

S.G.C. E78 GROSSETO–FANO

Tratto Siena Bettolle (A1)

Adeguamento a 4 corsie del tratto Siena–Ruffolo (Lotto 0)

PROGETTO DEFINITIVO

COD. FI-81

R.T.I. di PROGETTAZIONE: Mandataria Mandante



PROGETTISTI:

Ing. Riccardo Formichi – Pro Iter srl (Integratore prestazioni specialistiche)
Ordine Ing. di Milano n. 18045

Ing. Riccardo Formichi – Pro Iter srl
Ordine Ing. di Milano n. 18045

IL GEOLOGO

Dott. Geol. Massimo Mezzananza – Pro Iter srl
Albo Geol. Lombardia n. A762

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Ing. Enrico Moretti – Erre.vi.a. srl
Ordine Ing. di Milano n. 16237

VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO

Ing. Raffaele Franco Carso



PROTOCOLLO

DATA

02 - Geologia e geotecnica

02.04 - Sismica

Relazione sismica

CODICE PROGETTO			NOME FILE	REVISIONE	SCALA
PROGETTO	LIV. PROG.	N. PROG.	T00GE03GETRE01A .pdf		
DPFI0081	D	20	CODICE ELAB. T00GE04GETRE01	A	-
D					
C					
B					
A	Emissione		Ottobre 2020	Vitiello	Mezzananza Formichi
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO APPROVATO

INDICE

1	PREMESSA.....	1
2	NORMATIVE ED ELABORATI DI RIFERIMENTO	2
2.1	Normative e raccomandazioni tecniche	2
2.2	Elaborati di progetto definitivo	2
3	SISMICITA' DELL'AREA	4
3.1	Sismicità storica	5
3.2	Classificazione sismica del territorio comunale.....	5
3.3	Strutture sismogenetiche.....	9
3.4	Faglie capaci.....	9
4	AZIONE SISMICA DI PROGETTO.....	10
4.1	Stati limite nei confronti delle azioni sismiche	10
4.2	Periodo di riferimento per l'azione sismica	11
4.3	Parametri sismici.....	11
4.4	Categoria sismica dei suoli di fondazione.....	14
4.4.1	Prospezioni sismiche down-hole	15
4.4.2	Definizione delle categorie di sottosuolo per la progettazione	15
4.5	Coefficiente di amplificazione topografica per $h > 30$ m.....	16
4.6	Caratterizzazione sismica da spalla 1 del Viadotto Casone a spalla 2 del Viadotto Ribucciano. 16	
4.7	Caratterizzazione sismica da inizio tracciato alla spalla 1 del Viadotto Casone (esclusa) e dalla spalla 2 del Viadotto Ribucciano (esclusa) a fine tracciato.....	16
4.8	Analisi pseudostatiche.....	16
4.8.1	Stabilità di fronti di scavo e rilevati.....	17
4.8.2	Opere di sostegno	17
4.8.3	Manufatti scatolari	17
4.8.4	Paratie.....	17

1 PREMESSA

La presente relazione ha per oggetto la caratterizzazione sismica dei terreni di fondazione delle opere previste nell'ambito dei lavori di realizzazione dell'infrastruttura denominata "S.G.C. E78 Grosseto-Fano – Tratto Siena Bettolle (A1) – Adeguamento a 4 corsie del tratto Siena-Ruffolo (Lotto 0)", ubicata in comune di Siena (SI).

Il tratto di infrastruttura in progetto si sviluppa su una lunghezza di circa 5.4 km e riguarda la progettazione definitiva dell'adeguamento, da due a quattro corsie, del tronco stradale della S.S.223 di Paganico, all'altezza dello svincolo di Cerchiaia, nel tratto compreso tra lo svincolo con la tangenziale ovest di Siena e lo svincolo di Ruffolo (direzione Fano). La realizzazione dell'intervento, assimilabile ad una strada tipo extraurbano principale (tipo B, a carreggiate separate), prevede la realizzazione principalmente di due gallerie (Galleria S. Lazzero, L=90 m e Galleria Bucciano, L=220 m) e di diversi viadotti: viadotto Tressa (L=236 m), viadotto Luglie (L=120 m), viadotto Valli (L=108 m), viadotto Casone (L=250 m), viadotto Ribucciano (L=256 m) e viadotto Rilugo (L=440 m).

L'area che coinvolge il tracciato in esame si attesta a sud-est del centro abitato di Siena sviluppandosi in direzione circa SW-NE (direzione Fano) e affiancando il già esistente tratto di E78 Siena-Ruffolo (direzione Grosseto) che connette i tratti di strada della S.S.223 di Paganico e la S.S.73 Senese-Aretina.

L'obiettivo della presente relazione è la definizione delle azioni di progetto in termini di accelerazione massima al suolo per il sito oggetto di intervento.

A tal scopo inizialmente vengono definite le normative di riferimento, a livello nazionale e regionale e viene descritta la sismicità del territorio, mediante un'analisi critica della sismicità storica e delle mappe di pericolosità del territorio messe a disposizione dall'Istituto Nazionale di Geologia e Vulcanologia.

Successivamente viene definita l'azione sismica di progetto, tenendo conto degli stati limite sismici prescritti dalla normativa, in termini di accelerazione massima prevista al suolo, e della categoria di suolo dei terreni, definita in base ai risultati delle indagini sismiche eseguite nel 2009 (indagini pregresse) e 2019 (indagini integrative) e riportati nella presente relazione.

2 NORMATIVE ED ELABORATI DI RIFERIMENTO

2.1 Normative e raccomandazioni tecniche

- **D.M. 17.01.2018** "Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni" (Supplemento ordinario alla "Gazzetta Ufficiale", n.42 del 20.02.2018).
- **Circ. 21/01/2019, n.7 C.S.LL.PP.** - Istruzioni per l'applicazione dell'"Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018

2.2 Elaborati di progetto definitivo

Geologia

- **T00_GE01_GEO_RE01_A** - "Documentazione indagini geognostiche preesistenti – Indagini in sito"
- **T00_GE01_GEO_RE02_A** - "Documentazione indagini geognostiche preesistenti – Indagini geofisiche"
- **T00_GE01_GEO_RE03_A** - "Documentazione indagini geognostiche preesistenti – Prove geotecniche di laboratorio"
- **T00_GE01_GEO_RE04_A** - "Documentazione indagini geognostiche – Indagini in sito"
- **T00_GE01_GEO_RE05_A** - "Documentazione indagini geognostiche – Indagini geofisiche"
- **T00_GE01_GEO_RE06_A** - "Documentazione indagini geognostiche – Prove geotecniche di laboratorio"
- **T00_GE01_GEO_RE07_A** - "Documentazione indagini geognostiche – Analisi chimiche di laboratorio"
- **T00_GE01_GEO_PU01_A** - "Planimetria con ubicazione delle indagini geognostiche - Tav. 1/3"
- **T00_GE01_GEO_PU02_A** - "Planimetria con ubicazione delle indagini geognostiche - Tav. 2/3"
- **T00_GE01_GEO_PU03_A** - "Planimetria con ubicazione delle indagini geognostiche - Tav. 3/3"
- **T00_GE01_GEO_RE08_A** - "Relazione geologica"
- **T00_GE01_GEO_CG01_A** - "Carta geologica generale"
- **T00_GE01_GEO_CG02_A** - "Carta geologica di dettaglio – Tav. 1/3"
- **T00_GE01_GEO_CG03_A** - "Carta geologica di dettaglio - Tav. 2/3"
- **T00_GE01_GEO_CG04_A** - "Carta geologica di dettaglio - Tav. 3/3"
- **T00_GE01_GEO_CG05_A** - "Carta geomorfologica - Tav. 1/3"
- **T00_GE01_GEO_CG06_A** - "Carta geomorfologica – Tav. 2/3"
- **T00_GE01_GEO_CG07_A** - "Carta geomorfologica – Tav. 3/3"
- **T00_GE01_GEO_CI01_A** - "Carta idrogeologica – Tav. 1/3"
- **T00_GE01_GEO_CI02_A** - "Carta idrogeologica – Tav. 2/3"
- **T00_GE01_GEO_CI03_A** - "Carta idrogeologica – Tav. 3/3"
- **T00_GE01_GEO_FG01_A** - "Profilo geologico Asse Principale – Carreggiata Est"
- **T00_GE01_GEO_FG02_A** - "Planimetria e profilo geologico Viadotto Tressa – Carreggiata Est"
- **T00_GE01_GEO_FG03_A** - "Planimetria e profilo geologico Rami Svincolo Cerchiaia"
- **T00_GE01_GEO_FG04_A** - "Planimetria e profilo geologico Galleria San Lazzero – Carreggiata Est"

- T00_GE01_GEO_FG05_A - "Planimetria e profilo geologico Viadotto Luglie – Carreggiata Est"
- T00_GE01_GEO_FG06_A - "Planimetria e profilo geologico Viadotto Valli – Carreggiata Est"
- T00_GE01_GEO_FG07_A - "Planimetria e profilo geologico Viadotto Casone – Carreggiata Est"
- T00_GE01_GEO_FG08_A - "Planimetria e profilo geologico Viadotto Ribucciano – Carreggiata Est"
- T00_GE01_GEO_FG09_A - "Planimetria e profilo geologico Galleria Bucciano – Carreggiata Est"
- T00_GE01_GEO_FG10_A - "Planimetria e profilo geologico Viadotto Riluogo – Carreggiata Est"
- T00_GE01_GEO_FG11_A - "Planimetria e profilo geologico Rami Svincolo Ruffolo"
- T00_GE01_GEO_SG01_A - "Sezioni geologiche trasversali – Tav. 1/4"
- T00_GE01_GEO_SG02_A - "Sezioni geologiche trasversali – Tav. 2/4"
- T00_GE01_GEO_SG03_A - "Sezioni geologiche trasversali – Tav. 3/4"
- T00_GE01_GEO_SG04_A - "Sezioni geologiche trasversali – Tav. 4/4"

Gestione materie

- T00_GE02_GEO_RE01_A - "Relazione del piano di gestione materie"
- T00_GE02_GEO_CD01_A - "Planimetria ubicativa dei siti di cava e deposito"
- T00_GE02_GEO_RE02_A - "Piano preliminare di utilizzo in sito delle terre e rocce da scavo escluse dalla disciplina dei rifiuti"

Geotecnica

- T00_GE03_GET_RE01_A - "Relazione geotecnica generale"
- T00_GE03_GET_FG01_A - "Profilo geotecnico asse principale – Carreggiata Est - Tav. 1/3"
- T00_GE03_GET_FG02_A - "Profilo geotecnico asse principale – Carreggiata Est - Tav. 2/3"
- T00_GE03_GEO_FG03_A - "Profilo geotecnico asse principale – Carreggiata Est - Tav. 3/3"
- T00_GE03_GEO_FG04_A - "Profilo geotecnico Viadotto Tressa – Carreggiata Est"
- T00_GE03_GEO_FG05_A - "Profilo geotecnico Rami Svincolo Cerchiaia"
- T00_GE03_GEO_FG06_A - "Profilo geotecnico Viadotto Luglie – Carreggiata Est"
- T00_GE03_GEO_FG07_A - "Profilo geotecnico Viadotto Valli – Carreggiata Est"
- T00_GE03_GEO_FG08_A - "Profilo geotecnico Viadotto Casone – Carreggiata Est"
- T00_GE03_GEO_FG09_A - "Profilo geotecnico Viadotto Ribucciano – Carreggiata Est"
- T00_GE03_GEO_FG10_A - "Profilo geotecnico Viadotto Riluogo – Carreggiata Est"
- T00_GE03_GEO_FG11_A - "Profilo geotecnico Rami Svincolo Ruffolo"

Sismica

- T00_GE04_GET_PL01_A - "Planimetria con classificazione sismica del territorio"

3 SISMICITA' DELL'AREA

All'interno delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 17/01/2018), elaborate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, si prevede che l'azione sismica di riferimento per la progettazione (paragrafo 3.2.3) venga definita sulla base dei valori di pericolosità sismica proposti nel sito dell'INGV. Queste stime di pericolosità sismica sono state successivamente elaborate dal Consiglio Superiore per ottenere i parametri che determinano la forma dello spettro di risposta elastica.

Come noto, l'Ordinanza 3274 della presidenza del Consiglio dei Ministri del 20/03/2003 ha esplicitamente previsto la definizione di una mappa aggiornata di pericolosità sismica del territorio italiano. La redazione di tale mappa è stata affidata all'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV); il modello sismo-tettonico di riferimento per la penisola italiana (cfr. Meletti et al., 2000) ha dato origine alla zonazione sismogenetica ZS9 (Gruppo di Lavoro 2004 – Meletti et al., <http://zonesismiche.mi.ingv.it/documenti/App2.pdf>), è basata sulla precedente ZS4 (Scandone e Stucchi, 1999, http://emidius.mi.ingv.it/GNDT/ZONE/zone_sismo.html) con modifiche, accorpamenti ed elisioni delle numerose zone di ZS4 e introduzione di nuove zone, con l'obbiettivo di realizzare un modello più coerente con i nuovi dati e con il quadro sismo-tettonico oggi disponibile. Le diverse zone sono individuate da un numero; le zone indicate con una lettera non sono state utilizzate per la valutazione della pericolosità sismica.

Gruppo di Lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (Ordinanza PCM 20.03.03 n. 3274)
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

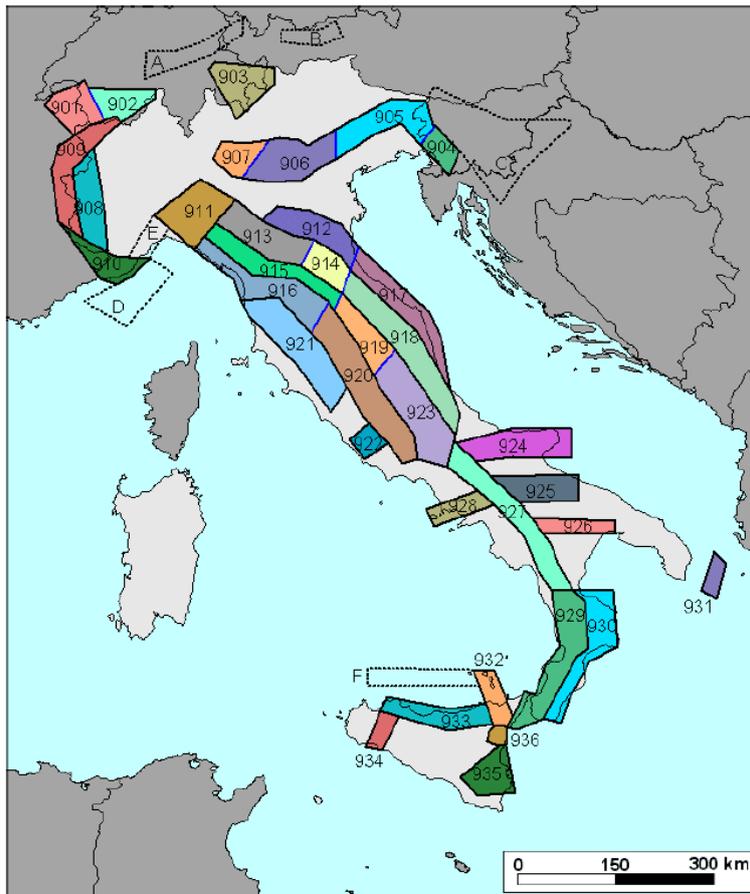


Figura 1 - Zonazione sismogenetica ZS9. Dal sito zonesismiche.mi.ingv.it (Gruppo di Lavoro, 2004)

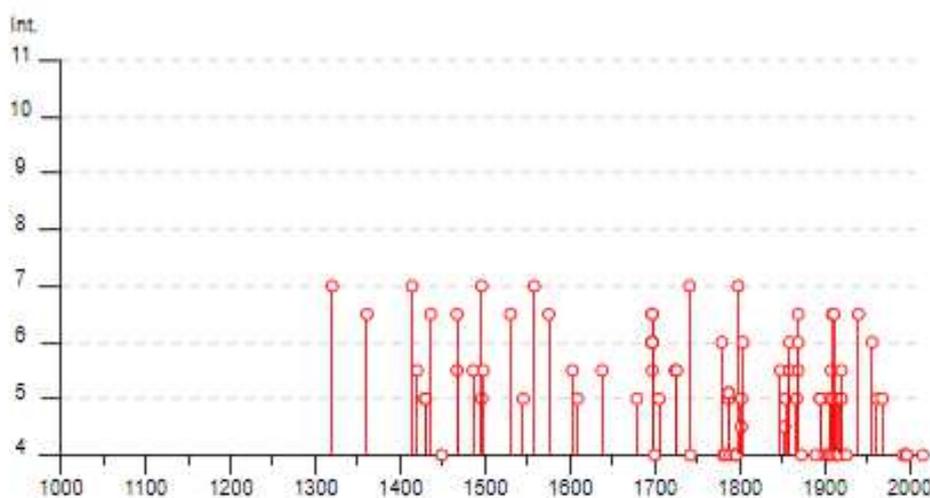
Come è possibile verificare dalla **Figura 1**, la zona in esame, facente parte del complesso all'appennino settentrionale e centrale, risulta all'interno della zona 921, nella fascia tirrenica, ed è

caratterizzata da eventi di magnitudo moderata.

L'intero settore tirrenico è caratterizzato da una diffusa sismicità di energia moderata, con pochi eventi di magnitudo più elevata, responsabili di danni significativi su aree di limitata estensione anche per la superficialità degli ipocentri (Bagnoregio 1695, Orciano Pisano 1846, Pancastagnaio 1919). A completare il dominio tirrenico, associata alla zona 921 vi è la zona 922: la separazione del settore tirrenico in queste due zone è dovuta alla presenza di un'area intermedia, coincidente con il vulcano sabatino e con l'Agro Romano, pressoché priva di sismicità.

3.1 Sismicità storica

Il Database Macrosismico Italiano DBMI15 (Rovida et al., 2016) è utile a fornire un quadro completo dei livelli di sismicità dell'area di interesse, contenendo tutte le informazioni riguardanti le intensità macrosismiche osservate a seguito dei terremoti. In particolare, la **Figura 2** mostra storia sismica del Comune di Siena dal 1320 a oggi, con la presenza di sismi le cui intensità risentite nel territorio comunale non superano il valore di 7.



3.2 Classificazione sismica del territorio comunale

Secondo l'aggiornamento della classificazione sismica del territorio della Regione Toscana 2014 (cfr. Allegato 1 alla D.G.R. Toscana n. 421 del 26-05-2014 in attuazione dell'Ord. P.C.M. n°3519 del 28 aprile 2006 e D.M. 14 gennaio 2008) il Comune di Siena risulta classificato in **Zona 3**.

Da quanto sopra riportato è ragionevolmente possibile classificare il sito in esame come avente **sismicità bassa**.

Siena



PlaceID IT_47956
 Coordinate (lat, lon) 43.318, 11.332
 Comune (ISTAT 2015) Siena
 Provincia Siena
 Regione Toscana
 Numero di eventi riportati 147

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
7	1320	12	16				Siena	1	7	5.10
6-7	1361	12	27				Siena	1	6-7	4.86
7	1414	08	07				Colline Metallifere	8	7-8	5.70
5-6	1420						Siena	1	5-6	4.40
5	1429	06	26				Siena	1	5	4.16
5	1430	08	13	00	40		Siena	1	5	4.16
6-7	1436	03					Siena	1	6-7	4.86
4	1449	10	15	20	45		Crete Senesi	2	6	4.63
5-6	1467	08	22	20	20		Siena	1	5-6	4.40
6-7	1467	09	03				Siena	1	6-7	4.86
5-6	1486	09	30				Siena	1	5-6	4.40
5	1496	06	04				Siena	1	5	4.16
7	1496	06	04	08	30		Siena	1	7	5.10
5-6	1498	04	11	08	50		Senese	2	5-6	4.40
6-7	1530	11	11	16	30		Senese	3	5-6	4.40
5	1545	11	27	02			Val d'Orcia	6	7-8	5.33
7	1558	04	13	09			Valdarno superiore	29	9	5.97
6-7	1575	06	14	16			Siena	1	6-7	4.86
5-6	1603	01	25				Siena	1	5-6	4.40
5	1609						Valdelsa	3	5-6	4.40
5-6	1638	04					Siena	1	5-6	4.40
5	1679	03	24	11	30		Val d'Orcia	4	6-7	4.86
5-6	1697	09	20	15	50		Siena	2	5-6	4.40
6-7	1697	09	20	16	50		Siena	2	6-7	4.86
6-7	1697	09	30	12	15		Siena	2	6-7	4.86
6	1697	10	01				Siena	2	6	4.63
6	1697	10	28	01			Siena	2	6	4.63
6	1697	12	20	19	45		Siena	2	6	4.63
4	1700	02	05				Val d'Orcia	4	6-7	4.86
5	1705	04	14	19	20		Senese	2	4	3.70
5-6	1724	12	11	20			Colline Metallifere	5	7	5.10
5-6	1726	04	19	22			Crete Senesi	5	7-8	5.33
F	1737	06	11	00	30		Val di Pesa	4	5	4.16
7	1741	10	01				Siena	1	7	5.10
4	1742	01	27	11	20		Livornese	16	6	4.87
F	1770	12	27	04			Valdarno superiore	5	6-7	4.86
6	1779	06	26	12			Siena	2	5	4.16
4	1781	01	03	02	30		Crete Senesi	22	7-8	5.19
4	1783	06	29				Casentino	4	5-6	4.40
F	1787	10	20	13	30		Siena	1	4	3.70
5	1787	10	21	12	30		Siena	1	5	4.16

HF	1787	10	21	23	Siena	1	5	4.16	
HF	1787	10	23	05	Siena	1	5	4.16	
2-3	1787	12	26		Casentino	6	5-6	4.40	
4	1789	09	30	10	Alta Valtiberina	73	9	5.89	
4	1795	02	14	19	15	Siena	2	4	3.70
4	1796	02	05	02	Aretino	9	7	4.96	
7	1798	05	26		Senese	15	6-7	4.85	
3	1798	09	08	16	45	Val d'Orcia	6	6-7	4.86
4-5	1802	08	10	01	45	Toscana centrale	4	5	4.16
5	1802	10	30	18	30	Val d'Orcia	17	7	5.15
F	1804	10	02	21	55	Valdelsa	7	4	4.18
F	1804	10	06	10	30	Valdelsa	2	4	3.70
F	1804	10	18	20		Valdelsa	4	7	5.10
6	1804	12	17		Valdelsa	4	6	4.84	
F	1812	09	11	12		Val di Pesa	13	7-8	5.24
2-3	1815	01	11	23	30	Monte Amiata	6	6-7	4.86
3	1828	04	11	22	25	Appennino umbro-marchigiano	22	5-6	4.93
2-3	1843	10	25	03	30	Mugello	17	6-7	5.03
F	1846	08	14	12		Colline Pisane	121	9	6.04
5-6	1848	05	12		Senese	6	6-7	5.05	
NF	1849	11	28	18		Val di Taro	7	6	4.63
4-5	1853	05	17	15	17	Siena	1	4-5	3.93
F	1853	08	02		Val di Cecina	6	5-6	4.72	
5	1854	12	04	01		Senese	3	4	3.70
3	1859	01	30		Crete Senesi	4	5-6	4.40	
5-6	1859	04	12	03	28	Senese	24	6	4.46
6	1859	04	12	13	03	Senese	16	6-7	4.83
5	1867	11	01	16	15	Siena	1	5	4.16
3-4	1868	06	17	01	50	Monte Amiata	3	5-6	4.40
6-7	1869	02	07		Senese	8	6-7	4.81	
5-6	1869	02	07	04	52	Senese	5	5-6	4.40
3	1869	06	25	13	58	Appennino bolognese	18	7-8	5.43
6	1869	09	26	20	45	Valdelsa	9	6-7	4.98
3	1870	10	30	18	34	Forlivese	41	8	5.61
3-4	1871	07	29	20	45	Val di Cecina	14	7-8	5.15
3	1871	10	22	13		Chianti	2	6	4.63
4	1873	03	12	20	04	Appennino marchigiano	196	8	5.85
NF	1874	10	07		Imolese	60	7	4.96	
2-3	1875	03	17	23	51	Costa romagnola	144	8	5.74
3	1881	09	28		Cesena	24	6-7	4.71	
3	1887	02	23	05	21	5 Liguria occidentale	1511	9	6.27
2	1887	11	14	05	48	0 Fiorentino	101	6	4.47
NF	1889	12	08		Gargano	122	7	5.47	
4	1890	02	15	02	35	0 Valdelsa	12	5	4.52
5	1895	05	18	19	55	1 Fiorentino	401	8	5.50
3	1895	06	06	00	35	0 Fiorentino	29	5-6	4.55
2	1895	08	09	17	38	2 Adriatico centrale	103	6	5.11
5	1895	10	25	00	24	5 Chianti	36	5-6	4.51
NF	1898	01	16	13	10	Romagna settentrionale	110	6	4.59

NC	1898	06	27	23	38	Reatino	186	8	5.50
4	1901	09	22	21	42	1 Valdelsa	35	6	4.68
NF	1901	10	30	14	49	5 Garda occidentale	289	7-8	5.44
3-4	1902	06	27	16	48	Casentino	13	6	4.46
2	1902	12	17	05	21	Monte Amiata	30	6-7	4.83
2	1904	06	10	11	15	2 Frignano	101	6	4.82
F	1904	11	17	05	02	Pistoiese	204	7	5.10
4	1905	02	12	08	28	Monte Amiata	61	6	4.55
3-4	1906	04	21	06	35	Valdelsa	45	5-6	4.30
4	1906	12	20	02	38	Valdelsa	28	4	3.96
5	1907	12	15	13	06	5 Chianti	20	5	4.19
5	1907	12	20	10	29	1 Chianti	35	6	4.44
5-6	1908	06	26	13	15	Senese	9	5	4.36
4	1909	01	13	00	45	Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36
6-7	1909	08	25	00	22	Crete Senesi	259	7-8	5.34
2	1911	02	19	07	18	3 Forlivese	181	7	5.26
6-7	1911	09	13	22	29	0 Chianti	115	7	5.08
5	1911	09	13	22	35	1 Chianti	13	4-5	4.35
2-3	1913	07	29	22	24	Casentino	16	5-6	4.54
NF	1914	01	15	03	27	2 Livornese	25	5	4.33
3	1914	05	15	13	06	Chianti	6	5	4.16
4	1914	10	27	09	22	Lucchesia	660	7	5.63
2	1915	01	13	06	52	4 Marsica	1041	11	7.08
5	1916	05	17	12	50	Riminese	132	8	5.82
4	1917	04	26	09	35	5 Alta Valtiberina	134	9-10	5.99
4	1917	12	02	17	39	Appennino forlivese	32	6-7	5.09
3	1918	01	22	19	39	Corazzano	5	5	4.16
5	1918	11	10	15	12	2 Appennino forlivese	187	9	5.96
5	1919	06	29	15	06	1 Mugello	565	10	6.38
2-3	1919	09	10	16	57	Val di Paglia	67	7-8	5.36
2-3	1919	10	25	13	51	Alta Valtiberina	30	6	5.03
5	1920	09	07	05	55	4 Garfagnana	750	10	6.53
5-6	1920	11	24	04	20	Senese	15	4-5	4.07
2	1925	03	21	07	33	4 Colline Metallifere	17	5-6	4.29
4	1926	01	08	09	14	Monte Amiata	24	7	4.90
2	1929	07	18	21	02	Mugello	56	6-7	4.96
6-7	1940	01	31	11		Siena	30	5-6	4.23
3	1940	06	19	14	10	Monte Amiata	28	6	4.64
3	1940	10	16	13	17	Val di Paglia	106	7-8	5.29
6	1956	02	22	22	55	0 Senese	29	5	4.03
5	1962	09	16	14	49	4 Chianti	19	6	4.54
5	1968	06	26	03	15	Senese	7	5	4.19
NF	1972	10	25	21	56	1 Appennino settentrionale	198	5	4.87
NF	1976	05	06	20	00	1 Friuli	770	9-10	6.45
F	1979	09	19	21	35	3 Valnerina	694	8-9	5.83
3	1980	11	23	18	34	5 Irpinia-Basilicata	1394	10	6.81
2	1983	11	09	16	29	5 Parmense	850	6-7	5.04
NF	1984	04	29	05	02	5 Umbria settentrionale	709	7	5.62
NF	1984	05	11	10	41	4 Monti della Meta	342	7	5.47
4	1993	08	06	07	51	4 Colline Metallifere	35	5-6	4.03
4	1997	09	26	00	33	1 Appennino umbro-marchigiano	760	7-8	5.66
4	1997	09	26	09	40	2 Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	5.97
NF	1998	03	26	16	26	1 Appennino umbro-marchigiano	409		5.26
3-4	2001	11	26	00	56	5 Casentino	211	5-6	4.63
2-3	2003	09	14	21	42	5 Appennino bolognese	133	6	5.24
4	2016	10	30	06	40	1 Valnerina	379		6.61
F	2017	01	18	10	14	0 Aquilano	280		5.70

Figura 2 - Storia sismica del Comune di Siena

3.3 Strutture sismogenetiche

La consultazione dello studio pubblicato dall'INGV "Database of Individual Seismogenic Sources" - versione 3.2.0 - giugno 2015 - <http://diss.rm.ingv.it/diss/Downloads.html>, ha consentito di verificare che la principale struttura sismogenetica in prossimità dell'area di Siena è rappresentata dalla struttura codificata come *ITCS037 "Mugello Città di Castello-Leonessa"* (cfr. **Figura 3**). Tale struttura, ubicata circa 50 km a NE dell'area di intervento, risulta caratterizzata da una magnitudo massima di 6.2, una profondità compresa tra 0.5 e 8 km, una orientazione NW-SE (direzione 280-330°) e un'inclinazione di 25-40°.

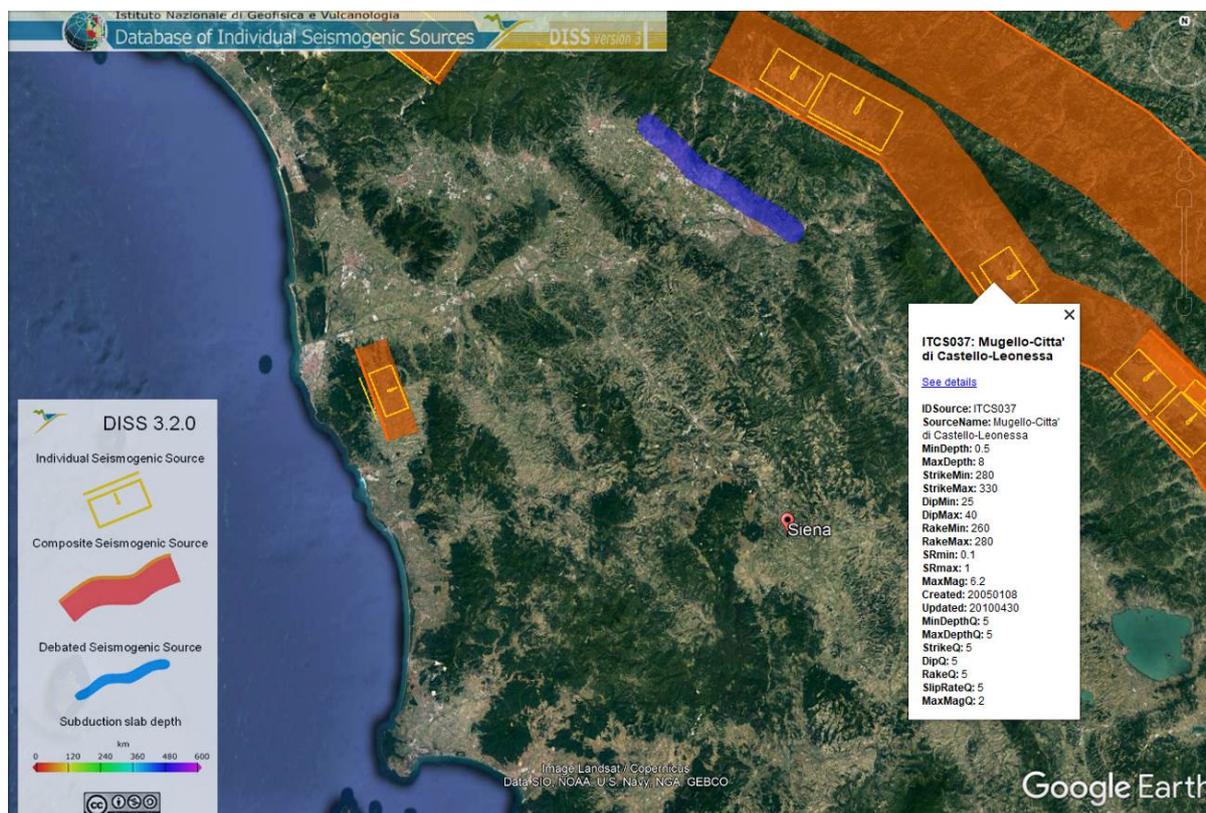


Figura 3 - INGV - DISS3 - Mappa dei lineamenti sismogenetici su Google Earth: ITCS037

3.4 Faglie capaci

La consultazione del database "Ithaca - Catalogo delle faglie capaci" (<https://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/cartella-progetti-in-corso/suolo-e-territorio-1/ithaca-catalogo-delle-faglie-capaci>) ha consentito di verificare che non ci sono faglie capaci interferenti con l'area attraversata dall'infrastruttura in progetto e che la struttura più vicina, corrispondente ad una faglia normale denominata *Valdarno System*, è ubicata circa 18 km a NE dell'area di intervento.

4 AZIONE SISMICA DI PROGETTO

4.1 Stati limite nei confronti delle azioni sismiche

Al paragrafo 3.2.1 del D.M. 17/01/2018 vengono definiti gli stati limite nei confronti delle azioni sismiche, sia di esercizio che ultimi, riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limite di esercizio (SLE) sono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti in relazione alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali e orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi (SLU) sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento **P_{Vr}**, cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono (Tab. 3.2.I D.M. 17/01/2018):

Stati Limite		P_{Vr}: Probabilità di superamento nel periodo di riferimento
		V_R
Stati Limite di Esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati Limite Ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

4.2 Periodo di riferimento per l'azione sismica

L'accelerazione orizzontale massima attesa al sito dipende dal periodo di riferimento considerato per la definizione dell'azione sismica. Si ritiene di attribuire alla infrastruttura in progetto, ai sensi della tabella 2.4.I del D.M. 17.01.2018, una vita nominale $V_N \geq 50$ anni nonché una classe d'uso IV. In base alla tabella 2.4.II il coefficiente d'uso vale $C_U = 2$.

Pertanto, il periodo di riferimento per l'azione sismica vale:

$$V_R = V_N C_U = 50 \times 2.0 = 100 \text{ anni}$$

4.3 Parametri sismici

In base a quanto descritto nel D.M. 17/01/2018 la *pericolosità sismica* in un generico sito deve essere descritta:

- in termini di accelerazione orizzontale massima a_g e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale;
- in corrispondenza dei punti di un reticolo, denominato reticolo di riferimento, i cui nodi non distano più di 10 km.

Le forme spettrali previste dal D.M. 17/01/2018 sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

- a_g accelerazione orizzontale massima del terreno;
- F^0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Nelle norme tecniche NTC 2018 sono forniti, secondo un reticolo di riferimento e per differenti intervalli di riferimento, i parametri sismici a_g , F_0 e T_c^* per un sito rigido orizzontale (come definiti al paragrafo 3.2) necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

Qualora l'area in esame non ricada in corrispondenza dei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri di interesse possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento, mediante la seguente espressione:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$

in cui:

- p è il valore del parametro di interesse nel punto in esame;
- p_i è il valore del parametro di interesse nell' i -esimo punto della maglia elementare contenente il punto in esame;
- d_i è la distanza del punto in esame dall' i -esimo punto della maglia suddetta.

Di seguito si riportano i valori dei parametri sismici a_g , F_0 , T_c^* ricavati mediante il programma "Spettri NTC ver.1.0.3.xls", disponibile sul sito <http://www.cslp.it/cslp/>, inserendo le coordinate geografiche di inizio tracciato, fine tracciato e delle principali opere d'arte maggiori.

Inizio tracciato (11.332828-43.280481)

	T_R (anni)	a_g (g)	F_0	T^*_c (s)
SLO	60	0,064	2,518	0,258
SLD	101	0,079	2,509	0,264
SLV	949	0,174	2,516	0,283
SLC	1950	0,212	2,556	0,290

Cavalcavia Cerchiaia (11.335792-43.290631)

	T_R (anni)	a_g (g)	F_0	T^*_c (s)
SLO	60	0,064	2,518	0,258
SLD	101	0,079	2,509	0,264
SLV	949	0,174	2,515	0,283
SLC	1950	0,212	2,555	0,290

Svincolo Cerchiaia / Viadotto Tressa (11.336351-43.295248)

	T_R (anni)	a_g (g)	F_0	T^*_c (s)
SLO	60	0,063	2,518	0,258
SLD	101	0,079	2,509	0,264
SLV	949	0,174	2,515	0,283
SLC	1950	0,212	2,554	0,290

Galleria S.Lazzero (11.338997-43.297382)

	T_R (anni)	a_g (g)	F_0	T^*_c (s)
SLO	60	0,063	2,518	0,259
SLD	101	0,078	2,509	0,264
SLV	949	0,174	2,514	0,283
SLC	1950	0,212	2,554	0,290

Viadotto Luglie (11.345017-43.299095)

	T_R (anni)	a_g (g)	F_0	T^*_c (s)
SLO	60	0,063	2,518	0,259
SLD	101	0,078	2,509	0,265
SLV	949	0,174	2,514	0,283
SLC	1950	0,212	2,553	0,290

Viadotto Valli (11.352297-43.300215)

	T_R (anni)	a_g (g)	F_0	T^*_c (s)
SLO	60	0,063	2,519	0,259
SLD	101	0,078	2,509	0,265
SLV	949	0,174	2,514	0,283
SLC	1950	0,211	2,553	0,290

Viadotto Casone (11.358308-43.300407)

	T_R (anni)	a_g (g)	F_0	T^*_c (s)
SLO	60	0,063	2,519	0,259
SLD	101	0,078	2,509	0,265
SLV	949	0,174	2,514	0,283
SLC	1950	0,211	2,552	0,290

Viadotto Ribucciano (11.363173-43.299019)

	T_R (anni)	a_g (g)	F_0	T^*_c (s)
SLO	60	0,063	2,527	0,260
SLD	101	0,077	2,516	0,266
SLV	949	0,172	2,517	0,284
SLC	1950	0,209	2,553	0,291

Galleria Ribucciano (11.363173-43.299019)

	T_R (anni)	a_g (g)	F_0	T^*_c (s)
SLO	60	0,063	2,528	0,260
SLD	101	0,077	2,517	0,266
SLV	949	0,172	2,517	0,284
SLC	1950	0,209	2,553	0,291

Viadotto Riluogo (11.374321-43.299427)

	T_R (anni)	a_g (g)	F_0	T^*_c (s)
SLO	60	0,063	2,529	0,260
SLD	101	0,077	2,518	0,266
SLV	949	0,172	2,518	0,284
SLC	1950	0,209	2,554	0,291

Svincolo Ruffolo (11.378616-43.301445)

	T_R (anni)	a_g (g)	F_0	T^*_c (s)
SLO	60	0,063	2,529	0,260
SLD	101	0,077	2,518	0,267
SLV	949	0,171	2,518	0,284
SLC	1950	0,209	2,554	0,291

Fine tracciato (11.389219-43.297370)

	T_R (anni)	a_g (g)	F_0	T^*_c (s)
SLO	60	0,063	2,531	0,260
SLD	101	0,077	2,521	0,267
SLV	949	0,171	2,520	0,284
SLC	1950	0,209	2,555	0,291

I valori riportati sono stati ottenuti in funzione del periodo di ritorno T_R e di una vita di riferimento $V_R=100$ anni.

Nell'ottica di una caratterizzazione sismica adeguata, sulla base della tipologia di rilievo e delle opere attraversate dal tracciato, si è scelto di utilizzare i dati dei parametri sismici relativi ad inizio tracciato, che forniscono, per l'area in esame, i valori di a_g più elevati:

Inizio tracciato (11.332828-43.280481)

	T_R (anni)	a_g (g)	F_0	T^*_c (s)
SLO	60	0,064	2,518	0,258
SLD	101	0,079	2,509	0,264
SLV	949	0,174	2,516	0,283
SLC	1950	0,212	2,556	0,290

4.4 Categoria sismica dei suoli di fondazione

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, come indicato nel paragrafo 7.11.3 del D.M. del 17/01/2018. In assenza di tali analisi o per una prima stima, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di *categorie di sottosuolo* di riferimento, identificate in funzione dei valori della velocità di propagazione V_s (velocità sismiche delle onde di taglio).

Con riferimento alla vigente normativa "*Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni*" (D.M. 17/01/2018) la classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche e ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, V_{Seq} (in m/s), definita dall'espressione:

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

con:

- h_i spessore dell'i-esimo strato;
- $V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
- N numero di strati;
- H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio V_{Seq} è definita dal parametro V_{S30} , ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite nella Tab.3.2.II del NTC 2018, di seguito riportata.

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

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Deposit</i> di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Deposit</i> di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

4.4.1 Prospezioni sismiche down-hole

Nel corso della campagna di indagini integrative per la progettazione esecutiva delle opere, per la determinazione diretta delle velocità delle onde di taglio, sono state eseguite n.4 prospezioni sismiche down-hole (2019) ad integrazione delle n.8 prospezioni down-hole della campagna d'indagine 2009, in corrispondenza delle verticali di sondaggio di seguito indicate e che hanno fornito i seguenti valori di $V_{S_{eq}}$:

Campagna d'indagine integrativa 2019:

- S02D-DH: $V_{S30} = 407$ m/s
- S05D-DH: $V_{S30} = 455$ m/s
- S11D-DH: $V_{S30} = 428$ m/s
- S14D-DH: $V_{S30} = 496$ m/s

Campagna d'indagine 2009:

- S2-DH1: $V_{S30} = 317$ m/s
- S5-DH2: $V_{S30} = 364$ m/s
- S8-DH3: $V_{S30} = 317$ m/s
- S9-DH4: $V_{S30} = 224$ m/s
- S10-DH5: $V_{S30} = 395$ m/s
- S11-DH6: $V_{S30} = 447$ m/s
- S13-DH7: $V_{S30} = 337$ m/s
- S16-DH8: $V_{S30} = 340$ m/s

4.4.2 Definizione delle categorie di sottosuolo per la progettazione

Dai risultati delle prove eseguite, anche in considerazione della distribuzione delle formazioni geologiche lungo il tracciato e, soprattutto, delle opere da realizzare, è possibile definire, in modo cautelativo, le seguenti categorie di sottosuolo (cfr. anche l'elaborato di progetto **T00_GE04_GET_PL01_A** - "Planimetria con classificazione simica del territorio"):

- una **categoria di sottosuolo di tipo B**, corrispondente a *rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{S,eq}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s*, nel seguente tratto:

**- dalla spalla 1 (inclusa) del Viadotto Casone
alla spalla 2 del Viadotto Ribucciano (inclusa);**

- una **categoria di sottosuolo di tipo C**, corrispondente a *depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con le profondità e da valori di $V_{S,eq}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s*, nei seguenti tratti:

**- da inizio tracciato alla spalla 1 del Viadotto Casone (esclusa);
- dalla spalla 2 del Viadotto Ribucciano (esclusa) a fine tracciato.**

4.5 Coefficiente di amplificazione topografica per $h > 30$ m

In base alle condizioni topografiche presenti in sito (T_1 = superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$), si possono adottare i seguenti valori del coefficiente di amplificazione topografica S_T (cfr. Tabella 3.2.V del D.M. 17/01/18):

Categoria topografica	S_T
T1	1.0

4.6 Caratterizzazione sismica da spalla 1 del Viadotto Casone a spalla 2 del Viadotto Ribucciano

Questi tratti sono caratterizzati dalla **categoria di sottosuolo B**.

Applicando il coefficiente di categoria topografica T1 ($S_T=1$), il valore di a_{max} risulta il seguente:

Stato Limite	T_R [anni]	a_{max} [g]
SLO	60	0.076
SLD	101	0.095
SLV	949	0.209
SLC	1950	0.251

4.7 Caratterizzazione sismica da inizio tracciato alla spalla 1 del Viadotto Casone (esclusa) e dalla spalla 2 del Viadotto Ribucciano (esclusa) a fine tracciato

Questi tratti sono caratterizzati dalla **categoria di sottosuolo C**.

Applicando il coefficiente di categoria topografica T1 ($S_T=1$), il valore di a_{max} risulta il seguente:

Stato Limite	T_R [anni]	a_{max} [g]
SLO	60	0.096
SLD	101	0.118
SLV	949	0.250
SLC	1950	0.291

4.8 Analisi pseudostatiche

Nei metodi pseudo-statici l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso del volume di terreno W considerato. Tale forza dipende dalle caratteristiche del moto sismico atteso nel volume di terreno e dalla capacità di tale volume di subire spostamenti senza significative riduzioni di resistenza.

Nelle verifiche allo stato limite ultimo, in mancanza di studi specifici, le componenti orizzontale e verticale di tale forza possono esprimersi mediante dei coefficienti di proporzionalità diretta denominati coefficienti sismici orizzontale e verticale e indicati con k_h e k_v rispettivamente. I valori dei coefficienti sismici orizzontale k_h e verticale k_v possono essere valutati mediante le espressioni (§ 7.11.6.2.1 del D.M. 17.01.2018):

$$\begin{aligned}
 F_h &= k_h \cdot W \\
 F_v &= k_v \cdot W
 \end{aligned}
 \quad \text{con} \quad
 \begin{aligned}
 k_h &= \beta \cdot a_{max} / g \\
 k_v &= \pm 0.5 \cdot k_h
 \end{aligned}$$

dove:

a_{max}	=	accelerazione orizzontale massima attesa al sito;
g	=	accelerazione di gravità;
β	=	coefficiente di riduzione di a_{max} .

In assenza di analisi specifiche di risposta sismica locale, l'accelerazione massima può essere valutata mediante la relazione:

$$a_{max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

dove:

S_S	=	coefficiente di amplificazione stratigrafica (Tab. 3.2.IV);
S_T	=	coefficiente di amplificazione topografica (Tab. 3.2.V);
a_g	=	accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

4.8.1 Stabilità di fronti di scavo e rilevati

Il comportamento in condizioni sismiche dei fronti di scavo e dei rilevati può essere analizzato con gli stessi metodi impiegati per i pendii naturali. Nei metodi pseudostatici i valori dei coefficienti sismici k_h e k_v da utilizzare nelle verifiche geotecniche, in mancanza di studi specifici, sono stati ottenuti a partire da una accelerazione orizzontale massima su suolo rigido calcolata in funzione di uno stato limite tipo **SLV – Stato Limite di salvaguardia della Vita** e il valore del coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito β_s da utilizzare risulta (cfr. § 7.11.4.):

$$\beta_s = 0.38 \text{ nelle verifiche dello stato limite ultimo (SLV)}$$

4.8.2 Opere di sostegno

La sicurezza delle opere di sostegno deve essere garantita prima, durante e dopo il terremoto. È ammesso l'uso di metodi pseudo-statici come specificato nel § 7.11.6.2.1.

I valori dei coefficienti sismici k_h e k_v da utilizzare nelle verifiche strutturali e geotecniche si ottengono a partire da una accelerazione orizzontale massima su suolo rigido calcolata in funzione di uno stato limite tipo **SLV – Stato Limite di salvaguardia della Vita** come visto nei precedenti paragrafi della relazione e il valore del coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito β_m da utilizzare risulta:

$$\beta_m = 0.38 \text{ nelle verifiche dello stato limite ultimo (SLV)}$$

Per i muri che non siano in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno, il coefficiente β_m assume valore unitario.

4.8.3 Manufatti scatolari

Il calcolo delle spinte delle terre sui ritzi dei manufatti scatolari verrà eseguito assimilando tali opere ad opere di sostegno rigide, che non sono in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno, il valore del coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito β_m può essere considerato pari a 1.

4.8.4 Paratie

Nel caso delle paratie l'azione sismica, nelle analisi pseudo-statiche, è definita mediante un'accelerazione orizzontale equivalente a_h pari a:

$$a_h = k_h g = \alpha \cdot \beta \cdot a_{max}$$

dove:

Relazione Sismica

17

- g = accelerazione di gravità
- k_h = coefficiente sismico in direzione orizzontale
- α = coefficiente che tiene conto della deformabilità dei terreni interagenti con l'opera
- β = coefficiente funzione della capacità dell'opera di subire spostamenti senza cadute di resistenza

mentre la componente verticale a_v dell'accelerazione equivalente può essere posta uguale a 0.

Anche in questo caso l'accelerazione massima può essere valutata mediante un'analisi di risposta sismica locale oppure mediante la relazione:

$$a_{max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

dove:

- S_S = coefficiente di amplificazione stratigrafica (Tab. 3.2.IV);
- S_T = coefficiente di amplificazione topografica (Tab. 3.2.V);
- a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

I valori dei coefficienti α e β possono essere ricavati dai grafici sottostanti (cfr. *Figura 7.11.2I* e *Figura 7.11.3* delle NTC 2018):

