Firmato digitalmente da
stefano sandiano
CN = sandiano stefano

REGIONE PIEMONTE
Provincia di Alessandria

COMUNE DI CARTOSIO

INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO DEL MOVIMENTO FRANOSO IN LOCALITA' PERETTA EVENTI ALLUVIONALI NOVEMBRE 2016

DETERMINAZIONE N. 3867 DEL 23.12.2016

LIVELLO DI PROGETTAZIONE — DEFINITIVO - ESECUTIVO

Oggetto della tavola

RELAZIONE SISMICA

data MARZO 2017

scala

revisione

data

Progettisti

Ing. Stefano SANDIANO
Via Aspromonte,16
15121 - Alessandria

SEDE OPERATIVA: Via Aspromonte, 16
15121 Alessandria - Tel-Fax: 0131 288369

tavola n.

A04

Il Responsabile Unico del Procedimento:

TUTTI I DIRITTI SU QUESTO ELABORATO SONO RISERVATI

REGIONE PIEMONTE
PROVINCIA DI ALESSANDRIA
COMUNE DI CARTOSIO

INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO DEL MOVIMENTO FRANOSO IN LOCALITA' PERETTA

EVENTI ALLUVIONALI NOVEMBRE 2016

DETERMINAZIONE N. 3867 DEL 23.12.2016

PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO

Relazione sismica

INDICE

1 INTRODUZIONE 3

2 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO 4

2.1 ASPETTI NORMATIVI 4
2.2 INQUADRAMENTO SISMICO 5
2.3 MAGNITUDO ATTESE 5
2.4 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE 9
2.5 RICERCA STORICA 12

3 INDAGINI GEOGNOSTICHE, ANALISI E PROVE GEOTECNICHE 16

3.1 CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICO-TECNICA 16
3.2 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO 17
3.3 CATEGORIE TOPOGRAFICHE 19
3.4 SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO 19
3.5 ACCELERAZIONE MASSIMA ATTESA 20
3.6 STABILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE 21

1 INTRODUZIONE

Il presente progetto di consolidamento fa riferimento al finanziamento concesso al Comune di Cartosio (AL) con Determinazione della Regione Piemonte n. 3867 del 23.12.2016, per l'importo complessivo di 65.000,00 Euro, in conseguenza dei danni causati dagli eventi alluvionali di novembre 2016.

Il dissesto interessa un tratto della viabilità comunale a servizio di alcune abitazioni sparse (denominate Località Peretta) all'estremità nord del confine comunale, ed è già stato oggetto, in tempi addietro ad un intervento di sistemazione di consolidamento del piano viabile, immediatamente prima del tratto dissestato in oggetto.

Il presente progetto si configura come la naturale e opportuna prosecuzione degli interventi già realizzati nel tempo al fine di addivenire, con consecutivi interventi, alla messa in sicurezza del tratto di strada comunale su menzionato.

L'incarico di progettazione preliminare, definitiva ed esecutiva, direzione e contabilità lavori, coordinamento delle sicurezza in fase di progettazione ed esecuzione lavori, è stato affidato agli scriventi Ing. Stefano Sandiano e Arch. Roberta Bruno

Figura 1 – Vista panoramica con indicata approssimativamente l'area di intervento.

2 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Aspetti normativi

Il territorio di Cartosio è stato inizialmente ascritto alla zona sismica 4 ai sensi dell'Ord. P.C.M 20/03/2003 n. 3274 e s.m.i. Secondo la **Deliberazione della Giunta Regionale n. 11-13058 del 19/01/2010**, *Aggiornamento e adeguamento dell'elenco delle zone sismiche (O.P.C.M. n. 3274/2003 e O.P.C.M. 3519/2006)*, con le prescrizioni aggiuntive della D.G.R. n. 28-13422 dell'01/03/2010 e s.m.i., il Comune di Cartosio ha mantenuto la stessa classificazione. Successivamente i termini di entrata in vigore della nuova classificazione sono stati prorogati dalla Deliberazione della Giunta Regionale n. 28-13422 dell'01/03/2010, dalla Deliberazione della Giunta Regionale n. 8-1517 del 18/02/2011 e dalla Legge regionale n. 10 del 11 luglio 2011.

Con la **Deliberazione della Giunta Regionale n. 4-3084 del 12.12.2011** è stato approvato l'aggiornamento e l'adeguamento delle procedure di controllo e gestione delle attività urbanistico - edilizie ai fini della prevenzione dei rischio sismico ed è stata recepita la classificazione sismica di cui alla D.G.R. n. 11-13058 del 19.01.2010.

Con la successiva **D.G.R. n. 7-3340 del 3.02.2012** sono state apportate alcune modifiche e integrazioni alle procedure di controllo e gestione delle attività urbanistico-edilizie ai fini della prevenzione del rischio sismico approvate con D.G.R. n. 4-3084 del 12.12.2011.

Con **Determinazione Dirigenziale n. 540/DB1400 del 09.03.2012** sono state approvate le modalità per la predisposizione degli studi finalizzati alla prevenzione del rischio sismico a supporto degli strumenti urbanistici generali e loro varianti generali e strutturali dei Comuni compresi nelle zone sismiche 3S e 3.

In conclusione, il Comune di Cartosio a partire dal 1 gennaio 2012 è rimasto ascritto alla Zona 4.

Anche con l'entrata in vigore della D.G.R. 21.05.2014 n. 65-7656 resta confermata l'ascrizione alla zona sismica 4

2.2 Inquadramento sismico

I terremoti si manifestano principalmente lungo due direttrici che riflettono chiaramente l'assetto tettonico regionale essendo quasi coincidenti, entro un ragionevole margine di distribuzione, l'uno con il fronte Pennidico e l'altro con il limite fra le unità pennidiche e la pianura padana.

Osservando infatti la localizzazione degli epicentri dei terremoti registrati dalla rete sismica si nota chiaramente una distribuzione dispersa lungo due direttrici principali:

- una segue la direzione dell'Arco Alpino occidentale nella sua parte interna in corrispondenza del massimo gradiente orizzontale della gravità (zona sismogenetica 908);
- l'altra (zona sismogenetica 909) più dispersa segue l'allineamento dei massicci cristallini esterni in corrispondenza del minimo gravimetrico delle Alpi Occidentali francesi.

Le due direttrici convergono nella zona del Cuneese, per riaprirsi a ventaglio verso la costa, interessando il Nizzardo e l'Imperiese (fonte: ARPA Piemonte). Una terza direttrice (zona sismogenetica 911), infine, interessa il fronte occidentale dell'Appennino sepolto ed il suo prolungamento nel Monferrato. L'area in oggetto si colloca in prossimità di quest'ultima (ved. fig. 3) che comprende il cosiddetto "arco di Pavia" e le strutture ad esso collegate (Meletti & Valensise, 2004).

2.3 Magnitudo attese

La definizione della pericolosità sismica di base del territorio nazionale trae le sue origini dalla Carta delle Zone Sismogenetiche ZS9, elaborata dal Gruppo di Lavoro 2004, nella quale sono individuate le zone caratterizzate da diversi valori della Magnitudo momento massima M_{wmax}. Per la zona sismogenetica 911 tale valore è pari a 6.14.

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

Figura 2 – Magnitudo momento massima M_{wmax} delle varie zone sismo genetiche (Gruppo di Lavoro 2004, in Commissione Interregionale Ordine dei Geologi (2011).

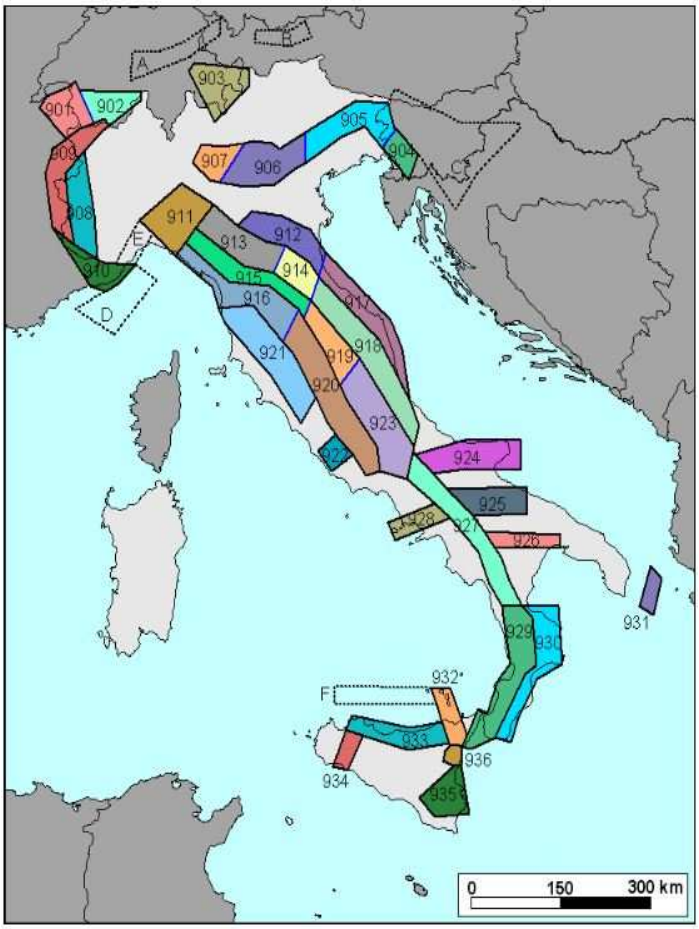


Figura 3 – Zone sismogenetiche, figure tratte da Meletti & Valensise (2004).

Sulla base di tale modello è stata elaborata la Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale approvata dalla Commissione Grandi Rischi del Dipartimento della Protezione Civile nella seduta del 6 aprile 2004, recepita dalla O.P.C.M. n° 3519 del 28 Aprile 2006 e divenuta infine la Mappa di riferimento prevista dal D.M. 14 Gennaio 2008 – Norme tecniche per le costruzioni.

È possibile stimare la magnitudo M, relativa agli eventi sismici attesi per il sito in oggetto, con il processo di disaggregazione desunto dal sito internet dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (2007), con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.

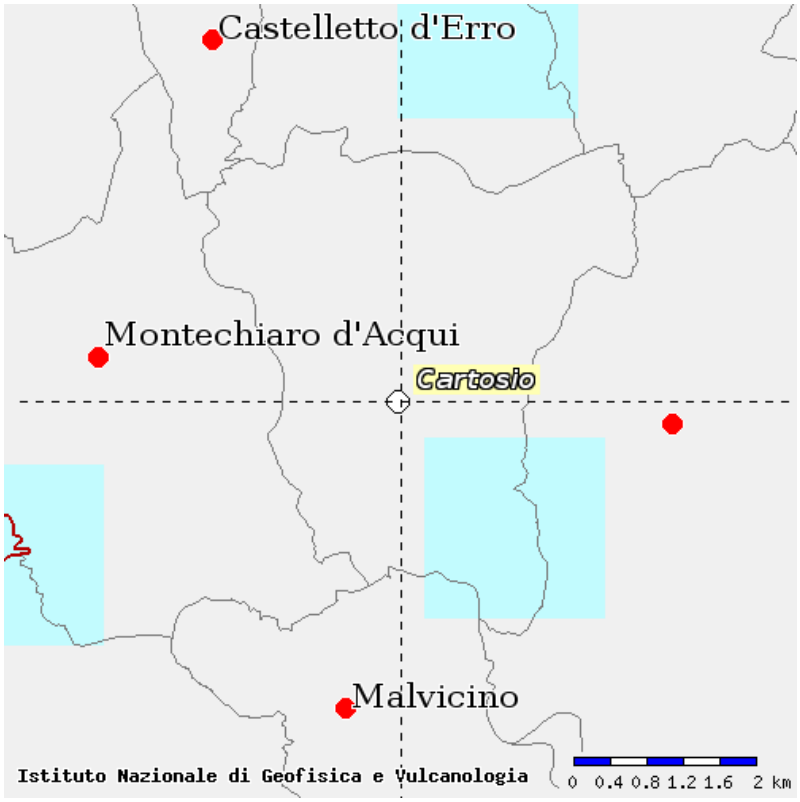


Figura 4 – Mappa interattiva di pericolosità sismica, tratta dal sito dell'INGV.

"*Il sistema consente di visualizzare e interrogare mappe probabilistiche della pericolosità sismica del territorio nazionale, espressa con diversi parametri dello scuotimento su una griglia regolare a passo 0.05°. Le mappe riportano due parametri dello scuotimento:* ***a(g)*** *(accelerazione orizzontale massima del suolo, come definita dall'OPCM 3519/2006, corrispondente a quella che in ambito internazionale viene chiamata PGA) e* ***Se(T)*** *(Spettro di risposta Elastico in funzione del periodo T, in accelerazione); l'unità di misura è* ***g****. Le mappe in* ***a(g)*** *sono state calcolate per differenti probabilità di superamento in 50 anni (in totale 9, dal 2% all'81%). Per ogni stima è disponibile la distribuzione del 50mo percentile (mappa mediana, che è la mappa di riferimento per ogni probabilità di superamento) e la distribuzione del 16mo e dell'84mo percentile che indicano la variabilità delle stime. Le mappe in* ***Se(T)*** *sono state pure calcolate per le stesse probabilità di superamento in 50 anni (in totale 9, dal 2% all'81%) e per differenti periodi (in totale 10, da 0.1 a 2 secondi). Anche in questo caso per ogni stima è disponibile la distribuzione del 50mo percentile (mappa mediana, che è la mappa di riferimento per ogni probabilità di superamento) e la distribuzione del 16mo e dell'84mo percentile che indicano la variabilità delle stime. L'analisi della disaggregazione dei valori di a(g) riporta, per ogni nodo della griglia di calcolo, la valutazione del contributo percentuale alla stima di pericolosità fornito da tutte le possibili coppie di valori di magnitudo e distanza; questa informazione è riportata sia in forma grafica sia in forma tabellare. Per ogni nodo della griglia sono anche riportati, dopo la tabella, i valori medi di M-D-ε. Questo tipo di analisi è utile nell'individuazione della sorgente sismogenetica che contribuisce maggiormente a produrre il valore di scuotimento stimato in termini probabilistici ed è utile in analisi di micro zonazione*" (INGV, 2007).

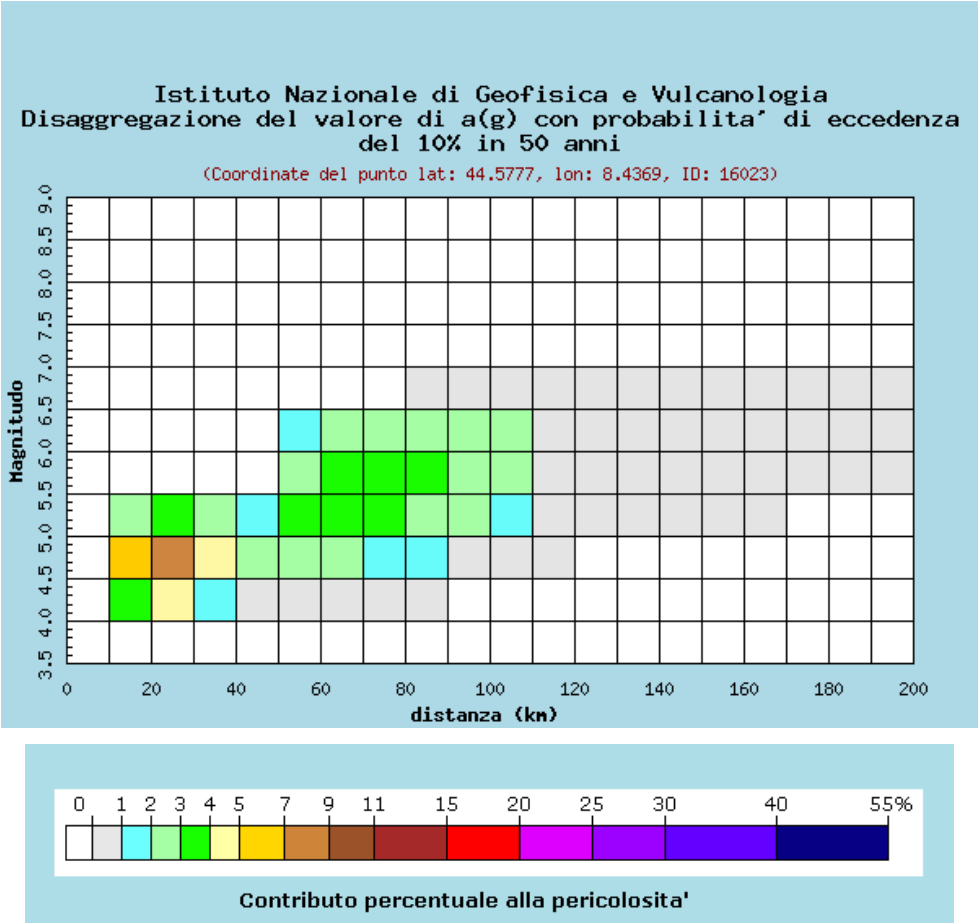


Figura 5 – Elaborazioni della Mappa interattiva di pericolosità sismica, tratta dal sito dell'INGV.

Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 44.5777, lon: 8.4369, ID: 16023)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	3.400	5.080	2.030	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	4.090	7.140	3.550	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	1.910	4.010	2.530	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.836	2.130	1.650	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.737	2.690	3.150	2.120	1.410	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.475	2.490	3.650	3.320	2.400	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.181	1.920	3.610	3.280	2.600	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.021	1.040	2.910	3.190	2.760	0.023	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.430	2.070	2.860	2.700	0.065	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.141	1.290	2.210	2.200	0.056	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.011	0.338	0.734	0.745	0.042	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.086	0.302	0.301	0.031	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.021	0.145	0.142	0.024	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.012	0.088	0.075	0.018	0.000	0.000	0.000	0.000

150-160	0.000	0.000	0.000	0.004	0.053	0.056	0.014	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.001	0.040	0.058	0.014	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.040	0.063	0.014	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.031	0.060	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.019	0.052	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	**Distanza**	**Epsilon**
5.260	59.700	1.470

Figura 6 – Elaborazioni della Mappa interattiva di pericolosità sismica, tratta dal sito dell'INGV.

In tal caso la magnitudo risulta pari a 5,260, inferiore a quello alla più vicina zona sismogenetica (911), pari a 6.14.

2.4 Pericolosità sismica di base

La pericolosità sismica di un sito è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo, in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato. Nelle NTC, tale lasso di tempo, espresso in anni, è denominato "periodo di riferimento" VR e la probabilità è denominata "probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento" PVR .

Le tabelle dei parametri che definiscono l'azione sismica specifica nei vari siti sono contenuti nell'Allegato B al D.M. 14/01/2008 *Norme tecniche per le costruzioni.*

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, sono stabilite a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione: questa è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa $\mathbf{a_g}$ in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (categoria di sottosuolo **A**), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $\mathbf{S_c(T)}$, con riferimento a prefissate possibilità di eccedenza $\mathbf{P_{Vr}}$ (vedi tabella seguente) nel periodo di riferimento $\mathbf{V_R}$ ("Vita di riferimento").

Stati limite		PVr: Probabilità di superamento nel periodo di riferimento Vr
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Tabella 1 – Stati limite e P_{Vr}.

dove:

- SLO: Stato limite di operatività
- SLD: Stato limite di danno
- SLV: Stato limite di salvaguardia della vita
- SLC: Stato limite ultimo di prevenzione del collasso

In riferimento ai tipi di costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008 si constata che gli interventi in progetto ricadono nel tipo 2 e nella classe II.

	TIPI DI COSTRUZIONE	Vita Nominale V_N (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva[1]	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

Figura 7 – Tipi di costruzione e relativa vita nominale.

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 D.M. 5 novembre 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.

Figura 8 – Classi d'uso delle costruzioni.

Il periodo o vita di riferimento V_R è dato dal prodotto della vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U:

$$V_R = V_N * C_U$$

dove:

V_R = Vita di riferimento,

V_N = Vita Nominale

C_U = Coefficiente d'uso

Il coefficiente d'uso, per la classe II è pari a 1 e pertanto:

$$V_R = 50 * 1 = 50$$

Al fine della caratterizzazione delle azioni sismiche di cui al paragrafo 3.2 delle NTC e della definizione delle forme spettrali in base ai parametri correlati al reticolo di riferimento, le coordinate riferite a un punto intermedio del tracciato dell'argine in progetto sono le seguenti:

Lat. 44.614339

Long. 8.420323

H s. s.l.m. 311.737396

in coordinate WGS84

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento Pvr, 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

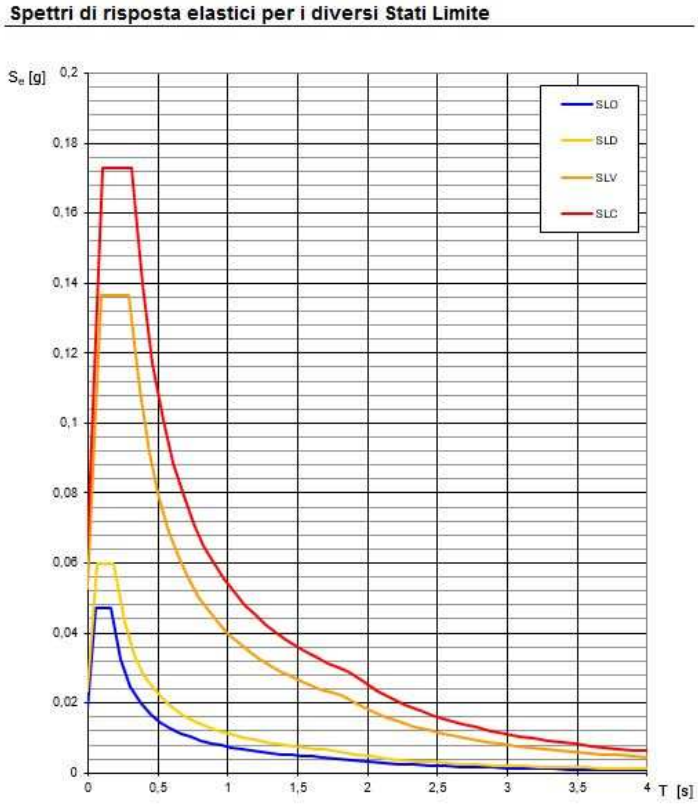


Figura 9 – Spettri di risposta elastici per i diversi stati limite.

Nella tabella 2 sono indicati i valori dei parametri ag, Fo, TC* per il periodo di ritorno TR associato e il relativo stato limite, ricavati mediante il software Spettri (versione 1.0.3) del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
30	0,018	2,593	0,159
50	0,023	2,558	0,187
72	0,027	2,582	0,203
101	0,031	2,579	0,218
140	0,035	2,592	0,232
201	0,039	2,604	0,258
475	0,053	2,588	0,293
975	0,065	2,639	0,312
2475	0,086	2,706	0,323

Tabella 2 – Parametri a_g, F_o e T_c* riferiti ai diversi stati limite.

2.5 Ricerca storica

La ricerca ha lo scopo di mettere in evidenza gli eventi sismici significativi che hanno avuto ripercussioni in prossimità dell'area interessata dal dissesto.

La ricerca è stata poi approfondita attraverso il database ricavato dal sito ISIDE.RM.INGV.IT, che riporta tutti gli eventi sismici richiesti per località e raggio in km.
L'interrogazione effettuata su Cartosio con un raggio di 20 km ha portato al seguente elenco:

#Data Da: 1980/02/23 A: 2017/02/23

#Area Comune: Cartosio Distanza (km): 20.0

#Magnitudo Min: 0.0 Max: 10.0 Tipo: Mag pref

#Profondità (km) Min: ND Max: ND

#Terremoti totali: 120

#Tempo Origine (UTC)	Latitudine	Longitudine	Profondità	Magnitudo	Fonte
2016-09-02 09:16:08.500	44.541	8.559	7.6	2.0--ML	SURVEY
2016-06-21 10:21:58.590	44.593	8.460	10.2	1.1--ML	SURVEY
2016-05-18 23:35:48.840	44.544	8.596	11.4	1.6--ML	BULLETIN
2016-04-22 16:48:51.740	44.699	8.588	39.5	1.1--ML	SURVEY
2016-03-19 11:16:40.780	44.513	8.628	9.1	1.5--ML	BULLETIN
2015-06-07 11:07:35.460	44.542	8.561	10.3	1.8--ML	BULLETIN
2015-02-04 09:58:24.290	44.673	8.490	9.7	2.1--ML	BULLETIN
2014-09-12 11:56:06.130	44.523	8.428	8.7	1.0--ML	SURVEY
2014-09-05 23:17:39.170	44.530	8.555	10.2	1.9--ML	BULLETIN
2014-07-11 16:57:51.500	44.676	8.490	10.2	1.8--ML	BULLETIN
2014-07-10 01:37:18.300	44.415	8.437	10.5	0.9--ML	BULLETIN
2014-07-03 10:03:37.730	44.459	8.386	11.3	1.4--ML	SURVEY
2014-07-02 12:03:54.070	44.616	8.340	10.0	0.9--ML	SURVEY
2014-06-10 23:52:54.330	44.550	8.579	11.5	1.5--ML	BULLETIN
2014-03-09 15:38:45.750	44.447	8.639	9.2	1.7--ML	BULLETIN
2014-03-09 11:17:23.430	44.452	8.606	8.9	1.8--ML	BULLETIN
2014-03-09 11:12:28.720	44.481	8.642	12.3	1.8--ML	BULLETIN
2014-01-28 17:03:56.370	44.421	8.300	11.4	1.2--ML	BULLETIN
2014-01-15 01:52:35.660	44.550	8.586	10.4	1.0--ml	SURVEY
2014-01-15 01:17:44.430	44.551	8.610	11.0	1.8--ML	BULLETIN
2013-10-18 11:08:41.130	44.512	8.565	9.1	1.5--ML	BULLETIN
2013-09-15 16:57:08.770	44.768	8.602	43.4	1.7--Md	BULLETIN
2013-08-12 10:50:13.310	44.451	8.288	5.0	0.5--ML	BULLETIN
2013-04-18 03:26:14.530	44.537	8.545	11.2	1.5--ML	BULLETIN
2013-01-07 19:52:42.280	44.526	8.502	8.9	1.5--ML	BULLETIN
2012-10-10 08:34:39.120	44.541	8.446	7.0	1.5--ML	BULLETIN
2012-08-26 09:53:27.160	44.678	8.407	8.1	1.5--Md	BULLETIN
2012-07-08 16:34:27.550	44.651	8.580	52.5	2.1--Md	BULLETIN
2012-05-02 03:51:27.260	44.518	8.573	7.5	1.8--ML	BULLETIN
2012-04-04 00:51:32.420	44.627	8.614	12.0	1.5--ML	BULLETIN
2012-03-22 07:55:50.360	44.676	8.461	8.7	2.0--ML	BULLETIN
2011-12-31 18:18:34.360	44.504	8.425	10.2	2.4--ML	BULLETIN
2011-09-18 05:05:28.350	44.506	8.420	9.5	2.4--ML	BULLETIN
2011-02-09 09:41:04.790	44.538	8.482	9.2	1.9--ML	BULLETIN
2010-12-28 16:19:25.580	44.532	8.655	10.0	1.2--ML	BULLETIN
2010-02-15 19:24:49.530	44.552	8.638	11.1	2.0--ML	BULLETIN
2009-09-27 12:43:39.820	44.583	8.391	7.0	2.0--ML	BULLETIN
2009-09-26 02:04:03.970	44.585	8.445	11.0	1.7--ML	BULLETIN
2009-09-05 20:23:56.060	44.576	8.408	8.8	1.9--ML	BULLETIN
2009-08-28 20:13:31.020	44.541	8.267	9.8	1.3--ML	BULLETIN
2009-08-25 11:19:36.500	44.541	8.550	10.7	1.7--ML	BULLETIN

2009-07-28 12:31:42.490	44.460	8.337	9.4	1.4--ML	BULLETIN
2009-05-13 12:14:04.800	44.437	8.496	4.4	2.6--ML	BULLETIN
2009-02-18 20:14:10.330	44.467	8.303	5.0	2.1--ML	BULLETIN
2008-10-01 02:31:44.240	44.564	8.397	7.5	2.0--ML	BULLETIN
2008-03-01 04:54:13.350	44.491	8.615	7.9	2.9--ML	BULLETIN
2007-04-08 11:03:03.100	44.425	8.286	6.3	2.2--ML	BULLETIN
2007-03-12 21:01:55.570	44.591	8.650	8.4	1.4--ML	BULLETIN
2006-12-28 23:57:21.290	44.768	8.409	10.0	2.1--ML	BULLETIN
2006-11-10 09:00:38.360	44.415	8.592	4.1	1.6--ML	BULLETIN
2006-10-08 09:49:09.650	44.733	8.276	10.0	1.6--ML	BULLETIN
2006-05-20 02:36:39.910	44.617	8.428	10.0	1.9--ML	BULLETIN
2006-04-25 04:24:46.460	44.517	8.431	9.1	2.0--ML	BULLETIN
2006-04-07 19:59:22.890	44.509	8.505	10.0	2.4--Md	BULLETIN
2005-10-26 20:41:24.100	44.493	8.433	12.5	1.7--ML	BULLETIN
2005-07-15 19:35:42.710	44.503	8.558	17.7	2.7--ML	BULLETIN
2003-04-09 14:09:51.300	44.509	8.261	4.2	3.1--Md	BULLETIN
2002-04-05 13:08:29.730	44.586	8.553	10.0	2.4--Md	BULLETIN
2000-01-09 12:32:05.370	44.704	8.247	17.7	2.6--Md	BULLETIN
1998-06-06 01:23:12.440	44.580	8.618	4.6	2.9--Md	BULLETIN
1998-01-08 06:37:35.250	44.499	8.639	10.0	2.5--Md	BULLETIN
1997-02-05 12:28:57.660	44.516	8.612	13.0	1.9--Md	BULLETIN
1995-02-03 03:09:49.680	44.637	8.314	9.6	2.7--Md	BULLETIN
1994-10-30 05:26:57.660	44.613	8.318	5.0	3.0--Md	BULLETIN
1993-09-10 03:06:51.960	44.578	8.470	10.0	2.1--M	BULLETIN
1993-08-12 11:05:07.430	44.440	8.560	5.0	2.4--Md	BULLETIN
1993-05-10 16:48:14.450	44.423	8.501	7.5	2.0--M	BULLETIN
1993-04-13 11:36:18.460	44.745	8.374	40.8	2.1--Md	BULLETIN
1993-03-18 10:54:55.670	44.459	8.278	9.8	2.0--Md	BULLETIN
1993-01-24 03:41:20.330	44.640	8.328	10.0	2.1--Md	BULLETIN
1992-09-25 16:10:32.450	44.417	8.293	7.6	1.9--Md	BULLETIN
1992-06-08 13:47:39.070	44.457	8.247	5.0	1.8--Md	BULLETIN
1992-05-17 23:40:58.160	44.627	8.486	5.0	2.1--Md	BULLETIN
1992-04-14 02:17:46.440	44.625	8.312	5.0	2.9--M	BULLETIN
1992-04-14 02:16:12.530	44.577	8.369	5.0	2.2--M	BULLETIN
1992-03-31 20:25:18.590	44.626	8.323	8.6	2.3--Md	BULLETIN
1992-01-30 05:40:20.370	44.595	8.192	10.0	1.7--Md	BULLETIN
1991-06-10 23:24:44.260	44.555	8.558	10.0	2.1--Md	BULLETIN
1991-04-20 10:00:00.660	44.712	8.529	10.0	2.0--Md	BULLETIN
1991-04-19 15:00:00.960	44.725	8.537	10.0	2.5--Md	BULLETIN
1991-04-19 10:30:01.040	44.712	8.542	10.0	2.1--Md	BULLETIN
1991-02-23 12:52:57.090	44.622	8.318	10.4	2.5--Md	BULLETIN
1991-01-20 12:22:17.050	44.653	8.327	5.0	2.3--M	BULLETIN
1990-12-25 18:11:03.790	44.747	8.333	10.0	2.2--M	BULLETIN
1990-08-26 05:30:06.380	44.580	8.447	5.0	1.9--Md	BULLETIN
1990-07-11 14:57:02.410	44.412	8.335	10.0	2.0--Md	BULLETIN
1990-04-21 17:25:37.040	44.630	8.573	9.7	2.0--Md	BULLETIN
1990-04-21 09:42:56.880	44.447	8.648	7.0	2.8--M	BULLETIN

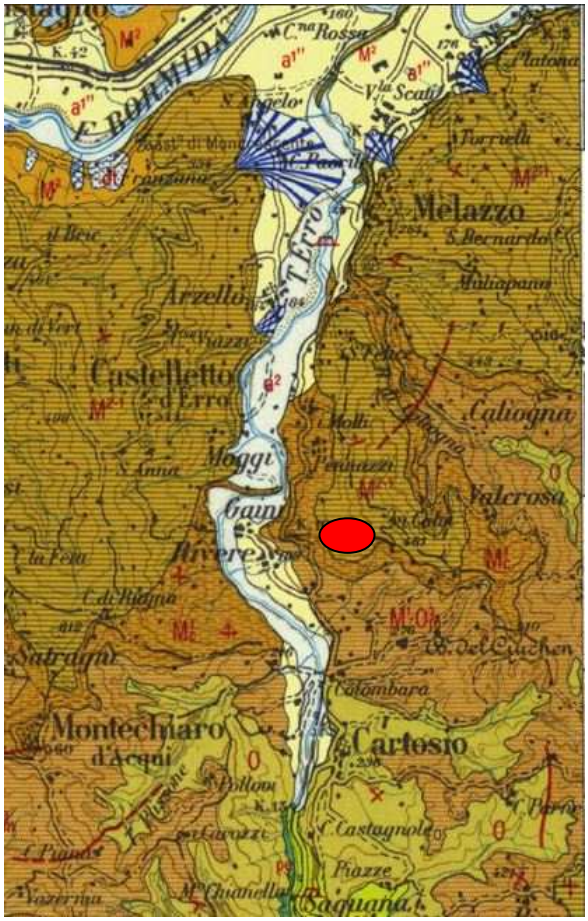
1990-04-12 08:49:05.490	44.549	8.507	5.0	2.4--Md	BULLETIN
1990-02-02 04:18:03.430	44.574	8.286	10.3	2.2--Md	BULLETIN
1990-01-29 13:15:42.250	44.555	8.270	10.0	2.0--M	BULLETIN
1990-01-29 13:13:21.490	44.542	8.282	10.0	2.1--M	BULLETIN
1990-01-29 13:11:36.220	44.546	8.271	10.0	2.1--M	BULLETIN
1990-01-29 12:54:43.660	44.574	8.262	10.0	2.1--M	BULLETIN
1989-11-07 15:56:01.840	44.415	8.276	8.2	2.1--Md	BULLETIN
1989-10-25 18:09:00.600	44.618	8.435	9.8	2.2--Md	BULLETIN
1989-10-07 12:34:27.650	44.588	8.305	11.6	2.2--Md	BULLETIN
1989-10-06 14:58:44.180	44.594	8.299	10.0	2.0--Md	BULLETIN
1989-09-22 08:52:23.810	44.552	8.231	15.6	2.3--Md	BULLETIN
1989-09-11 03:40:59.380	44.570	8.225	10.2	2.4--Md	BULLETIN
1989-05-29 09:36:05.430	44.448	8.382	9.4	2.3--Md	BULLETIN
1988-12-30 01:47:19.480	44.529	8.403	10.0	2.2--Md	BULLETIN
1988-12-30 00:27:16.110	44.501	8.335	10.0	2.8--Md	BULLETIN
1988-11-27 01:20:21.650	44.435	8.658	8.7	2.4--Md	BULLETIN
1988-11-18 11:03:44.640	44.593	8.462	10.0	1.9--Md	BULLETIN
1988-08-08 20:00:46.600	44.556	8.624	10.5	2.6--Md	BULLETIN
1988-03-03 19:56:37.500	44.590	8.307	10.0	2.4--Md	BULLETIN
1987-09-21 14:54:38.510	44.412	8.316	10.0	2.2--Md	BULLETIN
1987-09-02 23:44:19.520	44.458	8.641	10.0	2.1--Md	BULLETIN
1987-04-14 11:38:19.400	44.450	8.664	9.9	3.1--Md	BULLETIN
1987-04-08 10:13:26.930	44.545	8.444	16.1	2.0--Md	BULLETIN
1986-10-17 21:40:27.340	44.758	8.170	8.4	2.7--Md	BULLETIN
1986-09-19 13:00:00.100	44.548	8.563	6.8	2.1--Md	BULLETIN
1986-09-17 14:00:03.890	44.430	8.335	11.2	2.1--Md	BULLETIN
1986-09-01 15:05:54.990	44.417	8.297	8.0	2.0--Md	BULLETIN
1986-08-11 18:34:58.100	44.580	8.430	15.6	1.7--Md	BULLETIN
1986-04-20 00:54:01.800	44.494	8.532	13.6	2.6--Md	BULLETIN
1986-03-28 14:46:23.720	44.565	8.407	10.0	1.9--M	BULLETIN
1985-10-08 07:02:23.940	44.463	8.311	10.0	1.8--Md	BULLETIN
1985-05-27 01:44:05.130	44.561	8.405	4.7	2.4--Md	BULLETIN

3 INDAGINI GEOGNOSTICHE, ANALISI E PROVE GEOTECNICHE

3.1 CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICO-TECNICA

Assetto Geologico e Litostratigrafico di dettaglio

L'area interessata dal dissesto si pone all'interno del foglio 81 di Ceva, ed è caratterizzata da una matrice riconducibile alla Formazione di Cortemilia, costituita da marne. La porzione di strada risulta essere strada "scavata" in tale formazione, essendo il substrato affiorante sia a monte che a valle del dissesto. Una coltre di materiale sciolto della potenza di poche decine di centimetri riveste il substrato (rif. doc fotografica).



M²⁻¹

FORMAZIONE DI CORTEMILIA. Arenaria grigia in strati di 10-40 cm con strutture da corrente interne e basali, ritmicamente alternata a marna e marna argillosa grigio-azzurra con frequenti frustoli vegetali, in strati di ugual potenza; si intercala sabbia grigio-giallastra in strati di spessore variabile, soprattutto nella parte superiore. Significativa e frequente la presenza dei seguenti Foraminiferi: ***Globigerinoides bisphericus*** TODD e ***Globoquadrina langhiana*** CITA & GELATI alla sommità della formazione; ***Globigerinoides*** vari, ***Globorotalia acrostoma*** WEZEL e ***Globorotalia opima nana*** BOLLI nella parte inferiore. ***(LANGHIANO-"AQUITANIANO").***

Figura 10 – estratto Carta geologica d'Italia

Stante la natura e l'estensione dell'intervento e la possibilità di verificare la tipologia del substrato per la quale sono definibili parametri medi dalla bibliografia, considerando anche l'assenza di falde stante la geometria del versante, si ritiene di non eseguire indagini geognostiche di dettaglio, considerando i seguenti parametri medi di riferimento:

strato inferiore	angolo di attrito	φ	**32°**
	peso specifico	γ	**1,8t\m^3**
	coesione	c	**0**

3.2 Categorie di sottosuolo

Fatta salva la necessità della caratterizzazione geotecnica dei terreni nel volume significativo, ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente V_{s30} di propagazione delle onde di taglio (definita successivamente) entro i primi 30 m di profondità. Per le fondazioni superficiali, tale profondità è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per le categorie di sottosuolo **A**, **B**, **C**, **D**, **E** le azioni sismiche sono definite al § 3.2.3 del D.M. 14/01/2008.

In mancanza di misure dirette della Vs, l'identificazione della categoria di sottosuolo può essere effettuata sulla base dei valori di altre grandezze geotecniche, quali il numero dei colpi della prova penetrometrica dinamica (N_{SPT}) per depositi di terreni prevalentemente a grana grossa e la resistenza non drenata (c_u) per depositi di terreni prevalentemente a grana fine. Le equazioni 3.2.2 e 3.2.3 delle NTC possono ad esempio essere utilizzate per la classificazione di un sito sulla base del numero di colpi misurati in prove penetrometriche dinamiche in terreni a grana grossa nei primi 30 m di profondità, $N_{SPT,30}$, e dei valori della resistenza non drenata di terreni a grana fine nei primi 30 m di profondità, c_{u30}. Le espressioni utilizzate per la determinazione di N_{SPT30} e c_{u30} sono simili nella forma a quella utilizzata per la velocità equivalente Vs_{30}.

La velocità equivalente delle onde di taglio Vs,30 è definita dall'espressione

$$V_{S,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{S,i}}} \text{ [m/s].}$$

La resistenza penetrometrica dinamica equivalente NSPT,30 è definita dall'espressione

$$N_{SPT,30} = \frac{\sum_{i=1,M} h_i}{\sum_{i=1,M} \frac{h_i}{N_{SPT,i}}}.$$

Tabella 3.2.II – *Categorie di sottosuolo*

Categoria	Descrizione
A	*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, 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* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti,* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	*Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m,* posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Tabella 3 – Categorie di sottosuolo individuate nel D.M. 14/01/2008.

Stante la tipologia prevalente del substrato è possibile ipotizzare la presenza di terreni riconducibili a un **sottosuolo di tipo B.**

Categoria sottosuolo	S_S	C_C
A	1,00	1,00
B	$1,00 \le 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \le 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \le 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \le 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \le 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \le 1,80 \cdot$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \le 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \le 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Tabella 4 – Coefficienti di amplificazione stratigrafica per le differenti categorie di sottosuolo.

3.3 Categorie topografiche

Per quanto concerne l'influenza della morfologia sulla risposta sismica locale, si osserva che per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi. Per configurazioni superficiali semplici, come quella del settore oggetto di interventi, si può adottare la classificazione della figura seguente.

Tabella 3.2.IV – *Categorie topografiche*

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

Tabella 5 – Categorie caratteristiche della superficie topografica.

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Tabella 6 – Coefficienti di amplificazione topografica per le differenti categorie.

Per quanto riguarda le condizioni topografiche si ricade invece nella **categoria T4**.

3.4 Spettro di risposta elastico

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione della componente orizzontale è definito da quattro espressioni (periodi T, Tb, Tc, Td), ciascuna delle quali è funzione di alcuni parametri tra cui:

a_g: l'accelerazione di base (che dipende dalla collocazione del sito rispetto alla griglia di accelerazioni INGV);

η: il fattore di alterazione dello spettro elastico per coefficienti di smorzamento convenzionali ξ diversi dal 5%;

F_o: il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima (che dipende dalla collocazione del sito all'interno della griglia di accelerazioni);

T_c: C_c x T_c* il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro (in cui C_c dipende dalle condizioni sismostratigrafiche del sito e Tc* dipende dalla collocazione del sito);

S: il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione:

S = Ss * St

dove Ss = coefficiente di amplificazione stratigrafica (che dipende dalle condizioni sismostratigrafiche del sito) e St = coefficiente di amplificazione topografica (che dipende dalla posizione topografica del sito).

3.5 Accelerazione massima attesa

L'accelerazione massima attesa al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) dipende dai coefficienti di amplificazione stratigrafica e topografica, ricavati nei paragrafi precedenti, secondo la relazione:

$$a_{max} = ag * SS*ST = 0,053 * 1,2 * 1,4= \mathbf{0,0890\ g}$$

e si colloca in corrispondenza all'ascissa T = 0 dello spettro di risposta elastico.

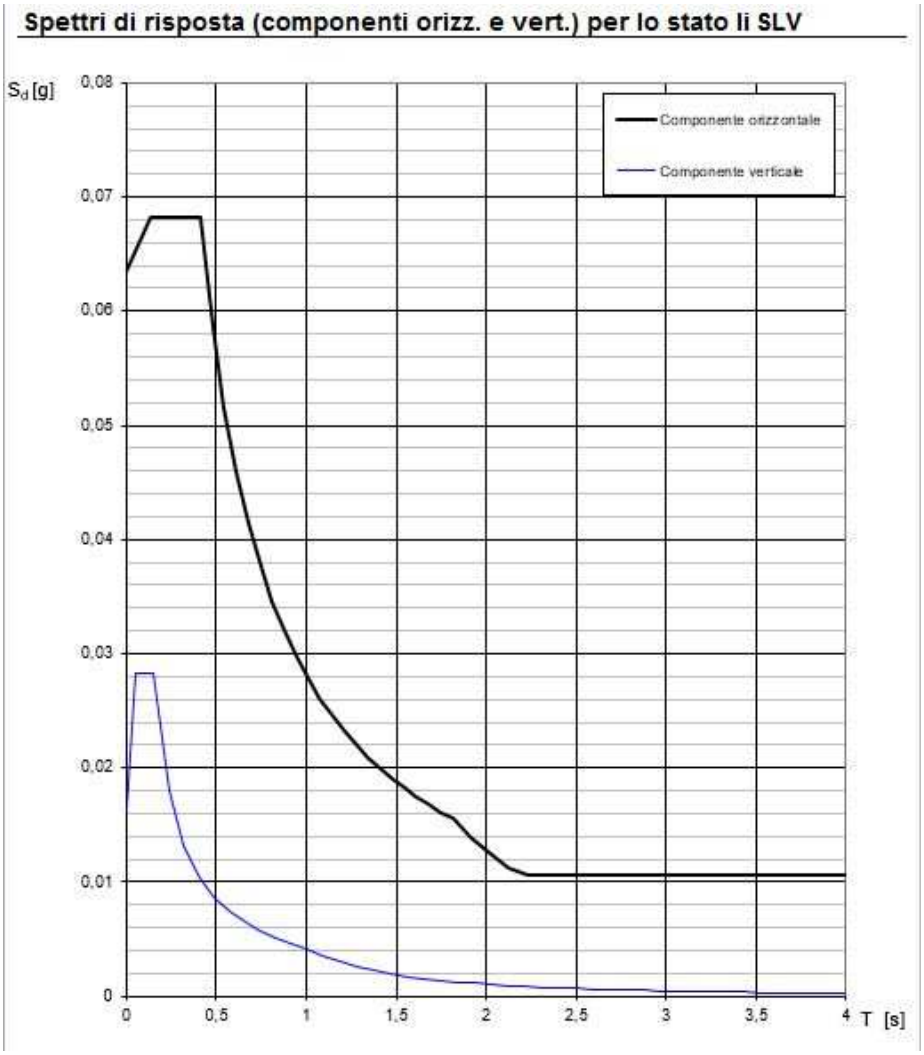


Figura 16 – Spettri di risposta elastici orizzontale e verticale per lo stato limite SLV.

3.6 Stabilità alla liquefazione

Nel seguito si riporta uno stralcio tratto dalle linee guida alle NTC redatte dalla COMMISSIONE INTERREGIONALE ORDINE DEI GEOLOGI (2011).

Per liquefazione di un terreno s'intende il quasi totale annullamento della sua resistenza al taglio con l'assunzione del comportamento meccanico caratteristico dei liquidi. I fenomeni di liquefazione interessano in genere depositi sabbiosi saturi e dipendono principalmente da: proprietà geotecniche dei terreni, caratteristiche delle vibrazioni sismiche e loro durata, genesi e storia geologica dei terreni.

Un terreno incoerente saturo, in assenza di sollecitazioni sismiche è soggetto alla pressione litostatica, dovuta al peso dei sedimenti sovrastanti. Durante una sollecitazione sismica vengono indotte nel terreno delle sollecitazioni cicliche di taglio, dovute alla propagazione delle onde sismiche verso la superficie, mentre la pressione litostatica resta costante. Nel terreno si possono generare fenomeni di liquefazione se la scossa sismica produce un numero di cicli tale da far si che la pressione interstiziale uguagli la pressione di confinamento. Nei depositi la pressione di confinamento aumenta con la profondità, mentre l'ampiezza dello sforzo di taglio indotto dal sisma diminuisce. La resistenza alla liquefazione quindi è maggiore con la profondità. Maggiore è la durata di un terremoto più alta è la possibilità che si arrivi (maggior numero di cicli) alla liquefazione. Inoltre, maggiore è l'ampiezza della vibrazione e della deformazione indotta e minore è il numero di cicli necessari per giungere a tale condizione. La probabilità che un deposito raggiunga le condizioni per la liquefazione dipende anche dallo stato di addensamento, dalla composizione granulometrica, dalle condizioni di drenaggio, dalla storia delle sollecitazioni sismiche e dall'età del deposito stesso. Tanto minore è il grado di addensamento del materiale (elevato indice dei vuoti e bassa densità relativa) tanto maggiore è la probabilità che, a parità di altre condizioni, un deposito raggiunga lo stato di liquefazione.

Le NTC richiedono una verifica alla suscettibilità di liquefazione dei terreni del sito sul quale insiste la progettazione di un manufatto. Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione.

Prima della vera e propria verifica della suscettibilità di liquefazione, le NTC propongono una griglia di casi per i quali il sito non presenta possibilità di liquefazione dei terreni. Le NTC recitano che “La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze”:

1. eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5;
2. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
3. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
4. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata (N1)60 > 30 oppure qc1N > 180 dove (N1)60 è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc1N è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
5. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc < 3,5 ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc > 3,5.

Nel caso specifico le accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) sono minori di 0,1g, in quanto:

$$\mathbf{a_{max}} = a_g * S_S * S_T = 0{,}053 * 1{,}2 * 1{,}4 = \mathbf{0{,}089\ g}$$

e pertanto si ritiene ragionevolmente di poter omettere la verifica a liquefazione.

Inoltre, se si considera solo il valore di magnitudo ricavato dal processo di disaggregazione desunto dal sito internet dell’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (2007), con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, la magnitudo risulta essere di poco superiore a 5.

Alessandria, 31.03.2017

Il Progettista
Ing. Stefano Sandiano