

---

COMMITTENTE

CITTA' DI  
VENEZIA



CITTA' DI VENEZIA  
DIREZIONE LAVORI PUBBLICI

IL RESP. DEL PROCEDIMENTO  
Arch. Alberto Chinellato

---

PROGETTISTA



**DUEBARRADUE**

— STUDI ASSOCIATI DI PROGETTAZIONE —

Sede legale - Marcon (VE) via delle industrie 2|2  
Sede operativa VENEZIA: via delle industrie 9 c/o VEGA, Venezia (VE)  
Sede operativa PADOVA: via Vittorio Emanuele II 2/a, Conselve (PD)  
T.0415101422 e-mail info@duebarradue.com P.I. 03831070275

*COPYRIGHT STUDIO DUEBARRADUE. Tutti i diritti sono riservati a norma di legge.*

ARCHITETTO EDOARDO GAMBA  
ARCHITETTO DAVIDE PESAVENTO  
INGEGNERE FILIPPO VOLTAN

---

PROGETTO

## PROGETTO ESECUTIVO

RIPRISTINO STRUTTURALE DEL PONTE LONGO  
A MURANO (C.I.14626).

---

TITOLO

## RELAZIONE SISMICA

---

TAVOLA N.

# S.E.04.R.RS

---

Scala: -  
Data: 03/2022  
Disegnato da: F.B.  
Plottato in data: -  
Commessa n. 1311/ 2022  
Nome File: S.E.04.R.RS.pdf

---

### REVISIONI

REV.	DATA	OGGETTO
00	03/2023	PRIMA EMISSIONE
-	-- / ----	-----
-	-- / ----	-----

---

**Sommario**

1	PREMESSA .....	2
2	NORMATIVE DI RIFERIMENTO .....	2
3	SISMICITA' NEL VENETO.....	3
3.1	SISMICITA' STORICA.....	4
4	ANALISI DI PERICOLOSITÀ SISMICA.....	9
5	ZONAZIONE SISMOGENETICA.....	12
6	CLASSIFICAZIONE SISMICA VIGENTE.....	14
7	CONSIDERAZIONI SULLA PROGETTAZIONE IN ZONA SISMICA.....	16
7.1	Spettri di risposta elastici e di progetto.....	18
7.1.1	Spettro stato limite di salvaguardia della vita (SLV) .....	22
7.1.2	Spettro stato limite di salvaguardia di danno (SLD).....	25
7.1.3	Spettro stato limite di operatività (SLO).....	28

## 1 PREMESSA

Con la presente relazione si intende fornire un quadro generale sulla sismicità dell'area oggetto del progetto, relativa al comune di Venezia.

Il progetto prevede il ripristino strutturale del ponte Longo di Murano per mezzo del restauro delle travi principali esistenti e dell'integrazione dei nuovi profili portanti.

Ai sensi dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 e s.m.i., l'area in esame è attualmente classificata in zona 3 a medio bassa sismicità.

Con delibera n° 67 del 3 dicembre 2003, pubblicata sul Bollettino Ufficiale Regionale del 13 gennaio 2004 n. 6, il Consiglio Regionale ha approvato il nuovo elenco dei comuni sismici del Veneto, allegato al predetto provvedimento.

Con Deliberazione n° 71 del 22 gennaio 2008 il Consiglio Regionale del Veneto delibera:

1. – di prendere atto dei criteri generali di classificazione delle zone sismiche, allegati all'O.P.C.M. 28 aprile 2006, n. 3519 recante, "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone", e della mappa di pericolosità sismica di riferimento su scala regionale,
2. – per gli aspetti amministrativi, con particolare riguardo agli oneri di deposito e di verifica degli elaborati di calcolo, è confermata la classificazione sismica dei Comuni del Veneto di cui all'elenco (allegato I) della Delibera di Consiglio Regionale n.67/03.

Con Delibera n° 244 del 9 marzo 2021 il Consiglio Regionale del Veneto ha approvato l'aggiornamento dell'elenco delle zone sismiche del Veneto D.P.R. 6 giugno 2001 n.380, art. 83, comma 3. D. Lgs 31 marzo 1998, n. 112, articoli 93 e 94. D.G.R./CR n. 1 del 19/01/2021 secondo la quale il Comune di Venezia ricade in zona 3 (Bur n. 38 del 16 marzo 2021).

Nella presente relazione sono riportate, dopo una breve descrizione dell'assetto sismotettonico regionale e della sismicità storica dell'area, le fasi fondamentali della procedura seguita per la valutazione della pericolosità sismica, su cui la normativa nazionale fa riferimento per la nuova classificazione sismica.

Verranno infine riportati i recenti aggiornamenti apportati alla carta di pericolosità sismica nazionale del 2012.

## 2 NORMATIVE DI RIFERIMENTO

- Ordinanza PCM del 20 marzo 2003 n°3274 “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per la costruzione in zona sismica”.
- Ord. P.C.M. n° 3431 03.05.2005 “Ulteriori modifiche ed integrazioni all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, recante «Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica»”.
- D.M. LL. PP. 17.01.2018 “Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»”.

- Circolare 21 gennaio 2019 n.7 "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018"
- Istruzioni C.N.R. 10011/97 – "Costruzioni in acciaio- Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione il collaudo e la manutenzione".
- Istruzioni C.N.R. 10030/87 – "Anime irrigidite di travi a parete piena".
- UNI EN 206-1 – "Calcestruzzo: specificazione, prestazione produzione e conformità".
- UNI EN 11104:2004 – "Calcestruzzo: specificazione, prestazione produzione e conformità. Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1".
- UNI EN 1990 - Eurocodice – "Criteri generali di progettazione strutturale".
- UNI EN 1992 - Eurocodice 2 – "Progettazione delle strutture di calcestruzzo".
- UNI EN 1993 - Eurocodice 3 – "Progettazione delle strutture di acciaio".
- UNI EN 1995-1-1:2014 - "Eurocodice 5 - Progettazione delle strutture di legno - Parte 1-1: Regole generali - Regole comuni e regole per gli edifici"

### 3 SISMICITA' NEL VENETO

La sismicità del nordest Italia (Veneto e Friuli) è primariamente legata a sovrascorrimenti e loro zone di trasferimento transpressivo. La sismicità è concentrata nelle zone esterne della catena Alpina, sia per la retrocatena delle Alpi (le Alpi Meridionali o Sudalpino), che per la catena frontale in Austria e Germania.

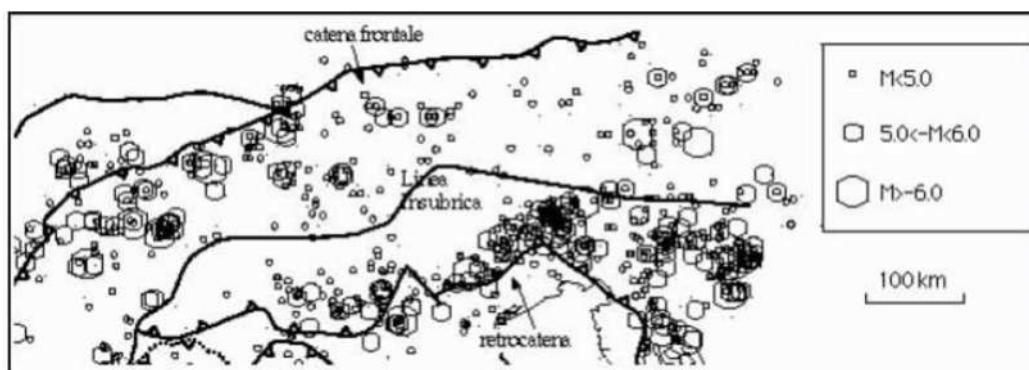


Figura 1 Sismicità nel Nord-Est dell'Italia.

La sismicità è presente anche lungo l'asse centrale delle Alpi centro-orientali, parallelamente alla Linea Insubrica (qui nota come Pusteria-Gail). La sismicità strumentale in particolare registrata dopo gli eventi del Friuli (1976) indica meccanismi focali principalmente per sovrascorrimento, con campo di stress massimo orizzontale e orientato mediamente N-S. La profondità media è tra i 5-10 km. La maggior parte dell'energia rilasciata negli ultimi decenni è inoltre concentrata nelle zone esterne topograficamente meno rilevate. Poco si sa in termini di profondità dei grandi eventi storici del 1117 del Veronese, del 1348 e 1511 della Carnia e Gemona, del 1695 di Asolo, del 1873 del Bellunese (fonte Camassi e Stucchi, 1997).

## 3.1 SISMICITA' STORICA

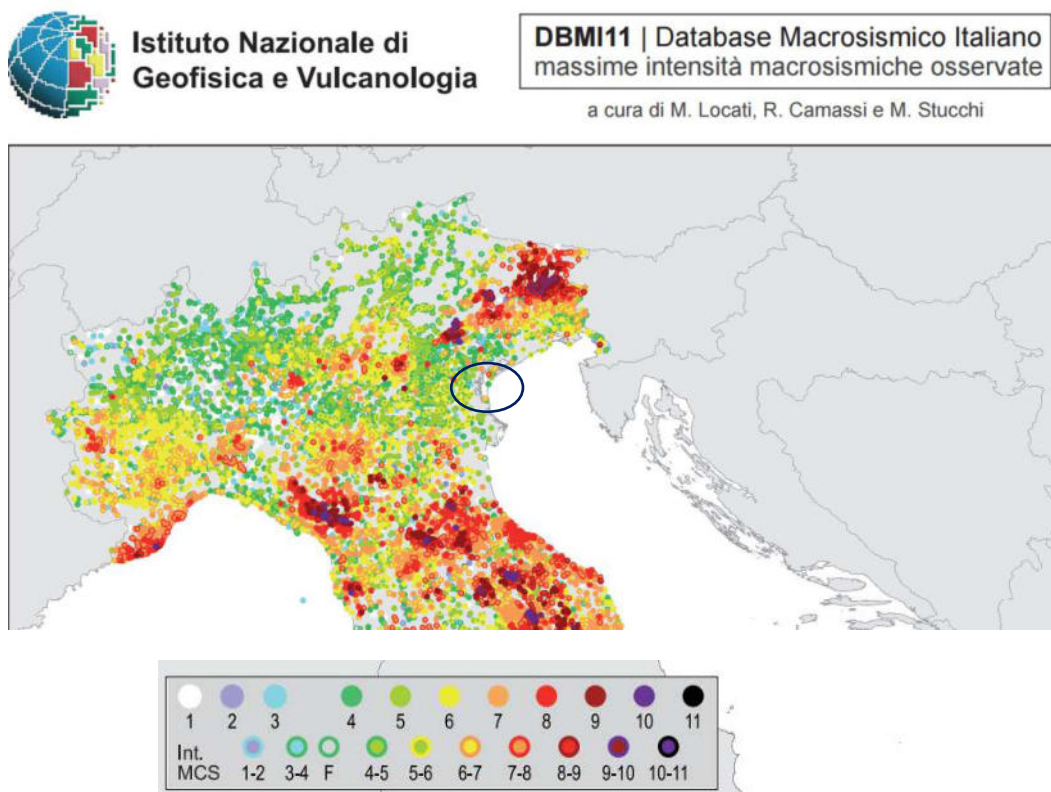


Figura 2 Mappa dei terremoti registrati dalla rete INGV e MedNet

Per un'analisi della sismicità che ha interessato in passato l'area in oggetto si è fatto riferimento al **catalogo DBMI15** realizzato da INGV, sono considerati solo eventi principali con soglia di magnitudo avvenuti dal 1200 al 2016: l'osservazione ha permesso riportare nella figura 3 gli epicentri dei terremoti che hanno interessato l'area in esame, in funzione dell'intensità macrosismica (MCS > 4) e della magnitudo nell'area del Veneziano.

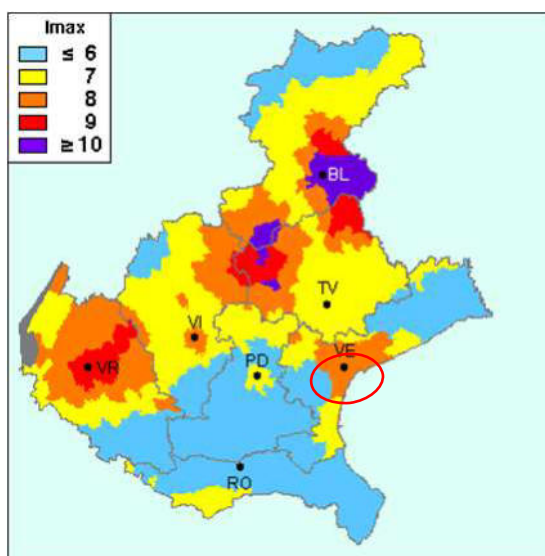
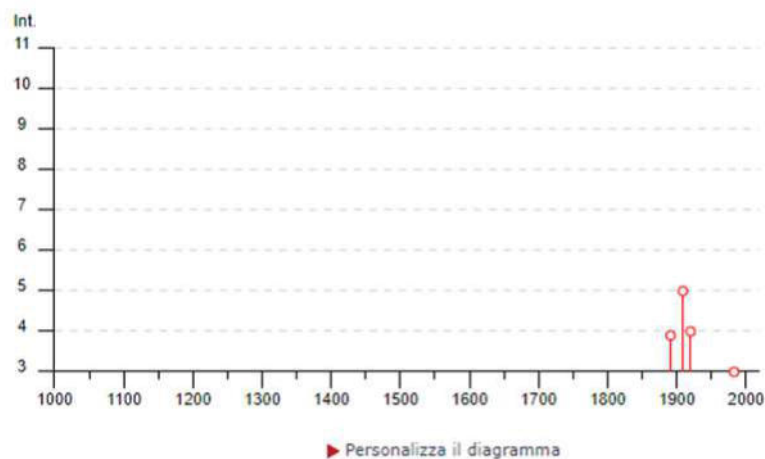


Figura 3 Massima intensità macrosismica osservata nella regione dei Veneto.

## Murano



PlaceID IT\_28425  
 Coordinate (lat, lon) 45.456, 12.355  
 Comune (ISTAT 2015) Venezia  
 Provincia Venezia  
 Regione Veneto  
 Numero di eventi riportati 4



Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
F	1891	06	07	01	06	1	Valle d'Illasi	403	8-9	5.87
5	1909	01	13	00	45		Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36
4	1920	05	05	14	41		Carnia	35	6-7	5.27
3	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04

## Venezia



PlaceID IT\_28470  
 Coordinate (lat, lon) 45.438, 12.336  
 Comune (ISTAT 2015) Venezia  
 Provincia Venezia  
 Regione Veneto  
 Numero di eventi riportati 149

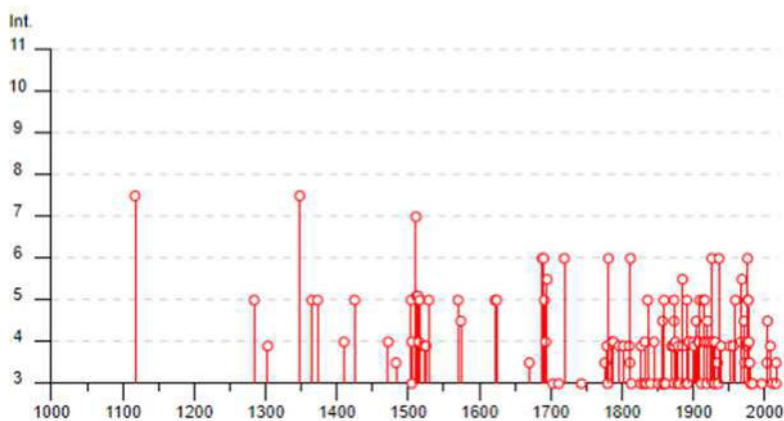


Figura 4 Storia sismica di Murano e di Venezia.



## CI 14626 "Ripristino strutturale del Ponte Longo a Murano"

Effetti	In occasione del terremoto del								
Int.	Anno	Me	Gi	No	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io Mw
7-8	1117	01	03	15	15		Veronese	55	9 6.52
5	1284	01	17	15	30		Venezia	1	5 4.16
F	1303	08					Adriatico centrale	4	
7-8	1348	01	25				Alpi Giulie	89	9 6.63
5	1365	03	04				Pianura Veneta	4	5 4.63
5	1373	03	01	08			Venezia	1	5 4.16
4	1410	06	10	21			Verona	5	
5	1425	08	10				Ferrarese	2	6 4.63
4	1472	08	14				Friuli	2	
3-4	1483	08	11	19	40		Romagna	14	8 5.69
5	1504	12	31	04			Bolognese	15	6 5.02
4	1505	01	03	02			Bolognese	31	8 5.62
3	1505	01	20	23	30		Bolognese	11	5-6 4.76
7	1511	03	26	15	30		Friuli-Slovenia	120	9 6.32
NC	1511	03	28	14	30		Friuli-Slovenia	7	
NC	1511	04	01	17			Friuli-Slovenia	5	
NC	1511	06	25				Friuli-Slovenia	3	
NC	1511	08	16	03	30		Friuli-Slovenia	2	
HF	1512	02	08	10	30		Friuli-Slovenia	1	
HF	1514	07	12				Friuli	2	
4	1515	10	25	12	35		Pianura Padana	5	
5	1516	05	20	23			Pianura Padana	4	
F	1522	07	05	24			Udine	2	4 3.70
F	1525	02	19	21			Friuli	4	5 4.57
5	1529	04	14				Friuli	2	5 4.16
5	1570	11	17	19	10		Ferrarese	58	7-8 5.44
4-5	1574	03	17	03	40		Finale Emilia	4	6 4.63
5	1622	05	05	11			Ljubljana	3	7-8 5.33
5	1624	03	19				Argenta	18	7-8 5.43
3-4	1670	07	17	01			Tirol, Hall	29	8 5.65
6	1688	04	11	12	20		Romagna	39	8-9 5.84
6	1690	12	04	14			Carinthia, Villach	60	8-9 6.16
5	1691	02	19				Ljubljana	6	7-8 5.33
4	1693	07	06	09	15		Mantovano	13	7 5.23
5-6	1695	02	25	05	30		Asolano	107	10 6.40
2	1703	01	14	18			Valnerina	197	11 6.92
2	1703	01	16	13	30		Appennino laticale-abruzzese	22	
3	1703	02	02	11	05		Aquilano	69	10 6.67
3	1711	05	21				Vicentino	2	4 3.70
6	1719	01	07				Italia nord-orientale	11	5-6 4.94
3	1743	02	20				Ionio settentrionale	84	9 6.68
3-4	1776	07	10				Prealpi Friulane	19	8-9 5.82
F	1779	07	14	19	30		Bolognese	17	
3	1780	05	25				Romagna	5	5-6 4.40
6	1781	04	04	21	20		Faentino	96	9-10 6.12

## CI 14626 "Ripristino strutturale del Ponte Longo a Murano"

4	1786	12	25	01	Riminese	90	8	5.66
4	1788	10	20	21	Carnia	9	7-8	5.19
F	1796	10	22	04	Emilia orientale	27	7	5.45
F	1802	05	12	09	Valle dell'Oglio	94	8	5.60
F	1810	12	25	00	Pianura emiliana	33	6	5.06
3-4	1811	07	15	22	Modenese-Reggiano	19	6-7	5.13
6	1812	10	25	07	Fordenonese	34	7-8	5.62
3	1813	09	21	07	Romagna	12	7	5.28
3	1826	06	24	12	Garda occidentale	20	5	4.62
F	1827	04	02	00	Bassa Engadina, Ardez	10	6	5.00
2-3	1828	04	11	22	Appennino umbro-marchigiano	22	5-6	4.93
3	1831	09	11	18	Pianura emiliana	25	7-8	5.48
4	1832	03	13	03	Reggiano	97	7-8	5.51
3	1834	10	04	19	Bolognese	12	6	4.71
5	1836	06	12	02	Asolano	26	8	5.53
3	1840	08	27	12	Tuhinj Valley	49	7	5.28
4	1845	12	21	20	Ljubljana	5	5	4.16
3	1851	08	03		Valli Giudicarie	15	6	4.92
3	1857	02	01		Farmense-Reggiano	22	6-7	5.11
4-5	1857	03	07		Stiria	13	6-7	5.21
3	1857	03	10	03	Frealpi Trevigiane	4	4-5	4.04
5	1859	01	20	07	Frealpi Trevigiane	36	6	4.80
3	1860	07	19		Frealpi Trevigiane	10	6-7	4.92
3	1861	10	16		Romagna	10	6-7	5.13
F	1870	03	01	20	Costa croata settentrionale	29	8	5.62
F	1870	10	30	18	Forlivese	41	8	5.61
4-5	1873	03	12	20	Appennino marchigiano	196	8	5.85
F	1873	05	16	19	Reggiano	15	6-7	5.01
5	1873	06	29	03	Alpago Cansiglio	197	9-10	6.29
3	1873	09	17		Appennino tosco-ligure	64	6-7	5.26
4	1875	03	17	23	Costa romagnola	144	8	5.74
3	1878	03	12	21	Bolognese	31	6	4.84
F	1879	06	22	04	Friuli	16	5-6	4.74
3	1881	01	24	16	Bolognese	38	7	5.22
2	1881	01	25	07	Bolognese	18	5	4.59
NF	1884	09	12	07	Pianura lombarda	34	6	4.70
F	1885	02	26	20	Pianura Padana	78	6	5.01
5-6	1885	12	29		Alpago Cansiglio	47	6	4.96
2	1887	02	23	05	Liguria occidentale	1511	9	6.27
3	1889	12	08		Gargano	122	7	5.47
5	1891	06	07	01	Valle d'Illasi	403	8-9	5.87
3	1892	08	09	07	Valle d'Alpone	160	6-7	4.91
4	1894	02	09	12	Valle d'Illasi	116	6	4.74
4	1894	11	27	05	Bresciano	183	6	4.89
2	1895	03	23		Comacchio	33	6	4.65
2-3	1898	02	20	04	Valli del Natisone	155	7	5.12
4	1900	03	04	16	Asolano	98	6-7	5.05
F	1901	10	30	14	Garda occidentale	289	7-8	5.44
4-5	1904	03	10	04	Slovenia nord-occidentale	57		



## CI 14626 "Ripristino strutturale del Ponte Longo a Murano"

4	<a href="#">🔗</a>	1907 04 25 04 52	Veronese	122	6	4.79
4	<a href="#">🔗</a>	1908 07 10 02 13 3	Carnia	119	7-8	5.31
5	<a href="#">🔗</a>	1909 01 13 00 45	Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36
3	<a href="#">🔗</a>	1911 02 19 07 18 3	Forlivese	181	7	5.26
5	<a href="#">🔗</a>	1914 10 27 09 22	Lucchesia	660	7	5.63
2	<a href="#">🔗</a>	1915 01 13 06 52 4	Marsica	1041	11	7.08
4	<a href="#">🔗</a>	1916 05 17 12 50	Riminense	132	8	5.82
5	<a href="#">🔗</a>	1916 08 16 07 06 1	Riminense	257	8	5.82
3	<a href="#">🔗</a>	1919 06 29 15 06 1	Mugello	565	10	6.38
2	<a href="#">🔗</a>	1919 07 12 12 06	Asolano	7	4-5	5.03
4	<a href="#">🔗</a>	1920 05 05 14 41	Carnia	35	6-7	5.27
4-5	<a href="#">🔗</a>	1920 09 07 05 55 4	Garfagnana	750	10	6.53
2	<a href="#">🔗</a>	1924 03 26 17 08 0	Tirolo	2		5.16
4	<a href="#">🔗</a>	1924 12 12 03 29	Carnia	78	7	5.42
6	<a href="#">🔗</a>	1926 01 01 18 04 0	Carniola interna	63	7-8	5.72
4	<a href="#">🔗</a>	1928 03 27 08 32	Carnia	359	9	6.02
2-3	<a href="#">🔗</a>	1929 04 10 05 44	Bolognese	87	6	5.05
2	<a href="#">🔗</a>	1929 04 19 04 16	Bolognese	82	6-7	5.13
2	<a href="#">🔗</a>	1929 04 20 01 10	Bolognese	109	7	5.36
2	<a href="#">🔗</a>	1929 04 29 18 36	Bolognese	45	6	5.20
3	<a href="#">🔗</a>	1929 05 11 19 23	Bolognese	64	6-7	5.29
3	<a href="#">🔗</a>	1930 10 30 07 13	Senigallia	268	8	5.83
2-3	<a href="#">🔗</a>	1931 04 14 22 13	Valli Giudicarie	160	6	4.77
4	<a href="#">🔗</a>	1931 12 25 11 41	Friuli	45	7	5.25
2	<a href="#">🔗</a>	1934 05 04 13 56	Carnia	80	6	4.69
3-4	<a href="#">🔗</a>	1934 11 30 02 58 2	Adriatico settentrionale	51	5	5.30
3	<a href="#">🔗</a>	1935 06 05 11 48	Faentino	27	6	5.23
6	<a href="#">🔗</a>	1936 10 18 03 10	Alpago Consiglio	269	9	6.06
F	<a href="#">🔗</a>	1939 07 10 16 27 5	Pordenonese	8	5	4.75
2	<a href="#">🔗</a>	1948 07 19 18 11 2	Garda settentrionale	16	5	4.87
F	<a href="#">🔗</a>	1951 05 15 22 54	Lodigiano	179	6-7	5.17
F	<a href="#">🔗</a>	1956 02 20 01 29 2	Padovano	23	5-6	4.49
5	<a href="#">🔗</a>	1959 04 26 14 45	Carnia	122	7-8	5.21
4	<a href="#">🔗</a>	1967 12 30 04 19	Emilia Romagna orientale	40	6	5.05
5-6	<a href="#">🔗</a>	1968 06 22 12 21 3	Val Lagarina	27	6-7	4.74
4-5	<a href="#">🔗</a>	1971 07 15 01 33 2	Parmense	228	8	5.51
3-4	<a href="#">🔗</a>	1972 10 25 21 56 1	Appennino settentrionale	198	5	4.87
F	<a href="#">🔗</a>	1975 03 24 02 33 3	Carnia	24	5-6	4.51
6	<a href="#">🔗</a>	1976 05 06 20 00 1	Friuli	770	9-10	6.45
4	<a href="#">🔗</a>	1976 09 11 16 35 0	Friuli	40	7-8	5.60
5	<a href="#">🔗</a>	1976 09 15 09 21 1	Friuli	54	8-9	5.95
3-4	<a href="#">🔗</a>	1977 04 03 03 18 1	Friuli	25	5	4.51
5	<a href="#">🔗</a>	1977 09 16 23 48 0	Friuli	94	6-7	5.26
3-4	<a href="#">🔗</a>	1978 12 05 15 39 0	Romagna	34	4-5	4.61
4	<a href="#">🔗</a>	1978 12 12 15 14 4	Dolomiti Friulane	56	5-6	4.35
3-4	<a href="#">🔗</a>	1979 04 18 15 19 1	Friuli	72	6-7	4.66
3	<a href="#">🔗</a>	1980 12 23 12 01 0	Piacentino	69	6-7	4.57
3	<a href="#">🔗</a>	1983 11 09 16 29 5	Parmense	850	6-7	5.04
3	<a href="#">🔗</a>	1996 10 15 09 55 5	Pianura emiliana	135	7	5.38

3-4	2003 09 14 21 42 5	Appennino bolognese	133	6 5.24
4-5	2004 11 24 22 59 3	Garda occidentale	176	7-8 4.99
F	2008 12 23 15 24 2	Farmense	291	6-7 5.36
3	2011 07 17 18 30 2	Pianura lombardo-veneta	73	5 4.79
3	2016 10 26 19 18 0	Valnerina	77	6.07
3-4	2016 10 30 06 40 1	Valnerina	379	6.61

#### 4 ANALISI DI PERICOLOSITÀ SISMICA

Per meglio valutare la pericolosità sismica di una determinata area vengono impiegate molteplici metodologie di analisi, a seconda della finalità a cui lo studio è destinato.

Ad un primo livello gerarchico si è soliti distinguere la pericolosità a seconda del livello territoriale di interesse: si distinguono così le analisi di sito rispetto a quelle areali o "zonali".

Le analisi di sito comprendono gli studi di pericolosità finalizzati alla realizzazione in sicurezza sismica di opere "critiche" sotto il profilo della sicurezza, del rischio o della importanza strategica, quali dighe e grandi bacini di invaso in genere, impianti di energia, discariche di rifiuti tossici o nocivi, impianti di stoccaggio di scorie nucleari, installazioni militari, edifici pubblici strategici ai fini della sicurezza o delle operazioni di protezione civile, caserme e impianti dei vigili del fuoco, scuole, ospedali. Il centro logistico di Veritas a Venezia è un insieme di opere rilevanti ai fini di un evento sismico.

Le analisi di pericolosità hanno valore puntuale e sono riferite ad un sito ben preciso che riassume le caratteristiche del moto di input a base della progettazione dell'installazione. Sono peraltro riconducibili ad analisi di sito anche gli studi di pericolosità volti a determinare il moto sismico di input, per condizioni geologiche di riferimento, a base degli studi di microzonazione sismica.

Le analisi territoriali di hazard comprendono una regione o area tanto vasta da non poter essere considerata puntuale sotto il profilo della variabilità spaziale del moto fra un estremo e l'altro dell'area di studio. Le analisi areali hanno le finalità più varie, rientrando fra queste anche quelle pertinenti alle analisi di sito nonché gli studi con finalità di "zonazione".

Il confine tra hazard areale e puntuale non è definibile a priori, ma è funzione del dettaglio che si vuol raggiungere nelle analisi di pericolosità.

Al secondo livello gerarchico le analisi di pericolosità si distinguono a seconda del tipo di approccio seguito. Distinguiamo così gli approcci probabilistici da quelli deterministici.

I primi (**metodi probabilistici**) ben si adattano a studi di rischio sismico in senso generale e comprendono sia gli studi volti a determinare scale di priorità di intervento in tema di mitigazione del rischio a breve termine, sia gli studi di predisposizione di strumenti di prevenzione a medio e lungo termine come gli interventi di classificazione sismica del territorio.

I secondi (**metodi deterministici**) trovano spazio invece nella predisposizione di scenari di danno per la pianificazione delle operazioni di protezione civile, nelle allocazioni delle risorse per i piani di emergenza, oppure nella messa in sicurezza di opere a fronte del massimo terremoto ipotizzabile in un certo contesto sismotettonico.

A loro volta i due tipi di approcci sopra citati possono ulteriormente diversificarsi a seconda della metodologia

utilizzata.

I metodi probabilistici sono quelli impiegati nelle analisi di pericolosità finalizzate alla stesura di mappe di classificazione sismica e consentono di associare una probabilità, e quindi un'incertezza, ad un fenomeno tipicamente aleatorio quale è quello rappresentato dal verificarsi di un terremoto.

E' bene ricordare il carattere essenzialmente probabilistico della pericolosità sismica: essa esprime sempre uno stato di incertezza sulla sismicità futura, incertezza dovuta alle incomplete conoscenze disponibili sul processo sismogenico presumibilmente responsabile dello scuotimento atteso.

In realtà il ruolo della pericolosità sismica è quello di rappresentare non tanto il livello di scuotimento atteso quanto il diverso livello di confidenza associato alle diverse possibili ipotesi riguardo a questo ultimo. E' poi sulla base questi giudizi che viene formulata la scelta “politica” circa il livello di protezione richiesto per i beni esposti al danno sismico.

Secondo l'approccio probabilistico la pericolosità viene definita come la probabilità di eccedenza di un parametro descrittivo del moto del terreno (nel caso dell'Ordinanza P.C.M. n. 3274/03 il parametro indicatore adottato è il picco accelerazione o pga) in un determinato intervallo di tempo. Tale probabilità viene normalmente calcolata stimando, per ciascun valore del parametro selezionato, la corrispondente frequenza annua di eccedenza ( $I$ ) o il periodo di ritorno ( $T=1/I$ ).

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018) adottano un **approccio prestazionale** alla progettazione delle strutture nuove e alla verifica di quelle esistenti. Nei riguardi dell'azione sismica l'obiettivo è il controllo del livello di danneggiamento della costruzione a fronte dei terremoti che possono verificarsi nel sito di costruzione.

L'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire da una “pericolosità sismica di base”, in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A nelle NTC).

Le valutazioni della “pericolosità sismica di base” debbono derivare da studi condotti a livello nazionale, su dati aggiornati, con procedure trasparenti e metodologie validate. I dati utilizzati per le valutazioni devono essere resi pubblici, in modo che sia possibile la riproduzione dell'intero processo.

La “pericolosità sismica di base”, nel seguito chiamata semplicemente pericolosità sismica, costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La pericolosità sismica in un generico sito deve essere descritta in modo da renderla compatibile con le NTC e dotarla di un sufficiente livello di dettaglio, sia in termini geografici che in termini temporali; tali condizioni possono ritenersi soddisfatte se i risultati dello studio di pericolosità sono forniti:

- in termini di valori di accelerazione orizzontale massima  $a_g$  e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC, nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale sopra definite
- in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (non distano più di 10 km);
- per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno  $T_R$  ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni, estremi inclusi;

L'azione sismica così individuata viene successivamente variata, nei modi chiaramente precisati dalle NTC, per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo effettivamente

presente nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie. Tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale.

La disponibilità di informazioni così puntuali e dettagliate, in particolare il riferimento a più probabilità di superamento, consente ad un tempo di:

- a) adottare, nella progettazione e verifica delle costruzioni, valori dell'azione sismica meglio correlati alla pericolosità sismica del sito, alla vita nominale della costruzione e all'uso cui essa è destinata, consentendo così significative economie e soluzioni più agevoli del problema progettuale, specie nel caso delle costruzioni esistenti;
- b) trattare le problematiche di carattere tecnico-amministrativo connesse alla pericolosità sismica adottando una classificazione sismica riferibile anche a porzioni territoriali dei singoli comuni.

Allo stato attuale, la pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento è fornita dai dati pubblicati sul sito <http://esse1.mi.ingv.it/>. Eventuali differenti pericolosità sismiche sono approvate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, previa istruttoria effettuata dal Dipartimento per la Protezione Civile, al fine di valutarne l'attendibilità scientifica e l'idoneità applicativa in relazione ai criteri di verifica adottati nelle NTC.

Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle NTC, dalle accelerazioni  $a_g$  e dalle relative forme spettrali.

Le forme spettrali previste dalle NTC 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.

Le forme spettrali previste dalle NTC sono caratterizzate da prescelte probabilità di superamento e vite di riferimento. A tal fine occorre fissare:

- la vita di riferimento  $V_R$  della costruzione,
- le probabilità di superamento nella vita di riferimento  $V_R$   $P$  associate a ciascuno degli stati limite considerati,

per individuare infine, a partire dai dati di pericolosità sismica disponibili, le corrispondenti azioni sismiche.

Tale operazione deve essere possibile per tutte le vite di riferimento e tutti gli stati limite considerati dalle NTC; a tal fine è conveniente utilizzare, come parametro caratterizzante la pericolosità sismica, il periodo di ritorno dell'azione sismica  $T_R$ , espresso in anni. Fissata la vita di riferimento  $V_R$ , i due parametri  $T_R$  e  $V_R$  sono immediatamente esprimibili, l'uno in funzione dell'altro, mediante l'espressione:

$$T_R = - \frac{V_R}{\ln(1 - P_{V_R})}$$

Per un qualunque punto del territorio non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri ( $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$ ) di interesse per la definizione dell'azione sismica di progetto possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i

quattro vertici, attraverso la seguente espressione:

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

nella quale:

p è il valore del parametro di interesse nel punto in esame;

p<sub>i</sub> è il valore del parametro di interesse nell'i-esimo punto della maglia elementare contenente il punto in esame;

d<sub>i</sub> è la distanza del punto in esame dall'i-esimo punto della maglia suddetta.

## 5 ZONAZIONE SISMOGENETICA

Il modello sismotettonico italiano è allo stato attuale deficitario per quanto riguarda una dettagliata ricostruzione delle strutture sismogenetiche responsabili dei terremoti documentati da una millenaria storia sismica. Tale deficienza è dovuta innanzitutto alla complessità geologica della penisola, caratterizzata da forti raccorciamenti crostali, serie duplex e rapporti catena fossa-avanpaese anomali rispetto agli schemi classici della tettonica a zolle.

Peraltro il quadro delle conoscenze sismotettoniche, neotettoniche e paleosismologiche nel nostro Paese non consente ancora l'individuazione e la caratterizzazione di strutture sismogenetiche certe.

Allo stato attuale la zonazione sismotettonica è il frutto principalmente di una modellazione cinematica delle principali unità tettoniche attive nei tempi più recenti (Scandone et al., 1990) che arriva a individuare zone omogenee sotto il profilo del comportamento geodinamico e dei meccanismi di rottura.

La sismicità documentata, con pochissime eccezioni (Fucino, 1915 e Irpinia, 1980), può essere distribuita su aree più o meno ampie sulla base del grado di confidenza attribuito nel discriminare porzioni di territorio a comportamento omogeneo, all'interno delle quali possono tuttavia coesistere strutture con diversità di potenziale e di tassi di rilascio.

In figura seguente (Figura 5) è riportata la zonazione sismogenetica ZS4, alla cui base vi è un modello che suppone il riconoscimento di almeno una struttura principale (master fault) con associate una serie di strutture sintetiche o antitetiche secondarie ma con cinematica congruente a quella della struttura principale. Le zone a geometria più ampia rappresentano anch'esse l'emergenza di fasci di strutture, senza l'individuazione precisa di un sistema strutturale organizzato in un elemento principale e in elementi secondari coerenti.



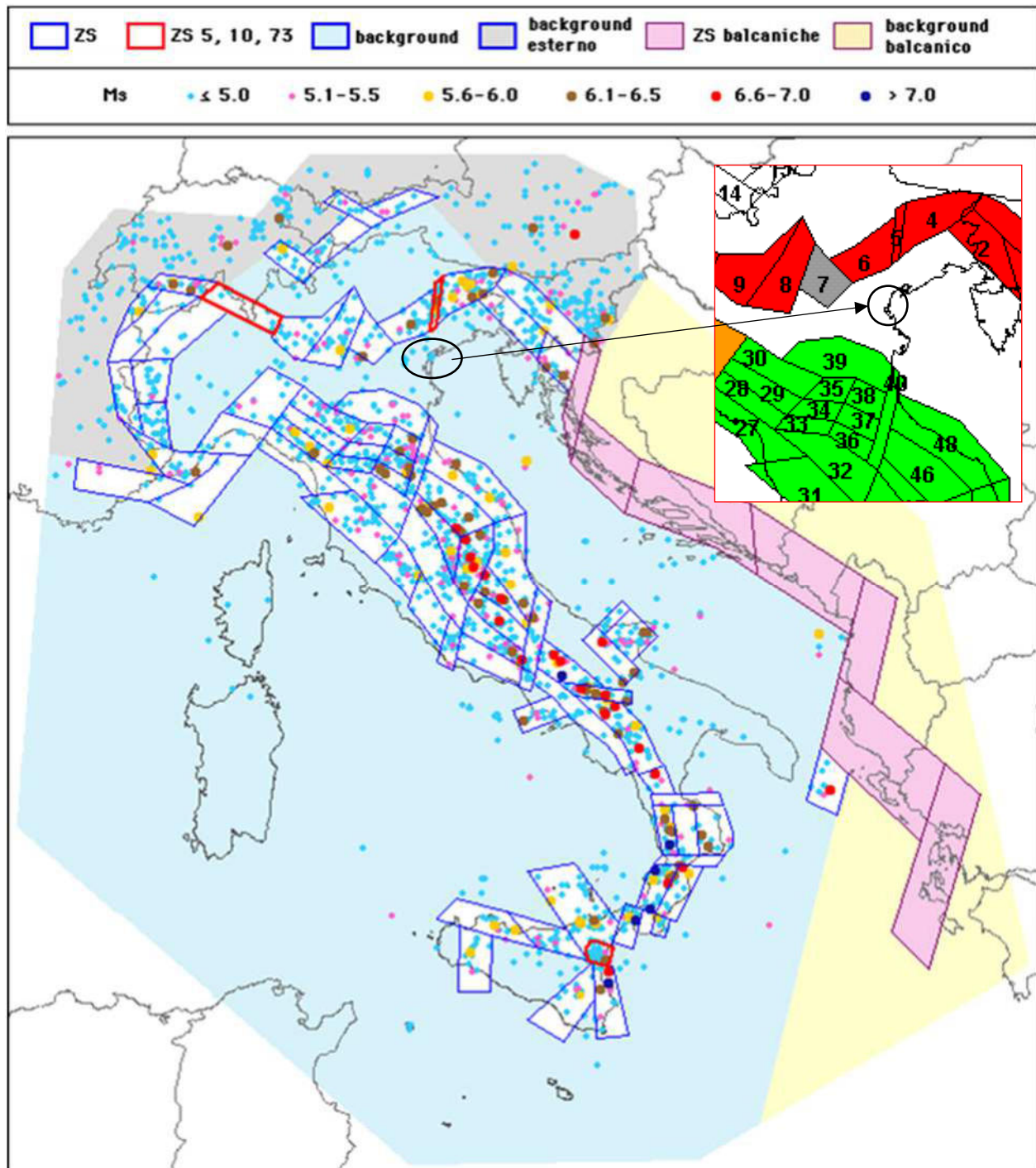


Figura 5 Zonazione sismogenetica.



## 6 CLASSIFICAZIONE SISMICA VIGENTE

I criteri di classificazione definiti dall'Ordinanza n. 3274/03 dipendono da un unico parametro: il picco di accelerazione con un periodo ritorno pari a 475 anni.



Figura 6 Mappa delle zone sismiche in Italia.

Con Delibera n° 244 del 9 marzo 2021 il Consiglio Regionale del Veneto ha approvato l'aggiornamento dell'elenco delle zone sismiche del Veneto D.P.R. 6 giugno 2001 n.380, art. 83, comma 3. D. Lgs 31 marzo 1998, n. 112, articoli 93 e 94. D.G.R./CR n. 1 del 19/01/2021 secondo la quale il Comune di Venezia ricade in zona 3 (Bur n. 38 del 16 marzo 2021).

Nella seguente immagine si riporta la mappa aggiornata della classificazione sismica della regione Veneto, allegata A alla DGR 244 del 9 marzo 2021.

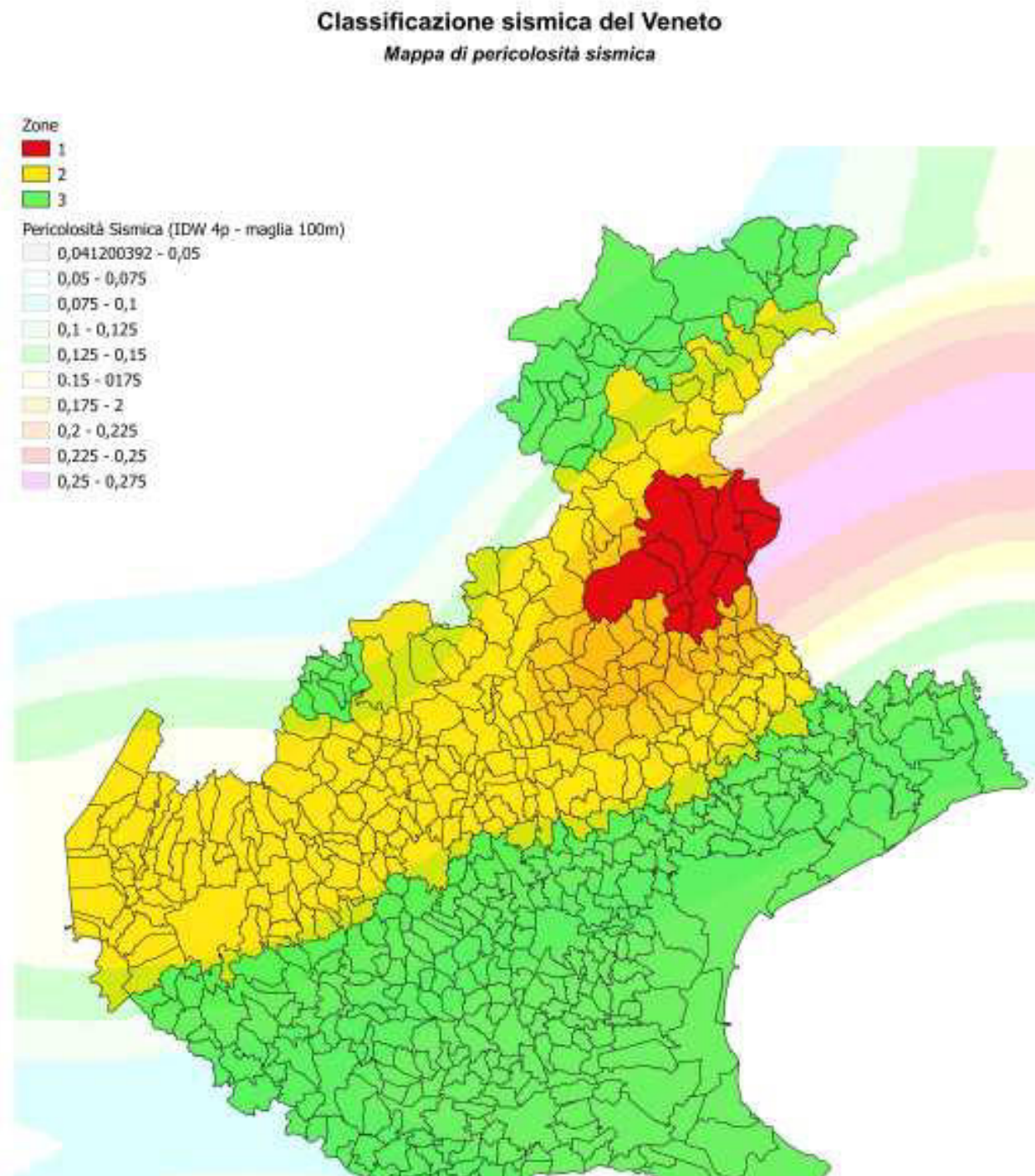


Figura 7 Mappa delle zone sismiche del veneto.

## 7 CONSIDERAZIONI SULLA PROGETTAZIONE IN ZONA SISMICA

Il sisma è caratterizzato dalla propagazione tridimensionale nel suolo di onde, dovute principalmente ad un rilascio improvviso di energia legato a fenomeni di frattura o movimento lungo faglie già esistenti della crosta terrestre. Solitamente si descrive il sisma attraverso i suoi accelerogrammi, vale a dire mediante la registrazione nel tempo dell'accelerazione del suolo nel sito.

Per progettare o verificare un edificio, occorre conoscere il movimento del terreno indotto da un terremoto in prossimità dell'edificio: per fare questo bisogna individuare dei parametri caratteristici del terremoto, ovvero del suo accelerogramma, tramite i quali ricavare, in termini probabilistici, l'azione che il sisma induce sulla struttura.

Le azioni sismiche di progetto, si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione. Secondo il D.M. 17.01.2018 (che chiameremo semplicemente NTC “Norme tecniche sulle costruzioni”), la pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (definita al § 3.2.2 delle NTC), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$ , come definite nel § 3.2.1 delle NTC, nel periodo di riferimento  $V_R$ , come definito nel § 2.4 delle NTC.

Le azioni sismiche di progetto devono essere valutate rispetto ai diversi stati limite.

Gli stati limite di esercizio sono:

- Stato Limite di Operatività (SLO): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti 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, 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 rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi 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 rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza 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 riportate nella successiva tabella.

**Tab. 3.2.I – Probabilità di superamento  $P_{VR}$  in funzione dello stato limite considerato**

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%

Le NTC richiedono la definizione della vita nominale, intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata.

**Tab. 2.4.I – Valori minimi della Vita nominale  $V_N$  di progetto per i diversi tipi di costruzioni**

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di $V_N$ (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Richiedono inoltre la definizione della classe d'uso:

Con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

**Classe I:** Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

**Classe II:** Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

**Classe III:** Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

**Classe IV:** Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

A ciascuna classe d'uso corrisponde un coefficiente d'uso:



Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso  $C_U$ 

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE $C_U$	0,7	1,0	1,5	2,0

Ai sensi delle NTC 2018 le costruzioni oggetto del presente progetto rientrano nel tipo 2 “Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari” a cui corrisponde una vita nominale  $v_N \geq 50$  anni. Tale rappresenta la durata da considerare in sede progettuale con riferimento alla durabilità delle costruzioni, nel dimensionare le strutture ed i particolari costruttivi, nella scelta dei materiali per garantire il mantenimento della resistenza e della funzionalità.

La classe d'uso della struttura è fornita con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso in presenza di azione sismica. Le strutture in esame rientrano in classe d'uso III “Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso”.

Il periodo di riferimento rappresenta il tempo in relazione al quale sono valutate le azioni sismiche e risulta dal prodotto della vita nominale per il coefficiente d'uso che per la classe d'uso III vale 1.5, quindi

Periodo di riferimento:  $v_R = v_N \cdot C_U = 50 \cdot 1.5 = 75$  anni.

Con l'entrata in vigore del D.M. 17 gennaio 2018 la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido ( $V_{s30} < 180$  m/s), viene definita mediante un approccio “**sito dipendente**” e non più tramite un criterio “**zona dipendente**” come prevedeva l'O.P.C.M. 3274/03.

Con l'entrata in vigore del D.M. 17 gennaio 2018 la classificazione sismica del territorio è scollegata dalla determinazione dell'azione sismica di progetto, mentre rimane il riferimento per la trattazione di problematiche tecnico-amministrative connesse con la stima della pericolosità sismica.

Pertanto (secondo quanto riportato nell'allegato A del D.M. 17 gennaio 2018) la stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto viene effettuata calcolandoli direttamente per il sito in esame, utilizzando come riferimento le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento.

Il DM 17.01.18 fornisce per tutti i siti e per ogni probabilità di superamento del periodo di riferimento, a cui corrisponde ciascuno degli stati limite, i valori di  $a_g$  (accelerazione orizzontale massima del sito),  $F_0$  (fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e di  $T_c^*$  (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale).

## 7.1 Spettri di risposta elastici e di progetto

Gli spettri di risposta sono determinati utilizzando il software in excel “Spettri-NTC versione 1.0.3” messo a disposizione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Il documento Excel SPETTRI-NTC fornisce gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti (orizzontali e verticale) delle azioni sismiche di progetto per il generico sito del territorio nazionale. La definizione degli

spettri di risposta relativi ad uno Stato Limite è articolata in 3 fasi, ciascuna delle quali prevede la scelta dei valori di alcuni parametri da parte dell'utente:

FASE 1. Individuazione della pericolosità del sito (sulla base dei risultati del progetto S1 - INGV);

FASE 2. Scelta della strategia di progettazione;

FASE 3. Determinazione dell'azione di progetto.

### FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

☒ Ricerca per coordinate

LONGITUDINE:  LATITUDINE:

☐ Ricerca per comune

REGIONE:  PROVINCIA:  COMUNE:

**Elaborazioni grafiche**

Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

**Elaborazioni numeriche**

Tabella parametri

**Nodi del reticolo intorno al sito**

**Reticolo di riferimento**

**Controllo sul reticolo**

☒ Sito esterno al reticolo

☐ Interpolazione su 3 nodi

☐ Interpolazione corretta

**Interpolazione:**

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

### FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) -  $V_R$   info

Coefficiente d'uso della costruzione -  $c_d$   info

**Valori di progetto**

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) -  $V_R$   info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) -  $T_R$  info

Stati limite di esercizio - SLE	SLO - $P_{VR} = 81\%$	<input type="text" value="45"/>
	SLD - $P_{VR} = 63\%$	<input type="text" value="75"/>
Stati limite ultimi - SLU	SLV - $P_{VR} = 10\%$	<input type="text" value="712"/>
	SLC - $P_{VR} = 5\%$	<input type="text" value="1462"/>

**Elaborazioni**

Grafici parametri azione

Grafici spettri di risposta

Tabella parametri azione

**LEGENDA GRAFICO**

---□--- Strategia per costruzioni ordinarie

---■--- Strategia scelta

**Strategia di progettazione**

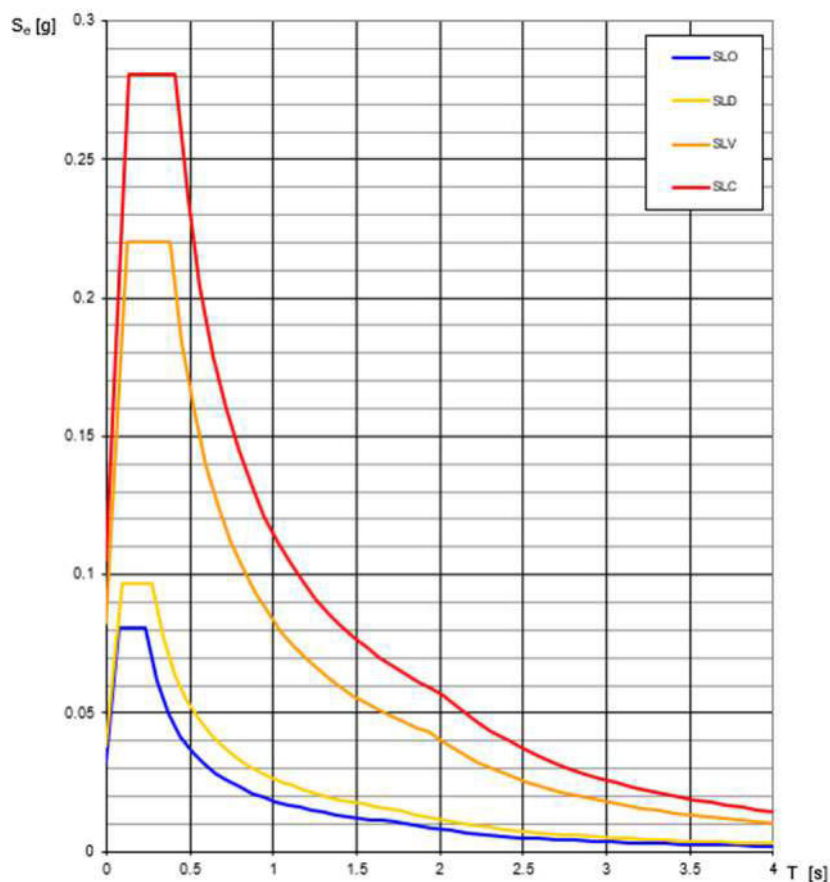
INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3



**Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_c^*$  per i periodi di ritorno  $T_R$  associati a ciascuno**

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_c^*$ [s]
SLO	45	0.032	2.510	0.228
SLD	75	0.038	2.530	0.272
SLV	712	0.083	2.658	0.379
SLC	1462	0.105	2.668	0.408

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

**Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite**

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

$a_g$  (accelerazione orizzontale massima al sito)

$F_o$  (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale)

$T_c^*$  (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale).

Le espressioni degli spettri e dei parametri dipendenti sono:

Espressioni dei parametri dipendenti		Espressioni dello spettro di risposta (NTC-07 Eq. 3.2.4)	
$S = S_g \cdot S_T$	(NTC-07 Eq. 3.2.5)	$0 \leq T < T_B$	$S_g(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$
$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \eta = 1/q$	(NTC-07 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5)	$T_B \leq T < T_C$	$S_g(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$
$T_B = T_C / 3$	(NTC-07 Eq. 3.2.7)	$T_C \leq T < T_D$	$S_g(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$
$T_C = C_C \cdot T_c^*$	(NTC-07 Eq. 3.2.8)	$T_D \leq T$	$S_g(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$
$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6$	(NTC-07 Eq. 3.2.9)		

Non vi è alcuna amplificazione topografica, la superficie topografica rientra nella Categoria T1 “Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $\leq 15^\circ$ ”, a cui corrisponde un coefficiente di amplificazione  $S_T$  pari a 1 come si desume dalla tabella seguente.

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

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

Per quanto riguarda la classificazione sismica il terreno è considerato in categoria di suolo C la cui definizione ai sensi della Tabella 3.2.II del DM 17.01.2018 è di seguito riportata:

Categoria C– “Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o di 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 e 360 m/s”.

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

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

Per definire, infine, gli spettri di progetto, occorre precisare che:

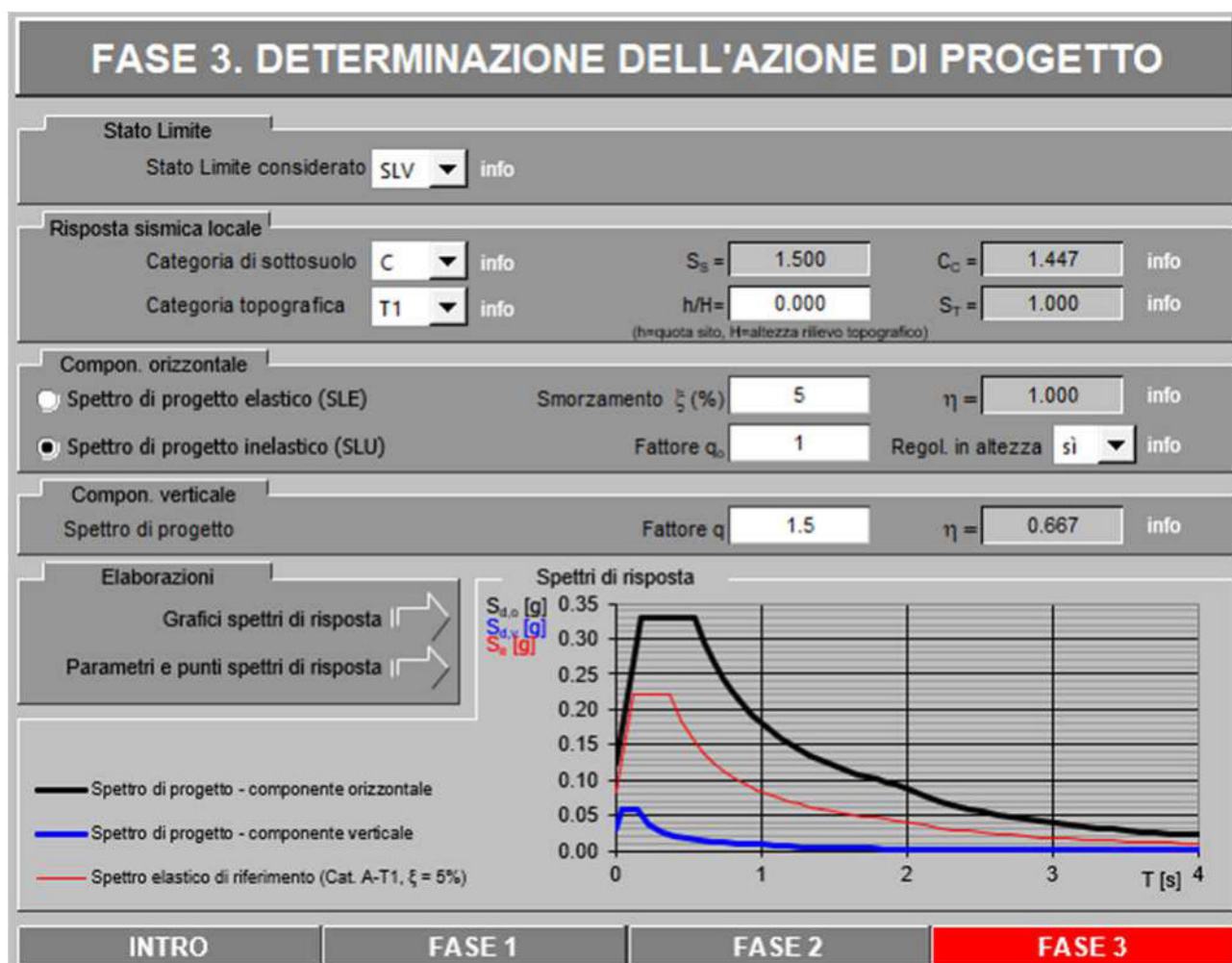
per gli stati limite di esercizio (nel caso in esame stato limite di operatività SLO) lo spettro di progetto  $S_d(T)$  da utilizzare è lo spettro elastico corrispondente, riferito alla PVR considerata.

Per i manufatti strutturali le verifiche allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV) possono essere condotte impiegando il fattore di struttura  $q$  che modifica lo spettro elastico nel relativo spettro di progetto nella presente relazione si riporta lo spettro elastico che significa impiegare il fattore di struttura  $q=1.0$ . Nella relazione di calcolo del ponte si riporta lo spettro di progetto con il reale fattore di struttura adottato.

Inoltre si è inserita anche la componente verticale del sisma. Infatti quest' ultima secondo le NTC18 deve essere considerata, in aggiunta a quanto indicato al § 3.2.3.1, anche in presenza di elementi pressoché orizzontali con luce superiore a 20 m, elementi precompressi (con l'esclusione dei solai di luce inferiore a 8 m), elementi a mensola di luce superiore a 4 m, strutture di tipo spingente, pilastri in falso, edifici con piani sospesi, ponti e costruzioni con isolamento nei casi specificati in § 7.10.5.3.2.

Nel nostro specifico il ponte ha una luce circa pari a 32.6 m.

### 7.1.1 Spettro stato limite di salvaguardia della vita (SLV)



**Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato SLV****Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0.083 g
$F_o$	2.658
$T_C$	0.379 s
$S_S$	1.500
$C_C$	1.447
$S_T$	1.000
$q$	1.000

**Parametri dipendenti**

$S$	1.500
$\eta$	1.000
$T_B$	0.183 s
$T_C$	0.548 s
$T_D$	1.932 s

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(S + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

**Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)**

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

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

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

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

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

**Punti dello spettro di risposta**

	$T$ [s]	$S_e$ [g]
	0.000	0.124
$T_B \leftarrow$	0.183	0.330
$T_C \leftarrow$	0.548	0.330
	0.614	0.295
	0.679	0.266
	0.745	0.243
	0.811	0.223
	0.877	0.206
	0.943	0.192
	1.009	0.179
	1.075	0.168
	1.141	0.159
	1.207	0.150
	1.273	0.142
	1.338	0.135
	1.404	0.129
	1.470	0.123
	1.536	0.118
	1.602	0.113
	1.668	0.109
	1.734	0.104
	1.800	0.101
	1.866	0.097
$T_D \leftarrow$	1.932	0.094
	2.030	0.085
	2.129	0.077
	2.227	0.070
	2.326	0.065
	2.424	0.059
	2.523	0.055
	2.621	0.051
	2.720	0.047
	2.818	0.044
	2.917	0.041
	3.015	0.038
	3.114	0.036
	3.212	0.034
	3.311	0.032
	3.409	0.030
	3.508	0.028
	3.606	0.027
	3.705	0.025
	3.803	0.024
	3.902	0.023
	4.000	0.022

**Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limit SLV****Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
$a_{av}$	0.032 g
$S_s$	1.000
$S_T$	1.000
$q$	1.500
$T_B$	0.050 s
$T_C$	0.150 s
$T_D$	1.000 s

**Parametri dipendenti**

$F_v$	1.033
$S$	1.000
$\eta$	0.667

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 §. 3.2.3.5})$$

$$F_v = 1.35 \cdot F_0 \cdot \left( \frac{a_v}{g} \right)^{0.5} \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.11})$$

**Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)**

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

$$T_B \leq T < T_C \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

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

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

**Punti dello spettro di risposta**

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.032
$T_B \leftarrow$	0.050	0.057
$T_C \leftarrow$	0.150	0.057
	0.235	0.036
	0.320	0.027
	0.405	0.021
	0.490	0.017
	0.575	0.015
	0.660	0.013
	0.745	0.011
	0.830	0.010
	0.915	0.009
$T_D \leftarrow$	1.000	0.009
	1.094	0.007
	1.188	0.006
	1.281	0.005
	1.375	0.005
	1.469	0.004
	1.563	0.004
	1.656	0.003
	1.750	0.003
	1.844	0.003
	1.938	0.002
	2.031	0.002
	2.125	0.002
	2.219	0.002
	2.313	0.002
	2.406	0.001
	2.500	0.001
	2.594	0.001
	2.688	0.001
	2.781	0.001
	2.875	0.001
	2.969	0.001
	3.063	0.001
	3.156	0.001
	3.250	0.001
	3.344	0.001
	3.438	0.001
	3.531	0.001
	3.625	0.001
	3.719	0.001
	3.813	0.001
	3.906	0.001
	4.000	0.001



## 7.1.2 Spettro stato limite di salvaguardia di danno (SLD)

## FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

**Stato Limite**

Stato Limite considerato **SLD** info

**Risposta sismica locale**

Categoria di sottosuolo **C** info  $S_s = 1.500$   $C_C = 1.614$  info

Categoria topografica **T1** info  $h/H = 0.000$   $S_T = 1.000$  info

(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

**Compon. orizzontale**

☒ Spettro di progetto elastico (SLE)  $\zeta = 5$   $\eta = 1.000$  info

☐ Spettro di progetto inelastico (SLU)  $\text{Fattore } q_0 = 1$   $\text{Regol. in altezza } \text{si}$  info

**Compon. verticale**

Spettro di progetto  $\text{Fattore } q = 1.5$   $\eta = 0.667$  info

**Elaborazioni**

Grafici spettri di risposta

Parametri e punti spettri di risposta

— Spettro di progetto - componente orizzontale

— Spettro di progetto - componente verticale

— Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1,  $\xi = 5\%$ )

**Spettri di risposta**

$S_{d,h}$  [g]  
 $S_{d,v}$  [g]  
 $S_a$  [g]

$T$  [s]

**INTRO** **FASE 1** **FASE 2** **FASE 3**



**Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato SLD****Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLD
$a_g$	0.038 g
$F_g$	2.530
$T_C$	0.272 s
$S_a$	1.500
$C_C$	1.614
$S_T$	1.000
$q$	1.000

**Parametri dipendenti**

$S$	1.500
$\eta$	1.000
$T_B$	0.146 s
$T_C$	0.438 s
$T_D$	1.754 s

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10 / (S + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / \xi + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

**Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)**

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

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

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

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

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

**Punti dello spettro di risposta**

	$T$ [s]	$S_e$ [g]
	0.000	0.058
$T_B \leftarrow$	0.146	0.146
$T_C \leftarrow$	0.438	0.146
	0.501	0.127
	0.564	0.113
	0.626	0.102
	0.689	0.093
	0.752	0.085
	0.814	0.078
	0.877	0.073
	0.939	0.068
	1.002	0.064
	1.065	0.060
	1.127	0.057
	1.190	0.054
	1.253	0.051
	1.315	0.049
	1.378	0.046
	1.440	0.044
	1.503	0.042
	1.566	0.041
	1.628	0.039
	1.691	0.038
$T_D \leftarrow$	1.754	0.036
	1.861	0.032
	1.968	0.029
	2.075	0.026
	2.181	0.024
	2.288	0.021
	2.395	0.020
	2.502	0.018
	2.609	0.016
	2.716	0.015
	2.823	0.014
	2.930	0.013
	3.037	0.012
	3.144	0.011
	3.251	0.011
	3.358	0.010
	3.465	0.009
	3.572	0.009
	3.679	0.008
	3.786	0.008
	3.893	0.007
	4.000	0.007

**Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limit SLD****Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLD
$a_{ov}$	0.010 g
$S_a$	1.000
$S_T$	1.000
$q$	1.500
$T_B$	0.050 s
$T_C$	0.150 s
$T_D$	1.000 s

**Parametri dipendenti**

$F_v$	0.669
$S$	1.000
$\eta$	0.667

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$$S = S_a \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 §. 3.2.3.5})$$

$$F_v = 1.35 \cdot F_0 \cdot \left( \frac{a_v}{g} \right)^{0.5} \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.1f})$$

**Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)**

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

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

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

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

**Punti dello spettro di risposta**

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.010
$T_B \leftarrow$	0.050	0.017
$T_C \leftarrow$	0.150	0.017
	0.235	0.011
	0.320	0.008
	0.405	0.006
	0.490	0.005
	0.575	0.004
	0.660	0.004
	0.745	0.003
	0.830	0.003
	0.915	0.003
$T_D \leftarrow$	1.000	0.003
	1.094	0.002
	1.188	0.002
	1.281	0.002
	1.375	0.001
	1.469	0.001
	1.563	0.001
	1.656	0.001
	1.750	0.001
	1.844	0.001
	1.938	0.001
	2.031	0.001
	2.125	0.001
	2.219	0.001
	2.313	0.000
	2.406	0.000
	2.500	0.000
	2.594	0.000
	2.688	0.000
	2.781	0.000
	2.875	0.000
	2.969	0.000
	3.063	0.000
	3.156	0.000
	3.250	0.000
	3.344	0.000
	3.438	0.000
	3.531	0.000
	3.625	0.000
	3.719	0.000
	3.813	0.000
	3.906	0.000
	4.000	0.000

## 7.1.3 Spettro stato limite di operatività (SLO)

## FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

**Stato Limite**  
 Stato Limite considerato **SLO** info

**Risposta sismica locale**  
 Categoria di sottosuolo **C** info       $S_S = 1.500$        $C_C = 1.710$  info  
 Categoria topografica **T1** info       $h/H = 0.000$        $S_T = 1.000$  info  
(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

**Compon. orizzontale**  
☒ Spettro di progetto elastico (SLE)      Smorzamento  $\xi$  (%) **5**       $\eta = 1.000$  info  
☐ Spettro di progetto inelastico (SLU)      Fattore  $q_0$  **1**      Regol. in altezza **sì** info

**Compon. verticale**  
 Spettro di progetto      Fattore  $q$  **1.5**       $\eta = 0.667$  info

**Elaborazioni**  
 Grafici spettri di risposta   
 Parametri e punti spettri di risposta

**Spettri di risposta**

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

**Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato SLO****Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLO
$a_g$	0.032 g
$F_o$	2.510
$T_c$	0.228 s
$S_B$	1.500
$C_c$	1.710
$S_T$	1.000
$q$	1.000

**Parametri dipendenti**

$S$	1.500
$\eta$	1.000
$T_B$	0.130 s
$T_C$	0.390 s
$T_D$	1.729 s

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$$S = S_B \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(S+5)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_c / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_c = C_c \cdot T_c^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

**Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)**

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

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

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

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

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

**Punti dello spettro di risposta**

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.048
$T_B \leftarrow$	0.130	0.122
$T_C \leftarrow$	0.390	0.122
	0.454	0.104
	0.518	0.092
	0.581	0.082
	0.645	0.073
	0.709	0.067
	0.773	0.061
	0.836	0.057
	0.900	0.053
	0.964	0.049
	1.028	0.046
	1.091	0.043
	1.155	0.041
	1.219	0.039
	1.283	0.037
	1.347	0.035
	1.410	0.034
	1.474	0.032
	1.538	0.031
	1.602	0.030
	1.665	0.028
$T_D \leftarrow$	1.729	0.027
	1.837	0.024
	1.945	0.022
	2.054	0.019
	2.162	0.018
	2.270	0.016
	2.378	0.014
	2.486	0.013
	2.594	0.012
	2.702	0.011
	2.810	0.010
	2.919	0.010
	3.027	0.009
	3.135	0.008
	3.243	0.008
	3.351	0.007
	3.459	0.007
	3.567	0.006
	3.676	0.006
	3.784	0.006
	3.892	0.005
	4.000	0.005

### Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite SLO

#### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLO
$a_{ov}$	0.008 g
$S_a$	1.000
$S_T$	1.000
$q$	1.500
$T_B$	0.050 s
$T_C$	0.150 s
$T_D$	1.000 s

#### Parametri dipendenti

$F_v$	0.609
$S$	1.000
$\eta$	0.667

#### Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_a \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 §. 3.2.3.5})$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_0 \cdot \left( \frac{a_{ov}}{g} \right)^{0,5} \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.11})$$

#### Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)

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

$$T_B \leq T < T_C \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

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

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

#### Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.008
$T_B$	0.050	0.013
$T_C$	0.150	0.013
	0.235	0.008
	0.320	0.006
	0.405	0.005
	0.490	0.004
	0.575	0.003
	0.660	0.003
	0.745	0.003
	0.830	0.002
	0.915	0.002
$T_D$	1.000	0.002
	1.094	0.002
	1.188	0.001
	1.281	0.001
	1.375	0.001
	1.469	0.001
	1.563	0.001
	1.656	0.001
	1.750	0.001
	1.844	0.001
	1.938	0.001
	2.031	0.000
	2.125	0.000
	2.219	0.000
	2.313	0.000
	2.406	0.000
	2.500	0.000
	2.594	0.000
	2.688	0.000
	2.781	0.000
	2.875	0.000
	2.969	0.000
	3.063	0.000
	3.156	0.000
	3.250	0.000
	3.344	0.000
	3.438	0.000
	3.531	0.000
	3.625	0.000
	3.719	0.000
	3.813	0.000
	3.906	0.000
	4.000	0.000