue vi sono le 10 superfici critiche calcolate con F_s nel range 1.522÷1.649.



Sulla superficie a F_s minore (1.522) è stata effettuata la verifica degli spostamenti in condizioni dinamiche ottenendo quanto segue.

---- RISULTATI VERIFICA SU SUPERFICIE SINGOLA -----						
METODO DI CALCOLO.....	F_s	lambda.....	MLD.....	Kc.....	Esito.....	Note..
JANBU_RIGOROSO(1973).....	1.5288	1.0000	0.1150	0.2888	Verificata	
SPENCER(1973).....	1.5288	0.8407	0.1259	0.3063	Verificata	
SARMA_I(1973).....	1.6144	0.4132	0.1262	0.3063	Verificata	
MORGENSTERN-PRICE(1965).....	1.5203	0.8286	0.1222	0.3000	Verificata	
CHEN-MORGENSTERN(1983).....	1.5182	0.8061	0.1236	0.3025	Verificata	
SARMA_II(1979).....	1.6084	0.3997	0.1268	0.3075	Verificata	
BORSELLI(2016).....	1.5199	0.5902	0.1257	0.3063	Verificata	
NOTE di Calcolo:-----						
[0]--> $F_s < 1.0$ oppure non convergenza calcolo						

redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	48 di 63

	dott. geol. PAOLO TRENTI dott. geol. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
	PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE'	
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE'	
Provincia	BOLOGNA	
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	

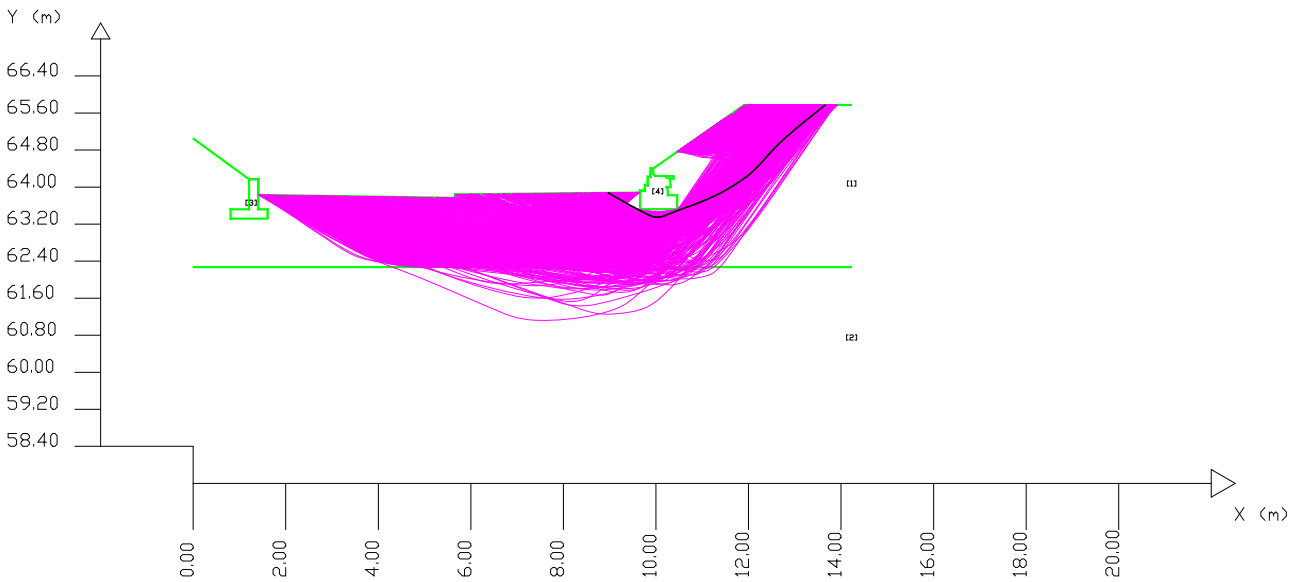
[1]--> $F_s > 50$
[2]--> $K_c = 0.0$ per $F_s < 1.0$
[3]--> $K_c = 0.0$ per $F_s > 50$
[4]--> Calcolo K_c senza convergenza
[5]--> Calcolo K_c non attivato
MLd: Minimum Lithostatic Deviation, Tinti & Mannucci (2006)
 K_c : Coefficiente sismico orizzontale critico, per avere $F_s = 1.0$. (Sarma, 1973)

SPOSTAMENTO ATTESO S(cm) CON 10% PROB. ECCEDENZA - da BIONDI et al.(2011) , , BANDINI et al.(2015), DU(2018) - METODO DI NEWMARK(1965) PER BLOCCO RIGIDO

METODO DI CALCOLO	K_c	Sr	0.1g	0.2g	0.4g	0.6g	0.8g	1.0g
JANBU_RIGOROSO(1973)	0.2888	0.908	0.001	0.001	0.107	0.698	1.505	2.394
SPENCER(1973)	0.3063	0.932	0.001	0.001	0.069	0.590	1.345	2.191
SARMA_I(1973)	0.3063	0.928	0.001	0.001	0.068	0.588	1.340	2.182
MORGENSTERN-PRICE(1965)	0.3000	0.830	0.001	0.001	0.073	0.564	1.259	2.033
CHEN-MORGENSTERN(1983)	0.3025	0.881	0.001	0.001	0.072	0.582	1.310	2.123
SARMA_II(1979)	0.3075	0.901	0.001	0.001	0.064	0.563	1.288	2.101
BORSELLI(2016)	0.3063	0.940	0.001	0.001	0.069	0.595	1.357	2.210


Gli spostamenti attesi, per $A_{max}(g) = 0.2$ (la PGA del sito è risultata pari a 0.200g), sono nulli (0.001 cm).

Nella figura che segue sono rappresentate le superfici esaminate.



La verifica della sezione esaminata, allo stato finale, risulta soddisfatta.

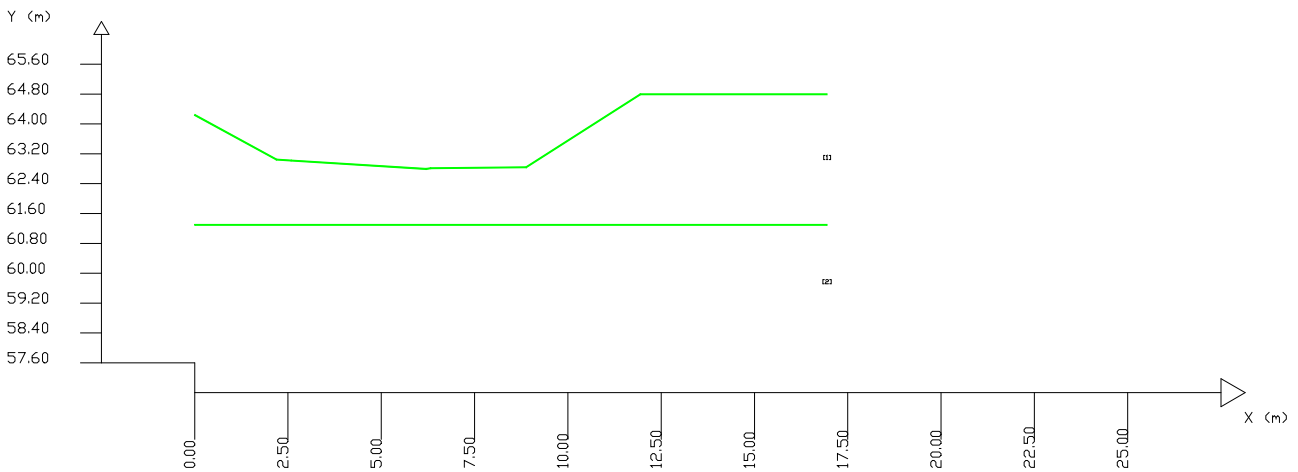
redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	49 di 63

	dott. geol. PAOLO TRENTI dott. geol. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
	PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE'	
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE'	
Provincia	BOLOGNA	
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	

8.2.3. Sez. 4

Stato attuale

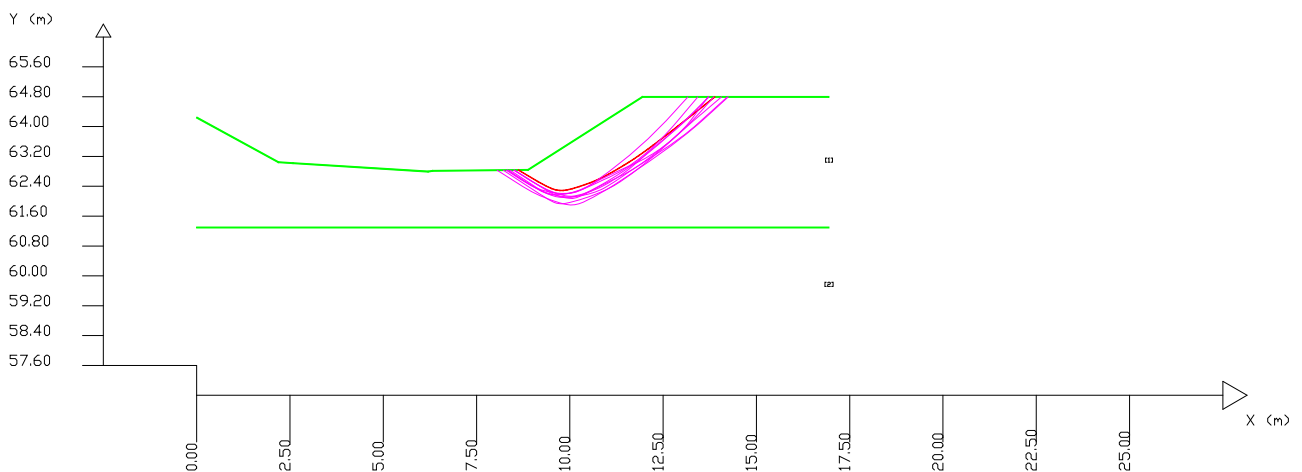
----- PARAMETRI GEOMECCANICI -----						
		ϕ_i°	c°	C_u	γ_{mm}	γ_{mm_sat}
STRATO	1	21.90	4.60	0.00	17.20	19.16
STRATO	2	41.00	0.10	0.00	16.26	19.55



La verifica è stata condotta su 15 000 superfici.


Il coefficiente di sicurezza F_s minore ha il valore di 1.5639 (> 1.1).

Nella grafica che segue vi sono le 10 superfici critiche calcolate con F_s nel range 1.5639÷1.5886.



Sulla superficie a F_s minore (1.5639) è stata effettuata la verifica degli spostamenti in condizioni dinamiche ottenendo quanto segue.

redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	50 di 63

	dott. GEOL. PAOLO TRENTI dott. GEOL. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
	PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE'	
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE'	
Provincia	BOLOGNA	
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	

```

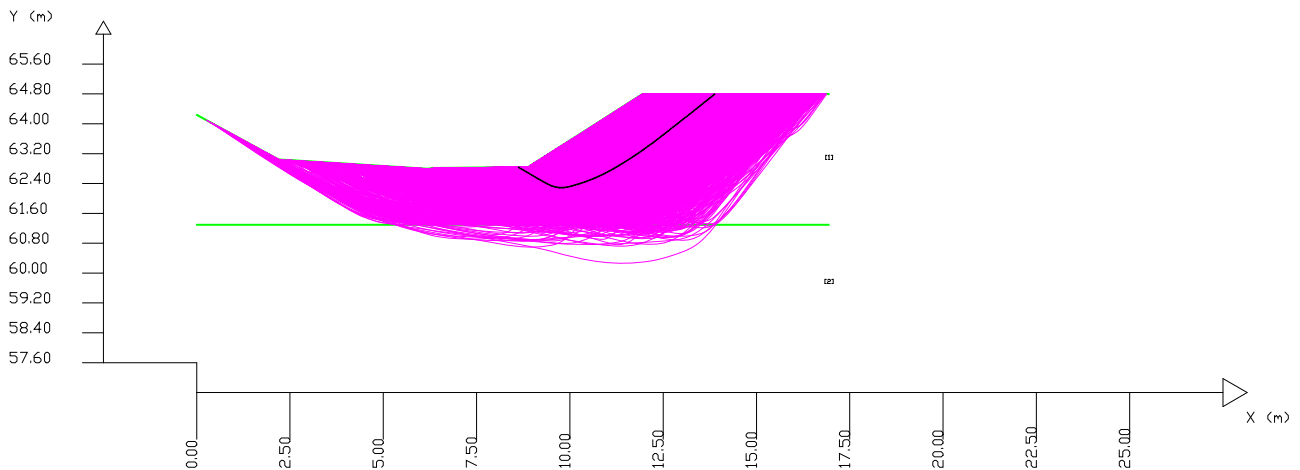
----- RISULTATI VERIFICA SU SUPERFICIE SINGOLA -----
METODO DI CALCOLO.....Fs.....lambda.....MLD.....Kc.....Esito.....Note..
JANBU_RIGOROSO(1973)..... 1.5379 1.0000 0.0920 0.2794 Verificata
SPENCER(1973)..... 1.5552 0.8107 0.0942 0.2825 Verificata
SARMA_I(1973)..... 1.5495 0.8904 0.0946 0.2825 Verificata
MORGENSTERN-PRICE(1965)..... 1.5688 0.7439 0.0959 0.2850 Verificata
CHEN-MORGENSTERN(1983)..... 1.5640 0.7096 0.0954 0.2844 Verificata
SARMA_II(1979)..... 1.5568 0.8375 0.0953 0.2838 Verificata
BORSELLI(2016)..... 1.5638 0.5717 0.0947 0.2825 Verificata
NOTE di Calcolo:-----
[0]--> Fs<1.0 oppure non convergenza calcolo
[1]--> Fs>50
[2]--> Kc=0.0 per FS<1.0
[3]--> Kc=0.0 per Fs>50
[4]--> Calcolo Kc senza convergenza
[5]--> Calcolo Kc non attivato
MLd: Minimum Lithostatic Deviation, Tinti & Mannucci (2006)
Kc: Coefficiente sismico orizzontale critico, per avere Fs=1.0. (Sarma,1973)

SPOSTAMENTO ATTESO S(cm) CON 10% PROB. ECCENDENZA - da BIONDI et al.(2011) , , BANDINI et al.(2015), DU(2018) -
METODO DI NEWMARK(1965) PER BLOCCO RIGIDO
.....||----- S(cm) per Amax(g) ATTESA IN SITO-||
METODO DI CALCOLO.....Kc.....Sr.....0.1g...0.2g...0.4g...0.6g...0.8g...1.0g
JANBU_RIGOROSO(1973)..... 0.2794 0.891 0.001 0.001 0.131 0.759 1.591 2.500
SPENCER(1973)..... 0.2825 0.929 0.001 0.001 0.127 0.765 1.619 2.554
SARMA_I(1973)..... 0.2825 0.937 0.001 0.001 0.128 0.771 1.632 2.575
MORGENSTERN-PRICE(1965)..... 0.2850 0.801 0.001 0.001 0.103 0.642 1.368 2.165
CHEN-MORGENSTERN(1983)..... 0.2844 0.161 0.000 0.000 0.021 0.130 0.276 0.436
SARMA_II(1979)..... 0.2838 1.040 0.001 0.001 0.138 0.845 1.795 2.835
BORSELLI(2016)..... 0.2825 0.972 0.001 0.001 0.133 0.800 1.693 2.670

```

Gli spostamenti attesi, per $A_{max}(g) = 0.2g$ (la PGA del sito è risultata pari a $0.200g$), sono nulli (0.001 cm).

Nella figura che segue sono rappresentate le superfici esaminate.




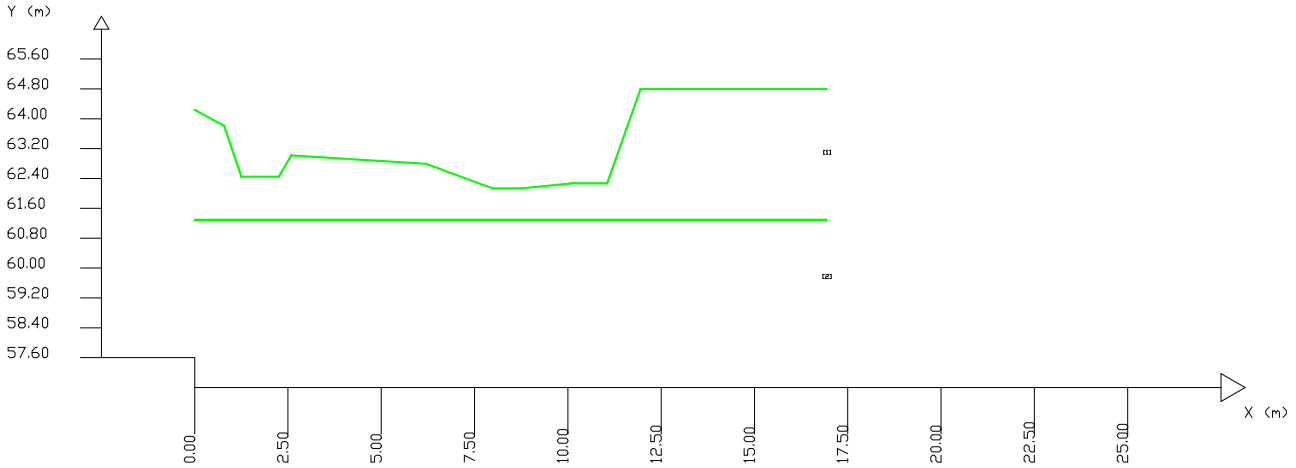
La verifica della sezione esaminata, allo stato attuale, risulta soddisfatta.

Stato intermedio

PARAMETRI GEOMECCANICI						
		f_i'	c'	C_u	γ_{mm}	γ_{mm_sat}
STRATO	1	0.00	0.00	89.3	17.20	19.16
STRATO	2	41.00	0.10	0.00	16.26	19.55

redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	51 di 63

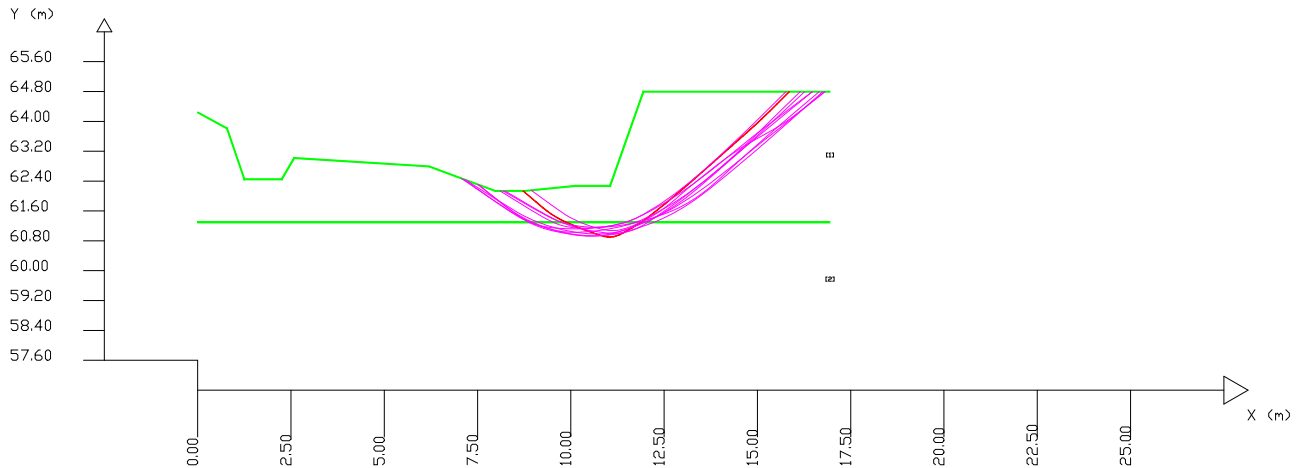
	dott. geol. PAOLO TRENTI dott. geol. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
	PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE'	
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE'	
Provincia	BOLOGNA	
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	



La verifica è stata condotta su 15 000 superfici.

Il coefficiente di sicurezza F_s minore ha il valore di 7.6085 (> 1.1).


Nella grafica che segue vi sono le 10 superfici critiche calcolate con F_s nel range 7.6085÷8.1679.



Sulla superficie a F_s minore (7.6085) è stata effettuata la verifica degli spostamenti in condizioni dinamiche ottenendo quanto segue.

---- RISULTATI VERIFICA SU SUPERFICIE SINGOLA ----						
METODO DI CALCOLO.....	F_s	lambda....	MLD.....	Kc.....	Esito....	Note..
JANBU_RIGOROSO(1973).....	7.5722	1.0000	0.0993	0.0000	Verificata	[4]
SPENCER(1973).....	7.5674	1.2500	0.1520	0.0000	Verificata	[4]
SARMA_I(1973).....	7.0819	0.3018	0.2100	0.0000	Verificata	[4]
MORGENSTERN-PRICE(1965).....	7.5932	1.2411	0.1484	0.0000	Verificata	[4]
CHEN-MORGENSTERN(1983).....	7.5854	1.2500	0.1529	0.0000	Verificata	[4]
SARMA_II(1979).....	7.0026	0.2334	0.1536	0.0000	Verificata	[4]
BORSELLI(2016).....	7.6085	0.8527	0.1524	0.0000	Verificata	[4]
NOTE di Calcolo:-----						
[0]--> $F_s < 1.0$ oppure non convergenza calcolo						

redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	52 di 63

	dott. GEOL. PAOLO TRENTI dott. GEOL. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
	PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE'	
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE'	
Provincia	BOLOGNA	
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	

```

[1]--> Fs>50
[2]--> Kc=0.0 per FS<1.0
[3]--> Kc=0.0 per Fs>50
[4]--> Calcolo Kc senza convergenza
[5]--> Calcolo Kc non attivato
MLd: Minimum Lithostatic Deviation, Tinti & Mannucci (2006)
Kc: Coefficiente simico orizzontale critico, per avere Fs=1.0. (Sarma,1973)

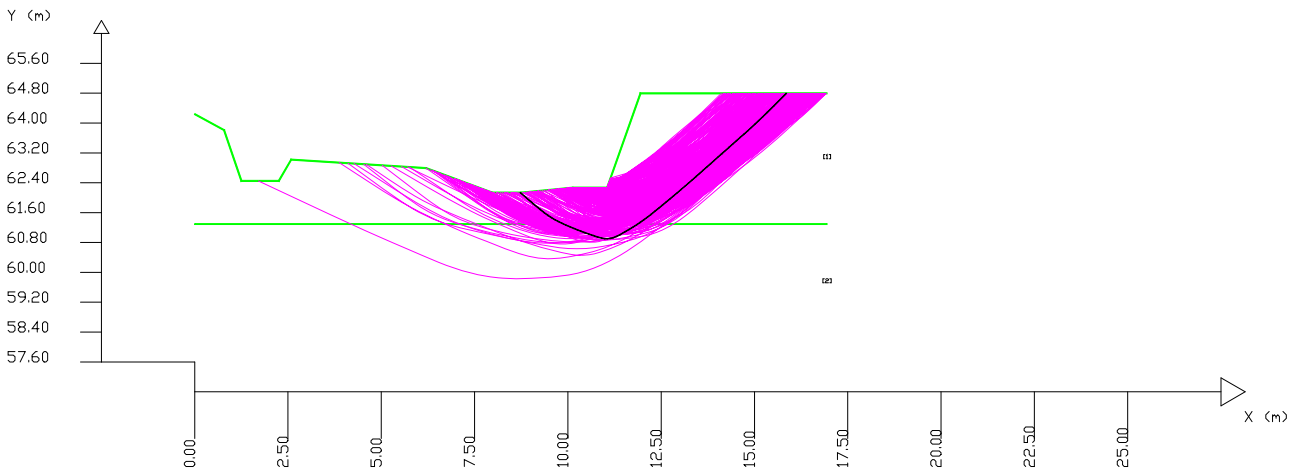
```

SPOSTAMENTO ATTESO S(cm) CON 10% PROB. ECCENDENZA - da BIONDI et al.(2011) , , BANDINI et al.(2015), DU(2018) - METODO DI NEWMARK(1965) PER BLOCCO RIGIDO

METODO DI CALCOLO	Kc	Sr	0.1g	0.2g	0.4g	0.6g	0.8g	1.0g
JANBU_RIGOROSO(1973)	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SPENCER(1973)	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SARMA_I(1973)	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
MORGENSTERN-PRICE(1965)	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CHEN-MORGENSTERN(1983)	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SARMA_II(1979)	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
BORSELLI(2016)	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Gli spostamenti attesi, per $A_{max}(g) \leq 1.0$ (la PGA del sito è risultata pari a 0.200g), sono nulli (0.000 cm).

Nella figura che segue sono rappresentate le superfici esaminate con $F_s < 10$. Le restanti superfici con $F_s > 10$ non sono state rappresentate.



La verifica della sezione esaminata, allo stato intermedio, risulta soddisfatta.


Stato finale

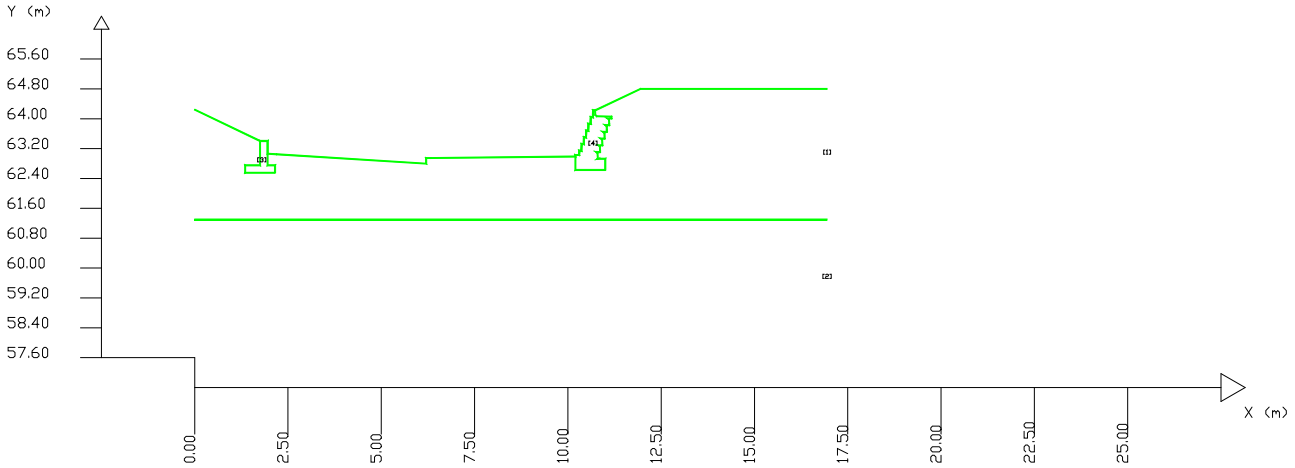
Nello stato finale è stata introdotta la presenza del muro a gravità tipo Löffel e di un piccolo muro in c.a.

PARAMETRI GEOMECCANICI						
		f_i	C	C_u	γ_{m}	γ_{m_sat}
STRATO	1	21.90	4.60	0.00	17.20	19.16
STRATO	2	41.00	0.10	0.00	16.26	19.55
STRATO	3	50.00	100.00	0.00	24.00	24.00
STRATO	4	50.00	50.00	0.00	22.00	22.00

muro in c.a.
muro tipo Loffel

redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	53 di 63

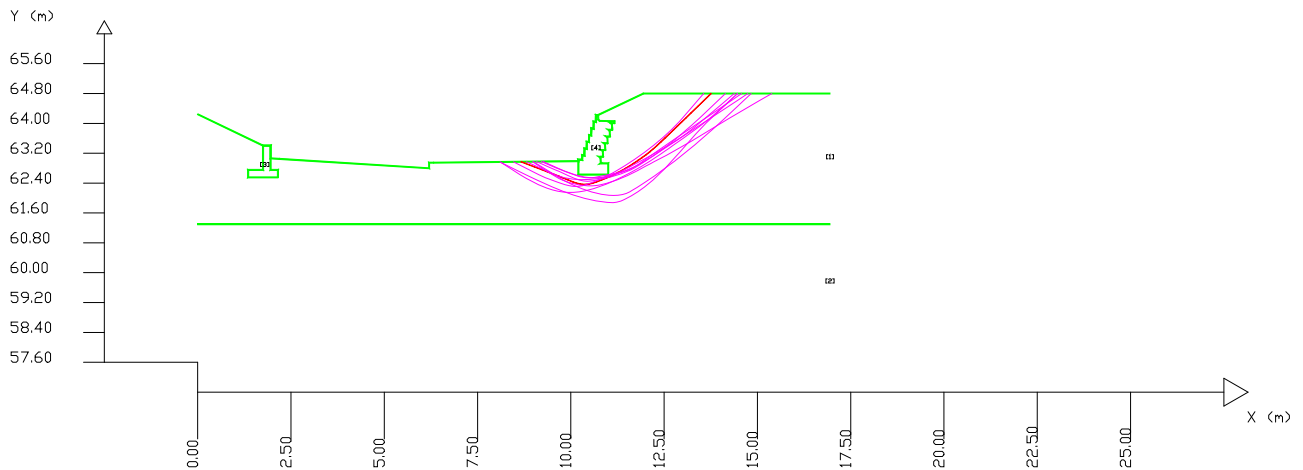
	dott. geol. PAOLO TRENTI dott. geol. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
	PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE'	
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE'	
Provincia	BOLOGNA	
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	



La verifica è stata condotta su 15 000 superfici.

Il coefficiente di sicurezza F_s minore ha il valore di 1.5199 (> 1.1).


Nella grafica che segue vi sono le 10 superfici critiche calcolate con F_s nel range 1.5199÷1.6492.



Sulla superficie a F_s minore (1.5199) è stata effettuata la verifica degli spostamenti in condizioni dinamiche ottenendo quanto segue.

---- RISULTATI VERIFICA SU SUPERFICIE SINGOLA ----						
METODO DI CALCOLO.....	F_s ...	lambda....	MLD....	Kc.....	Esito...	Note..
JANBU_RIGOROSO(1973).....	1.5288	1.0000	0.1150	0.2888	Verificata	
SPENCER(1973).....	1.5288	0.8407	0.1259	0.3063	Verificata	
SARMA_I(1973).....	1.6144	0.4132	0.1262	0.3063	Verificata	
MORGENSTERN-PRICE(1965).....	1.5203	0.8286	0.1222	0.3000	Verificata	
CHEN-MORGENSTERN(1983).....	1.5182	0.8061	0.1236	0.3025	Verificata	
SARMA_II(1979).....	1.6084	0.3997	0.1268	0.3075	Verificata	
BORSELLI(2016).....	1.5199	0.5902	0.1257	0.3063	Verificata	
NOTE di Calcolo:-----						
[0]--> $F_s < 1.0$ oppure non convergenza calcolo						

redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	54 di 63

	dott. geol. PAOLO TRENTI dott. geol. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
	PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE'	
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE'	
Provincia	BOLOGNA	
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	

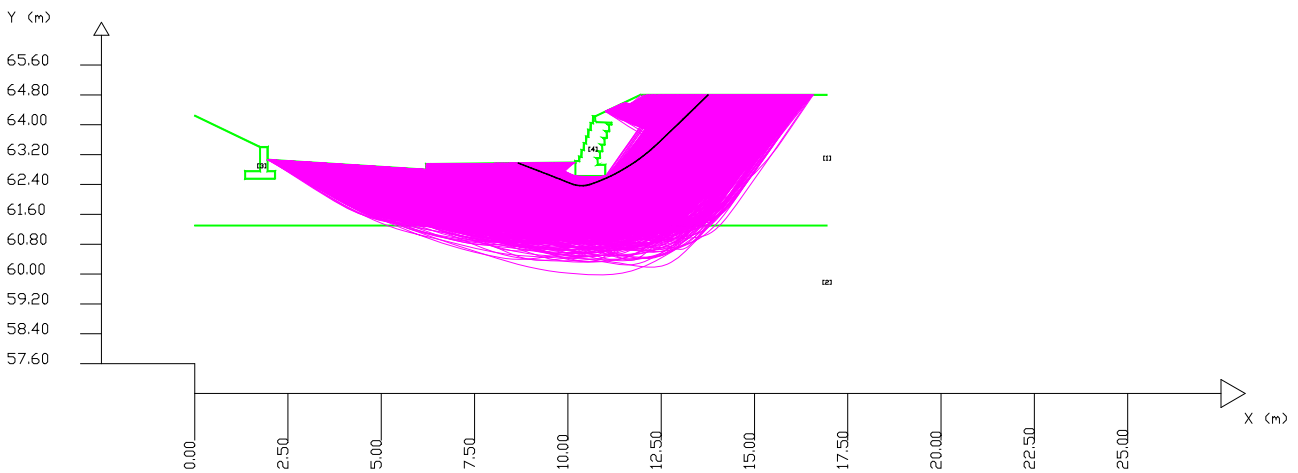
[1]--> $F_s > 50$
[2]--> $K_c = 0.0$ per $F_s < 1.0$
[3]--> $K_c = 0.0$ per $F_s > 50$
[4]--> Calcolo K_c senza convergenza
[5]--> Calcolo K_c non attivato
MLd: Minimum Lithostatic Deviation, Tinti & Mannucci (2006)
 K_c : Coefficiente sismico orizzontale critico, per avere $F_s = 1.0$. (Sarma, 1973)

SPOSTAMENTO ATTESO S(cm) CON 10% PROB. ECCEDENZA - da BIONDI et al.(2011) , , BANDINI et al.(2015), DU(2018) - METODO DI NEWMARK(1965) PER BLOCCO RIGIDO

METODO DI CALCOLO	K_c	Sr	0.1g	0.2g	0.4g	0.6g	0.8g	1.0g
JANBU_RIGOROSO(1973)	0.2888	0.908	0.001	0.001	0.107	0.698	1.505	2.394
SPENCER(1973)	0.3063	0.932	0.001	0.001	0.069	0.590	1.345	2.191
SARMA_I(1973)	0.3063	0.928	0.001	0.001	0.068	0.588	1.340	2.182
MORGENSTERN-PRICE(1965)	0.3000	0.830	0.001	0.001	0.073	0.564	1.259	2.033
CHEN-MORGENSTERN(1983)	0.3025	0.881	0.001	0.001	0.072	0.582	1.310	2.123
SARMA_II(1979)	0.3075	0.901	0.001	0.001	0.064	0.563	1.288	2.101
BORSELLI(2016)	0.3063	0.940	0.001	0.001	0.069	0.595	1.357	2.210


Gli spostamenti attesi, per $A_{max}(g) = 0.2$ (la PGA del sito è risultata pari a 0.200g), sono nulli (0.001 cm).

Nella figura che segue sono rappresentate le superfici esaminate.



La verifica della sezione esaminata, allo stato finale, risulta soddisfatta.

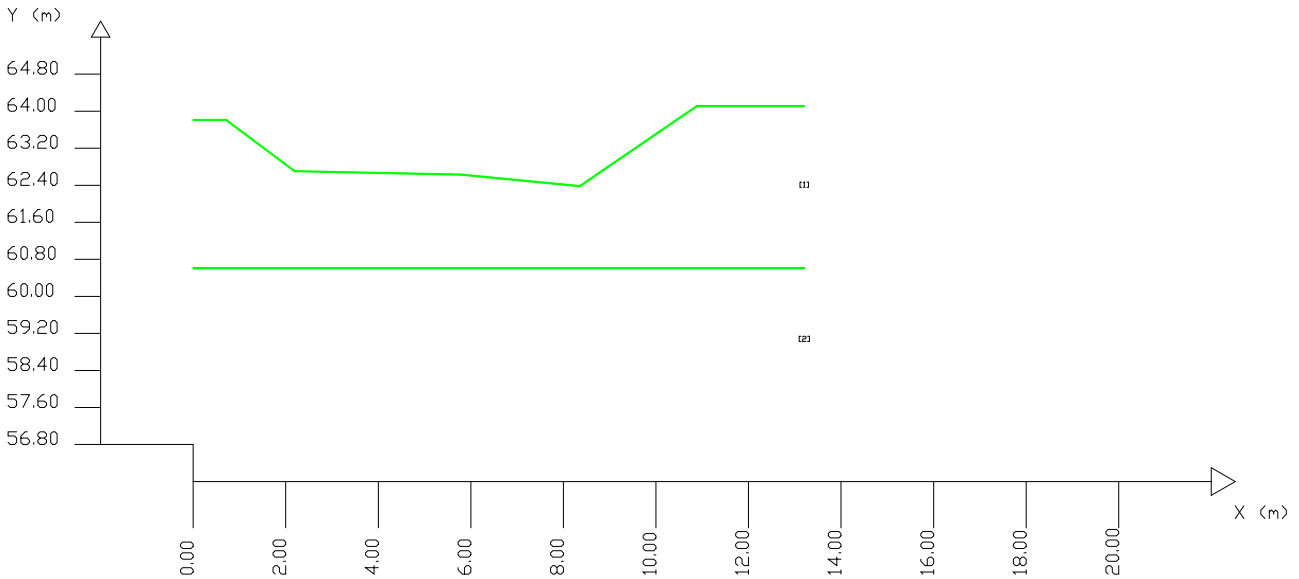
redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	55 di 63

	dott. geol. PAOLO TRENTI dott. geol. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
	PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE'	
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE'	
Provincia	BOLOGNA	
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	

8.2.4. Sez. 6

Stato attuale

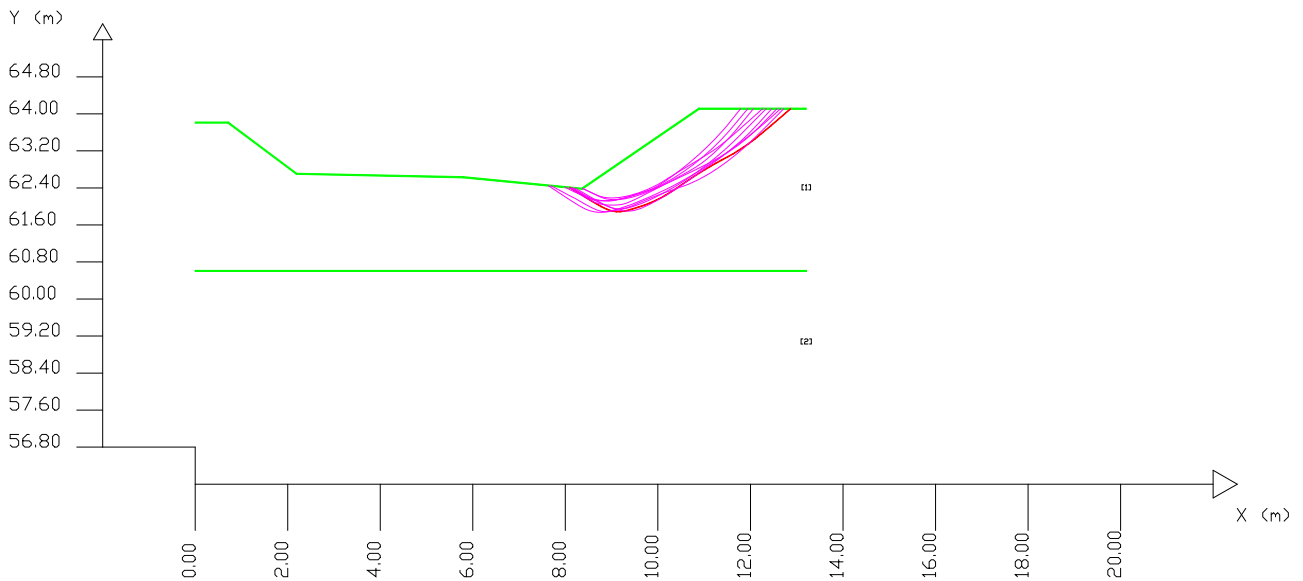
----- PARAMETRI GEOMECCANICI -----						
		ϕ_i°	c°	C_u	γ_{amm}	γ_{sat}
STRATO	1	21.90	4.60	0.00	17.20	19.16
STRATO	2	41.00	0.10	0.00	16.26	19.55



La verifica è stata condotta su 15 000 superfici.


Il coefficiente di sicurezza F_s minore ha il valore di 1.6467 (> 1.1).

Nella grafica che segue vi sono le 10 superfici critiche calcolate con F_s nel range 1.6467÷1.7189.



Sulla superficie a F_s minore (1.6467) è stata effettuata la verifica degli spostamenti in condizioni dinamiche ottenendo quanto segue.

redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	56 di 63

	dott. geol. PAOLO TRENTI dott. geol. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
	PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE'	
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE'	
Provincia	BOLOGNA	
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	

```

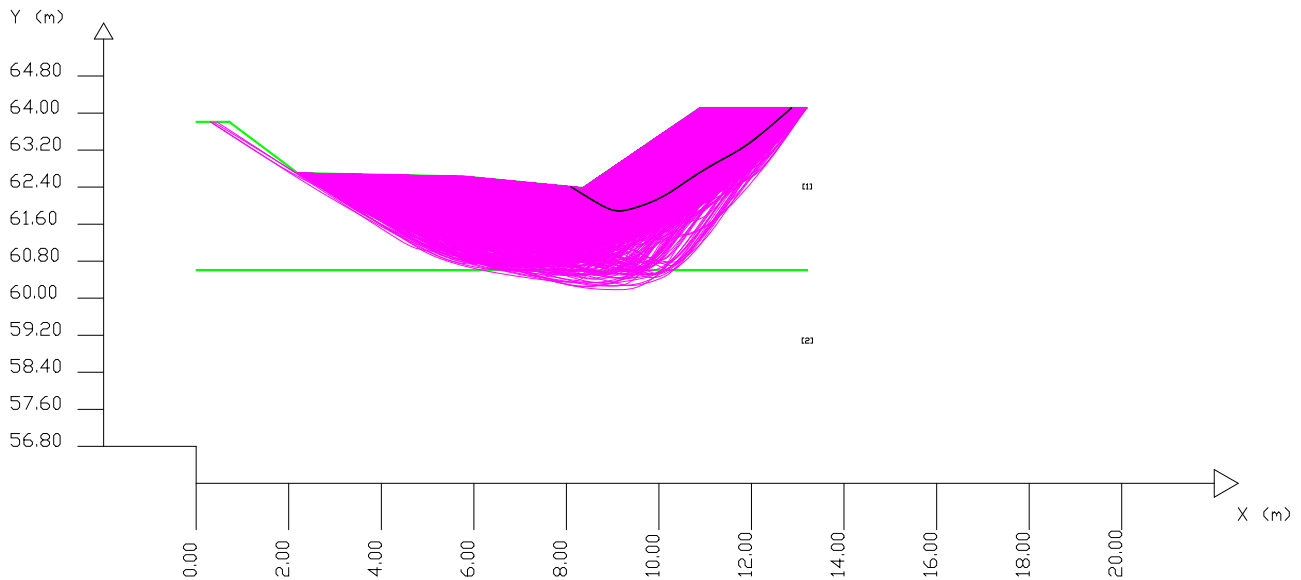
----- RISULTATI VERIFICA SU SUPERFICIE SINGOLA -----
METODO DI CALCOLO.....Fs.....lambda.....MLD.....Kc.....Esito.....Note..
JANBU_RIGOROSO(1973)..... 1.6203 1.0000 0.0899 0.3075 Verificata
SPENCER(1973)..... 1.6395 0.8874 0.0912 0.3100 Verificata
SARMA_I(1973)..... 1.6269 0.8886 0.0914 0.3088 Verificata
MORGENSTERN-PRICE(1965)..... 1.6557 0.7561 0.0929 0.3125 Verificata
CHEN-MORGENSTERN(1983)..... 1.6497 0.7533 0.0928 0.3113 Verificata
SARMA_II(1979)..... 1.6337 0.8169 0.0921 0.3100 Verificata
BORSELLI(2016)..... 1.6467 0.6193 0.0915 0.3088 Verificata
NOTE di Calcolo:-----
[0]--> Fs<1.0 oppure non convergenza calcolo
[1]--> Fs>50
[2]--> Kc=0.0 per FS<1.0
[3]--> Kc=0.0 per Fs>50
[4]--> Calcolo Kc senza convergenza
[5]--> Calcolo Kc non attivato
MLd: Minimum Lithostatic Deviation, Tinti & Mannucci (2006)
Kc: Coefficiente sismico orizzontale critico, per avere Fs=1.0. (Sarma,1973)

SPOSTAMENTO ATTESO S(cm) CON 10% PROB. ECCEDENZA - da BIONDI et al.(2011) , , BANDINI et al.(2015), DU(2018) -
METODO DI NEWMARK(1965) PER BLOCCO RIGIDO
.....||----- S(cm) per Amax(g) ATTESA IN SITO-----||
METODO DI CALCOLO.....Kc.....Sr.....0.1g...0.2g...0.4g...0.6g...0.8g...1.0g
JANBU_RIGOROSO(1973)..... 0.3075 0.882 0.001 0.001 0.063 0.551 1.261 2.058
SPENCER(1973)..... 0.3100 0.867 0.001 0.001 0.057 0.527 1.216 1.991
SARMA_I(1973)..... 0.3088 0.888 0.001 0.001 0.061 0.547 1.257 2.056
MORGENSTERN-PRICE(1965)..... 0.3125 0.746 0.001 0.001 0.046 0.440 1.025 1.684
CHEN-MORGENSTERN(1983)..... 0.3113 0.515 0.001 0.001 0.033 0.309 0.715 1.174
SARMA_II(1979)..... 0.3100 0.988 0.001 0.001 0.065 0.600 1.385 2.269
BORSELLI(2016)..... 0.3088 0.956 0.001 0.001 0.066 0.589 1.353 2.212

```

Gli spostamenti attesi, per $A_{max}(g) = 0.2g$ (la PGA del sito è risultata pari a $0.200g$), sono nulli (0.001 cm).

Nella figura che segue sono rappresentate le superfici esaminate.




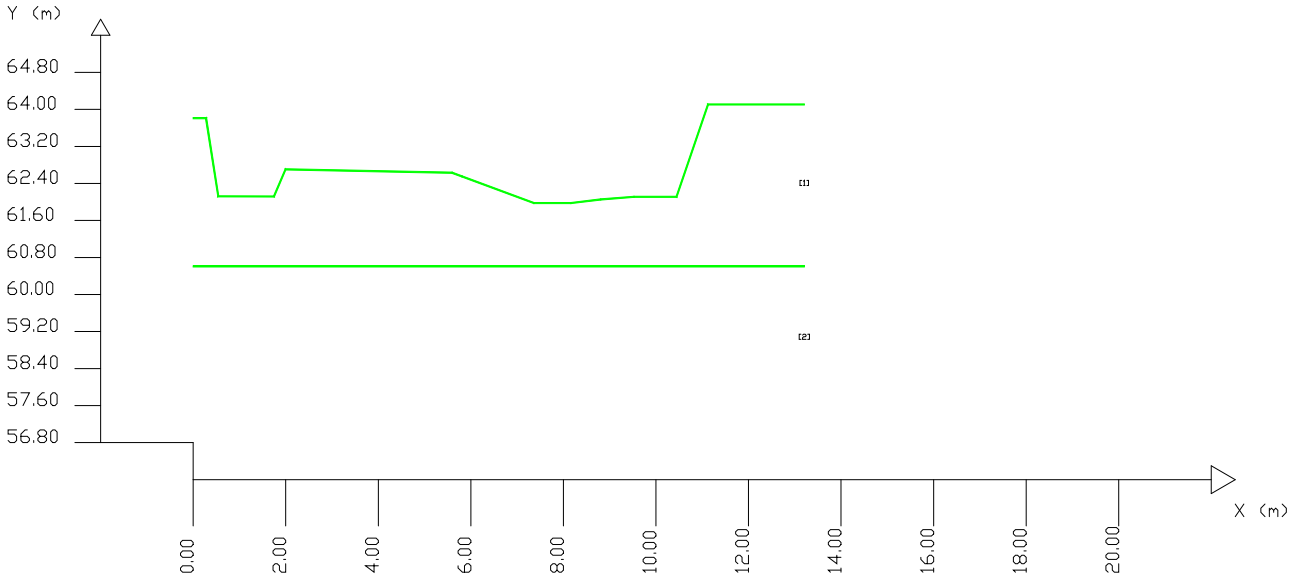
La verifica della sezione esaminata, allo stato attuale, risulta soddisfatta.

Stato intermedio

----- PARAMETRI GEOMECCANICI -----						
		ϕ_i	c'	C_u	γ_{sat}	γ_{sat}
STRATO	1	0.00	0.00	89.3	17.20	19.16
STRATO	2	41.00	0.10	0.00	16.26	19.55

redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	57 di 63

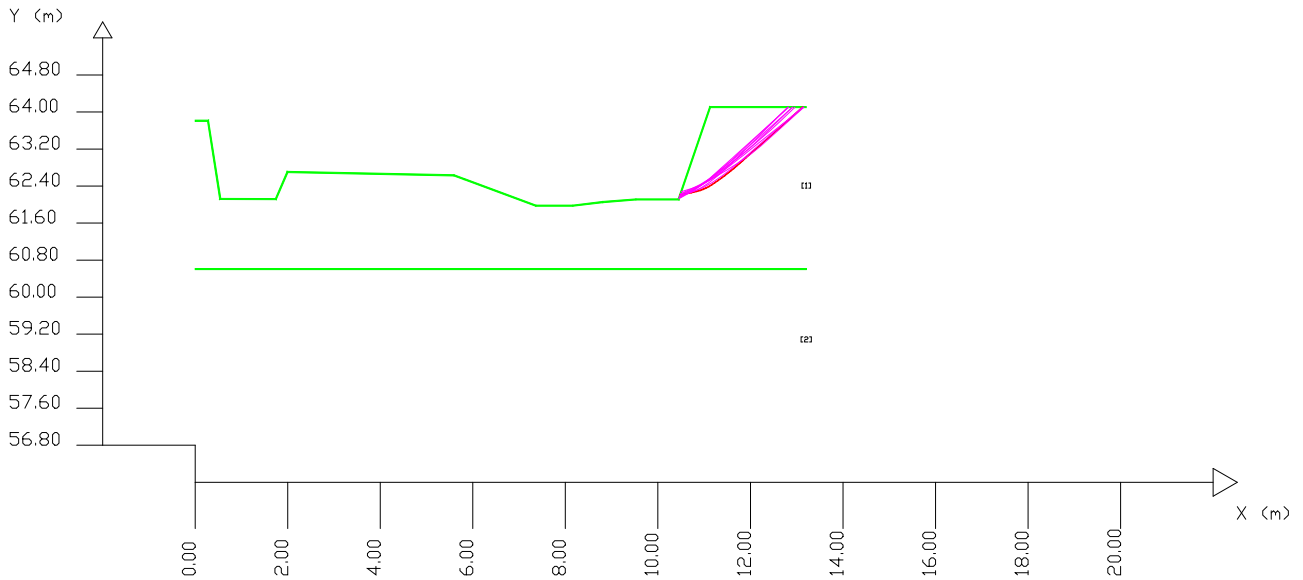
	dott. geol. PAOLO TRENTI dott. geol. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	 Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
	 PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE' 	
 Comune	 SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE' 	
 Provincia	 BOLOGNA 	
 Committente	 COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA 	



La verifica è stata condotta su 15 000 superfici.

Il coefficiente di sicurezza F_s minore ha il valore di 11.9005 (> 1.1).


Nella grafica che segue vi sono le 10 superfici critiche calcolate con F_s nel range 11.9005÷12.3518.



Sulla superficie a F_s minore (11.9005) è stata effettuata la verifica degli spostamenti in condizioni dinamiche ottenendo quanto segue.

----- RISULTATI VERIFICA SU SUPERFICIE SINGOLA -----						
METODO DI CALCOLO.....	F_s	lambda....	MLD.....	Kc.....	Esito....	Note..
JANBU_RIGOROSO(1973).....	11.5666	1.0000	0.6521	0.0000	Verificata	[4]
SPENCER(1973).....	11.8958	1.2500	0.0183	0.0000	Verificata	[4]
SARMA_I(1973).....	11.8993	1.2500	0.0381	0.0000	Verificata	[4]
MORGENSTERN-PRICE(1965).....	11.8543	1.2500	0.0172	0.0000	Verificata	[4]
CHEN-MORGENSTERN(1983).....	11.8944	1.2500	0.0367	0.0000	Verificata	[4]
SARMA_II(1979).....	11.8945	1.2500	0.0378	0.0000	Verificata	[4]
BORSELLI(2016).....	11.9005	1.2500	0.0190	0.0000	Verificata	[4]

redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	58 di 63

	dott. GEOL. PAOLO TRENTI dott. GEOL. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
	PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE'	
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE'	
Provincia	BOLOGNA	
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	

NOTE di Calcolo:-----

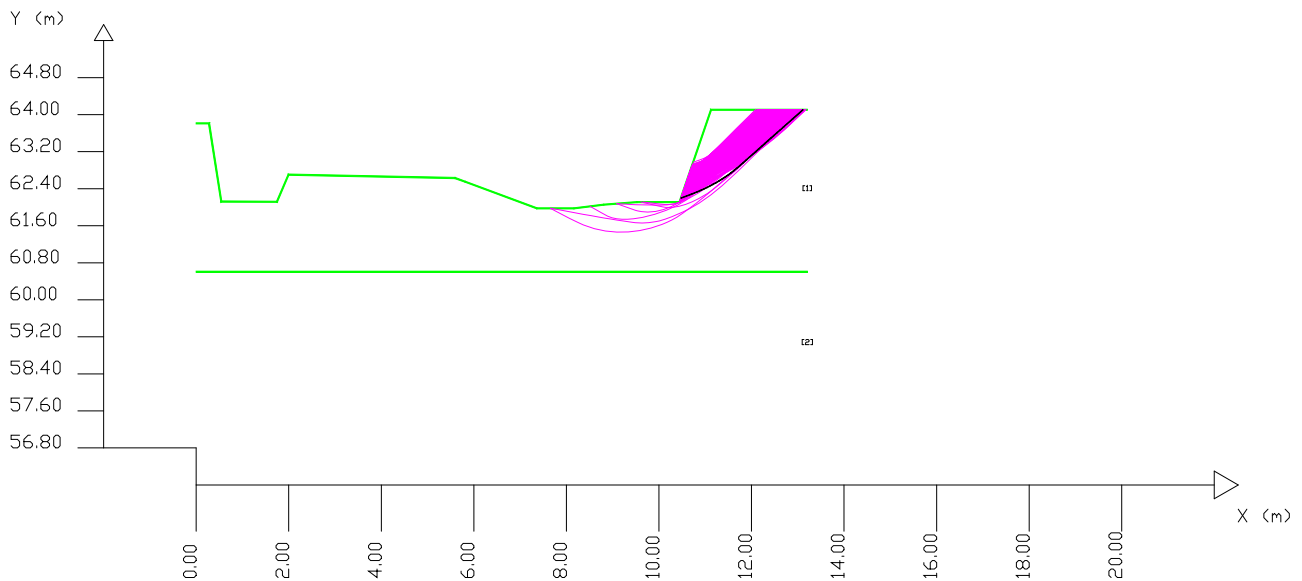
[0]--> $F_s < 1.0$ oppure non convergenza calcolo
 [1]--> $F_s > 50$
 [2]--> $K_c = 0.0$ per $F_s < 1.0$
 [3]--> $K_c = 0.0$ per $F_s > 50$
 [4]--> Calcolo K_c senza convergenza
 [5]--> Calcolo K_c non attivato
 Mld: Minimum Lithostatic Deviation, Tinti & Mannucci (2006)
 Kc: Coefficiente sismico orizzontale critico, per avere $F_s = 1.0$. (Sarma, 1973)

SPOSTAMENTO ATTESO S(cm) CON 10% PROB. ECCENDENZA - da BIONDI et al.(2011) , , BANDINI et al.(2015), DU(2018) - METODO DI NEWMARK(1965) PER BLOCCO RIGIDO

METODO DI CALCOLO	Kc	Sr	0.1g	0.2g	0.4g	0.6g	0.8g	1.0g
JANBU_RIGOROSO(1973)	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SPENCER(1973)	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SARMA_I(1973)	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
MORGENSTERN-PRICE(1965)	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CHEN-MORGENSTERN(1983)	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SARMA_II(1979)	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
BORSELLI(2016)	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Gli spostamenti attesi, per $A_{max}(g) \leq 1.0$ (la PGA del sito è risultata pari a 0.200g), sono nulli (0.000 cm).

Nella figura che segue sono rappresentate le superfici esaminate con $F_s < 10$. Le restanti superfici con $F_s > 10$ non sono state rappresentate.




La verifica della sezione esaminata, allo stato intermedio, risulta soddisfatta.

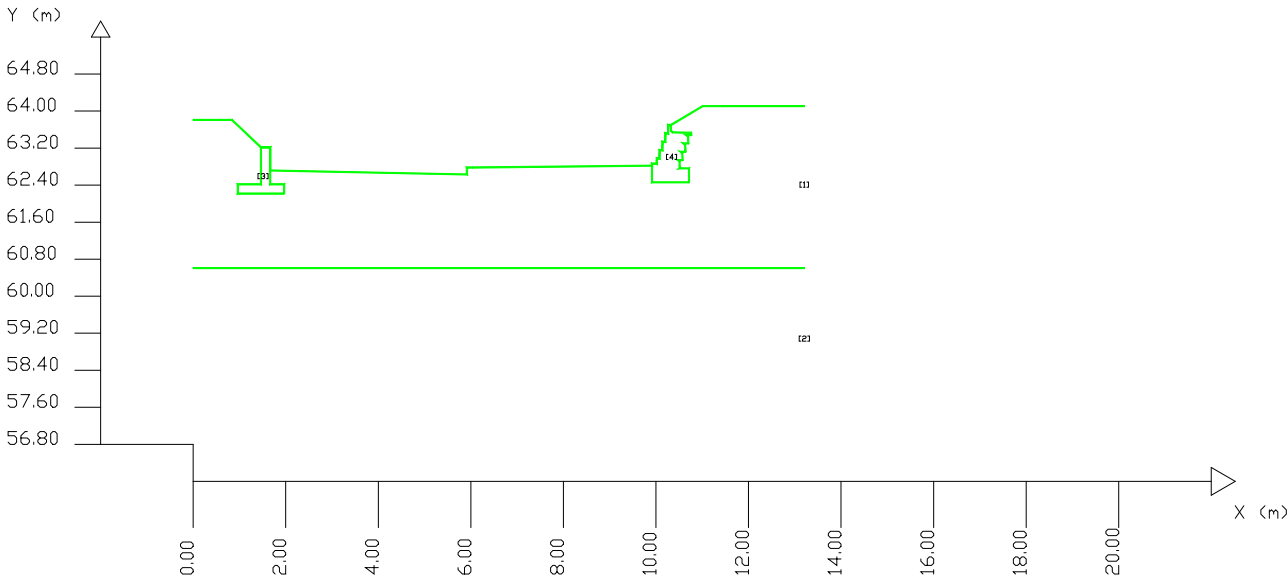
Stato finale

Nello stato finale è stata introdotta la presenza del muro a gravità tipo Löffel e di un piccolo muro in c.a.

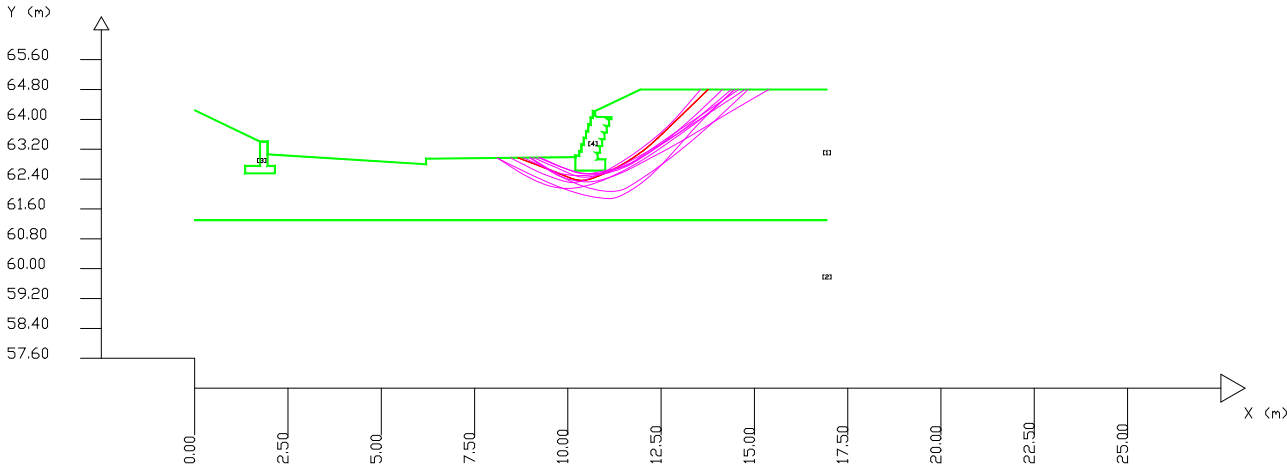
PARAMETRI GEOMECCANICI							
		f_i	c	C_u	γ_{m}	γ_{m_sat}	
STRATO	1	21.90	4.60	0.00	17.20	19.16	
STRATO	2	41.00	0.10	0.00	16.26	19.55	
STRATO	3	50.00	100.00	0.00	24.00	24.00	muro in c.a.
STRATO	4	50.00	50.00	0.00	22.00	22.00	muro tipo Löffel

redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	59 di 63

	dott. GEOL. PAOLO TRENTI dott. GEOL. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
	PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE'	
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE'	
Provincia	BOLOGNA	
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	



La verifica è stata condotta su 15 000 superfici.
 Il coefficiente di sicurezza F_s minore ha il valore di 1.8997 (> 1.1).
 Nella grafica che segue vi sono le 10 superfici critiche calcolate con F_s nel range 1.8997÷2.0753.




Sulla superficie a F_s minore (1.8997) è stata effettuata la verifica degli spostamenti in condizioni dinamiche ottenendo quanto segue.

---- RISULTATI VERIFICA SU SUPERFICIE SINGOLA ----						
METODO DI CALCOLO.....	F_s ...	lambda....	MLD.....	Kc.....	Esito....	Note..
JANBU_RIGOROSO(1973).....	1.8709	1.0000	0.1242	0.3963	Verificata	
SPENCER(1973).....	1.8996	0.6753	0.1317	0.4100	Verificata	
SARMA_I(1973).....	1.9943	0.2916	0.1324	0.4100	Verificata	
MORGENSTERN-PRICE(1965).....	1.8953	0.6551	0.1298	0.4088	Verificata	
CHEN-MORGENSTERN(1983).....	1.8950	0.6337	0.1312	0.4100	Verificata	
SARMA_II(1979).....	1.9937	0.2954	0.1335	0.4125	Verificata	
BORSELLI(2016).....	1.8997	0.4886	0.1334	0.4125	Verificata	

NOTE di Calcolo:-----
 [0]--> $F_s < 1.0$ oppure non convergenza calcolo

redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	60 di 63

	dott. geol. PAOLO TRENTI dott. geol. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
	PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE	
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE	
Provincia	BOLOGNA	
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	

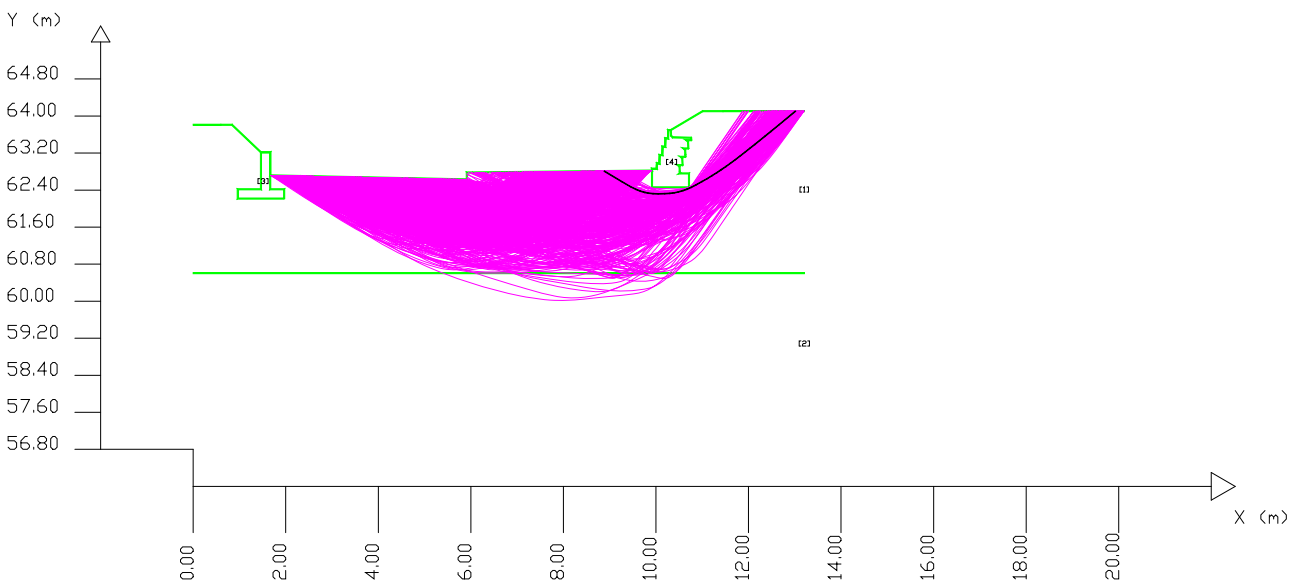
[1]--> $F_s > 50$
[2]--> $K_c = 0.0$ per $F_s < 1.0$
[3]--> $K_c = 0.0$ per $F_s > 50$
[4]--> Calcolo K_c senza convergenza
[5]--> Calcolo K_c non attivato
MLd: Minimum Lithostatic Deviation, Tinti & Mannucci (2006)
 K_c : Coefficiente sismico orizzontale critico, per avere $F_s = 1.0$. (Sarma, 1973)

SPOSTAMENTO ATTESO S(cm) CON 10% PROB. ECCENDENZA - da BIONDI et al.(2011) , , BANDINI et al.(2015), DU(2018) - METODO DI NEWMARK(1965) PER BLOCCO RIGIDO

METODO DI CALCOLO	Kc	Sr	0.1g	0.2g	0.4g	0.6g	0.8g	1.0g
JANBU_RIGOROSO(1973)	0.3963	0.882	0.001	0.001	0.000	0.182	0.618	1.170
SPENCER(1973)	0.4100	1.067	0.001	0.001	0.001	0.181	0.666	1.297
SARMA_I(1973)	0.4100	0.810	0.001	0.001	0.001	0.137	0.506	0.985
MORGENSTERN-PRICE(1965)	0.4088	0.802	0.001	0.001	0.001	0.138	0.506	0.983
CHEN-MORGENSTERN(1983)	0.4100	0.791	0.001	0.001	0.001	0.134	0.494	0.962
SARMA_II(1979)	0.4125	0.697	0.001	0.001	0.001	0.114	0.426	0.834
BORSELLI(2016)	0.4125	0.787	0.001	0.001	0.001	0.128	0.481	0.942


Gli spostamenti attesi, per $A_{max}(g) = 0.2$ (la PGA del sito è risultata pari a 0.200g), sono nulli (0.001 cm).

Nella figura che segue sono rappresentate le superfici esaminate.



La verifica della sezione esaminata, allo stato finale, risulta soddisfatta.

redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	24.001.240305.R0	0	05/03/2024	61 di 63

	dott. geol. PAOLO TRENTI dott. geol. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE		
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE	
Provincia	BOLOGNA	
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	

9. CONCLUSIONI

Al fine di verificare le caratteristiche geologiche, sismiche e geotecniche della zona in cui s’inserisce l’area in oggetto, ci si è avvalsi di conoscenze dirette degli scriventi e d’indagini in sito sui terreni che la costituiscono.

Nel § 5 è stato sviluppato il modello geologico del sito. La zona appartiene alla piana alluvionale interfluviale, compresa fra gli attuali corsi del T. Savena a W e del T. Idice ad E. Dal punto di vista idrogeologico le falde idriche che si sviluppano per la maggior parte in sedimenti grossolani. Dalla consultazione della Cartografia del Rischio Alluvioni, l’area sia con riferimento al reticolo principale naturale sia al reticolo secondario presenta un rischio alluvioni classificato P2-M (alluvioni poco frequenti: tempo di ritorno tra 100 e 200 anni - media probabilità).

Nel § 6 è stato analizzato il modello sismico del sito. È stata descritta la sismicità storica del sito e il suo legame con le strutture sismogenetiche attigue. Sono stati esaminati i risultati delle prospezioni sismiche eseguite per la modellazione sismostratigrafica del sottosuolo. Il picco di risonanza principale del sito si colloca alla frequenza di 18.75 Hz con un valore del rapporto H/V attorno a 3.2, stimatore di medio-alta amplificazione sismica. Sono stati ricavati i parametri sismici di sito. Con approccio semplificato ex NTC18 è attribuibile una categoria di suolo B con un coefficiente topografico T1. La scelta definitiva in merito agli spettri da utilizzarsi nella progettazione rimane comunque competenza esclusiva del Progettista.


Nel § 7 è stato sviluppato il modello geotecnico del sito. Si sono descritte le indagini in sito e di Laboratorio eseguite delle quali si sono analizzati i risultati e si è proceduto alla determinazione dei parametri geotecnici caratteristici. Il sottosuolo è formato da una copertura di spessore mediamente di c.a. 3.5 m di terreni limoso sabbiosi debolmente argillosi con sottostanti ghiaie. I fori, indagati con freaticometro, hanno evidenziato l’assenza della prima falda superficiale. L’individuazione della falda è legata al tipo di incarico ricevuto e al periodo di osservazione strettamente connesso con l’incarico. Le Unità Stratigrafiche esaminate, in assenza di falda, non appartengono a categorie di terreni potenzialmente liquefacibili.


Nel § 8 è stata compiuta l’analisi della stabilità, in condizioni attuali, intermedie e di progetto. Tutte le verifiche sono risultate soddisfatte.

Alla luce dei dati ricavati dalle indagini esperite non si rilevano vincoli ostativi alla realizzazione del progetto.

Bologna, 5 marzo 2024.



redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	62 di 63

 <small>STUDIO CP</small>	dott. geol. PAOLO TRENTI dott. geol. MARIA CRISTINA VERRECCHIA	Oggetto modello geologico, sismico, geotecnico
	PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UNA PISTA CICLOPEDONALE IN VIA FONDE	
Comune	SAN LAZZARO DI SAVENA – VIA FONDE	
Provincia	BOLOGNA	
Committente	COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA	

ALLEGATI

Titolo allegato	n°
Tav. 1 – Inquadramento cartografico scala 1:25 000	1
Tav. 2 – Inquadramento cartografico scala 1:5 000	1
Tav. 3 – Carta delle coperture quaternarie scala 1:5000	1
Tav. 4 – Carta geologica scala 1:5000	1
Tav. 5/6 – Piano Gestione Rischio Alluvioni	2
Tav. 7 – Ubicazione indagini eseguite	1
Tavv. 8/9 – Documentazione fotografica	2
Rapporti di prova penetrometrie dinamiche	3
Certificato di Prova di Laboratorio Geotecnico	1
Rilevazione in sismica passiva (HVSr)	1
N° totale allegati	14

redazione	controllo	approvazione	identificazione	revisione	emissione	pagina
trenti	verrecchia	verrecchia	 24.001.240305.R0	0	05/03/2024	63 di 63



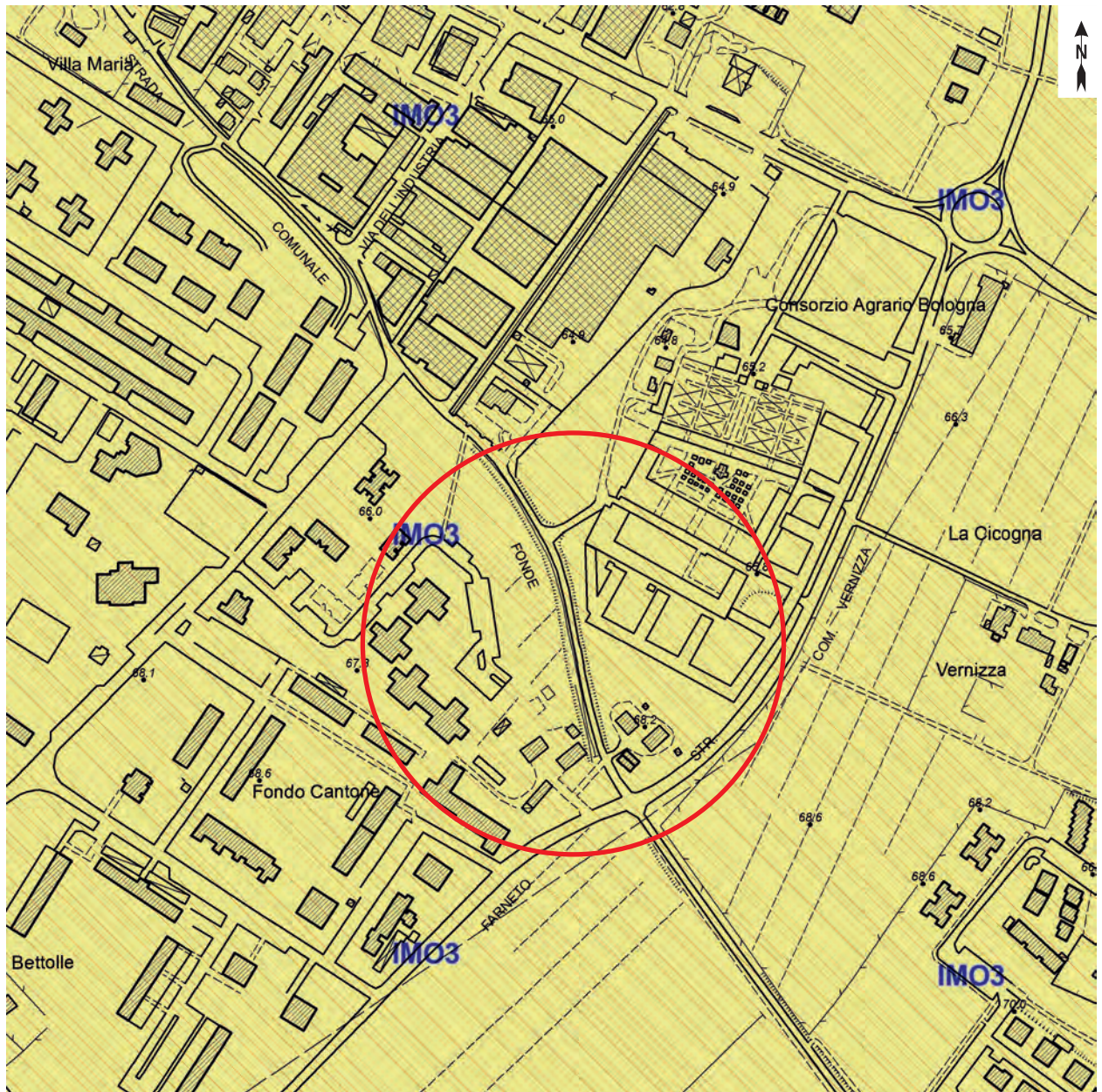




LEGENDA



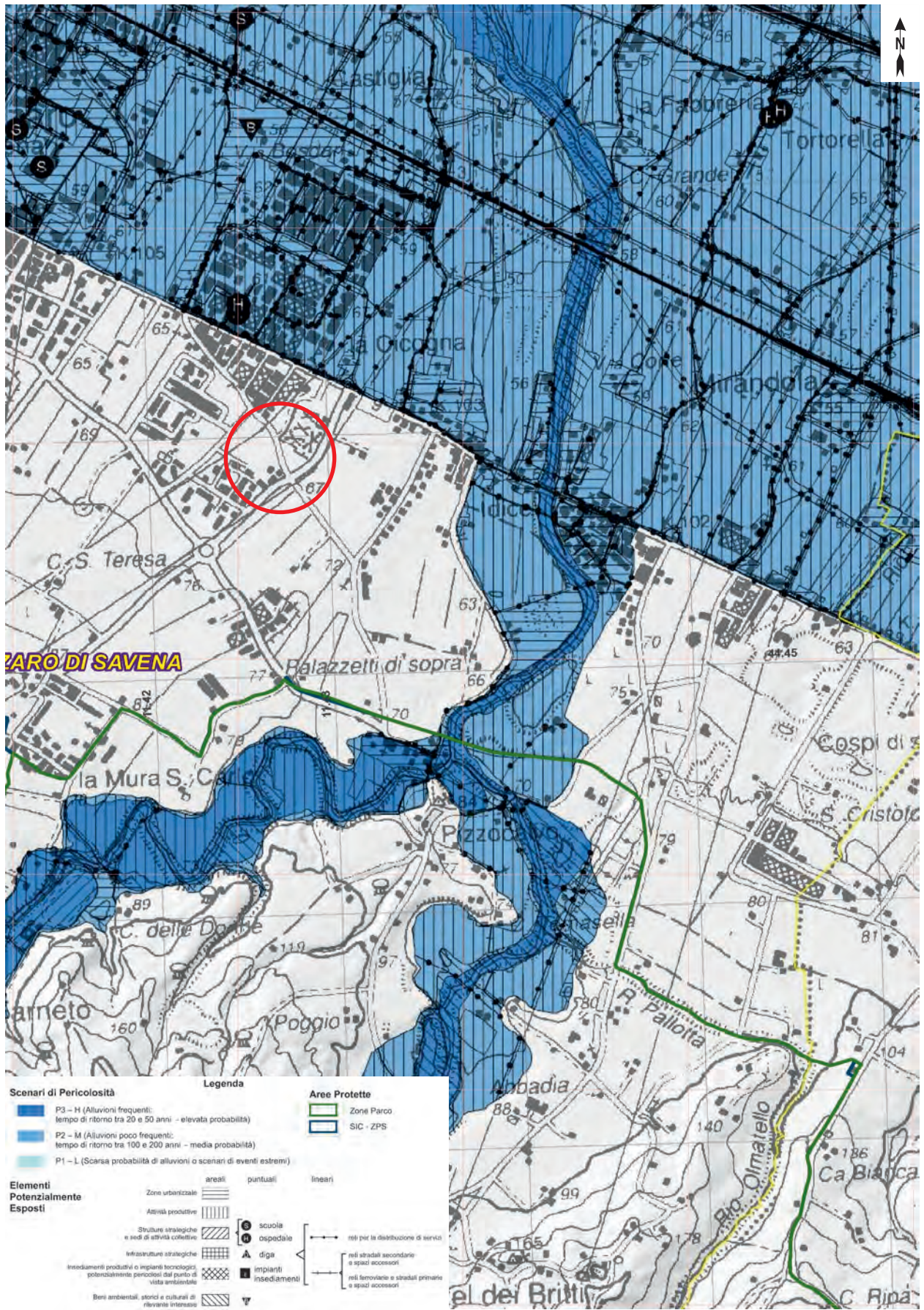
AES8 - Subsistema di Ravenna (Quaternario) - Limi Sabbiosi - Piana alluvionale

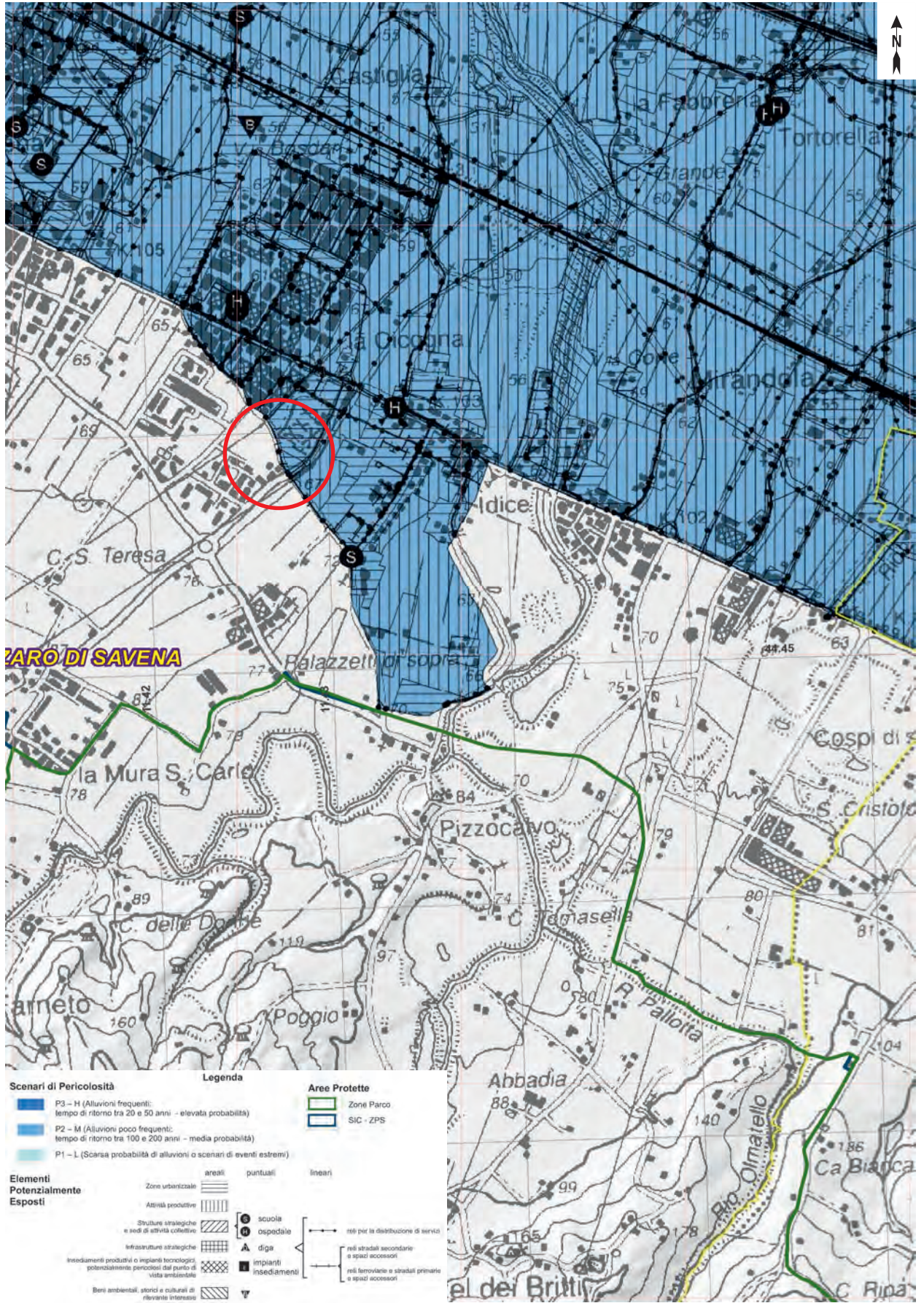


LEGENDA



Sabbie gialle di Imola - Membro di Castel San Pietro - Sabbie ed arenarie fini di spiaggia - (Quaternario).







 Prova penetrometrica dinamica

 Punti di prelievo campioni





DPM1



DPM2





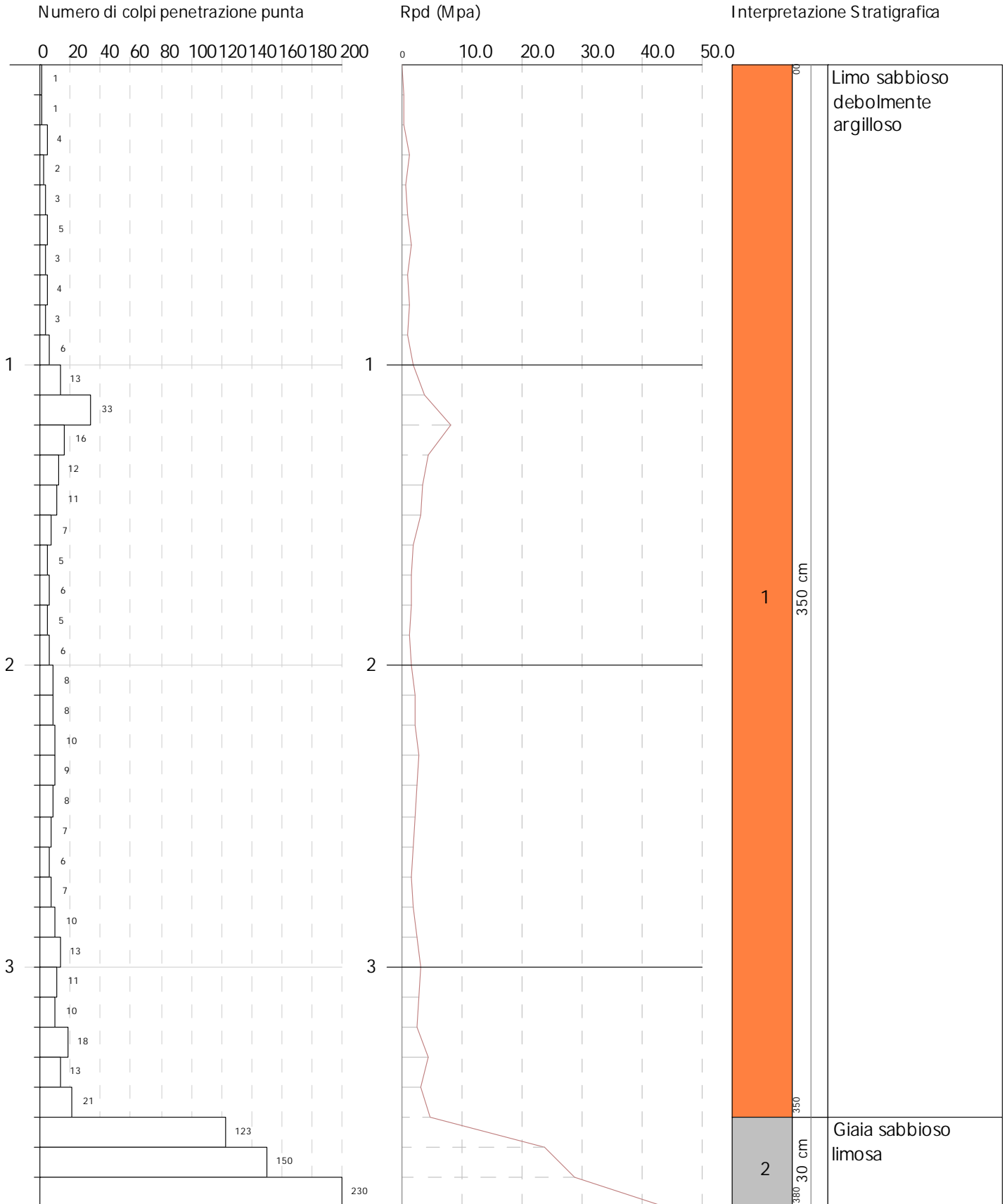
dott. geol. paolo trenti
dott. geol. maria cristina verrecchia
via saffi 30
40131 bologna bo

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPM1
Strumento utilizzato... GeoDeepDrill DM30

Committente: COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA
Descrizione: SAN LAZZARO DI SAVENA
Localita': VIA FONDE'

01/02/2024

Scala 1:20





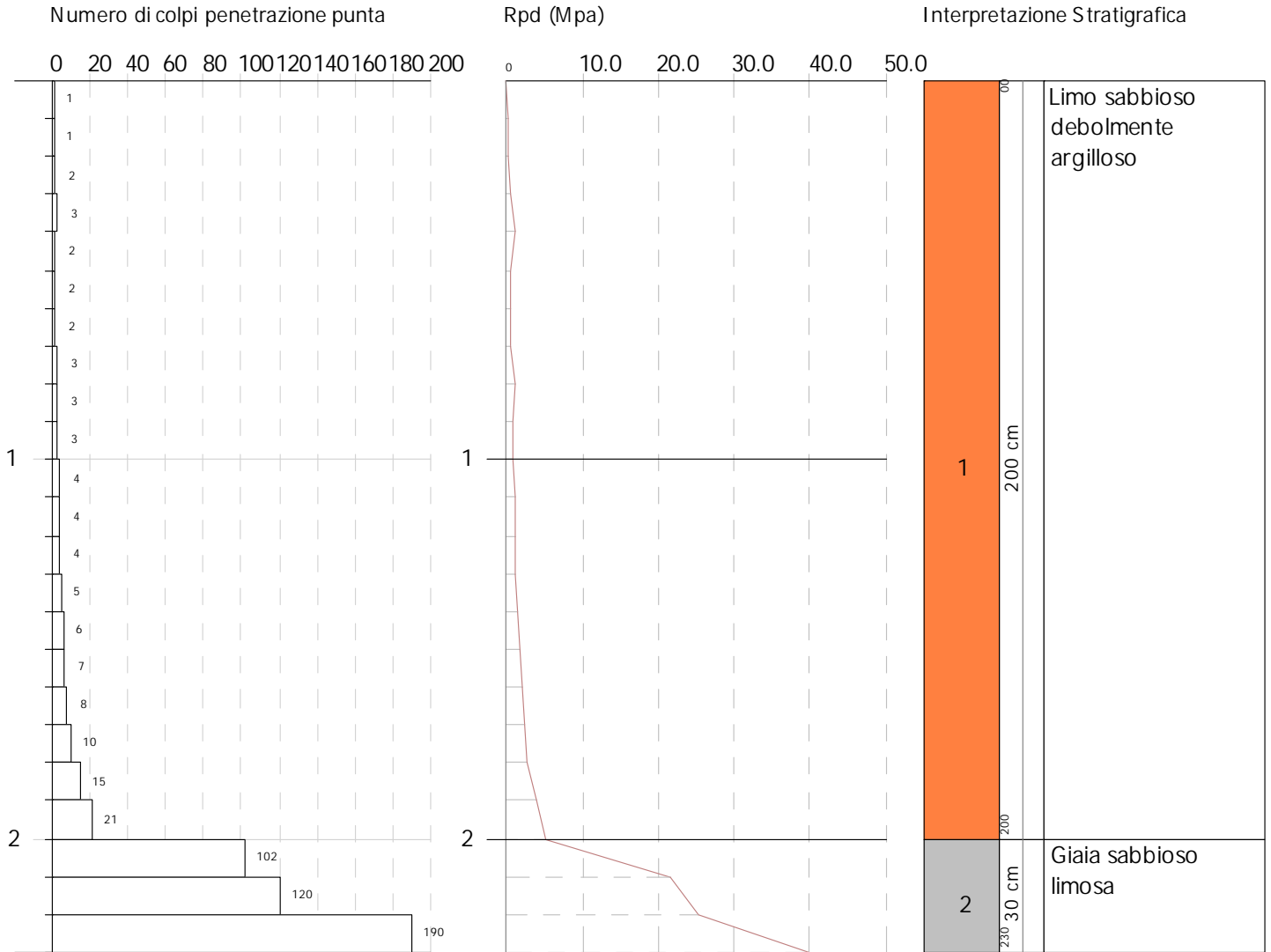
dott. geol. paolo trenti
dott. geol. maria cristina verrecchia
via saffi 30
40131 bologna bo

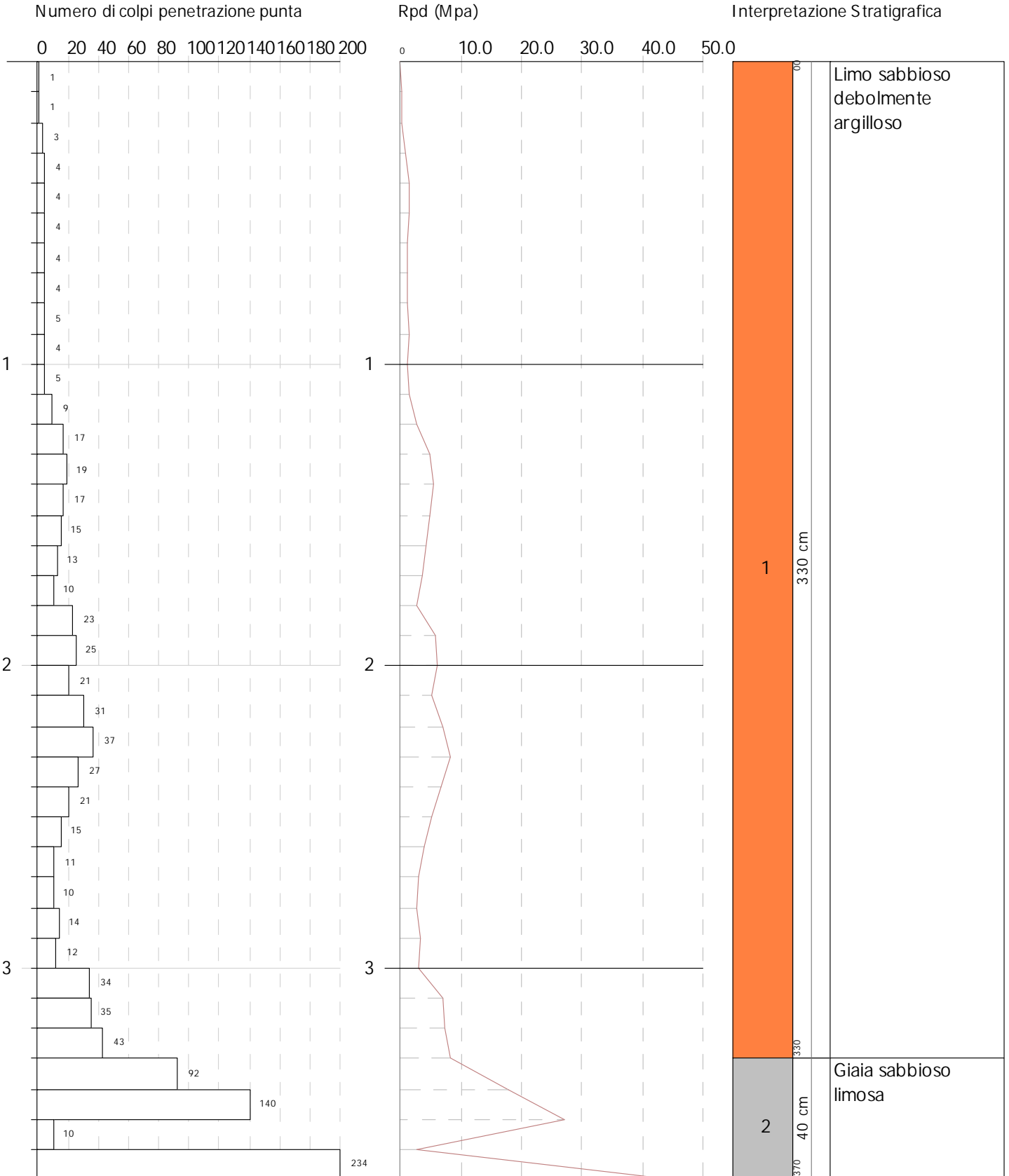
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPM2
Strumento utilizzato... GeoDeepDrill DM30

Committente: COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA
Descrizione: SAN LAZZARO DI SAVENA
Localita': VIA FONDE'

01/02/2024

Scala 1:20





CERTIFICATO DI PROVA N°: 04239/L Pagina 2/3

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 217/24 del 21/02/24

DATA DI EMISSIONE: 28/02/24

Inizio analisi: 22/02/24

Apertura campione: 22/02/24

Fine analisi: 28/02/24

COMMITTENTE: Comune di S. Lazzaro di savena

RIFERIMENTO: S. Lazzaro di Savena (BO), via Fondè

SONDAGGIO: CAMPIONE: 1 PROFONDITA': m 0.5-1.0

PROVA DI TAGLIO DIRETTO - FASE DI CONSOLIDAZIONE

Modalità di prova: Norma AGI(1999), ASTM D3080-03

Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 1

Pressione (kPa)	49
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,965
Sezione (cm ²):	36,00
T ₁₀₀ (min)	345,0
Df (mm)	7
Vs (mm/min)	0,002

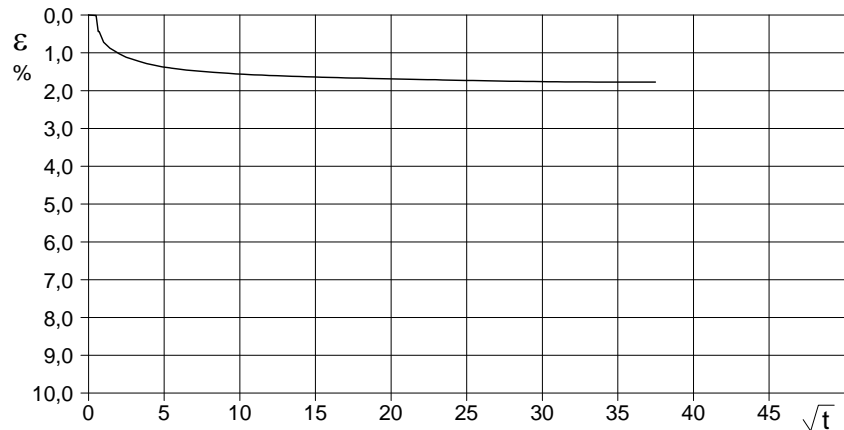


Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 2

Pressione (kPa)	98
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,870
Sezione (cm ²):	36,00
T ₁₀₀ (min)	350,4
Df (mm)	7
Vs (mm/min)	0,002

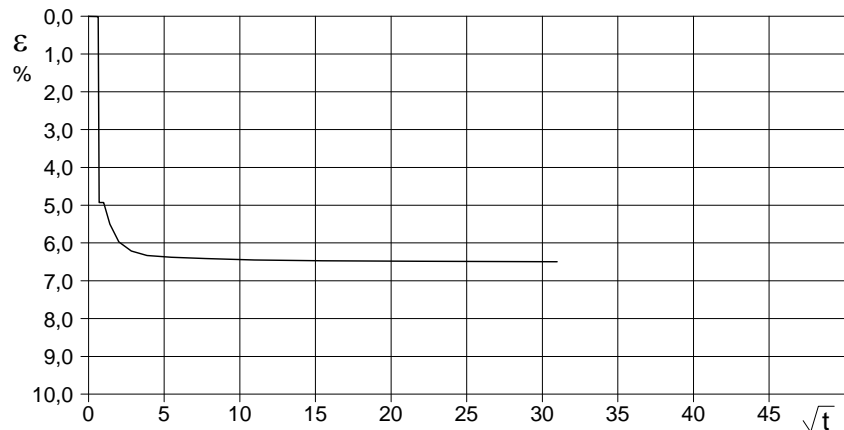
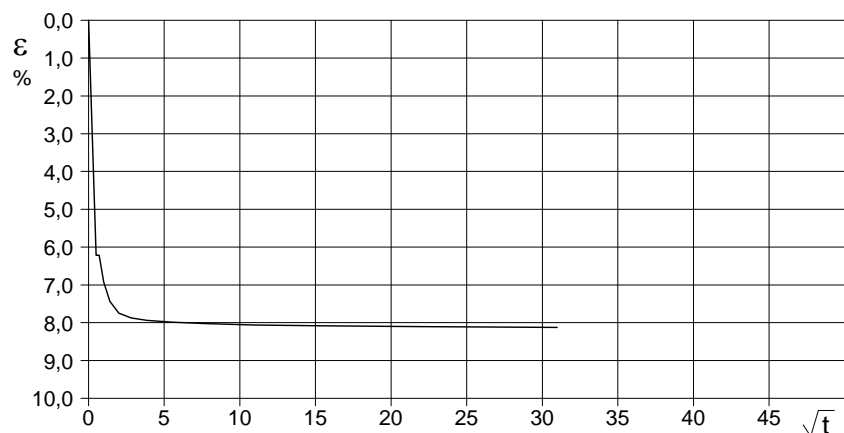


Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 3

Pressione (kPa)	196
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,838
Sezione (cm ²):	36,00
T ₁₀₀ (min)	380,2
Df (mm)	7
Vs (mm/min)	0,002



Vs = Velocità stimata di prova Df = Deformazione a rottura stimata

$tf = 10 \times T_{100}$

$Vs = Df / tf$

COMMITTENTE:	Comune di S. Lazzaro di savena		
RIFERIMENTO:	S. Lazzaro di Savena (BO), via Fondè		
SONDAGGIO:	CAMPIONE: 1	PROFONDITA': m	0.5-1.0

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: Norma AGI(1999), ASTM D3080-03

Provino n°:	1		2		3	
Condizione del provino:	Ricostituito		Ricostituito		Ricostituito	
Pressione verticale (kPa):	49		98		196	
Tensione a rottura (kPa):	24		44		84	
Deformazione orizzontale e verticale a rottura (mm):	7,56	0,68	7,49	1,14	5,86	1,32
Umidità iniziale e umidità finale (%):	3,4	25,9	3,7	25,1	3,5	22,4
Peso di volume iniziale e finale (kN/m³):	16,7	20,7	17,4	22,4	17,1	22,0
Grado di saturazione iniziale e finale (%):	14,2	100,0	16,8	100,0	15,8	100,0

DIAGRAMMA Tensione - Pressione verticale

Coesione:	4,6 kPa
Angolo di attrito interno:	21,9 °

Tipo di prova:	Consolidata - lenta
Velocità di deformazione:	0,002 mm / min
Tempo di consolidazione (ore):	24

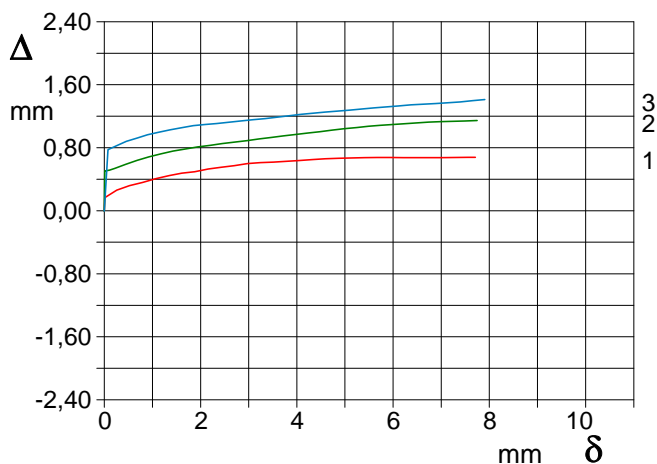
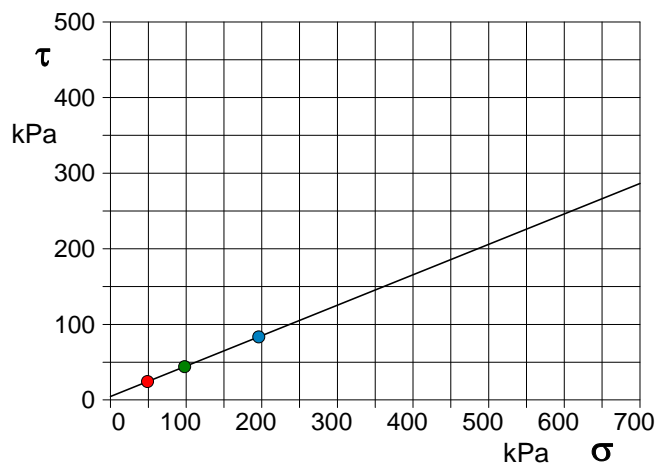


DIAGRAMMA Deform. vert. - Deform. orizz.

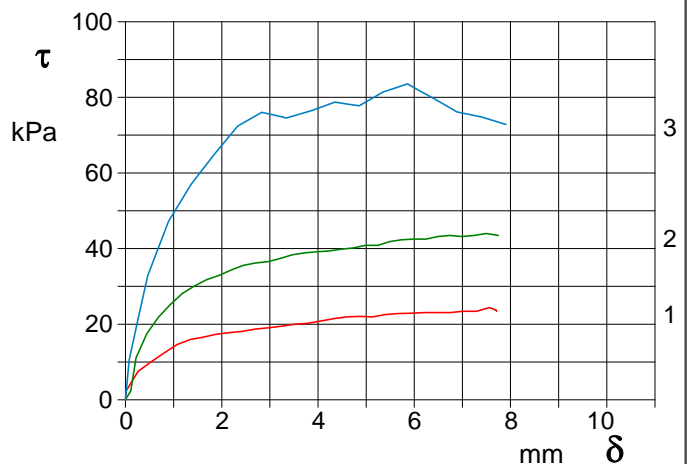


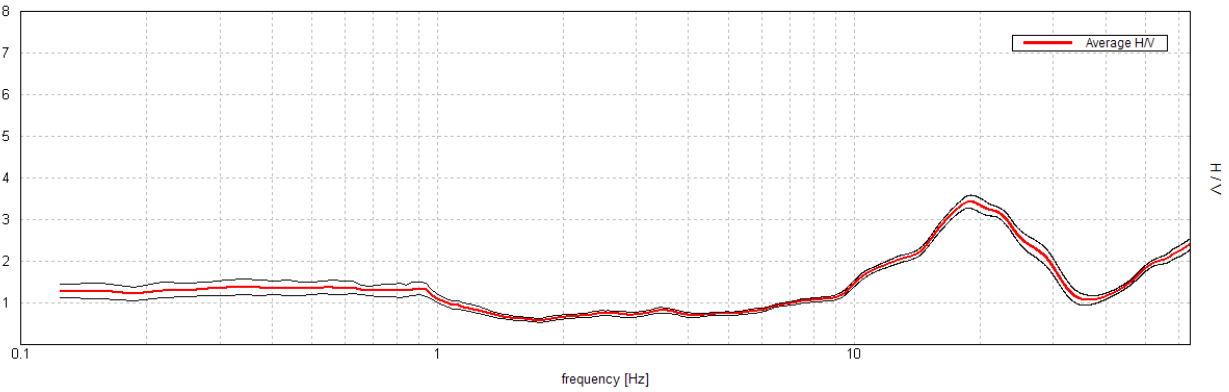
DIAGRAMMA Tensione - Deformaz. orizz.

RILEVAZIONE HVSR – RAPPORTO DI PROVA 24.001.TR1

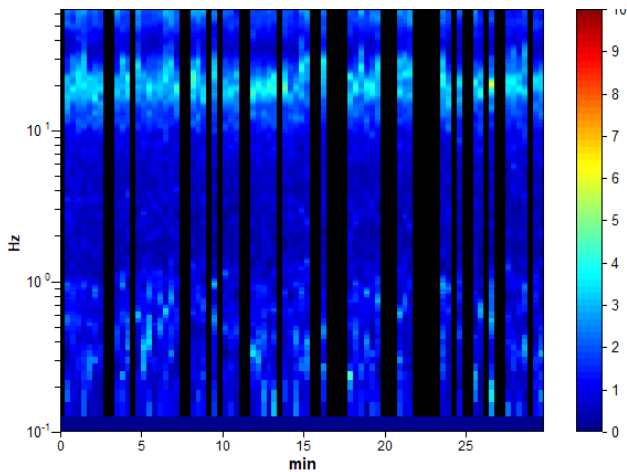
Strumento: TEN-0006/01-07
Formato dati: 16 bit
Fondo scala [mV]: 51
Inizio registrazione: 01/02/2024 12:41:57
Fine registrazione: 01/02/2024 13:11:58
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN
Posizione GPS: 011°25.6761 E, 44°27.5446 N
Num. satelliti: 03
Durata registrazione: 0h30'00".
Analizzato 64% tracciato (selezione manuale)
Freq. campionamento: 128 Hz
Lunghezza finestre: 20 s
Tipo di lisciamento: Triangular window
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

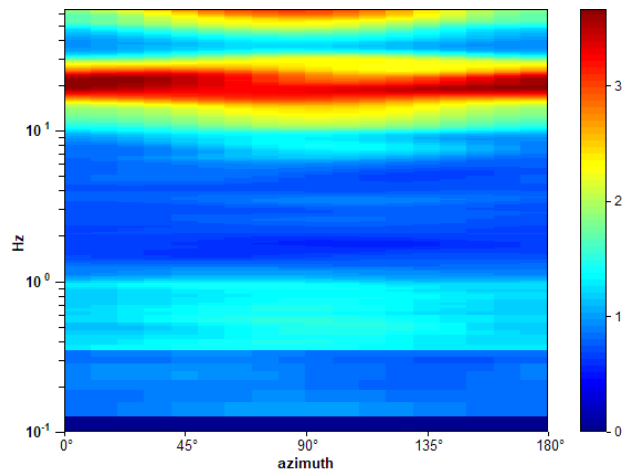
Picco H/V a 18.75 ± 0.32 Hz (nell'intervallo 0.1 - 20.0 Hz).



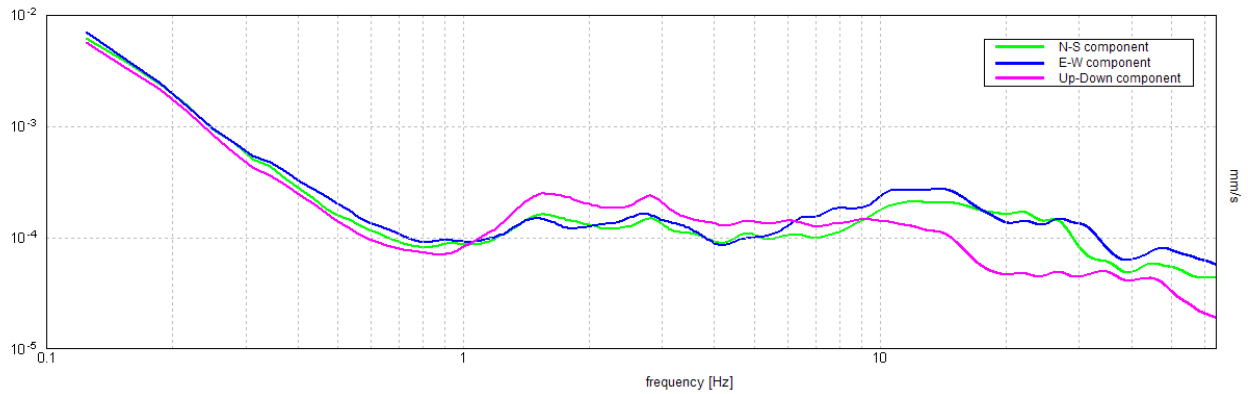
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V

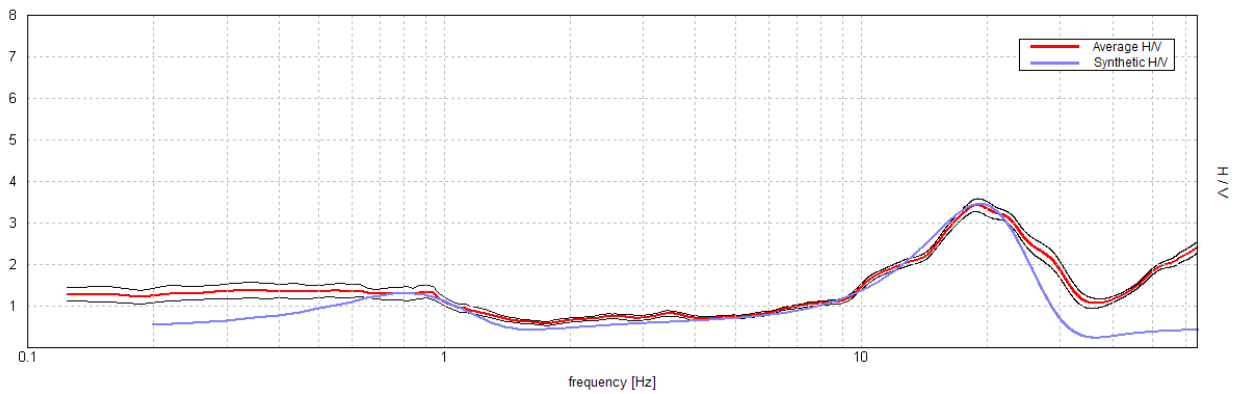


SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Picco H/V a 18.75 ± 0.32 Hz (nell'intervallo 0.1 - 20.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
3.50	3.50	287
11.80	8.30	575
171.80	160.00	620
inf.	inf.	975

$Vs_{eq}(0.0-30.0) = 536 \text{ m/s}$