






2					
1					
0	28/02/2025	Enser A. Mastrangelo	F. Marchi	P. Malerba	Emissione Progetto Definitivo
REV.	DATA (DATE)	REDATTO (DRWN)	CONTROL. (CHCK'D)	APPROVATO (APPR'D)	DESCRIZIONE (DESCRIPTION)
FUNZIONE O SERVIZIO (DEPARTMENT)					
DIREZIONE INGEGNERIA					
PROGETTAZIONE IMPIANTI ACQUA					
DENOMINAZIONE IMPIANTO O LAVORO (PLANT OR PROJECT DESCRIPTION)					
POTENZIAMENTO DEPURATORE RAVENNA 2° STRALCIO					
IDENTIFICATIVO IMPIANTO (PLANT IDENTIFIER)			WBS		CODICE CUP (CUP CODE)
H199H101			R.2160.11.04.00090 - T.2160.11.04.00025 - T.2160.11.04.00019		
 ENSER SRL www.enser.it www.enser.fr			CODICE DOCUMENTO (CODE)		N° COMMESSA (JOB N.)
			H199H101CX00RS0001		12400705873 - 12000367716
			ID DOCUMENTO (DOC. ID)		NOME FILE (FILE NAME)
					-
 HERA S.p.A. Holding Energia Risorse Ambiente Viale Carlo Berti Pichat 2/4 40127 Bologna tel. 051.287.111 fax 051.287.525 www.gruppohera.it			 HERAtech s.r.l. Viale Carlo Berti Pichat 2/4 40127 Bologna tel. 051.287.111 www.heratech.it		
			RELAZIONE DI MODELLAZIONE SISMICA		
			SCALA (SCALE)	N° FOGLIO (SHEET N°)	DI (LAST)
			--	1	48


	RELAZIONE DI MODELLAZIONE SISMICA				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	12400705873 - 12000367716		0	2	48
POTENZIAMENTO DEPURATORE RAVENNA 2° STRALCIO: 1° LOTTO – 2° LOTTO – NUOVO IMPIANTO CADITOIE					

INDICE

1	PREMESSA	4
2	RIFERIMENTO.....	5
2.1	NORMATIVA TECNICA	5
2.2	BIBLIOGRAFIA TECNICA.....	5
3	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO GENERALE	8
4	CLASSIFICAZIONE E PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE	9
5	SISMICITÀ STORICA	11
6	SORGENTI SISMOGENETICHE E FAGLIE CAPACI.....	15
7	MAGNITUDO DI RIFERIMENTO	18
7.1	MICROZONAZIONE SISMICA (PSC).....	20
7.1.1	CARTA GEOLOGICO-TECNICA E DELLE FREQUENZE NATURALI DEI TERRENI.....	20
7.1.2	CARTA DELLE AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI	21
7.1.3	CARTA DELLE VELOCITÀ DELLE ONDE DI TAGLIO Vs	22
7.1.4	CARTA DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE	23
8	INDAGINI SISMICHE DISPONIBILI.....	24
8.1	INDAGINI SISMICHE 2021	24
9	PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE	29
9.1	APPROCCIO SEMPLIFICATO PER LA VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO	31
9.1.1	CATEGORIA DI SUOLO.....	31
9.1.2	CATEGORIA TOPOGRAFICA.....	31
9.2	AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO.....	32
10	ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE	33
10.1	SOFTWARE DI CALCOLO	33
10.2	INDIVIDUAZIONE DEL SET DI ACCELEROGRAMMI SPETTRO-COMPATIBILI.....	33
10.3	CARATTERISTICHE DEL BEDROCK SISMICO E PROFILO VS.....	34
10.4	PROFILO Vs DI CALCOLO	37
10.5	CARATTERIZZAZIONE DINAMICA DEI TERRENI.....	39
10.6	RISULTATI DELL'ANALISI.....	40
10.6.1	COMMENTO AI RISULTATI.....	40
11	VERIFICA DELLA PERICOLOSITÀ DA LIQUEFAZIONE	43

	RELAZIONE DI MODELLAZIONE SISMICA				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	12400705873 - 12000367716		0	3	48
POTENZIAMENTO DEPURATORE RAVENNA 2° STRALCIO: 1° LOTTO – 2° LOTTO – NUOVO IMPIANTO CADITOIE					

11.1	VALUTAZIONI IN MERITO AL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE – CRITERI DI CALCOLO	43
11.1.1	GENERALITÀ	43
11.2	ANALISI DI LIQUEFAZIONE DEI LIVELLI GRANULARI SATURI	45
11.2.1	PARAMETRI DI BASE PER LE ANALISI DI LIQUEFAZIONE	45
11.2.2	RISULTATI DELLE ANALISI DI LIQUEFAZIONE	46

	RELAZIONE DI MODELLAZIONE SISMICA				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	12400705873 - 12000367716		0	4	48
POTENZIAMENTO DEPURATORE RAVENNA 2° STRALCIO: 1° LOTTO – 2° LOTTO – NUOVO IMPIANTO CADITOIE					


1 PREMESSA

Questa relazione è redatta nell'ambito della fase di progettazione definitiva relativa al 2° stralcio dei lavori di potenziamento e revamping del depuratore di Ravenna (RA), sito in via Romea Nord, 156/e, nell'area industriale di Ravenna.

Lo studio raccoglie e sintetizza le informazioni sulla sismicità attualmente disponibili per il sito, derivanti sia da fonti bibliografiche sia da indagini pregresse, opportunamente integrate da una campagna geognostica appositamente realizzata nel mese di novembre 2021, e tratta delle valutazioni numeriche sulla modifica dei segnali sismici che la successione sedimentaria può apportare, concludendo con la parte di verifica alla suscettibilità alla liquefazione.

Verranno pertanto di seguito descritte le principali peculiarità di carattere sismico dell'area connesse alla realizzazione dell'intervento in progetto. In sintesi, saranno trattati i seguenti argomenti:

- inquadramento geografico dell'area;
- normativa e riferimenti bibliografici;
- classificazione sismica dell'area e pericolosità sismica di base;
- analisi della sismicità storica;
- individuazione delle principali strutture sismogenetiche e delle faglie capaci;
- definizione della magnitudo di riferimento;
- descrizione delle indagini sismiche disponibili;
- definizione della pericolosità sismica dell'area
- dell'azione sismica di progetto per via semplificata;
- analisi della risposta sismica del sito in condizioni 1D;
- suscettibilità ai fenomeni di liquefazione.

	RELAZIONE DI MODELLAZIONE SISMICA				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	12400705873 - 12000367716		0	5	48
POTENZIAMENTO DEPURATORE RAVENNA 2° STRALCIO: 1° LOTTO – 2° LOTTO – NUOVO IMPIANTO CADITOIE					

2 RIFERIMENTO


2.1 NORMATIVA TECNICA

Il progetto è stato eseguito in conformità della seguente normativa tecnica:


- [Ref1]** Mappa della pericolosità sismica del territorio Nazionale (INGV);
- [Ref2]** D.M. 17/01/2018, “Norme tecniche per le costruzioni”;
- [Ref3]** Circolare Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 21/01/2019, n.7 recante "Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17/01/2018”;
- [Ref4]** O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/2003 e s.m.i., “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica” e successive modifiche ed integrazioni;
- [Ref5]** O.P.C.M. n. 3519 del 28/04/2006, "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone".
- [Ref6]** Ordinanza n.55 del 24 aprile 2018 della Presidenza del Consiglio dei Ministri e il Commissario del governo per la ricostruzione nei territori interessati dal sisma del 24 agosto 2016.
- [Ref7]** UNI EN 1997-1:2005 “Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 1: Regole generali”.
- [Ref8]** Linee guida AGI 2005 “Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica”

2.2 BIBLIOGRAFIA TECNICA

- [Ref9]** Bard, P. Y. (2005) “Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations: measurements, processing, and interpretations. SESAME European research project. WP12, deliverable D23.12, 2004; disponibile su: <http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/Deliverables2004>.
- [Ref10]** Bard, P. Y. (1999). “Microtremor measurements: a tool for site effect estimation. The effects of surface geology on seismic motion”, 3, 1251-1279.
- [Ref11]** Corigliano M., Lai C.G., Rota M. e Strobbia C.L. [2012] “ASCONA: Automated Selection of COmpatible Natural Accelerograms,” Earthquake Spectra, Vol. 28, No. 3, pp. 965-987.
- [Ref12]** Electrical Power Research Institute (1993) “Guidelines for Determining Design Basis Ground Motions - Volume 1: Method and Guidelines for Estimating Earthquake Ground Motion in Eastern North America” – Technical Report
- [Ref13]** Gruppo di lavoro MS, 2008. Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica (ICMS). Conferenza delle Regioni e delle Province autonome. Dipartimento della protezione civile, Roma, 3 vol. e Dvd;
- [Ref14]** DISS Working Group (2021). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.3.0: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/diss3.3.0>

	RELAZIONE DI MODELLAZIONE SISMICA				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	12400705873 - 12000367716		0	6	48
POTENZIAMENTO DEPURATORE RAVENNA 2° STRALCIO: 1° LOTTO – 2° LOTTO – NUOVO IMPIANTO CADITOIE					


- [Ref15] ITHACA Working Group (2019). ITHACA (Italy HAZard from CApable faulting), A database of active capable faults of the Italian territory. Version December 2019.
- [Ref16] ISPRA Geological Survey of Italy. Web Portal <http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/Mappatura.aspx>
- [Ref17] Kottke, Albert R., and Ellen M. Rathje. (2008). "Technical manual for Strata." Report No.: 2008/10. Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley
- [Ref18] Kramer S. L. (1996). Geotechnical Earthquake Engineering. Practice Hall
- [Ref19] Lanzo G., Silvestri F. (1999). Risposta Sismica Locale – Teoria ed esperienze. Helvelius Edizioni
- [Ref20] Locati M, Camassi R. e Stucchi M. (a cura di), 2011. DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>
- [Ref21] Martelli L., 2018. Substrato geologico e bedrock sismico. Definizione del modello geologico per le analisi di pericolosità sismica locale in successioni detritiche potenti
- [Ref22] Mascandola C., Massa M., Massa S., Barani S., Barani S. Poggi V. (2019) "Mapping the Seismic Bedrock of the Po Plain (Italy) through Ambient-Vibration Monitoring" in Bulletin of the Seismological Society of America 109(1) - January 2019
- [Ref23] Meletti C., Valensise G. (2004). Zonazione sismogenetica ZS9 – App.2 al Rapporto Conclusivo, marzo 2004
- [Ref24] Mucciarelli M. (1998) "Reliability and applicability range of the Nakamura's technique" Journal of Earthquake Engineering, 2, (4), 625-638
- [Ref25] Mucciarelli, M., and Gallipoli, M. R. (2001) "A critical review of 10 years of microtremor HVSR technique" Boll. Geof. Teor. Appl, 42(3-4), 255-266.
- [Ref26] Nakamura, Y. (1989) "A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface" Quarterly Report Railway Tech. Res. Inst., 30(1), 25-30
- [Ref27] Nogoshi, M. and T. Igarashi (1971) "On the amplitude characteristics of microtremor (part 2)" J. Seismol. Soc. Japan, 24, 26-40
- [Ref28] PRG 2003 - POC Comune di Ravenna – POC.14 Microzonazione sismica II e III livello
- [Ref29] Rollins K.M., Evans M., Diehl N. and Daily W. 1998. Shear modulus and damping relationships for gravels. J. of Geotechnical and Geoenvironmental Engrg., 124 (5), 396-405
- [Ref30] Rota M., Zuccolo E., Taverna L., Corigliano M., Lai C.G., Penna A. [2012] "Mesozonation of the Italian territory for the definition of real spectrum-compatible accelerograms", Bulletin of Earthquake Engineering, Vol. 10, No. 5, pp. 1357-1375.
- [Ref31] Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P., Antonucci A. (2021). Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 3.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). CPTI15-DBMI15 v4.0 (ingv.it)
- [Ref32] Seed, H. B. and Idriss, I. M. (1970) "Soil moduli and damping factors for dynamic response analyses." Report No. EERC 70-10, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, California, 40p.

	RELAZIONE DI MODELLAZIONE SISMICA				
	N° COMMESSA (JOB N°) 12400705873 - 12000367716	ID DOC. (DOC. ID)	REV. 0	N° FG. (SH. N.) 7	DI (LAST) 48
	POTENZIAMENTO DEPURATORE RAVENNA 2° STRALCIO: 1° LOTTO – 2° LOTTO – NUOVO IMPIANTO CADITOIE				

[Ref33] Seed H.B., Wong R.T., Idriss I.M., and Tokimatsu K. 1986. Moduli and damping factors for dynamic analyses of cohesionless soils. J. of Geotechnical Engineering, 112 (11), 1016-1032;

[Ref34] Spallarossa D., Barani S., 2007. Disaggregazione della pericolosità sismica in termini di M-R-ε. Progetto DPC-INGV S1, Deliverable D14, <http://esse1.mi.ingv.it/d14.html>

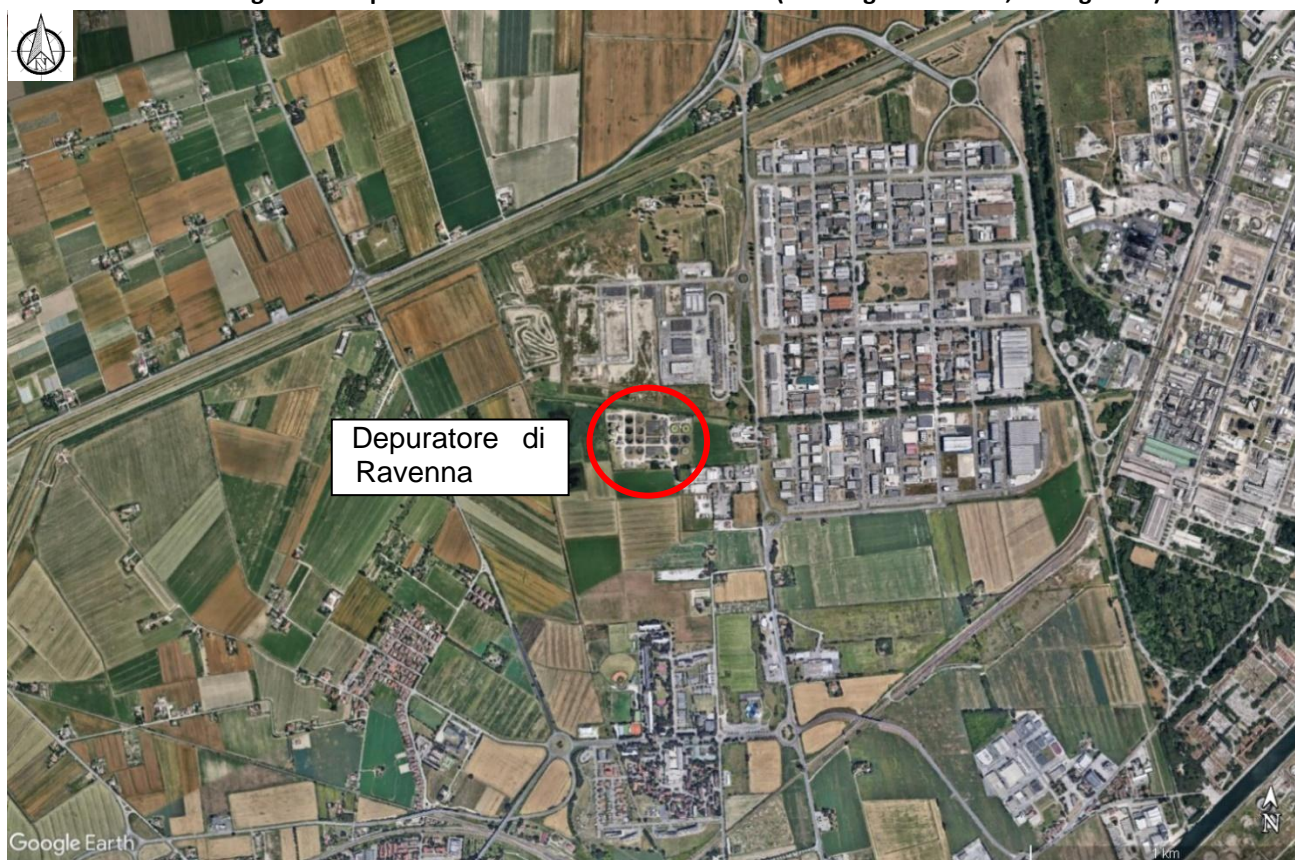
[Ref35] Valensiste G. e Pantosti D. (2001) - “Database of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy” Annali Geofisica, suppl. Vol. 44 (4), pp. 797-964

	RELAZIONE DI MODELLAZIONE SISMICA				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	12400705873 - 12000367716		0	8	48
POTENZIAMENTO DEPURATORE RAVENNA 2° STRALCIO: 1° LOTTO – 2° LOTTO – NUOVO IMPIANTO CADITOIE					

3 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO GENERALE

L'area di intervento è ubicata nel Comune di Ravenna, alla quota di circa 0.0 m slm, a nord dell'abitato di Ravenna.

Figura 1 - Inquadramento dell'Area di intervento (da Google Earth Pro, scala grafica)



	RELAZIONE DI MODELLAZIONE SISMICA				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	12400705873 - 12000367716		0	9	48
POTENZIAMENTO DEPURATORE RAVENNA 2° STRALCIO: 1° LOTTO – 2° LOTTO – NUOVO IMPIANTO CADITOIE					

4 CLASSIFICAZIONE E PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

La classificazione sismica del territorio nazionale è stata elaborata e rivista in seguito ai principali terremoti; tra questi, in particolare, quelli verificatisi in Irpinia nel 1980 ed in Molise nel 2002.

Fino al 2003 il territorio nazionale era classificato in tre categorie sismiche a diversa severità. I Decreti Ministeriali emanati dal Ministero dei Lavori Pubblici tra il 1981 ed il 1984 avevano classificato complessivamente 2.965 comuni italiani su di un totale di 8.102, che corrispondono al 45% della superficie del territorio nazionale, nel quale risiede il 40% della popolazione; la sismicità era definita attraverso il grado di sismicità S.

Per quanto concerne la classificazione sismica del territorio in esame, trova attuazione la Delibera di Giunta Regionale n.1164/2018, aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei Comuni dell'Emilia-Romagna, disposta con propria deliberazione n. 1435 del 2003. Nella fattispecie viene recepito il passaggio di 20 Comuni dalla zona 4 alla zona 3, il passaggio dei 7 Comuni dell'Alta Val Marecchia dalla Regione Marche alla Regione Emilia-Romagna e l'aggiornamento dei nuovi Comuni ottenuti per fusione di più Comuni. Per le parti non variate, permane la validità e l'efficacia della Delibera di Giunta Regionale n.1435/2003 che definiva le disposizioni in merito all'attuazione dell'Ordinanza n.3274/2003, la quale ha introdotto una nuova classificazione sismica, suddividendo il territorio nazionale in quattro zone caratterizzate da diverso grado di sismicità e sottoposte alle normative tecniche per le costruzioni in zona sismica. Le zone sono definite rispettivamente ad alta sismicità la zona 1, a media sismicità la zona 2 e a bassa sismicità la zona 3, mentre nella zona 4 viene demandata alle regioni la facoltà di imporre o meno l'obbligo della normativa.

Come stabilito dalla D.G.R. n.1164/2018, il Comune di Ravenna risulta classificato in **zona "3"**, come riportato in Figura 2.

Rispetto alla classificazione sismica del Comune di Ravenna ed in base alla mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (O.P.C.M. 28/04/2006 n.3519), il range di accelerazione massima del suolo, con probabile eccedenza del 10% in 50 anni, nell'area in studio è compresa tra 0.05 e 0.5g (Tabella 1) e più precisamente tra 0.15g e 0.175g (Tabella 1).

	RELAZIONE DI MODELLAZIONE SISMICA				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	12400705873 - 12000367716		0	10	48
POTENZIAMENTO DEPURATORE RAVENNA 2° STRALCIO: 1° LOTTO – 2° LOTTO – NUOVO IMPIANTO CADITOIE					

Figura 2 - Classificazione sismica dei Comuni dell'Emilia-Romagna

Classificazione sismica dei comuni dell'Emilia-Romagna

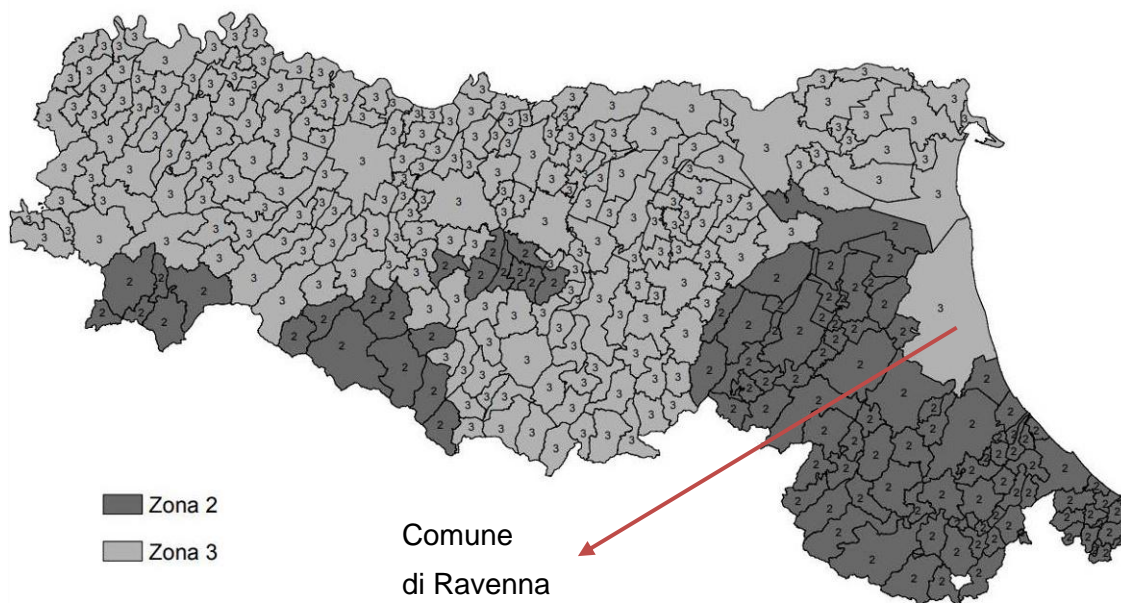



Tabella 1 - Valori di accelerazione massima del suolo a_g con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, riferito a suoli rigidi caratterizzati da $V_{s,30} > 800$ m/s

Zona	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g/g)	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche, a_g/g)
1	>0.25	0.35
2	$0.15 \div 0.25$	0.25
3	$0.05 \div 0.15$	0.15
4	<0.05	0.05

	RELAZIONE DI MODELLAZIONE SISMICA				
	N° COMMESSA (JOB N°) 12400705873 - 12000367716	ID DOC. (DOC. ID)	REV. 0	N° FG. (SH. N.) 11	DI (LAST) 48
	POTENZIAMENTO DEPURATORE RAVENNA 2° STRALCIO: 1° LOTTO – 2° LOTTO – NUOVO IMPIANTO CADITOIE				

5 SISMICITÀ STORICA

Al fine di inquadrare dal punto di vista della sismicità storica l'area in esame, si riporta di seguito un riepilogo delle osservazioni macrosismiche di terremoti al di sopra della soglia del danno che hanno interessato storicamente il comune di Ravenna.

Nello specifico, le informazioni riportate di seguito derivano dalla consultazione del DBMI15 versione 3.0, il database macrosismico utilizzato per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15 (consultabile on-line al sito [CPTI15-DBMI15 v3.0 \(ingv.it\)](http://CPTI15-DBMI15.v3.0(ingv.it))).

Nella successiva Tabella 3 sono indicati con i seguenti simboli:

Is = intensità in sito (MCS);

Year = anno Mo = mese Da = giorno Ho = ora;


NMDP = numero di osservazioni macrosismiche del terremoto;

Io = intensità massima (MCS);

Mw = magnitudo momento.

Tabella 2 - Storia sismica del Comune di Ravenna

Effetti	In occasione del terremoto di:								
Is	Year	Mo	Da	Ho	Mi	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
5	1279	4	30			Appennino forlivese	1394	7-8	5,52
F	1468	6	6	10	30	Romagna	1041	4	3,7
F	1479	10	10	22		Forlì	867	5	4,16
6-7	1483	8	11	19	40	Romagna	850	8	5,69
4	1505	1	3	2		Bolognese	709	8	5,62
5	1511	3	26	15	30	Friuli-Slovenia	660	9	6,32
NC	1511	3	28	14	30	Friuli-Slovenia	604		
7-8	1620	6	22			Ravennate	409	6-7	4,86
5	1624	3	19			Argenta	403	7-8	5,43
3	1661	3	22	12	50	Appennino forlivese	401	9	6,05
6	1672	4	14	15	45	Riminese	379	8	5,59
7	1688	4	11	12	20	Romagna	280	8-9	5,84
4	1689	3	19			Faentino	268	4	3,7
F	1690	12	4	14		Carinthia, Villach	257	8-9	6,16
4-5	1695	2	25	5	30	Asolano	228	10	6,4
5	1741	4	24	9	20	Fabrianese	221	9	6,17
F	1778	6	11			Forlì	196	5-6	4,4

	RELAZIONE DI MODELLAZIONE SISMICA				
	N° COMMESSA (JOB N°) 12400705873 - 12000367716	ID DOC. (DOC. ID)	REV. 0	N° FG. (SH. N.) 12	DI (LAST) 48
	POTENZIAMENTO DEPURATORE RAVENNA 2° STRALCIO: 1° LOTTO – 2° LOTTO – NUOVO IMPIANTO CADITOIE				

Effetti	In occasione del terremoto di:								
Is	Year	Mo	Da	Ho	Mi	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
6-7	1780	5	25			Romagna	181	5-6	4,4
6	1781	4	4	21	20	Faentino	176	9-10	6,12
3-4	1781	6	3			Cagliese	173	10	6,51
7	1781	7	17	9	40	Faentino	165	8	5,61
5	1786	12	25	1		Riminese	157	8	5,66
6	1796	10	22	4		Emilia orientale	151	7	5,45
F	1810	12	25	0	45	Pianura emiliana	144	6	5,06
F	1828	10	9	2	20	Oltrepò Pavese	135	8	5,72
6-7	1861	10	16			Romagna	135	6-7	5,13
6-7	1870	10	30	18	34	Forlivese	134	8	5,61
6	1871	1	22	21	30	Pianura romagnola	133	6	4,95
4-5	1873	3	12	20	4	Appennino marchigiano	132	8	5,85
6	1875	3	17	23	51	Costa romagnola	126	8	5,74
5	1881	2	2			Russi	120	5-6	4,69
3	1881	2	14	9	0	Appennino bolognese	110	6	4,77
4	1891	6	7	1	6	Valle d'Ilasi	107	8-9	5,87
F	1891	8	1	13	32	Lugo	96	4-5	4,36
3	1895	3	23			Comacchio	92	6	4,65
3	1895	5	18	19	55	Fiorentino	90	8	5,5
6	1909	1	13	0	45	Emilia-Romagna orientale	89	6-7	5,36
6	1911	2	19	7	18	Forlivese	87	7	5,26
3	1913	7	21	22	35	Appennino romagnolo	85	5-6	4,79
3	1914	10	27	9	22	Lucchesia	79	7	5,63
4	1915	1	13	6	52	Marsica	79	11	7,08
5	1916	5	17	12	50	Riminese	69	8	5,82
4	1916	8	16	7	6	Riminese	63	8	5,82
2-3	1917	4	26	9	35	Alta Valtiberina	60	9-10	5,99

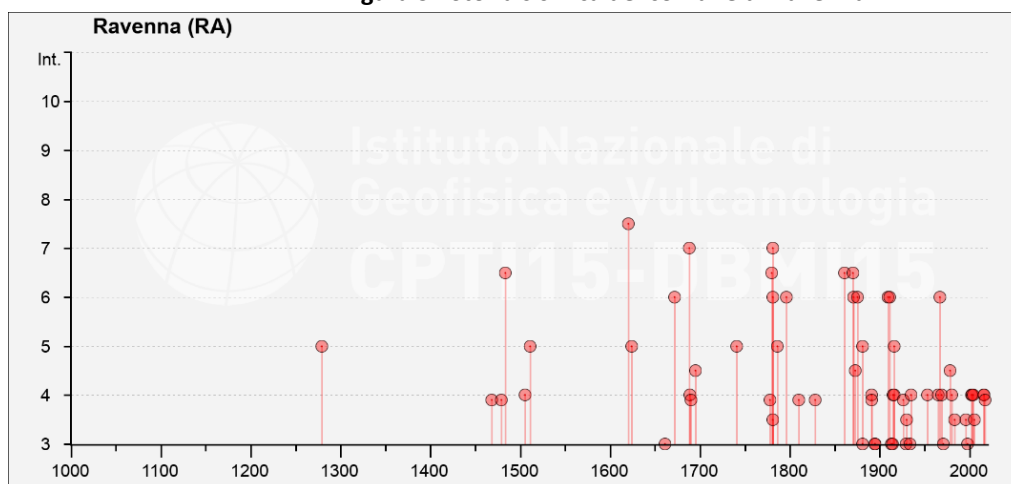
	RELAZIONE DI MODELLAZIONE SISMICA				
	N° COMMESSA (JOB N°) 12400705873 - 12000367716	ID DOC. (DOC. ID)	REV. 0	N° FG. (SH. N.) 13	DI (LAST) 48
	POTENZIAMENTO DEPURATORE RAVENNA 2° STRALCIO: 1° LOTTO – 2° LOTTO – NUOVO IMPIANTO CADITOIE				

Effetti	In occasione del terremoto di:								
Is	Year	Mo	Da	Ho	Mi	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
F	1926	1	1	18	4	Carniola interna	51	7-8	5,72
3	1929	4	10	5	44	Bolognese	48	6	5,05
3-4	1930	10	30	7	13	Senigallia	46	8	5,83
3	1934	11	30	2	58	Adriatico settentrionale	43	5	5,3
4	1935	6	5	11	48	Faentino	41	6	5,23
4	1953	12	14	7	11	Appennino forlivese	40	5-6	4,7
NF	1956	4	26	3	0	Appennino bolognese	39	6	4,74
2	1960	10	29	0	8	Mugello	37	7	4,91
4	1965	12	18	9	22	Pianura romagnola	34	5	4,54
6	1967	12	30	4	19	Emilia-Romagna orientale	33	6	5,05
4	1969	1	10	16	17	Pianura Ravennate	33	5	4,38
3	1971	7	15	1	33	Parmense	31	8	5,51
4-5	1978	12	5	15	39	Romagna	27	4-5	4,61
4	1980	11	23	18	34	Irpinia-Basilicata	27	10	6,81
3-4	1983	11	9	16	29	Parmense	22	6-7	5,04
2-3	1984	4	29	5	2	Umbria settentrionale	21	7	5,62
2-3	1986	12	6	17	7	Ferrarese	18	6	4,43
NF	1995	12	27	23	44	Forlivese	15	5	3,97
3-4	1996	10	15	9	55	Pianura emiliana	14	7	5,38
3	1998	3	26	16	26	Appennino umbro-marchigiano	13		5,26
NF	2000	5	6	22	7	Faentino	11	5	4,08
NF	2000	5	8	12	29	Faentino	10	5	4,67
NF	2000	5	10	16	52	Faentino	8	5-6	4,82
4	2002	11	2	10	57	Ferrarese	7	4	4,21
4	2003	9	14	21	42	Appennino bolognese	5	6	5,24
NF	2003	12	7	10	20	Forlivese	5	5	4,18
4	2004	11	24	22	59	Garda occidentale	3	7-8	4,99

	RELAZIONE DI MODELLAZIONE SISMICA				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	12400705873 - 12000367716		0	14	48
POTENZIAMENTO DEPURATORE RAVENNA 2° STRALCIO: 1° LOTTO – 2° LOTTO – NUOVO IMPIANTO CADITOIE					

Effetti	In occasione del terremoto di:								
Is	Year	Mo	Da	Ho	Mi	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
3-4	2005	7	15	15	17	Forlivese	3	4-5	4,29
4	2016	8	24	1	36	Monti della Laga	2	10	6,18
4	2016	10	30	6	40	Valnerina	2		6,61
F	2017	1	18	10	14	Aquilano	2		5,7

Figura 3 - Storia sismica del comune di Ravenna.



Per completezza si riporta sotto la scala “Scala Mercalli” (MCS) in cui si riportano i livelli di intensità “I_s” o gradi.

Figura 4 - Scala di intensità Mercalli (MCS).

Grado	Scossa	Descrizione
I	impercettibile	Avvertita solo dagli strumenti sismici.
II	molto leggera	Avvertita solo da qualche persona in opportune condizioni.
III	leggera	Avvertita da poche persone. Oscillano oggetti appesi con vibrazioni simili a quelle del passaggio di un'automobile.
IV	moderata	Avvertita da molte persone; tremito di infissi e cristalli, e leggere oscillazioni di oggetti appesi.
V	piuttosto forte	Avvertita anche da persone addormentate; caduta di oggetti.
VI	forte	Qualche leggera lesione negli edifici e finestre in frantumi.
VII	molto forte	Caduta di fumaio, lesioni negli edifici.
VIII	rovinosa	Rovina parziale di qualche edificio; qualche vittima isolata.
IX	distruttiva	Rovina totale di alcuni edifici e gravi lesioni in molti altri; vittime umane sparse ma non numerose.
X	completamente distruttiva	Rovina di molti edifici; molte vittime umane; crepacci nel suolo.
XI	catastrofica	Distruzione di agglomerati urbani; moltissime vittime; crepacci e frane nel suolo; maremoto.
XII	apocalittica	Distruzione di ogni manufatto; pochi superstiti; sconvolgimento del suolo; maremoto distruttivo.

	RELAZIONE DI MODELLAZIONE SISMICA				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	12400705873 - 12000367716		0	15	48
POTENZIAMENTO DEPURATORE RAVENNA 2° STRALCIO: 1° LOTTO – 2° LOTTO – NUOVO IMPIANTO CADITOIE					

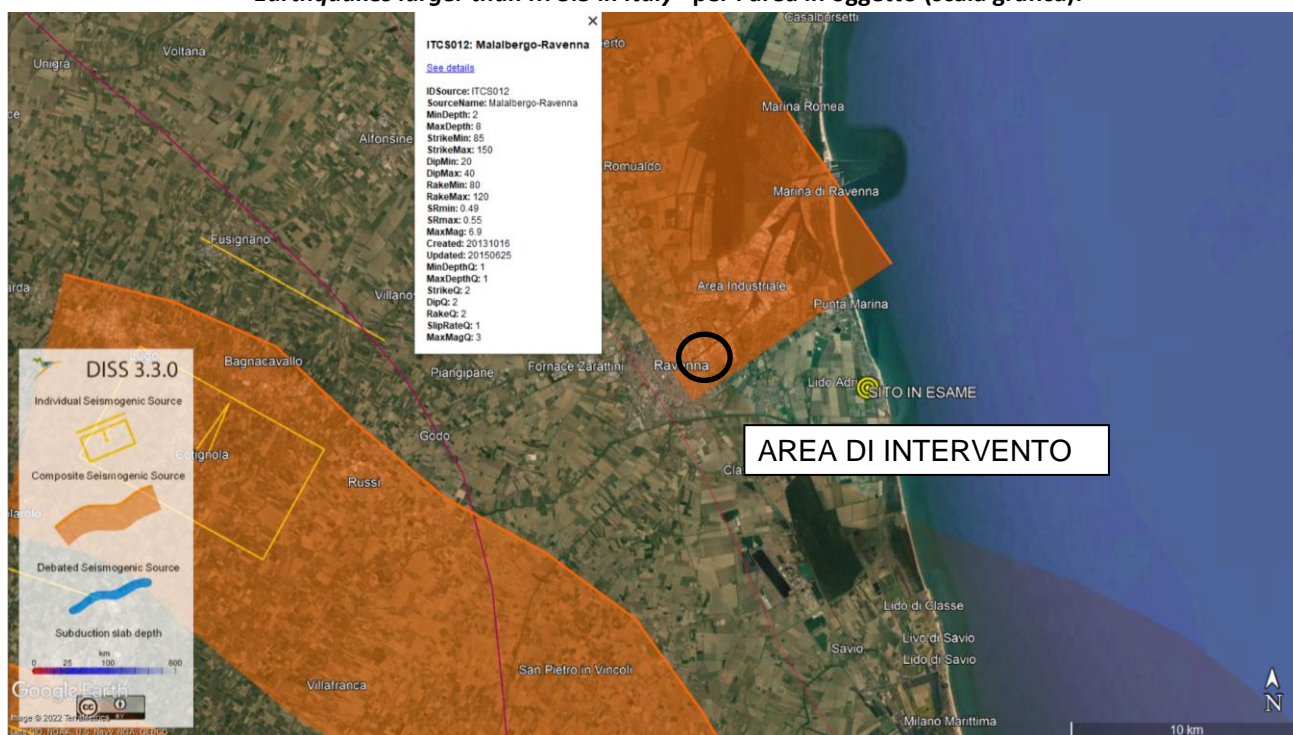
6 SORGENTI SISMOGENETICHE E FAGLIE CAPACI

Il database “*A compilation of Potential Sources for Earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas*” (vers. 3.3.0), contiene le sorgenti sismogenetiche individuali e composite, che insistono sul territorio italiano e su alcune regioni confinanti, ritenute in grado di generare grandi terremoti.

L’assetto di queste sorgenti fornisce informazioni sull’andamento dei maggiori sistemi di faglie attive, consentendo in alcuni casi di individuare aree di potenziale gap sismico.

Dall’esame del Database (Figura 5), il territorio di Ravenna è sotteso dalla sorgente sismogenetica composita “Malalbergo-Ravenna” (ITCS012).

Figura 5 - Sorgenti sismogenetiche contenute nella nuova versione del “Database of Potential Sources for Earthquakes larger than M 5.5 in Italy” per l’area in oggetto (scala grafica).



Inoltre, il database del progetto ITHACA (*ITaly HAZard from CApable faults*) mostra, poco più a nord dell’area progettuale (Figura 7), l’esistenza di una faglia capace, definita come lineamento tettonico attivo che potenzialmente può creare deformazioni in superficie. Nella zona di studio è presente una faglia capace riferibile al sistema Ravenna-Comacchio, la faglia di F. Lamone-Ravenna, composto da un segmento di faglia, di lunghezza di circa 16 km e cinematica inversa, con l’ultima attività nota riferibile al Pleistocene superiore.


	RELAZIONE DI MODELLAZIONE SISMICA				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	12400705873 - 12000367716		0	16	48
POTENZIAMENTO DEPURATORE RAVENNA 2° STRALCIO: 1° LOTTO – 2° LOTTO – NUOVO IMPIANTO CADITOIE					

Figura 6 - Quadro riassuntivo della sorgente sismogenetica di subduzione “Malalbergo-Ravenna” (ITCS012).

PARAMETRIC INFORMATION			
Parameter		Quality	Evidence
Min depth [km]	2.0	LD	Based on data of instrumental seismicity.
Max depth [km]	8.0	LD	Based on data of instrumental seismicity.
Strike [deg] min... max	85...150	OD	Based on consideration on regional geological data.
Dip [deg] min... max	20...40	OD	Based on consideration on regional geological data.
Rake [deg] min... max	80...120	OD	Based on geological data, constrained by orientation of T axes.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.4900... 0.5500	LD	Based on geological data from Maesano et al. (2015).
Max Magnitude [Mw]	6.9	ER	Estimated from Leonard's (2014) scaling relations.

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

Figura 7 - Stralcio cartografico dell'area di interesse con indicazione dell'area di studio (in giallo) e della faglia capace (in rosso), non in scala.





	RELAZIONE DI MODELLAZIONE SISMICA				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	12400705873 - 12000367716		0	17	48
POTENZIAMENTO DEPURATORE RAVENNA 2° STRALCIO: 1° LOTTO – 2° LOTTO – NUOVO IMPIANTO CADITOIE					

Tabella 3 - Sintesi delle caratteristiche fisiche e geologiche della faglia potenzialmente attiva o capace, tratta da [ITHACA - faglie capaci WebPage \(isprambiente.it\)](#)

Faglia di F. Lamone-Ravenna	
FAULT CODE	91104
FAULT NAME	F. Lamone-Ravenna
REGION NAME	Emilia-Romagna
TECTONIC ENVIRONMENT	ND
SYSTEM NAME	Ravenna-Comacchio
RANK	PRIMARY
SEGMENTATION	Single segment
AVERAGE STRIKE	130
DIP	Undefined
DIP DIRECTION	SSW
LENGTH (Km)	16.5
MAPPING SCALE	1:250000
DEPTH (Km)	
KINEMATICS	Reverse
SURFACE EVIDENCE	ND
LAST ACTIVITY	Early Pleistocene
APPLIED TECNQUE	Instrumental seismicity
LITHOLOGY	Alluvial deposits
MAX KNOWM MAGNITUDE	6.5
CAPABILITY CONSENSUS	Low reliability
STUDY QUALITY	LOW

	RELAZIONE DI MODELLAZIONE SISMICA				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	12400705873 - 12000367716		0	18	48
POTENZIAMENTO DEPURATORE RAVENNA 2° STRALCIO: 1° LOTTO – 2° LOTTO – NUOVO IMPIANTO CADITOIE					

7 MAGNITUDO DI RIFERIMENTO

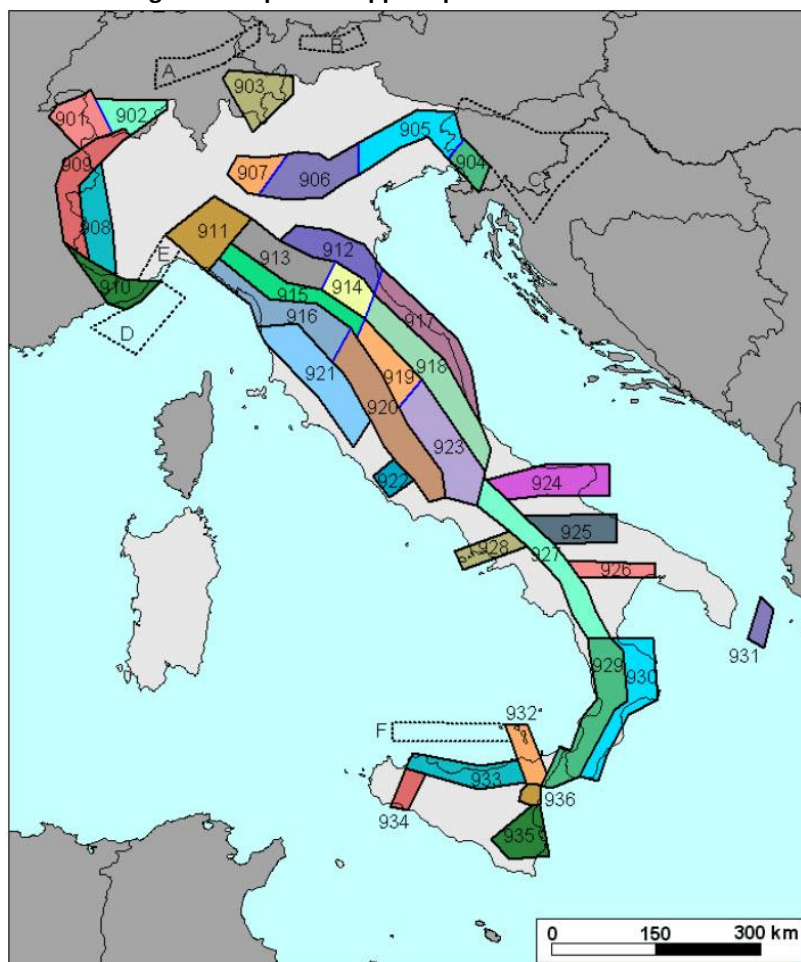
Sulla base delle originali elaborazioni relative alla definizione delle sorgenti sismogenetiche (DISS2.0-2001) è stato elaborato un modello sintetico che descrive la localizzazione delle sorgenti di futuri terremoti, la magnitudo massima che questi potranno raggiungere ed i rate di sismicità attesa zona per zona. Questo modello, che si pone come base per la redazione della carta di pericolosità sismica (Figura 8) è rappresentato dalla mappa delle zone sismogenetiche ZS9 (Meletti & Valensise, 2004).

In base alla zonazione sismogenetica ZS9 del territorio nazionale, la sismicità in Italia può essere distribuita in 36 zone, a ciascuna delle quali è associata una legge di ricorrenza della magnitudo, espressa in termini di magnitudo momento M_w .

Nel caso di siti che ricadono al di fuori di tali zone si dovrà eseguire un'analisi accoppiata magnitudo distanza per il calcolo del valore di magnitudo in relazione alla distanza minima di ogni sito dalle zone sismogenetiche circostanti.

L'intervento in progetto ricade interamente entro la zona sismogenetica 912 "Dorsale Ferrarese", alla quale è associato un valore di Magnitudo massima attesa $M_{wmax}=6.14$ (Figura 9).


Figura 8 - Zone sismogenetiche per la mappa di pericolosità sismica di base di riferimento



	RELAZIONE DI MODELLAZIONE SISMICA				
	N° COMMESSA (JOB N°) 12400705873 - 12000367716	ID DOC. (DOC. ID)	REV. 0	N° FG. (SH. N.) 19	DI (LAST) 48
	POTENZIAMENTO DEPURATORE RAVENNA 2° STRALCIO: 1° LOTTO – 2° LOTTO – NUOVO IMPIANTO CADITOIE				

Figura 9 - Valori di M_{wmax} per le zone sismogenetiche di ZS9

Nome ZS	Numero ZS	M_{wmax}
Colli Albani, Etna	922, 936	5.45
Ischia-Vesuvio	928	5.91
Altre zone	901, 902, 903, 904, 907, 908, 909, 911, 912, 913, 914, 916, 917, 920, 921, 926, 932, 933, 934	6.14
Medio-Marchigiana/Abruzzese, Appennino Umbro, Nizza Sanremo	918, 919, 910	6.37
Friuli-Veneto Orientale, Garda-Veronese, Garfagnana-Mugello, Calabria Jonica	905, 906, 915, 930	6.60
Molise-Gargano, Ofanto, Canale d'Otranto	924, 925, 931	6.83
Appennino Abruzzese, Sannio – Irpinia-Basilicata	923, 927	7.06
Calabria tirrenica, Iblei	929, 935	7.29

	RELAZIONE DI MODELLAZIONE SISMICA				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	12400705873 - 12000367716		0	20	48
POTENZIAMENTO DEPURATORE RAVENNA 2° STRALCIO: 1° LOTTO – 2° LOTTO – NUOVO IMPIANTO CADITOIE					

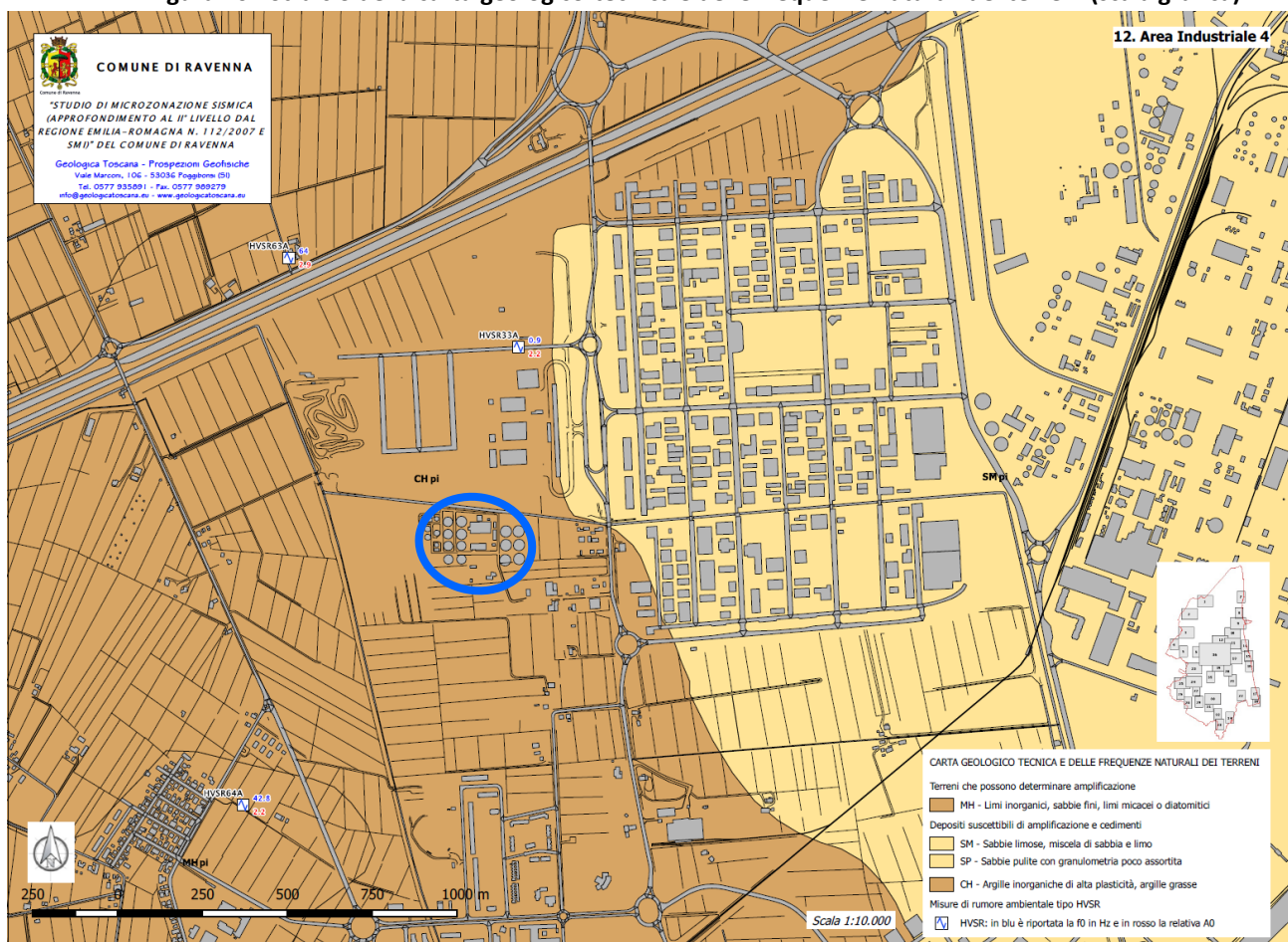
7.1 MICROZONAZIONE SISMICA (PSC)


Nei paragrafi successivi saranno illustrati gli elementi di sismicità sviluppati in seno alla Microzonazione Sismica relativa al Comune di Ravenna, con riferimento all'area di progetto.

7.1.1 CARTA GEOLOGICO-TECNICA E DELLE FREQUENZE NATURALI DEI TERRENI

La classificazione dell'area indica la presenza superficiale di argille inorganiche di alta plasticità, argille “grasse” (Figura 10) inserisce l'area di progetto fra le zone suscettibili di *Cedimenti differenziali in aree che presentano terreni con significative variazioni laterali delle caratteristiche meccaniche*.

Figura 10 - Stralcio della carta geologico-tecnica e delle frequenze naturali dei terreni (scala grafica)

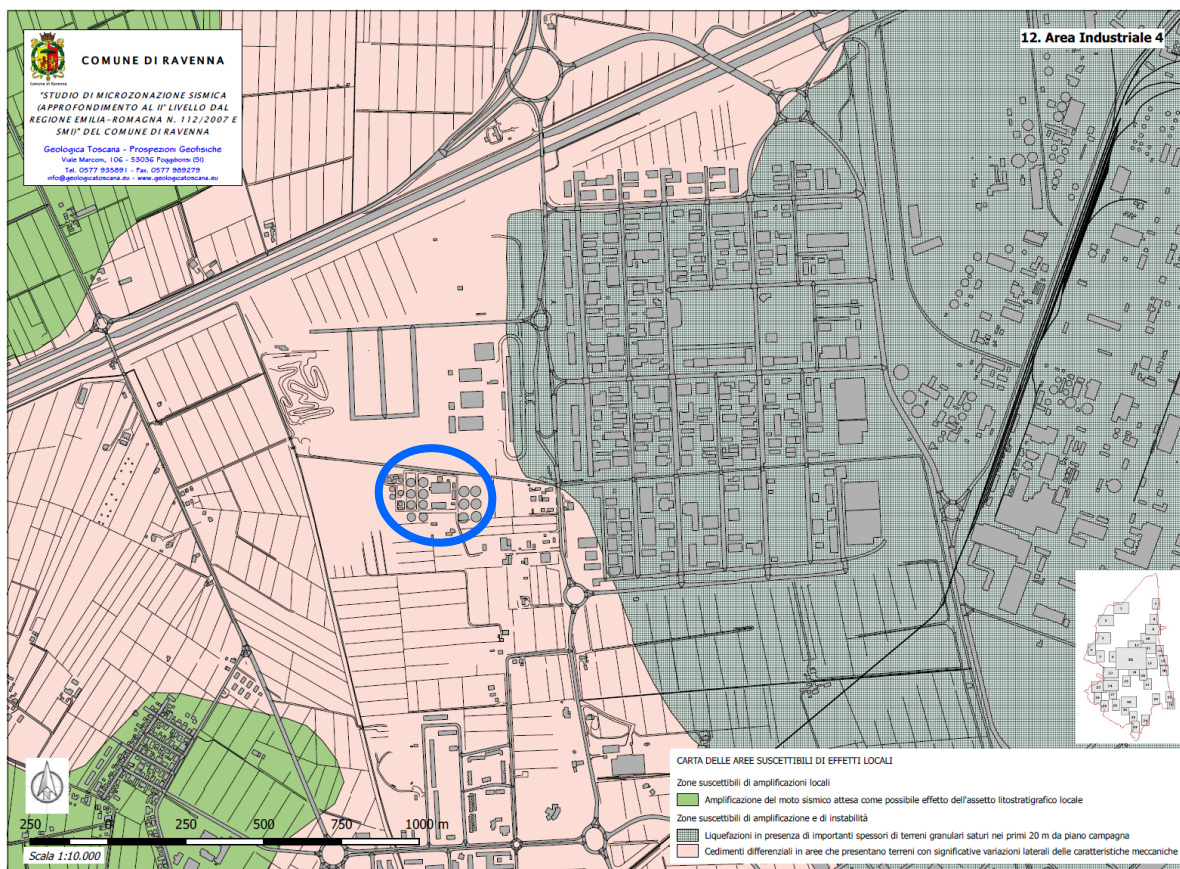



	RELAZIONE DI MODELLAZIONE SISMICA				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	12400705873 - 12000367716		0	21	48
POTENZIAMENTO DEPURATORE RAVENNA 2° STRALCIO: 1° LOTTO – 2° LOTTO – NUOVO IMPIANTO CADITOIE					

7.1.2 CARTA DELLE AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI

La classificazione in zone suscettibili degli effetti locali del comune di Ravenna (Figura 11) inserisce l'area di progetto fra le zone suscettibili di *Cedimenti differenziali in aree che presentano terreni con significative variazioni laterali delle caratteristiche meccaniche*.

Figura 11 - Carta degli effetti di sito dei terreni (scala grafica)

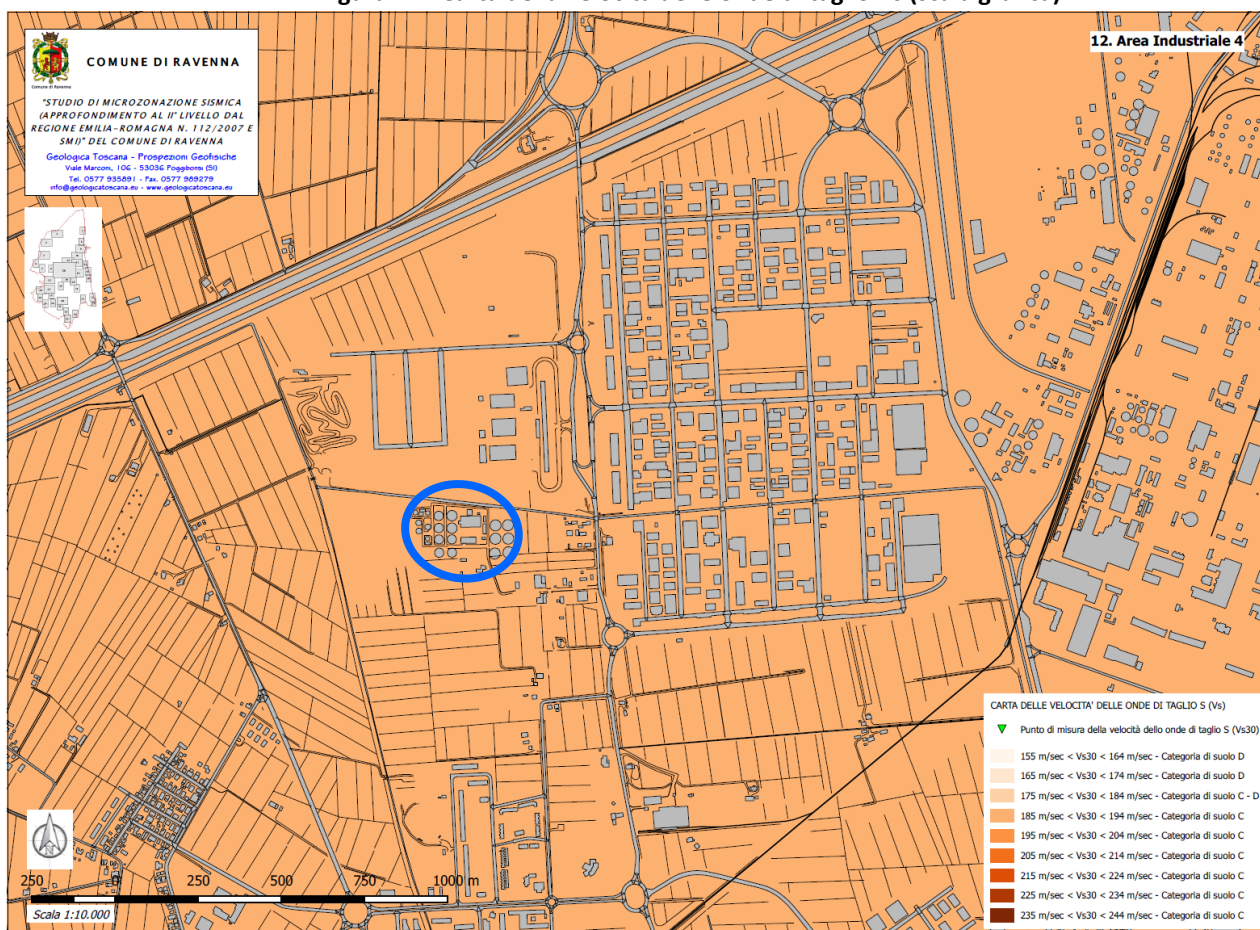


	RELAZIONE DI MODELLAZIONE SISMICA				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	12400705873 - 12000367716		0	22	48
POTENZIAMENTO DEPURATORE RAVENNA 2° STRALCIO: 1° LOTTO – 2° LOTTO – NUOVO IMPIANTO CADITOIE					

7.1.3 CARTA DELLE VELOCITÀ DELLE ONDE DI TAGLIO V_s

La carta include l'area di progetto come caratterizzata da una V_s nei primi 30m di profondità compresa fra 195 e 204 m/s (Figura 12).

Figura 12 - Carta della velocità delle onde di taglio V_s (scala grafica)

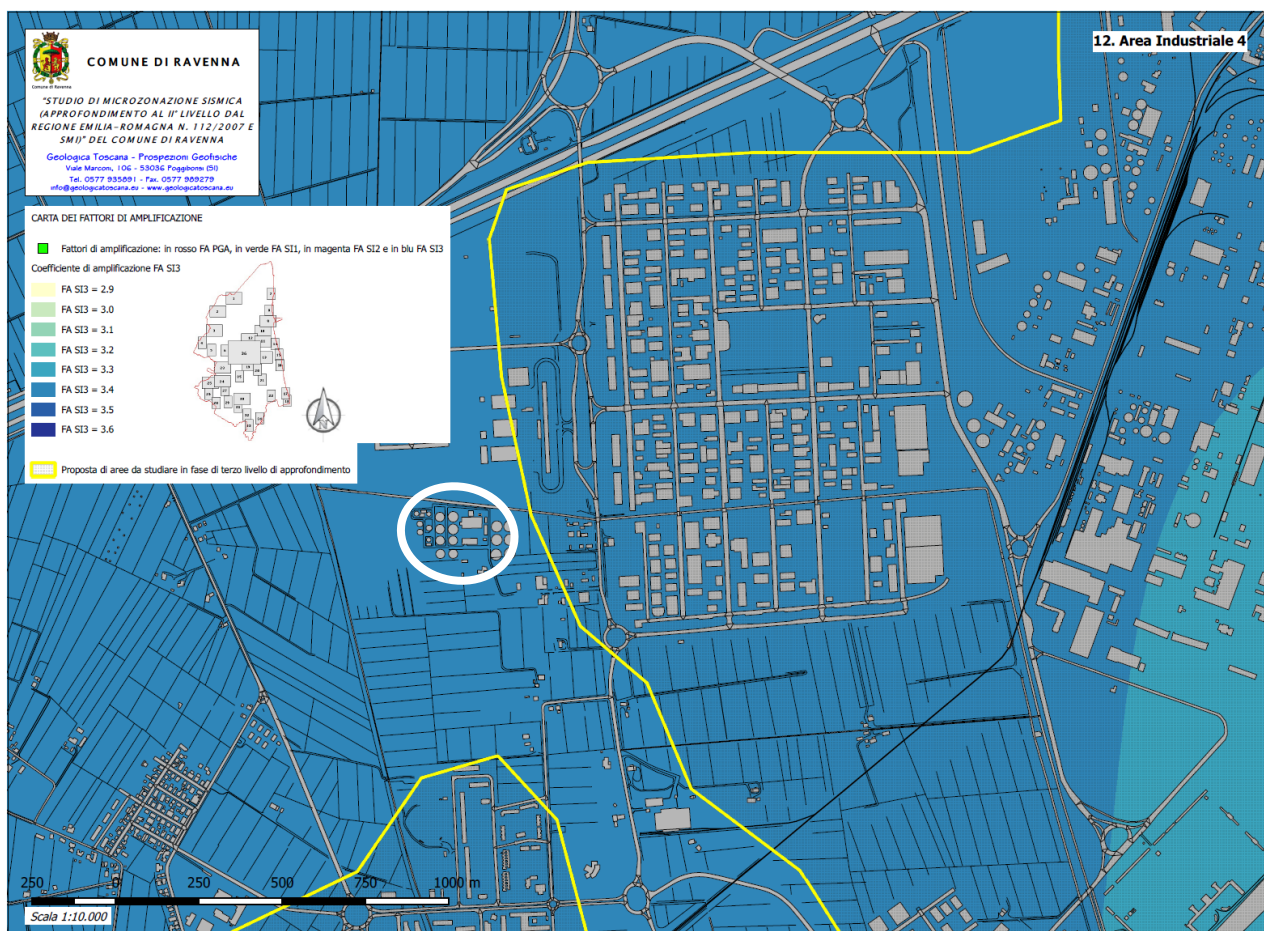



	RELAZIONE DI MODELLAZIONE SISMICA				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	12400705873 - 12000367716		0	23	48
POTENZIAMENTO DEPURATORE RAVENNA 2° STRALCIO: 1° LOTTO – 2° LOTTO – NUOVO IMPIANTO CADITOIE					

7.1.4 CARTA DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE

La carta include l'area fra quelle aventi $FA=3.4$ in corrispondenza del periodo spettrale pari a 3s (Figura 13).

Figura 13 - Carta dei fattori di amplificazione



	RELAZIONE DI MODELLAZIONE SISMICA				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	12400705873 - 12000367716		0	24	48
POTENZIAMENTO DEPURATORE RAVENNA 2° STRALCIO: 1° LOTTO – 2° LOTTO – NUOVO IMPIANTO CADITOIE					

8 INDAGINI SISMICHE DISPONIBILI

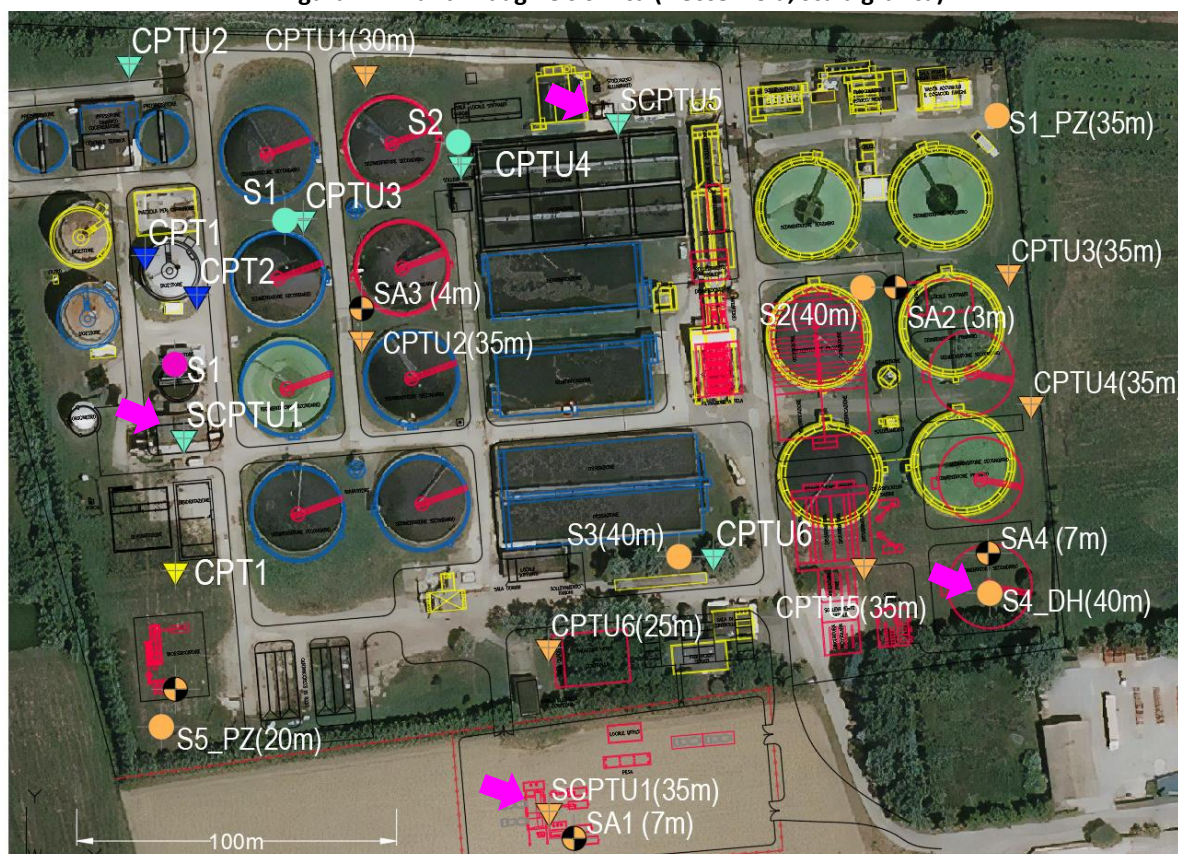
8.1 INDAGINI SISMICHE 2021

I dati geofisici a supporto del presente studio derivano dalle risultanze delle campagne di indagini in sito realizzate

- in dicembre 2021, che si è articolata nell'esecuzione di n 2 prove down-hole, di cui una con cono sismico spinta a 33m di profondità (SCPTU1), l'altra in foro di sondaggio spinta a 31m di profondità (S4_DH).
- nel 2016 che ha visto la realizzazione di n.2 prove down-hole con cono sismico spinte a 30m di profondità (SCPTU1 e SCPTU5, Figura 14).

In Appendice 1 della Relazione Geologica si riporta il certificato delle indagini sismiche eseguite.

Figura 14 - Punti indagine sismica (freccette viola, scala grafica)



CPT 2011	INDAGINI 2021-2022
CPTU/SCPTU 2016 (Elletipi)	CAROTAGGIO (PZ=strumentato con piezometro, DH=strumentato con tubo per prova DH)
CAROTAGGIO 2016 (Elletipi)	CPTU prova penetrometrica statica con piezocono SCPTU prova penetrometrica statica con sismocono
CAROTAGGIO 2005 (Elletipi)	CAROTAGGIO per analisi ambientali
CPT 2002 (Chili)	


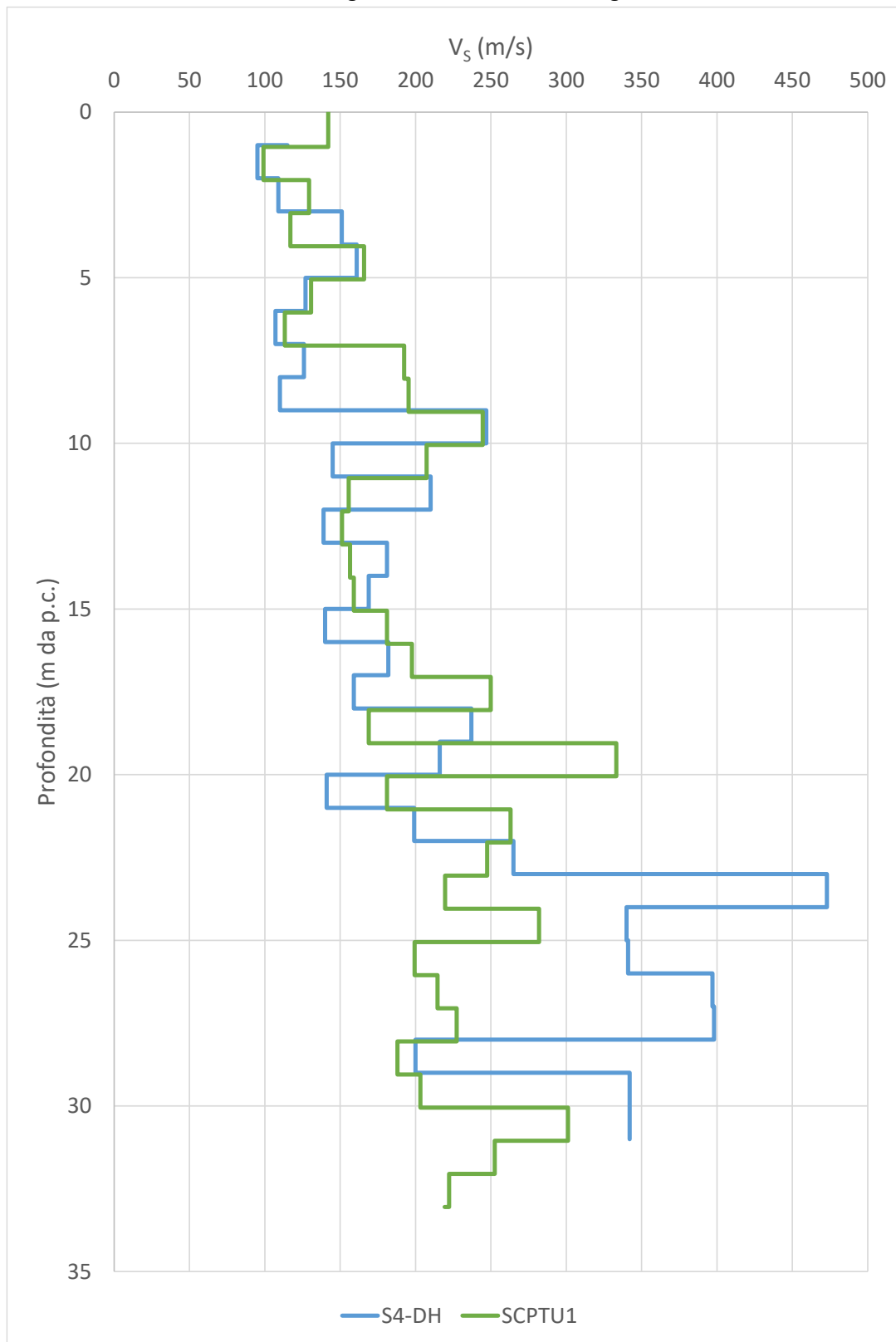
	RELAZIONE DI MODELLAZIONE SISMICA			
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)
	12400705873 - 12000367716		0	25
POTENZIAMENTO DEPURATORE RAVENNA 2° STRALCIO: 1° LOTTO – 2° LOTTO – NUOVO IMPIANTO CADITOIE				

Figura 15 - Profili Vs delle indagini 2021




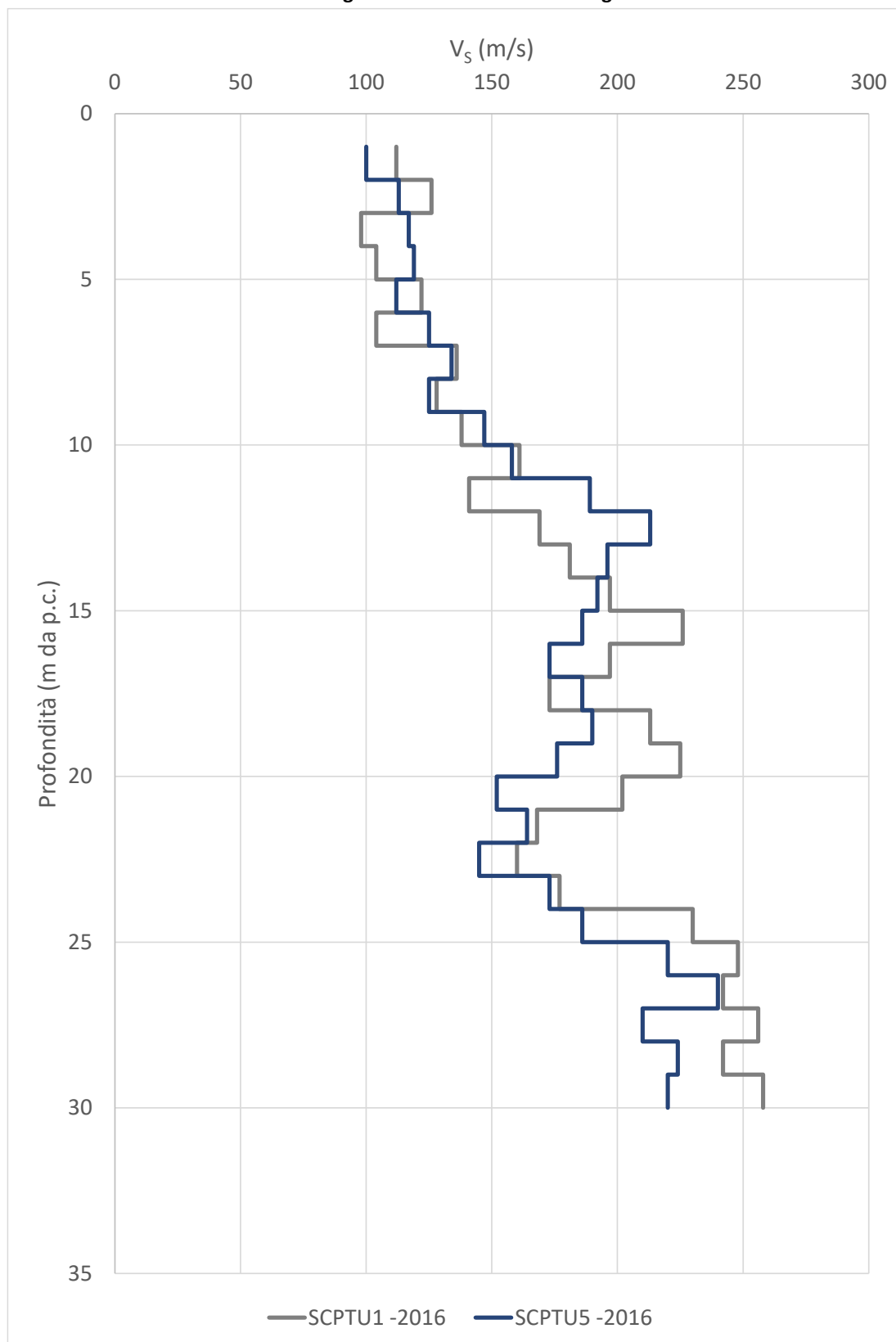
	RELAZIONE DI MODELLAZIONE SISMICA			
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)
	12400705873 - 12000367716		0	26
POTENZIAMENTO DEPURATORE RAVENNA 2° STRALCIO: 1° LOTTO – 2° LOTTO – NUOVO IMPIANTO CADITOIE				

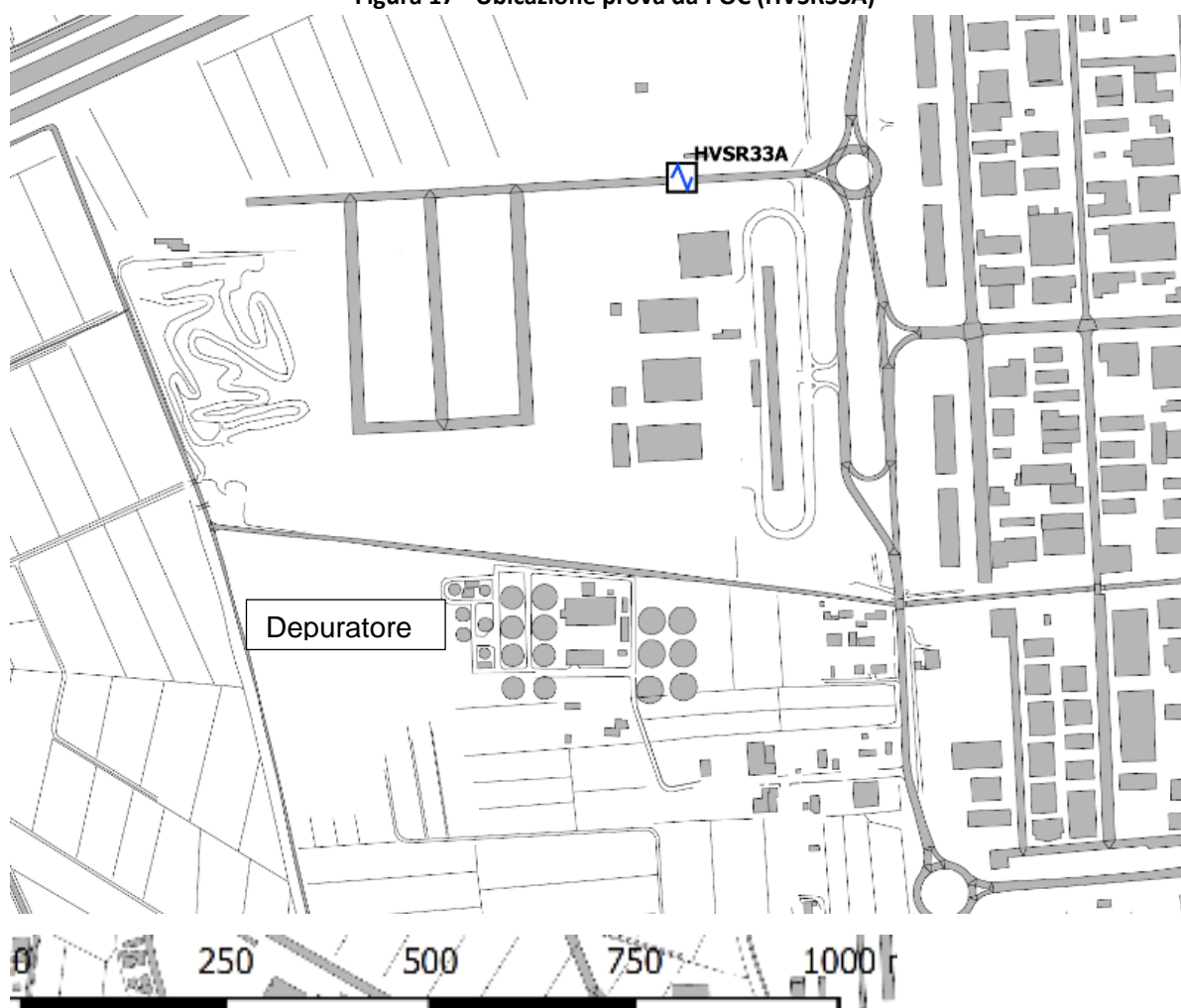
Figura 16 - Profili Vs delle indagini 2016



	RELAZIONE DI MODELLAZIONE SISMICA				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	12400705873 - 12000367716		0	27	48
POTENZIAMENTO DEPURATORE RAVENNA 2° STRALCIO: 1° LOTTO – 2° LOTTO – NUOVO IMPIANTO CADITOIE					

Dagli studi di Microzonazione sismica annessi al POC di Ravenna, è stato possibile recuperare anche una misura di sismica passiva a stazione singola (HVS33A) eseguita poco distante dal depuratore (Figura 17).

Figura 17 - Ubicazione prova da POC (HVS33A)




	RELAZIONE DI MODELLAZIONE SISMICA				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	12400705873 - 12000367716		0	28	48
POTENZIAMENTO DEPURATORE RAVENNA 2° STRALCIO: 1° LOTTO – 2° LOTTO – NUOVO IMPIANTO CADITOIE					

Figura 18 - Spettro H/V della prova HVSR33A

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

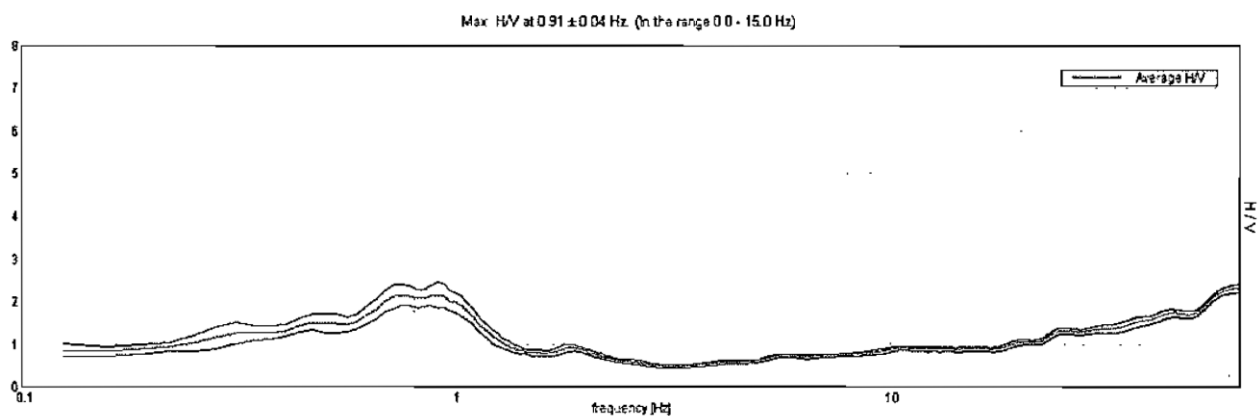
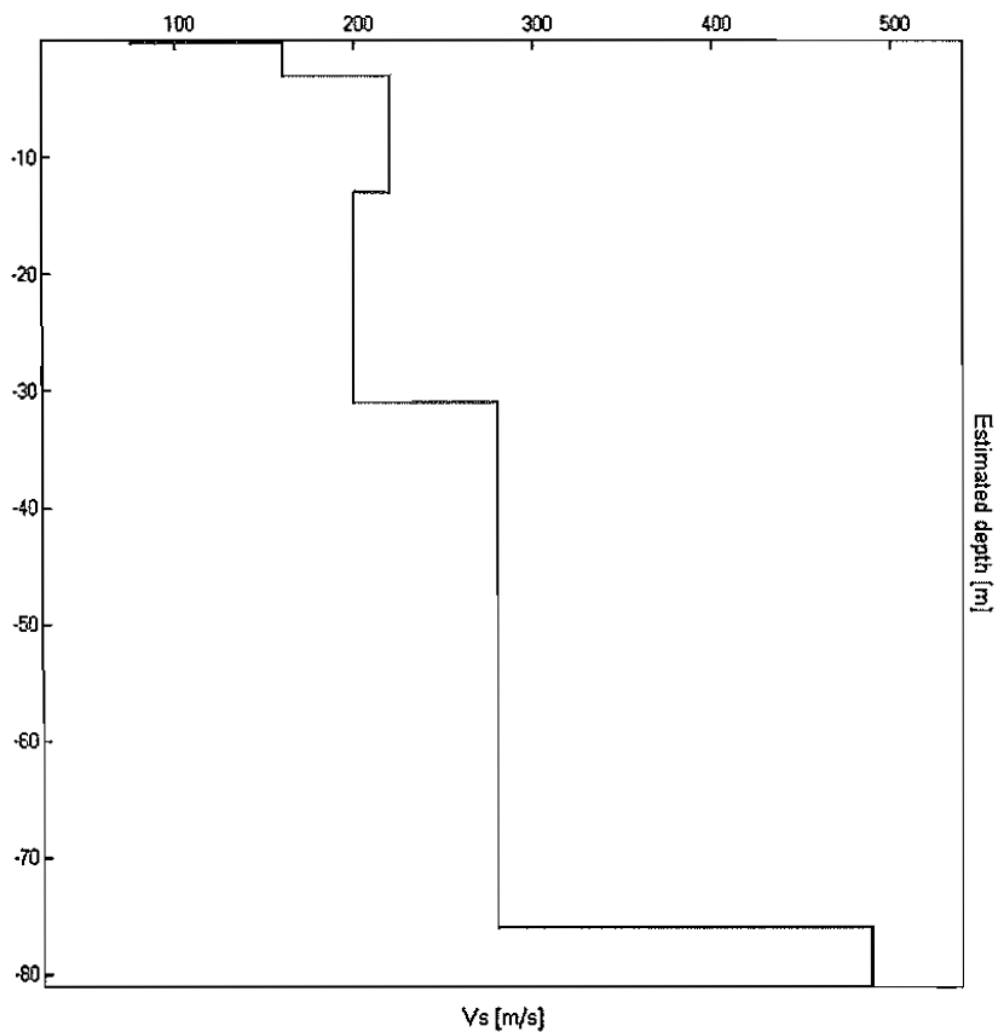



Figura 19 - Profilo Vs interpretato della prova HVSR33A



	RELAZIONE DI MODELLAZIONE SISMICA				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	12400705873 - 12000367716		0	29	48
POTENZIAMENTO DEPURATORE RAVENNA 2° STRALCIO: 1° LOTTO – 2° LOTTO – NUOVO IMPIANTO CADITOIE					

9 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

Per la determinazione della pericolosità sismica di base è necessario partire dall'ubicazione della Centrale e dalle caratteristiche tipiche di vita nominale (V_N) e di Classe d'Uso. In Figura 4 si riporta la posizione della Centrale nelle sue coordinate rappresentative e in Figura 5 sono elencate le principali caratteristiche sismiche della Centrale in termini di vita nominale e classe d'uso.

Tabella 4 - Coordinate dell'Opera

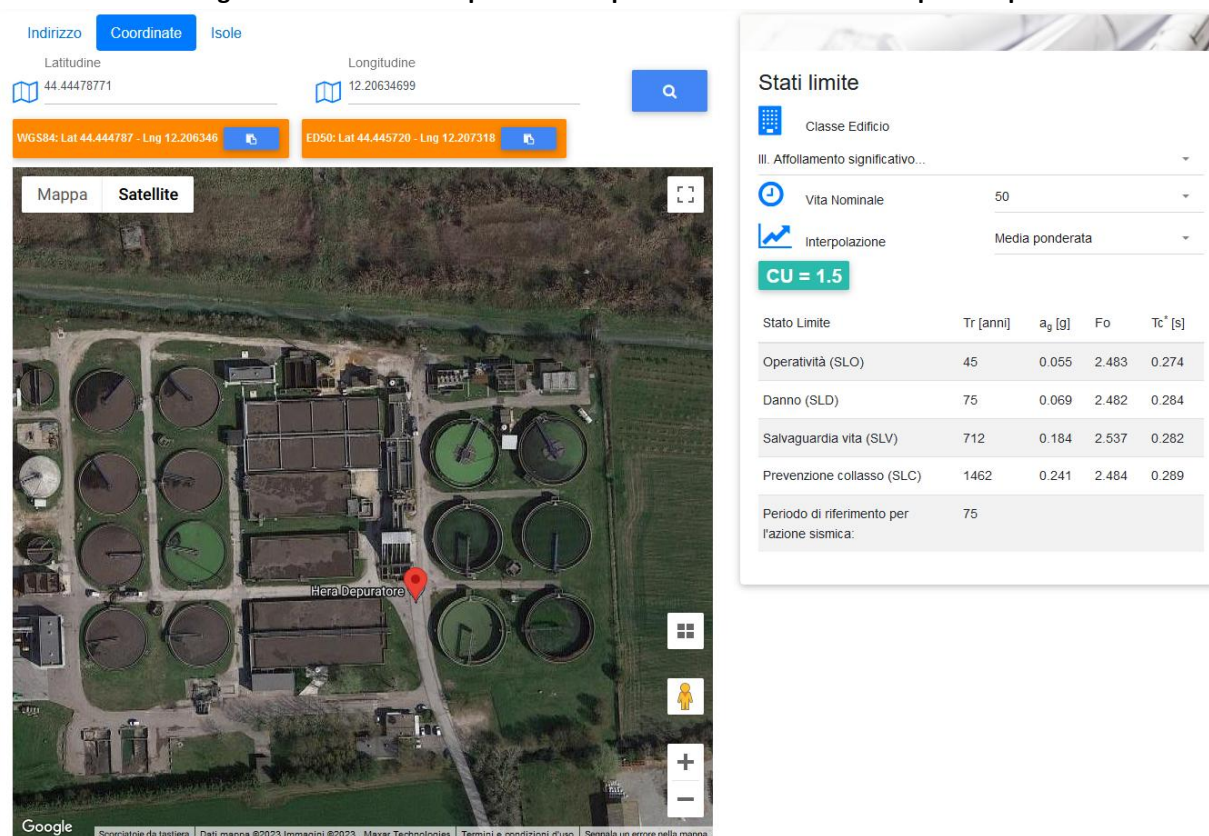
	WGS84	ED50
Latitudine	44.44478771	44.446535
Longitudine	12.20634699	12.207152

Tabella 5 - Caratteristiche dell'Opera

Vita Nominale	Classe d'Uso	Coeff. D'Uso
50	III	1.5

Inserendo la posizione è quindi possibile determinare i valori dei principali parametri di riferimento per le forme spettrali su suolo rigido affiorante, riassunti in Figura 20 e Tabella 6.

Figura 20 - Ubicazione e parametri di pericolosità sismica di base per il depuratore.




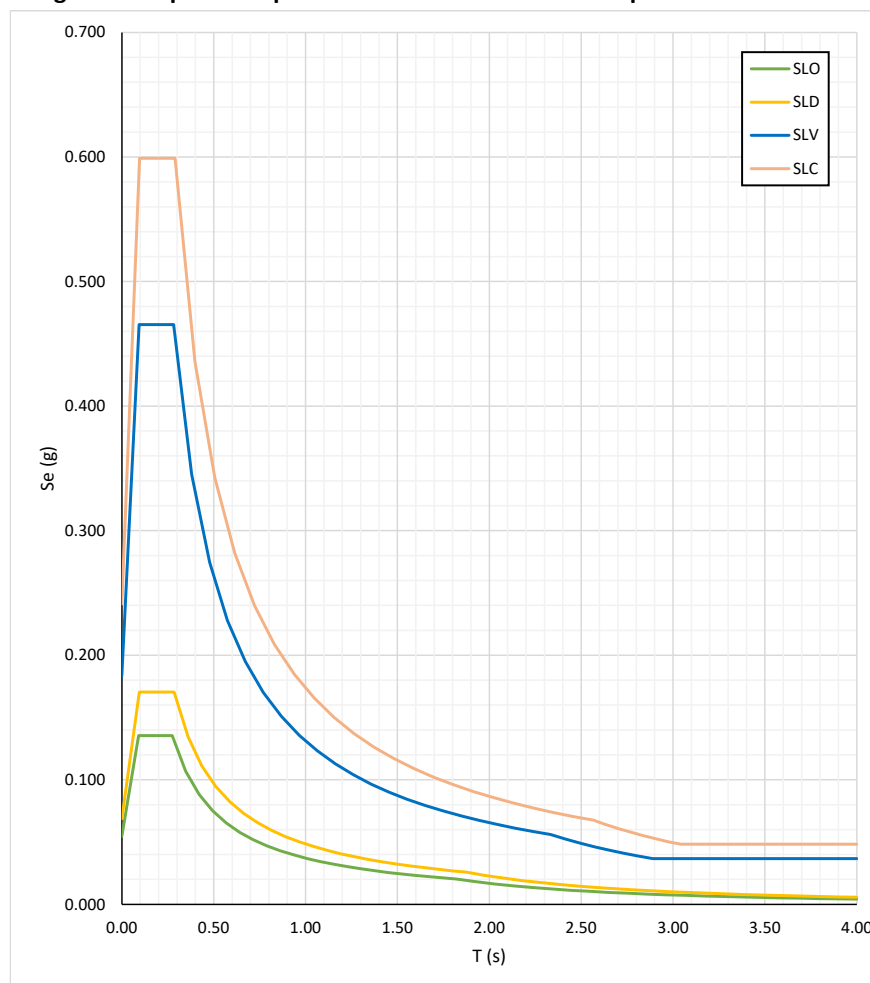
	RELAZIONE DI MODELLAZIONE SISMICA				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	12400705873 - 12000367716		0	30	48
POTENZIAMENTO DEPURATORE RAVENNA 2° STRALCIO: 1° LOTTO – 2° LOTTO – NUOVO IMPIANTO CADITOIE					


Tabella 6 - Parametri delle forme spettrali per ogni Stato Limite

	Tempo di Ritorno – T_R [anni]	Accelerazione Orizzontale Massima al sito – a_g [g]	Fattore di Amplificazione Massima – F_0 [-]	Periodo di Inizio tratto a vel. costante - TC^* [s]
Stato Limite di Operatività (SLO)	45	0.055	2.483	0.274
Stato Limite di Danno (SLD)	75	0.069	2.482	0.284
Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)	712	0.184	2.537	0.282
Stato Limite di Collasso (SLC)	1462	0.241	2.484	0.289

Risulta quindi possibile tracciare gli spettri di Pericolosità Sismica di Base (ossia riferiti ad un suolo perfettamente orizzontale e rigido) riportati in Figura 21.

Figura 21 - Spettro di pericolosità sismica di base Componente orizzontale.



	RELAZIONE DI MODELLAZIONE SISMICA				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	12400705873 - 12000367716		0	31	48
POTENZIAMENTO DEPURATORE RAVENNA 2° STRALCIO: 1° LOTTO – 2° LOTTO – NUOVO IMPIANTO CADITOIE					

9.1 APPROCCIO SEMPLIFICATO PER LA VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto è necessario tenere conto delle condizioni stratigrafiche del volume di terreno interessato dall'opera ed anche delle condizioni topografiche, perché entrambi questi fattori concorrono a modificare l'azione sismica in superficie rispetto a quella attesa su un sito rigido con superficie orizzontale.

Nel seguito verranno descritte ed approfondite le seguenti tematiche:

- categoria di sottosuolo;
- categoria topografica;
- definizione dei parametri dell'azione sismica di riferimento.

9.1.1 CATEGORIA DI SUOLO

Per la valutazione degli effetti stratigrafici si può fare riferimento (NTC 2018) ad un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s . In tale approccio la classificazione del suolo si effettua in base ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio ($V_{s,eq}$).

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

con:

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

h_i spessore dell'i-esimo strato;

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

N numero di strati;

Nel caso in esame, la velocità di propagazione delle onde di taglio è stata determinata tramite le prove Down-Hole disponibili.

In Tabella 7 si riporta il valore di velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio V_{30} determinato dalla prova Down-Hole SCPTU1 (2021), l'unica che consente di stimare questo parametro fra la profondità di 3m e 33m.

Tabella 7 - Velocità equivalente delle onde di taglio e relativa categoria di sottosuolo da prova DH-S1

Prove Down-Hole		
Prova	$V_{s,eq}$	Categoria
SCPTU1 (2021)	191	C

9.1.2 CATEGORIA TOPOGRAFICA

La categoria topografica è T1 (superficie topografica piana), per questo motivo viene considerato un fattore di amplificazione pari ad 1.0.

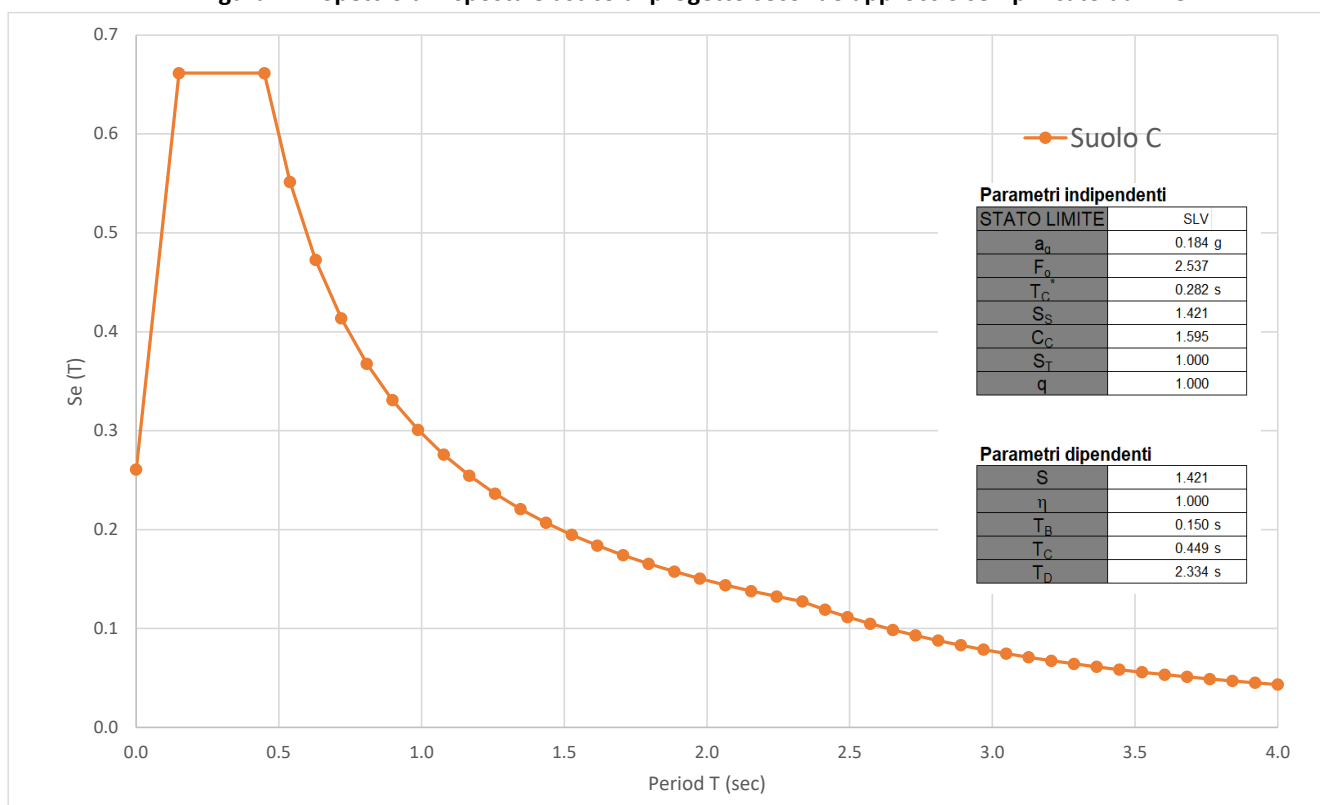
	RELAZIONE DI MODELLAZIONE SISMICA				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	12400705873 - 12000367716		0	32	48
POTENZIAMENTO DEPURATORE RAVENNA 2° STRALCIO: 1° LOTTO – 2° LOTTO – NUOVO IMPIANTO CADITOIE					

9.2 AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO

Il percorso analitico che porta alla definizione dello spettro di risposta elastico farà riferimento allo SLV, pertanto da questo punto in avanti si farà riferimento alle caratteristiche di input proprie di questo scenario progettuale. Tuttavia i risultati dell'analisi includeranno anche gli altri Stati Limite.

In Figura 22 si riporta una sintesi di determinazione dei fattori d'amplificazione e delle ordinate spettrali d'attacco (SLV) per un suolo di categoria "C" comparabile –in termini di $V_{S,30}$ – a quelli sperimentalmente rilevati in sito.

Figura 22 - Spettro di risposta elastico di progetto secondo approccio semplificato da NTC.



	RELAZIONE DI MODELLAZIONE SISMICA				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	12400705873 - 12000367716		0	33	48
POTENZIAMENTO DEPURATORE RAVENNA 2° STRALCIO: 1° LOTTO – 2° LOTTO – NUOVO IMPIANTO CADITOIE					

10 ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

L'analisi viene svolta seguendo i passaggi qui descritti:

- individuazione di un set di 7 accelerogrammi spettro-compatibili;
- caratterizzazione sismica dei terreni in accordo ai dati da campagne geognostiche e letteratura;
- risposta sismica locale condotta in condizioni 1D in termini di tensioni totali con soluzione analitica lineare equivalente e modellazione del terreno visco-elastica alla Kelvin-Voigt.

10.1 SOFTWARE DI CALCOLO

La risposta sismica locale viene effettuata in condizioni monodimensionali mediante modellazione lineare equivalente, che prevede una routine di aggiornamento dei valori di rigidezza dei moduli di deformabilità a taglio assegnati, sino alla convergenza delle deformazioni attese, per mezzo del software Strata, adottando gli accelerogrammi di input, i modelli costitutivi, la profondità del bedrock sismico ed il profilo di velocità delle onde di taglio che saranno indicati nei paragrafi a seguire.

10.2 INDIVIDUAZIONE DEL SET DI ACCELEROGRAMMI SPETTRO-COMPATIBILI

Il set di accelerogrammi spettro compatibili è stato reperito grazie al portale SEISM-HOME, sviluppato dalla fondazione Eucentre di Pavia, che permette di ottenere l'input sismico da utilizzare per analisi dinamiche non lineari, per un qualsiasi sito del territorio italiano e per il periodo di ritorno di 475 anni.

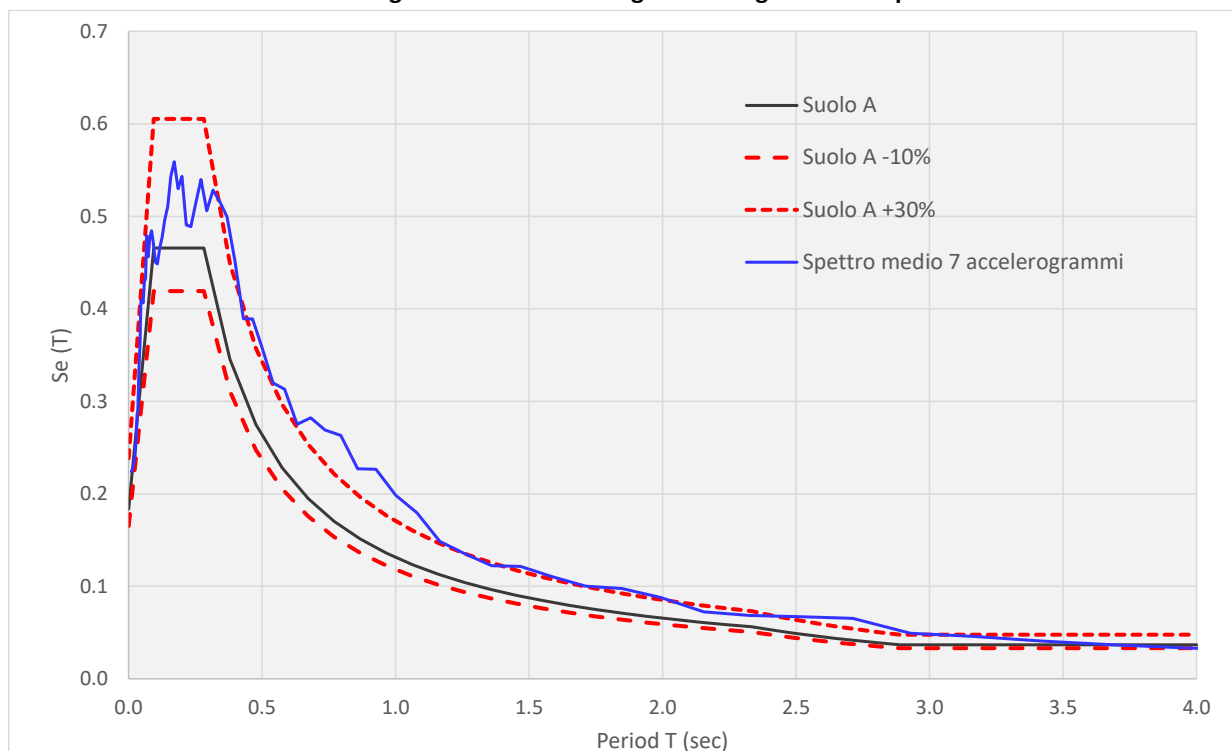
L'input sismico è definito in termini di un gruppo di sette accelerogrammi reali, registrati su superficie rigida, spettro-compatibili nel valore medio rispetto agli spettri di normativa definiti nelle NTC.

Tali accelerogrammi possono essere usati direttamente per analisi di sistemi strutturali o geotecnici posti su terreno roccioso, o come input per analisi di risposta sismica locale in caso di terreno non roccioso. Poiché il database del software (come anche altri database) contiene un solo accelerogrammi riferiti a terremoti con tempi di ritorno $T_R=475$ anni, questi sono stati successivamente scalati per ottenere l' $a_{g,base}$ corrispondente al $T_R=712$ anni (SLV).

In Figura 23 si riporta la geometria dello spettro di pericolosità sismica di base, la banda di tolleranza fissata e lo spettro medio.

	RELAZIONE DI MODELLAZIONE SISMICA				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	12400705873 - 12000367716		0	34	48
POTENZIAMENTO DEPURATORE RAVENNA 2° STRALCIO: 1° LOTTO – 2° LOTTO – NUOVO IMPIANTO CADITOIE					

Figura 23 - Selezione degli accelerogrammi di input.



10.3 CARATTERISTICHE DEL BEDROCK SISMICO E PROFILO VS

Da bibliografia (Mascandola et al., 2019) è disponibile una zonazione a grande scala della Pianura padana (Figura 24), circa le isobate del bedrock sismico, secondo la quale la profondità nel settore di pianura in esame è fra 300 e 400m.


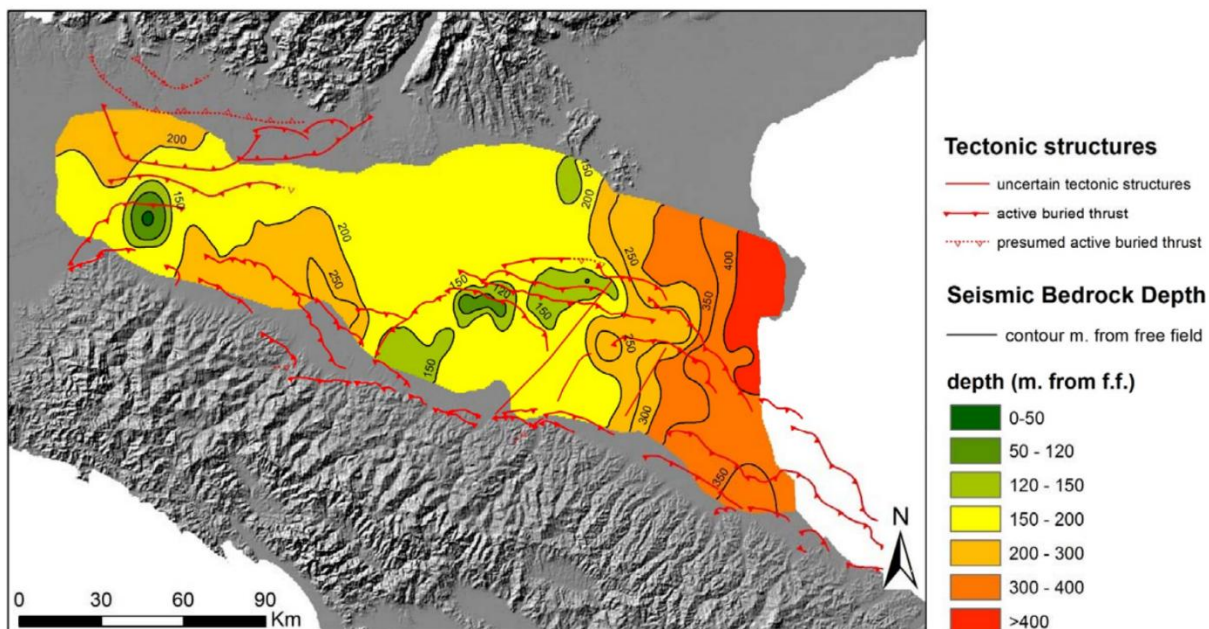
	RELAZIONE DI MODELLAZIONE SISMICA				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	12400705873 - 12000367716		0	35	48
POTENZIAMENTO DEPURATORE RAVENNA 2° STRALCIO: 1° LOTTO – 2° LOTTO – NUOVO IMPIANTO CADITOIE					

Figura 24 - Mappa delle isobate del bedrock sismico (da Mascandola et al., 2019).



Per quanto attiene al seminario di Martelli et al (2018), l'esperienza degli autori riporta come “*In pianura il bedrock sismico è facilmente individuabile nelle zone di alto strutturale, dove coincide con il substrato geologico Dove lo spessore dei sedimenti alluvionali/costieri è indicativamente maggiore di 130 m il bedrock sismico è talora difficilmente individuabile* Nella successione continentale è presente una superficie di contrasto di velocità importante, generalmente alla base di AES o in AES (AES6).”.

Appare utile altresì considerare che negli studi di microzonazione sismica di III livello del Comune di Ravenna, la profondità del bedrock sismico è assunta pari a 350m.

Come stratigrafia di calcolo si è fatto riferimento alle prove geofisiche già descritte. I valori del profilo Vs nei primi 35m di profondità derivano dalle prove sismiche. Al di sotto della stratigrafia individuata nei primi 35m si è fatto riferimento alla prova HVSR33a ed all'esperienza di Paoloucci et al (2015), i quali, sulla base di numerose indagini (Microtremore e misure dirette delle onde di taglio), hanno individuato per il settore di pianura più colpito dal terremoto del 2012, una Power Law che definisce il trend medio delle velocità delle onde di taglio al fine di definire la profondità del bedrock sismico a partire dalla misura della frequenza propria del sito individuata mediante risultati di prove H/V.


	RELAZIONE DI MODELLAZIONE SISMICA				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	12400705873 - 12000367716		0	36	48
POTENZIAMENTO DEPURATORE RAVENNA 2° STRALCIO: 1° LOTTO – 2° LOTTO – NUOVO IMPIANTO CADITOIE					

Figura 25 - Fuso della velocità delle onde di taglio in funzione della profondità (Paolucci et al, 2015)

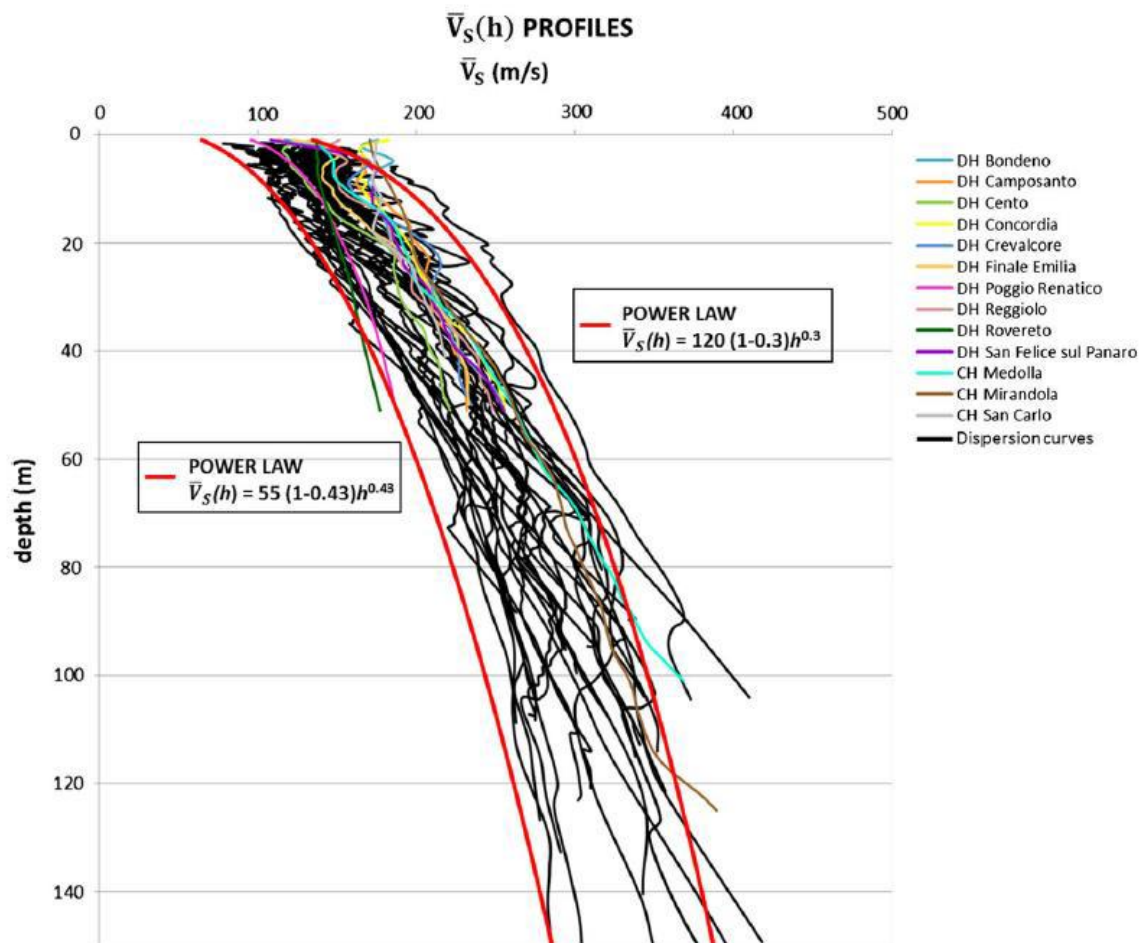


Fig. 11 Average V_S profiles of the whole study area. *Colored curves* are related to $\bar{V}_S(h)$ profiles obtained by borehole seismic tests and *black lines* are $\bar{V}_S(h)$ profiles obtained by dispersion curves; *red lines* are minimum ($V_0 = 55$, $x = 0.43$) and maximum ($V_0 = 120$, $x = 0.3$) power law taken in account to assess the model variability

Il profilo delle onde V_S può quindi essere delineato in profondità secondo il gradiente fissato dalle due *Power Law* limite, il quale, unitamente alla condizione al contorno per cui al bedrock vale al bedrock di $V_S=700$ m/s, porta a definire una profondità di 365m quale spessore di calcolo della successione.

In definitiva, considerando i dati sulla geologia regionale, nonché le pubblicazioni di Mascandola et al. (2019), di Martelli et al. (2018) e i gradienti rappresentati dalle power law di Paolucci et al, 2015r, si ritiene che la profondità di 365m possa essere assunta quale Bedrock sismico.

Il Bedrock, ai fini della risposta sismica locale è stato caratterizzato da:

- $V_S = 700$ m/s;
- smorzamento = 0.5%.

	RELAZIONE DI MODELLAZIONE SISMICA				
	N° COMMESSA (JOB N°) 12400705873 - 12000367716	ID DOC. (DOC. ID)	REV. 0	N° FG. (SH. N.) 37	DI (LAST) 48
	POTENZIAMENTO DEPURATORE RAVENNA 2° STRALCIO: 1° LOTTO – 2° LOTTO – NUOVO IMPIANTO CADITOIE				

10.4 PROFILO V_s DI CALCOLO

La stratigrafia ed i parametri significativi sono riassunti in Tabella 8. Graficamente, il profilo di V_s adottato a calcolo e derivato dall'interpretazione delle prove è riassunto nella Figura 26.

Tabella 8 - Quadro riassuntivo della stratigrafia di calcolo considerata.

Prof. (m)	γ (kN/m ³)	V_s (m/s)
0	17	150
13		150
13	17	175
24		175
24	17	230
28		230
28	17	210
31		210
31	18	260
76		260
76	18	400
200		400
200	18	550
365		550
365	22	700


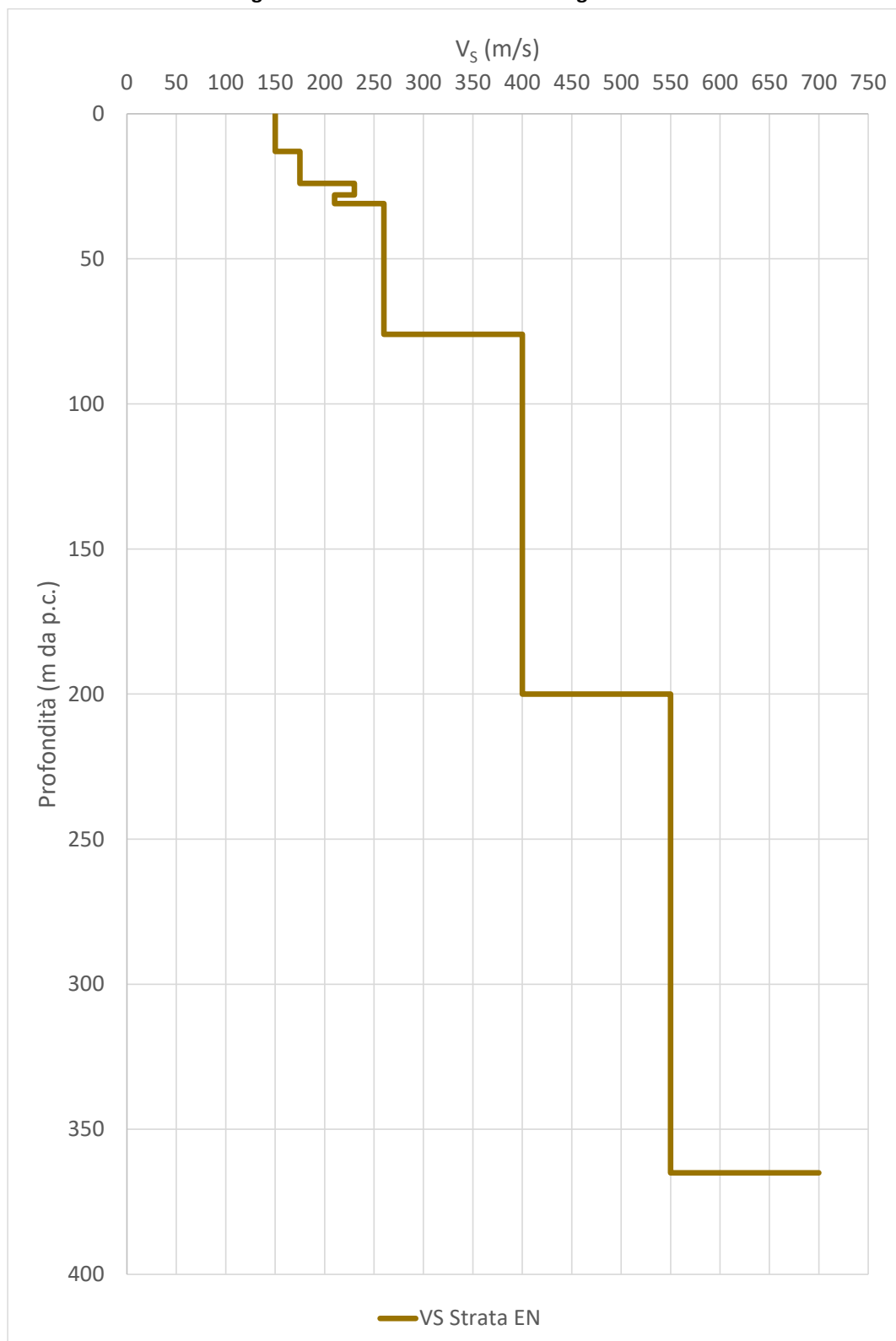
	RELAZIONE DI MODELLAZIONE SISMICA				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	12400705873 - 12000367716		0	38	48
POTENZIAMENTO DEPURATORE RAVENNA 2° STRALCIO: 1° LOTTO – 2° LOTTO – NUOVO IMPIANTO CADITOIE					

Figura 26 - Sintesi Grafica della stratigrafia di calcolo.

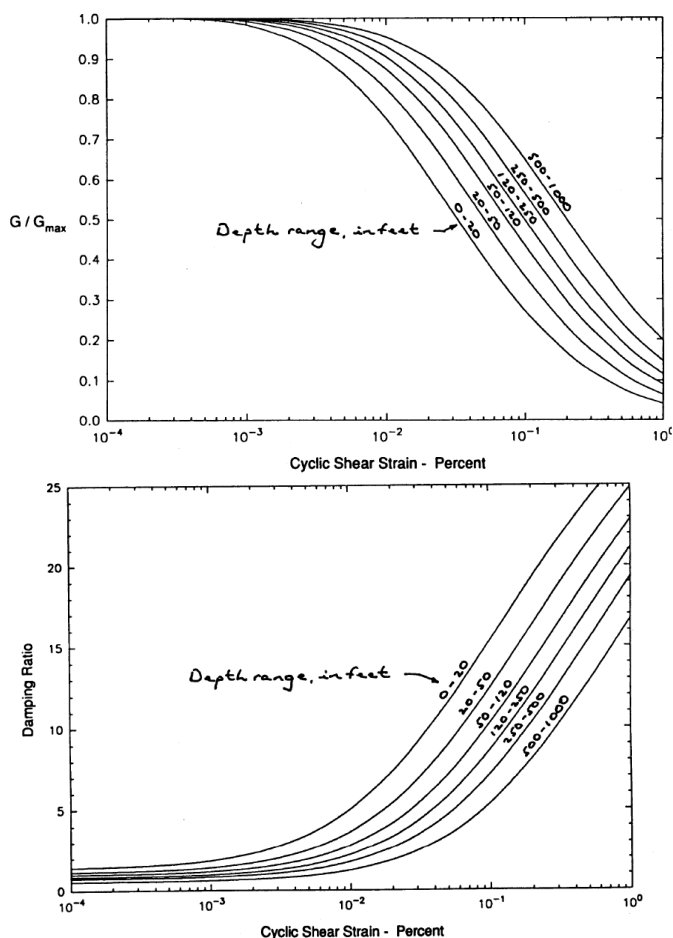



	RELAZIONE DI MODELLAZIONE SISMICA			
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)
	12400705873 - 12000367716		0	39
POTENZIAMENTO DEPURATORE RAVENNA 2° STRALCIO: 1° LOTTO – 2° LOTTO – NUOVO IMPIANTO CADITOIE				

10.5 CARATTERIZZAZIONE DINAMICA DEI TERRENI

Per la caratterizzazione dei terreni in termini di degrado dei parametri di rigidezza e incremento dello smorzamento con i livelli deformativi si è scelto di utilizzare formulazioni da letteratura tecnica. La natura dei materiali è sia coesiva che granulare, pertanto le leggi da adottare dovrebbero prevedere l'adozione di leggi di dipendenza di G e D dall'indice plastico (fini) e dalle tensioni geostatiche (granulari). Tuttavia, considerata l'elevata profondità raggiunta dal modello, gli effetti del confinamento hanno all'aumentare della profondità un notevole impatto sulle caratteristiche di viscosità e dissipative dei termini granulari, mentre rimangono sostanzialmente costanti per terreni fini dotati più o meno delle medesime proprietà plastiche lungo l'intero sviluppo del modello. Modellare una successione di questo tipo pertanto comporta avere contrasti nelle proprietà meccaniche, che si accentuano man mano che aumenta la profondità. Per tale ragione, è stato scelto di modellare l'intera successione come un deposito di incoerenti, facendo riferimento alle curve dell'EPRI (1993) riferite a vari stati di confinamento.

Figura 27 - Curve di decadimento di G e incremento di D con la deformazione per differenti condizioni geolitostatiche.

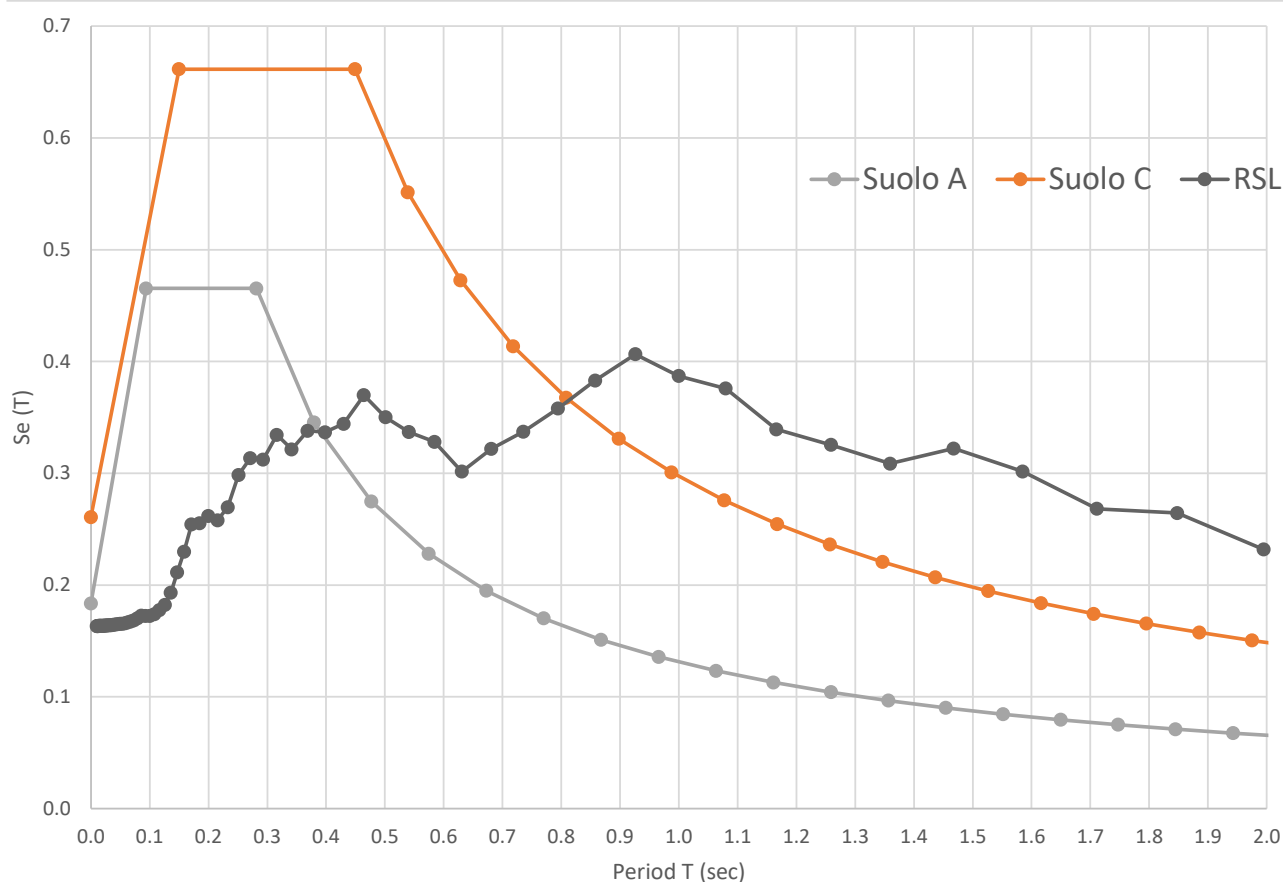


	RELAZIONE DI MODELLAZIONE SISMICA			
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)
	12400705873 - 12000367716		0	40
POTENZIAMENTO DEPURATORE RAVENNA 2° STRALCIO: 1° LOTTO – 2° LOTTO – NUOVO IMPIANTO CADITOIE				

10.6 RISULTATI DELL'ANALISI

I risultati delle analisi sono di seguito presentati in termini di spettro di risposta in superficie medio dei 7 accelerogrammi, posto a confronto con quelli da approccio semplificato secondo NTC 2018 (Figura 28).


Figura 28 - Spettro di risposta da analisi di risposta sismica locale 1D, spettro di input e spettro da approccio semplificato NTC 2018 – SLV.



10.6.1 COMMENTO AI RISULTATI

Come si può osservare, l'analisi sito specifica fornisce uno spettro che si discosta sensibilmente dagli spettri da normativa. In particolare, si evidenzia una notevole de-amplificazione spettrale per periodi più bassi di 0.4s, mentre si osserva una amplificazione oltre il periodo di 4s. Questo comportamento è strettamente connesso alla natura del modello: la notevole distanza del bedrock sismico dalla superficie è la prima causa della deamplificazione, le scarse rigidità che connotano i terreni superficiali tendono quindi a costituire un ulteriore filtro, abbattendo i periodi bassi (alte frequenze) ed enfatizzando quelli più alti (basse frequenze) del moto sismico. Il picco più elevato si trova circa a $T=0.9s$, compatibile grosso modo col periodo che si ottiene dalla prova HVSR33a ($T=1.09s$), a riprova del risultato.

Benché questo risultato possa avere una consistenza geofisica, va tenuta in conto la seguente regola normativa circa la modellazione dell'azione sismica (§ 7.2.6 NTC2018) *“In quanto alla domanda sismica ed alla risposta strutturale valgono le seguenti limitazioni:*

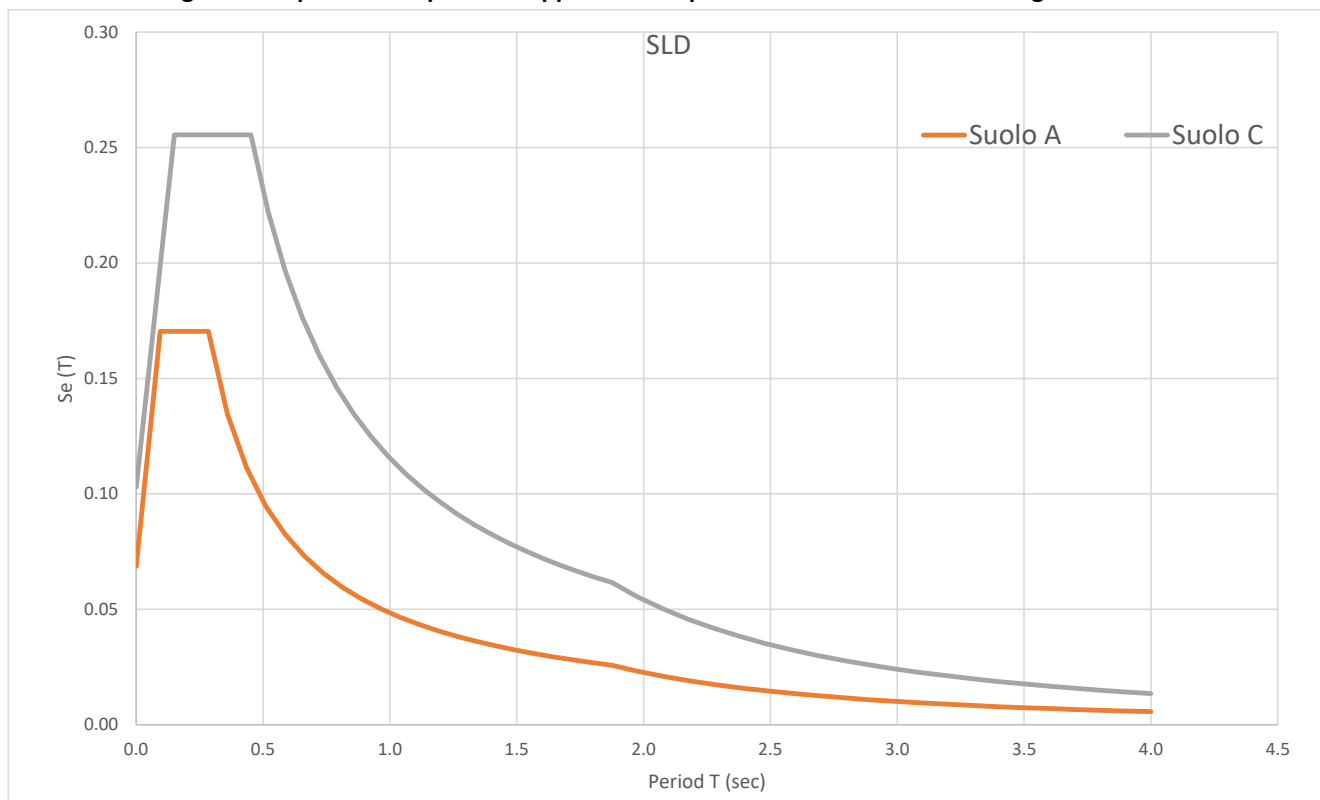
	RELAZIONE DI MODELLAZIONE SISMICA				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	12400705873 - 12000367716		0	41	48
POTENZIAMENTO DEPURATORE RAVENNA 2° STRALCIO: 1° LOTTO – 2° LOTTO – NUOVO IMPIANTO CADITOIE					

a) I valori dello spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti dell'azione sismica di progetto, valutato assumendo il 5 % di smorzamento ed ottenuto tramite analisi di risposta sismica locale e/o di interazione terreno struttura, devono essere almeno pari al 70 % di quelli del corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione per sottosuolo di tipo A, come definito al § 3.2.3.2".

Lo spettro quindi non può avere regolarità ai sensi della normativa, trattandosi di una forma che, proprio nei periodi di interesse delle strutture in progetto (aventi periodi bassi/molto bassi determinati da elevate rigidezze), non soddisfa il requisito posto dal § 7.2.6.

A tal fine, pertanto, si farà riferimento all'azione sismica determinata per via semplificata, secondo la quale lo spettro viene determinato in accordo ad un suolo di categoria "C" (cfr. § 9.1.1).

Figura 29 - Spettro di risposta da approccio semplificato NTC 2018 – SLD – Categoria di suolo "C".




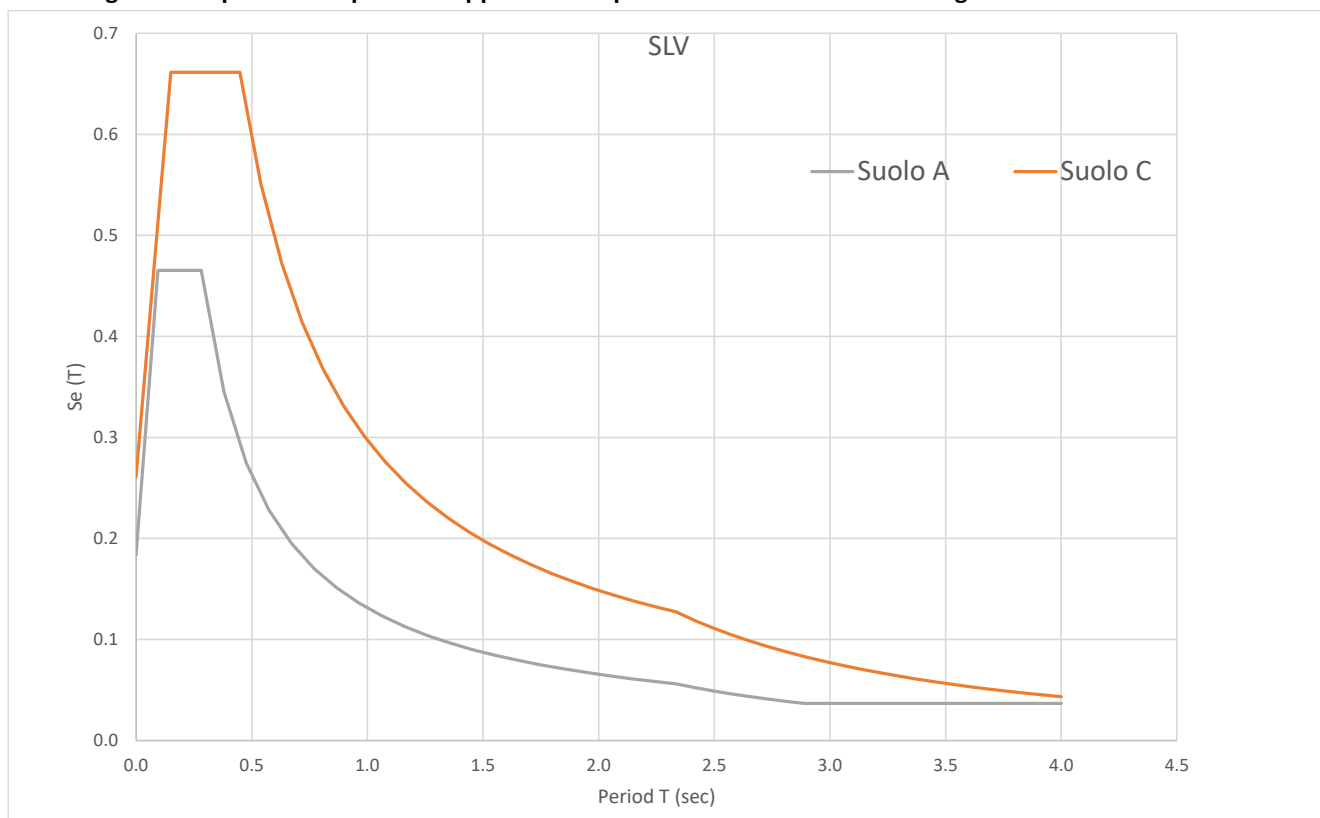

	RELAZIONE DI MODELLAZIONE SISMICA				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	12400705873 - 12000367716		0	42	48
POTENZIAMENTO DEPURATORE RAVENNA 2° STRALCIO: 1° LOTTO – 2° LOTTO – NUOVO IMPIANTO CADITOIE					

Figura 30 - Spettro di risposta da approccio semplificato NTC 2018 – SLV – Categoria di suolo “C”.



	RELAZIONE DI MODELLAZIONE SISMICA				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	12400705873 - 12000367716		0	43	48
POTENZIAMENTO DEPURATORE RAVENNA 2° STRALCIO: 1° LOTTO – 2° LOTTO – NUOVO IMPIANTO CADITOIE					

11 VERIFICA DELLA PERICOLOSITÀ DA LIQUEFAZIONE

11.1 VALUTAZIONI IN MERITO AL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE – CRITERI DI CALCOLO

Al di sotto del materiale di riporto superficiale insistono terreni variabilmente a comportamento coesivo (miscele di limi ed argille) ed incoerente (limi sabbiosi e sabbie limose), di cui questi ultimi termini potenzialmente soggetti a problematiche di liquefazione. Quindi nel seguito viene valutato il rischio di liquefazione associato, in riferimento ai dati delle prove penetrometriche statiche con piezocono eseguite nelle varie campagne indagini.

11.1.1 GENERALITÀ

In terreni saturi sabbiosi sollecitati, in condizioni non drenate, da azioni cicliche dinamiche, il termine liquefazione comprende una serie di fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio. L'avvenuta liquefazione si manifesta, in presenza di manufatti, attraverso la perdita di capacità portante e/o lo sviluppo di elevati cedimenti e rotazioni.

In base al D.M. 17/01/2018, la verifica di liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle circostanze indicate al paragrafo 7.11.3.4.2 della norma.

Nel caso in esame, nessuna delle condizioni dettate dalla norma è verificata, ragione per la quale occorre valutare il coefficiente di sicurezza alla liquefazione (F_L) alle profondità in cui sono presenti i terreni potenzialmente liquefacibili, adottando metodi di analisi semplificata in termini di tensioni totali.

Tali metodi sono basati sulle prove penetrometriche statiche disponibili e sulla valutazione, ad ogni profondità z del deposito compreso nei primi 20 m, del coefficiente di sicurezza:

$$F_L = \frac{CRR}{CSR}$$

dove:

$$CRR = \frac{\tau_{ult}}{\sigma'_v},$$

è la resistenza normalizzata alla pressione verticale efficace iniziale;

$$CSR = \frac{\tau_{media}}{\sigma'_v} = \frac{0,65 \times \tau_{max}}{\sigma'_v},$$

è la tensione normalizzata indotta dal terremoto.

I risultati delle analisi saranno presentati riportando l'andamento con la profondità del fattore di sicurezza alla liquefazione per ciascuna delle verticali indagate e determinando anche l'indice del potenziale di liquefazione I_L definito dalla seguente relazione (Sonmez, 2003):

	RELAZIONE DI MODELLAZIONE SISMICA				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	12400705873 - 12000367716		0	44	48
POTENZIAMENTO DEPURATORE RAVENNA 2° STRALCIO: 1° LOTTO – 2° LOTTO – NUOVO IMPIANTO CADITOIE					

$$I_L = \int_0^{z_{crit}} F(z) \cdot w(z) \cdot dz \quad \text{in cui} \quad w(z) = \frac{200}{z_{crit}} \cdot \left(1 - \frac{z}{z_{crit}}\right)$$

z_{crit} è la profondità critica, ovvero la profondità massima entro la quale può verificarsi la liquefazione, che di norma si assume pari a 20 m.

La variabile $F(z)$ vale (Sommez, 2003):

$$\begin{aligned} F(z) &= 0 && \text{per } F_L \geq 1.2 \\ F(z) &= 2 \cdot 10^6 \cdot \exp(-18.427 \cdot F_L) && \text{per } 1.2 > F_L \geq 0.95 \\ F(z) &= 1 - F_L && \text{per } F_L \leq 0.95 \end{aligned}$$

Il potenziale di liquefazione I_L fornisce una valutazione “integrale” degli effetti della liquefazione e può essere stimato come segue:

$I_L = 0$	Non liquefacibile ($F_L \geq 1.2$)
$0 < I_L \leq 2$	Potenziale basso
$2 < I_L \leq 5$	Potenziale moderato
$5 < I_L \leq 15$	Potenziale alto
$15 < I_L$	Potenziale molto alto

11.1.1.1 Valutazione del potenziale di liquefazione dei livelli granulari saturi

11.1.1.1.1 Valutazione del rapporto di tensione ciclica “CSR”


Il rapporto di tensione ciclica, ad una determinata profondità, può essere valutato attraverso la seguente espressione (Seed e Idriss, 1971):

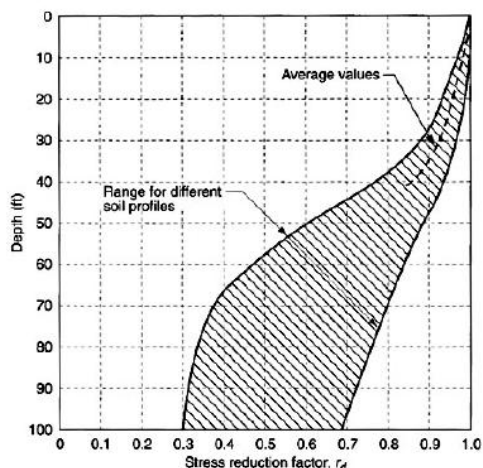
$$CSR = 0.65 \cdot \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \cdot \frac{a_{max}}{g} \cdot r_d$$

dove:

- a_{max} è l'accelerazione massima del terremoto di progetto;
- σ_v e σ'_v sono rispettivamente la tensione totale verticale e la tensione efficace verticale;

r_d è un coefficiente correttivo che tiene conto della deformabilità del sottosuolo che può essere assunto pari a:

	RELAZIONE DI MODELLAZIONE SISMICA				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	12400705873 - 12000367716		0	45	48
POTENZIAMENTO DEPURATORE RAVENNA 2° STRALCIO: 1° LOTTO – 2° LOTTO – NUOVO IMPIANTO CADITOIE					

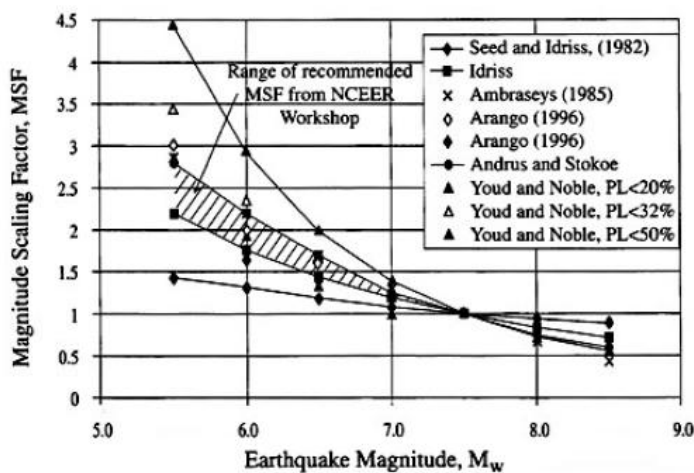


$$\begin{aligned}
 r_d &= 1.0 - 0.00765 \cdot z & \text{for } z \leq 9.15 \text{ m} \\
 r_d &= 1.174 - 0.0267 \cdot z & \text{for } 9.15 \text{ m} < z \leq 23 \text{ m} \\
 r_d &= 0.744 - 0.008 \cdot z & \text{for } 23 \text{ m} < z \leq 30 \text{ m} \\
 r_d &= 0.5 & \text{for } z > 30 \text{ m}
 \end{aligned}$$

11.1.1.1.2 Valutazione del rapporto di resistenza ciclica “CRR”

Il rapporto di resistenza ciclica può essere stimato sulla base delle prove CPT.

Poiché le procedure semplificate sono state elaborate sulla base di osservazioni sul comportamento dei depositi durante eventi sismici con magnitudo $M=7.5$, per eventi di magnitudo diversa si introduce un coefficiente correttivo MSF così definito:



$$MSF = \frac{10^{2.24}}{M^{2.56}}$$

La tensione ciclica CRR in corrispondenza della magnitudo di interesse si ottiene pertanto dalla relazione:

$$CRR_M = CRR_{7.5} \cdot MSF$$


La stima del rapporto di resistenza CRR da prove CPT viene effettuata utilizzando il metodo di Boulanger & Idriss (2014).

11.2 ANALISI DI LIQUEFAZIONE DEI LIVELLI GRANULARI SATURI

11.2.1 PARAMETRI DI BASE PER LE ANALISI DI LIQUEFAZIONE

Nelle analisi di liquefazione intervengono i parametri nel seguito descritti:

a. Peso di volume del terreno

	RELAZIONE DI MODELLAZIONE SISMICA				
	N° COMMESSA (JOB N°) 12400705873 - 12000367716	ID DOC. (DOC. ID)	REV. 0	N° FG. (SH. N.) 46	DI (LAST) 48
	POTENZIAMENTO DEPURATORE RAVENNA 2° STRALCIO: 1° LOTTO – 2° LOTTO – NUOVO IMPIANTO CADITOIE				

In tutte le analisi si è assunto il peso di volume medio del terreno pari a $\gamma=18,5 \text{ kN/m}^3$;

b. Falda

La falda è stata posta a 0.5m da piano di campagna;

c. Accelerazione massima

L'accelerazione massima, applicata all'intero profilo, è assunta pari a:

$$a_{\max} = 0.184 \text{ g (cap. 9);}$$

d. Magnitudo

I calcoli sono stati eseguiti in riferimento al massimo valore di magnitudo attesa per il sito, ovvero:

$$M_w = 6.14 \text{ (da ZS9, zona 912)}$$


11.2.2 RISULTATI DELLE ANALISI DI LIQUEFAZIONE

La valutazione del rischio di liquefazione in termini integrali (potenziale di liquefazione I_L – Sonmez, 2003) è riportata nella seguente Tabella 9, dalla quale risultano valori di I_L tendenzialmente alti, salvo due valori che identificano un rischio moderato ed un valore basso, corrispondenti ad un rischio di liquefazione complessivo alto. La valutazione del cedimento post-sismico, eseguita mediante il metodo proposto da Yoshimine et al (2006) ha restituito cedimenti della frangia satura compresi fra 5 e 35cm circa.

Tabella 9 - Indice del potenziale di liquefazione dei terreni granulari saturi.

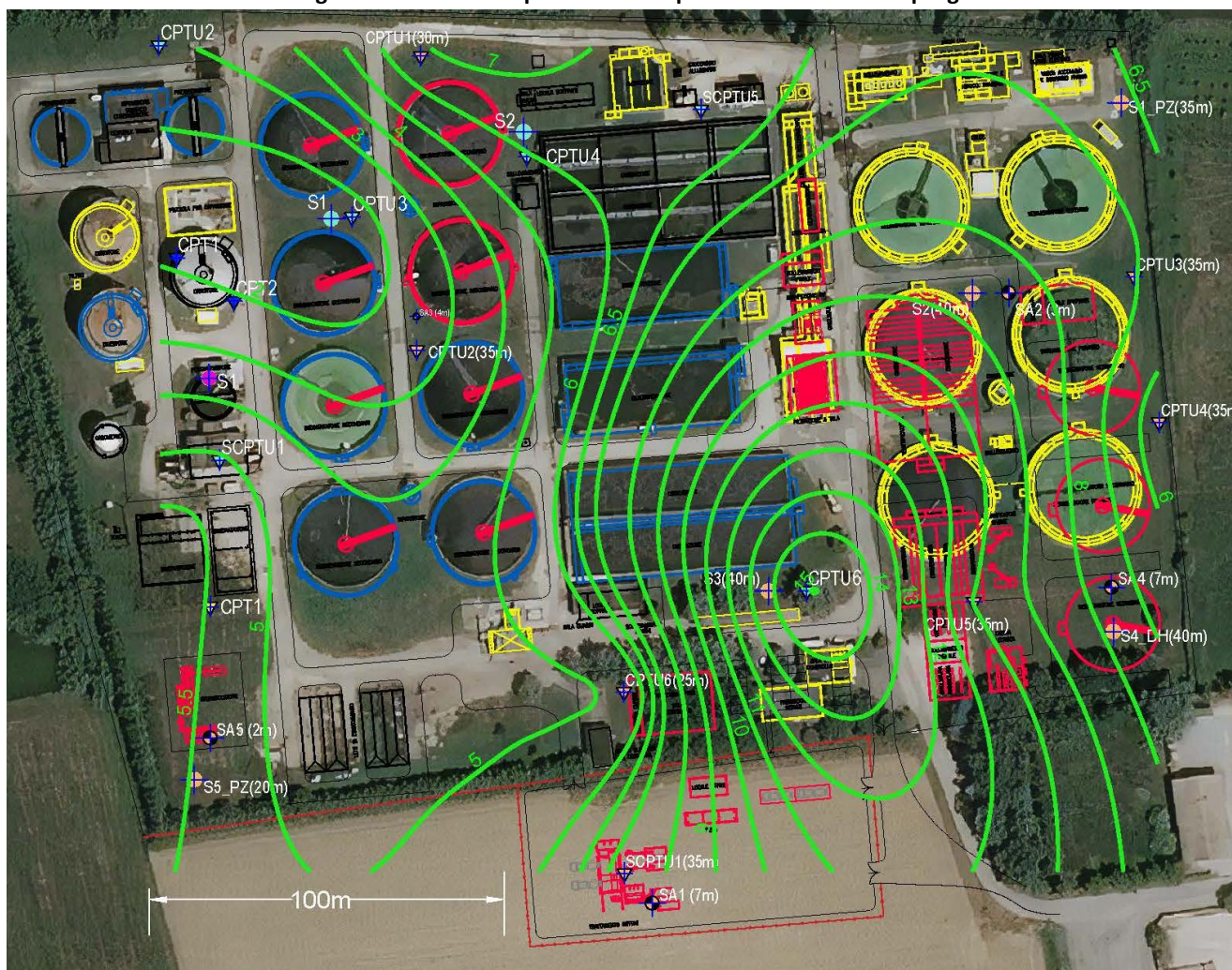
Location ID	IL	Potenziale	δ (cm)
CPTU1	6.77	ALTO	21.56
CPTU2	2.63	MODERATO	11.05
CPTU2-2016	2.82	MODERATO	11.6
CPTU3	7.05	ALTO	24.2
CPTU3-2016	1.6	BASSO	5.4
CPTU4	5.5	ALTO	23.34
CPTU4-2016	5.96	ALTO	17
CPTU5	9.92	ALTO	28.45
SCPTU5-2016	6.2	ALTO	19.5
CPTU6	5.23	ALTO	20.9
CPTU6-2016	15	ALTO	35.2
SCPTU1	7.3	ALTO	23.7
SCPTU1-2016	5.1	ALTO	13.4

Nella Figura 31 viene riportata una mappa nella quale sono riportate le isolinee di uguale potenziale di liquefazione, interpolate dall'elaborazione dei dati di ciascuna prova.

	RELAZIONE DI MODELLAZIONE SISMICA				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	12400705873 - 12000367716		0	47	48
POTENZIAMENTO DEPURATORE RAVENNA 2° STRALCIO: 1° LOTTO – 2° LOTTO – NUOVO IMPIANTO CADITOIE					

Una rappresentazione della distribuzione spaziale dei cedimenti attesi, in termini di isolinee di uguale cedimento, è riportata nella successiva Figura 32.

Figura 31 - Isolinee di potenziale a liquefazione nell'area di progetto.




	RELAZIONE DI MODELLAZIONE SISMICA				
	N° COMMESSA (JOB N°)	ID DOC. (DOC. ID)	REV.	N° FG. (SH. N.)	DI (LAST)
	12400705873 - 12000367716		0	48	48
POTENZIAMENTO DEPURATORE RAVENNA 2° STRALCIO: 1° LOTTO – 2° LOTTO – NUOVO IMPIANTO CADITOIE					

Figura 32 - Isolinee di cedimento post-sismico nell'area di progetto.

