


NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT)



Tavola / Elaborato	Nome Elaborato:	Scala:
R.G.3	Relazione verifica liquefazione	Data: Marzo 2025

		Sede Firenze Via de Sanctis, 49 Cod. Fiscale e P.I. 06111950488 <small>Organizzazione dotata di Sistema di Gestione Integrato certificato in conformità alla normativa ISO9001 - ISO14001 - OHSAS18001 - SA8000</small>	
PROGETTISTI : RESPONSABILE COMMESSA E PROGETTO: Dott. Ing. Luca DEL BIMBO GEOLOGIA: Dott. Geol. Filippo LANDINI		COLLABORATORI indagini geologiche: Dott. Lorenzo PORAZZINI opere civili ed edili: Dott. Ing. Lorenzo DEGL'INNOCENTI opere idrauliche e sanitarie: Dott. Ing. Valentina CAMICI opere elettriche: P.I. Luca ANGELI modellazione processi: Dott. Ing. Alice BALDUCCI	
CONSULENTI TECNICI opere architettoniche e paesaggistiche: Arch. Riccardo BONECHI geologia: Geol. Filippo SOTTANI opere elettriche: Geol. Daniele PITTARO opere civili ed edili: Tecnoengineering s.r.l. Dott. Ing. Marco BENVENUTO		COMMESSA I.T. : INGT-TPLPE-PBADI165	
COORDINATORE DELLA SICUREZZA : Dott. Ing. Lorenzo PUCCIONI		RESPONSABILE COMMITTENTE : Ing. Cristiano AGOSTINI	
DIRETTORE TECNICO INGEGNERIE TOSCANE : Dott. Ing. Giovanni SIMONELLI		RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO : P.I. Armando MINIATI	

Rev.	Data	Descrizione / Motivo della revisione	Redatto	Controllato / Approvato
00	Gennaio 2020	Emissione progetto Esecutivo	AIELLO	LANDINI

Indice Generale

PREMESSA	2
NORMATIVE DI RIFERIMENTO.....	3
1. NOTAZIONI GEOLOGICO STRATIGRAFICHE E D'INDAGINE.....	4
1.1 INDAGINI GEOGNOSTICHE E MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO	4
1.1.1 <u>SONDAGGI MECCANICI A CAROTAGGIO CONTINUO</u>	4
1.1.2 <u>ANALISI FISICO MECCANICHE DEI TERRENI</u>	10
1.1.3 <u>PROVE PENETROMETRICHE CPT E DPSH</u>	13
1.1.4 <u>INDAGINI DI SISMICA A RIFRAZIONE DI SUPERFICIE E IN FORO</u>	14
1.1.5 <u>INDAGINI DI SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA (TIPO HVSR)</u>	14
1.1.6 <u>MODELLO GEOLOGICO, IDROGEOLOGICO E GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO</u>	15
2. ANALISI SISMICA DEL SITO DI INTERVENTO.....	16
2.1 PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE	28
2.2 PERICOLOSITA' SISMICA DI SITO	30
3. VERIFICA DI SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE	32

PREMESSA

La presente relazione ha per oggetto lo studio specialistico finalizzato alla verifica della suscettibilità a liquefazione dei terreni su cui verrà realizzato il nuovo impianto IDL di Bottegone nel Comune di Pistoia.

Per tutti i dettagli progettuali si rimanda alla relazione tecnica generale e agli elaborati progettuali a cura dei Progettisti.

Mentre per le specifiche geologiche e geotecniche si rimanda alle relazioni specialistiche presenti a supporto del progetto.

NORMATIVE DI RIFERIMENTO

Per l'intervento oggetto della presente progettazione si è fatto riferimento e si procede in ottemperanza alle seguenti disposizioni normative:

- R.D. 3267/1923. Riordinamento e riforma della legislazione in materia di boschi e di terreni montani.
- Legge nr. 1086 del 05/11/1971. Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica.
- Legge nr. 64 del 02/02/1974. Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- D.M. LL.PP. del 11/03/1988. Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- D.M. LL.PP. del 14/02/1992. Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- D.M. 9 gennaio 1996. Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche
- D.M. 16 gennaio 1996. Norme Tecniche relative ai 'Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi'
- D.M. 16 gennaio 1996. Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche
- Circolare Ministero LL.PP. 15 ottobre 1996 n. 252 AA.GG./S.T.C.. Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996
- Circolare Ministero LL.PP. 10 aprile 1997 n. 65/AA.GG.. Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996.
- L.R. 39/00. Regolamento d'attuazione della Legge Forestale della Toscana.
- Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20.3.2003.
- D.P.G.R. 48/R del 08/08/2003. Regolamento forestale della Toscana.
- Eurocodice 7. Progettazione geotecnica – Parte 1 :Regole generali
- Eurocodice 8. Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnica.
- D.M. 14.01.2008. Norme Tecniche per le Costruzioni
- Circolare n. 617/2009 CSLP. Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14.01.2008
- D.P.G.R. n. 1/R del 19/01/2022. Regolamento di attuazione dell'art.181 della legge regionale 10 novembre 2014 n.65 (Norme per il governo del territorio).
- D.M. 17 Gennaio 2018. Aggiornamento delle 'Nuove norme tecniche per le costruzioni'.
- Circolare n. 7/2019 CSLP. Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17.01.2018.

1. NOTAZIONI GEOLOGICO STRATIGRAFICHE E D'INDAGINE

1.1 INDAGINI GEOGNOSTICHE E MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO

La Carta Geologica della Toscana Foglio 262 - Pistoia – Sezione n. 262120 redatta in scala 1:10.000 dalla Regione Toscana nel Dicembre 2010 mostra la presenza nel settore di intervento di depositi alluvionali recenti terrazzati e non terrazzati composti da ghiaie, sabbie e limi dei terrazzi fluviali.

Relativamente alle indagini di supporto alla progettazione l'area di intervento è stata indagata con specifica campagna di indagini geognostiche finalizzata sia alla ricostruzione dell'assetto stratigrafico delle varie unità geologiche presenti, sia all'esecuzione di misure geotecniche e geofisiche in situ.

Tra i mesi di giugno 2018 e di agosto 2019 le indagini eseguite complessivamente sono complessivamente consistite in:

- n. 7 sondaggi a carotaggio continuo denominati S1, S2, S3, S4, S5 S6 e S7 e della profondità rispettivamente di 20,2, 20,0, 30,0, 35,0 20, 29,0 e 20,0 m dal p.c.. Nei fori di sondaggio dei sondaggi S1, S2, S3, S4, S5 e S6 sono stati installati piezometri a tubo aperto;
- n. 40 prove SPT in avanzamento;
- n. 12 campioni indisturbati di terreno prelevato in avanzamento;
- n. 14 campioni rimaneggiati di terreno prelevati dalle cassette catalogatrici;
- n. 18 prove penetrometriche della lunghezza ciascuna di 15,0 m dal p.c., di cui n. 14 (prove 1, 2, 4, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 e 18) iniziate come prove penetrometriche statiche (CPT) e approfondite dal punto del rifiuto con modalità dinamica e n. 4 (prove 3, 5, 6 e 9) solo con modalità dinamica (DPSH).
- n. 7 micropiezometri a tubo aperto installati nei fori delle prove DPSH/CPT 1, 4, 7, 10, 11, 13 e 17;
- n. 19 campioni di terreno prelevati durante l'avanzamento delle prove penetrometriche;
- n. 3 prospezioni di sismica a rifrazione
- n. 1 linea di sismica a rifrazione in onde Sh di tipo Masw;
- n.1 indagine di sismica passiva a stazione singola con metodo Hvsr;
- n. 1 prospezione di sismica in foro di tipo down-hole.

Per maggiori dettagli sulle indagini geognostiche eseguite si rimanda agli elaborati specialistici contenuti nel progetto, mentre di seguito si fornisce una breve descrizione dei risultati ottenuti.

1.1.1 SONDAGGI MECCANICI A CAROTAGGIO CONTINUO

Nell'area di indagine sono stati eseguiti n. 7 sondaggi a carotaggio continuo, denominati S1, S2, S3, S4, S5 S6 e S7 che hanno raggiunto la profondità rispettivamente di 20,2, 20,0, 30,0, 35,0 20, 29,0 e 20,0 m dal p.c..

Si riporta sinteticamente di seguito la stratigrafia dei suddetti 7 sondaggi eseguiti nell'area di intervento.

Sondaggio S1 (profondità 20,2 m dal p.c.)

Dal piano di campagna verso il basso si ha la seguente successione:

- da 0,0 a 4,0 m: Limi argillosi chiari e marroni;
- da 4,0 a 4,3 m: Argille limose marroni;
- da 4,3 a 4,5 m: Sabbie limose ocra;
- da 4,5 a 6,0 m: Argille limose marroni;
- da 6,0 a 6,5 m: Limi grigi;
- da 6,5 a 7,5 m: Argille limose grigie;
- da 7,5 a 8,8 m: Limi argillosi grigi;
- da 8,8 a 9,8 m: Limi sabbiosi con ghiaie;
- da 9,8 a 11,6 m: Limi sabbiosi grigi;
- da 11,6 a 12,8 m: Limi sabbiosi con ghiaie;
- da 12,8 a 15,5 m: Sabbie limose;
- da 15,5 a 19,5 m: Sabbie e ghiaie;
- da 19,5 a 20,2 m: Sabbie limose grigie e torbe con canne e legno;
- da 20,2 a 23,3 m: Sabbie con limo ghiaiose argillose;
- da 23,3 a 29,1 m: Argille grigie con torba;
- da 29,1 a 30,0 m: Sabbie limose grigie.

Sondaggio S2 (profondità 20,0 m dal p.c.)

Dal piano di campagna verso il basso si ha la seguente successione:

- da 0,0 a 2,0 m: Limi marroni;
- da 2,0 a 2,4 m: Argille limose;
- da 2,4 a 2,6 m: Limi marroni;
- da 2,6 a 4,5 m: Argille limose debolmente torbose;
- da 4,5 a 7,5 m: Argille limose plastiche;
- da 7,5 a 8,8 m: Limi argillosi grigi;
- da 8,8 a 9,8 m: Limi sabbiosi con ghiaie;
- da 9,8 a 11,6 m: Limi sabbiosi grigi;
- da 11,6 a 12,8 m: Limi sabbiosi con ghiaie;
- da 12,8 a 15,5 m: Sabbie limose;
- da 15,5 a 19,5 m: Sabbie e ghiaie;
- da 19,5 a 20,0 m: Sabbie limose grigie.

Sondaggio S3 (profondità 30,0 m dal p.c.)

Dal piano di campagna verso il basso si ha la seguente successione:

- da 0,1 a 0,5 m: Terreno rimaneggiato;
- da 0,5 a 8,5 m: Limi argillosi marroni;
- da 8,5 a 9,7 m: Argille grigie plastiche;
- da 9,7 a 15,8 m: Sabbie grigie con livelli ghiaiosi;

- da 15,8 a 23,5 m: Argille limose beige;
- da 23,5 a 24,0 m: Sabbie grigi fini e pulite;
- da 24,0 a 25,5 m: Sabbie ghiaiose;
- da 25,5 a 26,0 m: Sabbie puliti grigie;
- da 26,0 a 28,7 m: Sabbie e ghiaie;
- da 28,7 a 30,0 m: Argille grigie e marroni.

Sondaggio S4 (profondità 35,0 m dal p.c.)

Dal piano di campagna verso il basso si ha la seguente successione:

- da 0,0 a 5,2 m: Limi marroni;
- da 5,2 a 5,7 m: Limi marroni debolmente torbosi;
- da 5,7 a 6,5 m: Limi argillosi marroni debolmente torbosi;
- da 6,5 a 7,5 m: Argille limose marroni torbose;
- da 7,5 a 7,8 m: Argille limose grigie debolmente torbose;
- da 7,8 a 8,0 m: Argille fortemente limose grigie torbose;
- da 8,0 a 9,0 m: Argille limose marroni torbose;
- da 9,0 a 9,7 m: Sabbie limose sciolte a tratti argillose;
- da 9,7 a 10,0 m: Argille limoso sabbiose plastiche;
- da 10,0 a 11,0 m: Limi argillosi grigi;
- da 11,0 a 11,5 m: Argille debolmente limose grigie plastiche;
- da 11,5 a 12,2 m: Argille limose debolmente torbose plastiche;
- da 12,2 a 12,5 m: Argille grigie plastiche;
- da 12,5 a 14,3 m: Sabbie grigie grossolane;
- da 14,3 a 15,4 m: Sabbie grigie grossolane e ghiaie;
- da 15,4 a 15,8 m: Sabbie fini grigie debolmente torbose;
- da 15,8 a 16,2 m: Sabbie grigie grossolane e ghiaie;
- da 16,2 a 16,6 m: Sabbie fini grigie;
- da 16,6 a 16,9 m: Sabbie grigie grossolane e ghiaie;
- da 16,9 a 18,0 m: Sabbie grigie grossolane debolmente argillose e ghiaiose;
- da 18,0 a 18,2 m: Argille limoso sabbiose grigie;
- da 18,2 a 18,7 m: Sabbie grossolane debolmente argillose grigie e ghiaie;
- da 18,7 a 19,0 m: Sabbie fini grigie;
- da 19,0 a 19,5 m: Limi grigi compatti;
- da 19,5 a 20,0 m: Sabbie grigie e ghiaietto;
- da 20,0 a 21,0 m: Argille limoso sabbiose grigie e ghiaie;
- da 21,0 a 21,6 m: Sabbie grigie e ghiaie;
- da 21,6 a 22,0 m: Sabbie grigie grossolane;
- da 22,0 a 23,4 m: Argille limoso sabbiose grigie e ghiaie;
- da 23,4 a 24,2 m: Sabbie grigie compatte;
- da 24,2 a 25,0 m: Limi sabbiosi consistenti e ghiaie;
- da 25,0 a 26,0 m: Sabbie grigie e ghiaie;

- da 26,0 a 28,0 m: Sabbie grossolane debolmente argillose grigie e ghiaie;
- da 28,0 a 29,0 m: Sabbie grossolane debolmente argillose grigie;
- da 29,0 a 29,2 m: Limi grigi consistenti;
- da 29,2 a 29,5 m: Argille limose marroni torbose;
- da 29,5 a 29,7 m: Sabbie e ghiaie;
- da 29,7 a 30,0 m: Argille limoso sabbiose plastiche;
- da 30,0 a 30,5 m: Argille limose marroni e ghiaietto compatto;
- da 30,5 a 31,5 m: Argille limose marroni compatte;
- da 31,5 a 32,1 m: Argille grigie compatte;
- da 32,1 a 33,5 m: Argille marroni plastiche;
- da 33,5 a 35,0 m: Argille grigie plastiche.

Sondaggio S5 (profondità 20,0 m dal p.c.)

Dal piano di campagna verso il basso si ha la seguente successione:

- da 0,0 a 0,2 m: Terreno rimaneggiato;
- da 0,2 a 8,5 m: Limi argillosi marroni talora sabbiosi e torbosi;
- da 8,5 a 10,2 m: Sabbie grigie;
- da 10,2 a 10,4 m: Sabbie grigie con torbose;
- da 10,4 a 13,0 m: Sabbie grigie;
- da 13,0 a 13,5 m: Sabbie grigie con ghiaie;
- da 13,5 a 15,5 m: Sabbie limose grigie;
- da 15,5 a 15,7 m: Sabbie con ghiaie;
- da 15,7 a 17,0 m: Sabbie;
- da 17,0 a 17,5 m: Argille limose grigio marroni;
- da 17,5 a 20,0 m: Argille limose ocra marroni compatte.

Sondaggio S6 (profondità 29,0 m dal p.c.)

Dal piano di campagna verso il basso si ha la seguente successione:

- da 0,0 a 1,1 m: Limi argillosi e terreno di riporto;
- da 1,1 a 4,5 m: Limi argillosi marroni;
- da 4,5 a 7,7 m: Sabbie limose grigie;
- da 7,7 a 11,0 m: Argille plastiche poco limose marroni grigiastre;
- da 11,0 a 13,0 m: Sabbie limose grigie;
- da 13,0 a 13,6 m: Sabbie grossolane grigie e ghiaie;
- da 13,6 a 14,1 m: Sabbie limose grigie;
- da 14,1 a 15,6 m: Sabbie ghiaiose grigie;
- da 15,6 a 16,0 m: Argille grigie compatte;
- da 16,0 a 16,5 m: Argille ocra compatte;
- da 16,5 a 16,8 m: Ghiaie limoso argillose marroni;
- da 16,8 a 24,5 m: Argille marroni compatte;

- da 24,5 a 25,1 m: Argille grigiastre compatte;
- da 25,1 a 26,4 m: Limi sabbiosi grigio marroni;
- da 26,4 a 27,9 m: Ghiaie limose grigie;
- da 27,9 a 30,0 m: Argille marroni compatte.

Sondaggio S7 (profondità 20,0 m dal p.c.)

Dal piano di campagna verso il basso si ha la seguente successione:

- da 0,0 a 5,7 m: Argille marroni con ossidi di ferro e manganese;
- da 5,7 a 6,0 m: Argille marroni;
- da 6,0 a 7,1 m: Sabbie limose grigie con ghiaie e livelli torbosi;
- da 7,1 a 7,8 m: Limi sabbiosi grigi;
- da 7,8 a 8,0 m: Limi ghiaiosi grigi;
- da 8,0 a 8,7 m: Argille grigie;
- da 8,7 a 9,0 m: Sabbie limose grigie;
- da 9,0 a 15,8 m: Sabbie grigie con ghiaie;
- da 15,8 a 20,0 m: Argille beige marroni con noduli calcarei.

Durante la perforazione sono stati prelevati n. 17 campioni indisturbati con campionatore a pareti sottili della tipologia "Shelby", mentre direttamente dal materiale estruso dal carotiere è stato successivamente eseguito il prelievo di n. 14 campioni di terreno rimaneggiato.

Nella seguente tabella vengono riportate le quote di prelievo:

SONDAGGIO	PROFONDITA' CAMPIONAMENTO (m dal p.c.)	TIPOLOGIA DI CAMPIONE
S1	2,3-2,8	indisturbato
	3,4-4,0	indisturbato
	15,0	rimaneggiato
	20,5	rimaneggiato
S2	4,0-4,5	indisturbato
	5,0-5,5	indisturbato
	7,8	rimaneggiato
	9,8	rimaneggiato
	15,0-15,5	indisturbato
S3	4,0-4,5	indisturbato
	5,7-6,2	indisturbato
	15,5	rimaneggiato
	25,4	rimaneggiato
S4	3,0-3,5	indisturbato
	4,5-5,0	indisturbato
	6,0-6,5	indisturbato
	10,5-11,0	indisturbato
	21,5	rimaneggiato
	24,5-25,0	indisturbato

	27,5	rimaneggiato
S5	2,0-2,5	indisturbato
	3,0-3,5	indisturbato
	10,5	rimaneggiato
	14,5	rimaneggiato
S6	3,0-3,5	indisturbato
	5,0-5,5	indisturbato
	11,5	rimaneggiato
	14,5	rimaneggiato
S7	4,0-4,5	indisturbato
	10,2	rimaneggiato
	14,5	rimaneggiato

Inoltre in avanzamento nel foro sono state eseguite n. 40 prove SPT (Standard Penetration Test).

Nella seguente tabella vengono riportate le specifiche delle prove S.P.T. eseguite durante l'esecuzione del carotaggio e i risultati conseguiti.

SONDAGGIO	PROFONDITA' PROVA (m dal p.c.)	VALORI S.P.T.
S1	4,5	2-5-5
	12,0	2-4-6
	15,0	3-5-9
	19,0	20-22-41
S2	4,5	5-9-15
S3	5,0	4-5-11
	6,3	5-8-13
	10,0	3-6-9
	12,1	2-8-9
	15,0	3-5-9
	20,0	13-18-22
	25,0	6-8-11
	27,0	5-9-13
S4	5,2	5-7-10
	6,5	7-10-13
	9,5	4-6-8
	14,3	3-6-6
	19,0	8-15-25
	25,0	9-18-32
	30,0	9-15-29
	35,0	10-19-35
S5	6,0	4-6-9
	9,0	2-4-6
	12,0	3-4-6
	15,0	2-2-3
	20,0	12-18-23
	4,5	2-4-5
	12,0	6-9-10
	15,0	5-7-11

S6	19,0	12-19-25
	24,0	16-23-30
	29,0	18-25-31
S7	7,2	3-3-3
	11,0	3-4-4
	14,0	4-6-8

1.1.2 ANALISI FISICO MECCANICHE DEI TERRENI

Durante l'esecuzione dei sondaggi sono stati prelevati n. 17 campioni di tipo indisturbato per mezzo di campionatore a pareti sottili tipo Shelby e successivamente n. 14 campioni rimaneggiati direttamente dal materiale estruso dal carotiere.

I campioni prelevati durante l'esecuzione dei sondaggi sono stati sottoposti a specifiche analisi di laboratorio comprensive delle caratteristiche generali del campione e dell'analisi granulometrica.

Le analisi sui campioni indisturbati sono state svolte presso il laboratorio Premac srl di Feroletto Antico (CZ), mentre le analisi sui campioni indisturbati sono state svolte presso il laboratorio Igetecma snc di Montelupo Fiorentino (FI).

Un riassunto per ciascun campione delle indagini eseguite e dei parametri geotecnici che sono stati determinati nel corso delle analisi di laboratorio è riportato nelle seguenti tabelle:

Campioni indisturbati						
Sondaggio	S1	S1	S2	S2	S2	S3
Campione	C1	C2	C1	C2	C3	C1
Profondità	2,3-2,8 m	3,4-4,0 m	4,0-4,5 m	5,0-5,5 m	15,0-15,5 m	4,0-4,5 m
γ	26,23	26,27	26,09	26,05	26,28	25,98
W	22,08	23,12	20,69	24,98	23,6	24,57
A	46,43	42,69	50,52	47,64	49,59	48,86
L	43,96	38,39	43,59	43,02	43,02	42,38
S	9,61	18,92	5,89	9,34	7,39	8,76
G	0	0	0	0	0	0
LL	52,15	51,11	55,12	52,6	51,89	51,69
LP	27,84	22,25	26,19	27,01	26,36	25,22
IP	24,31	28,86	28,93	25,59	25,53	26,47
LR	9,94	7,67	10,07	10,39	10,54	12,01
ϕ CD					25,2	25,8
c CD					34,0	66,8
ϕ TxCU			24,47			
c TxCU			47,24			
TxUU	214,54					

Edo		5,7		7,11		

Campioni indisturbati						
Sondaggio	S3	S4	S4	S4	S4	S4
Campione	C2	C1	C2	C3	C4	C5
Profondità	5,7-6,2 m	3,0-3,5 m	4,5-5,0 m	6,0-6,5 m	10,5-11,0 m	24,5-25,0 m
γ	26,27	26,23	26,2	26,12	26,3	
W	23,12	22,08	21,1	20,69	23,16	18,35
A	41,75	46,43	49,11	49,93	39,55	2,96
L	38,55	43,96	44,35	43,37	40,27	22,49
S	19,7	9,61	6,54	6,71	20,18	60,81
G	0	0	0	0	0	13,74
LL	49,89	52,15	52,13	53,25	47,11	
LP	22,86	27,84	23,8	25,71	27,84	
IP	27,03	24,31	28,33	27,54	19,27	
LR	7,88	9,94	9,15	9,89	7,14	
ϕ CD				25,7		
c CD				36,8		
TxUU	145,66	216,04				
Edo	4,48		17,21			

Campioni indisturbati						
Sondaggio	S5	S5	S6	S6	S7	
Campione	C1	C2	C1	C2	C1	
Profondità	2,0-2,5 m	3,0-3,5 m	3,0-3,5 m	5,0-5,5 m	4,0-4,5 m	
γ	26,09	25,89	25,81	26,36	26,12	
W	20,97	20,82	19,83	23,86	24,59	
A	26,54	41,49	7,23		48,02	
L	24,51	38,31	28,18		43,19	
S	48,95	20,2	64,59		8,79	
G	0	0	0		0	
LL	41,96	50,11	27,45	52,36	51,68	
LP	19,27	24,59	19,62	22,25	25,38	
IP	22,69	25,52	7,83	30,11	26,3	
LR	6,64	8,78	5,45	8,9	10,15	

ϕ CD	27,5		29,9		23,2	
c CD	24,9		15,3		26,2	
ϕ TxCD				25,77		
c TxCD				44,42		
TxUU		163,41				
Edo		5,63		5,16	7,16	

Legenda:

□□ (kN/mc) = peso di volume; w (%) = umidità naturale;

A (%) = argilla; L (%) = limo; S (%) = sabbia; G (%) = ghiaia

LL (%) = limite liquido; LP (%) = limite plastico; IP (%) = indice di plasticità; LR (%) = limite di ritiro

□CD (°) = angolo di attrito da prove di taglio diretto consolidato lento drenato; cCD (kPa) = coesione da prove di taglio diretto consolidato lento drenato;

□TxCD (°) = angolo di attrito da prove triassiali consolidate drenate; cTxCD (kPa) = coesione da prove triassiali consolidate drenate;

□TxCU (°) = angolo di attrito da prove triassiali consolidate non drenate; cTxCU (kPa) = coesione da prove triassiali consolidate non drenate;

TXUU (kPa) = pressione a rottura da prova a compressione triassiale non consolidata non drenata

Edo = modulo edometrico (MPa)

Campioni rimaneggiati						
Sondaggio	S1	S1	S2	S2	S3	S3
Campione	G1	G2	G1	G2	G1	G2
Profondità	15,5 m	20,5 m	7,8 m	9,8 m	15,5 m	25,4 m
γ	18,9	17,2	16,8	20,2	21,0	15,4
W	16,6	17,1	15,3	17,7	18,3	14,6
A	1,9	11,0	6,5	3,4	3,8	4,7
L	15,5	29,7	18,5	27,6	18,6	26,1
S	53,1	39,5	67,2	50,5	48,6	42,0
G	29,5	19,8	7,8	18,5	29,0	27,2
LL	26,0	23,0		23,0	24,0	23,0
LP	22,0	17,0		19,0	19,0	19,0
IP	4,0	6,0		4,0	5,0	4,0

Campioni rimaneggiati						
Sondaggio	S4	S4	S5	S6	S6	S7
Campione	G1	G2	G1	G1	G2	G1
Profondità	21,5 m	27,5 m	10,5 m	11,5 m	14,5 m	25,4 m
γ	18,0	14,6	16,9	15,8	16,3	17,5
W	16,3	14,1	14,9	15,7	16,2	14,7
A	13,3	6,9	2,7	2,5	1,0	7,4
L	21,6	10,3	10,7	10,0	9,3	46,7

S	38,6	78,8	85,3	70,7	48,4	35,2
G	26,6	3,9	1,4	16,8	41,2	10,7
LL	24,0					27,0
LP	18,0					21,0
IP	6,0					6,0

Campioni rimaneggiati	
Sondaggio	S7
Campione	G2
Profondità	14,5 m
γ	17,7
W	15,0
A	12,1
L	34,0
S	29,8
G	24,1
LL	26,0
LP	20,0
IP	6,0

Legenda:

$\square\square$ (kN/mc) = peso di volume; w (%) = umidità naturale;

A (%) = argilla; L (%) = limo; S (%) = sabbia; G (%) = ghiaia

LL (%) = limite liquido; LP (%) = limite plastico; IP (%) = indice di plasticità

1.1.3 PROVE PENETROMETRICHE CPT E DPSH

Nel mese di Aprile 2018 la ditta Pignataro Trivellazioni s.r.l. di Terranova da Sibari (CS) ha eseguito n. 18 prove penetrometriche, della lunghezza ciascuna di 15,0 m dal p.c., di cui n. 14 (prove 1, 2, 4, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 e 18) iniziate come prove penetrometriche statiche (CPT) e approfondite dal punto del rifiuto con modalità dinamica e n. 4 (prove 3, 5, 6 e 9) solo con modalità dinamica (DPSH).

Le prove penetrometriche statiche (CPT) hanno rispettivamente raggiunto le seguenti profondità di infissione:

CPT 1	5,8 m da p.c.
CPT 2	5,6 m da p.c.
CPT 4	6,4 m da p.c.
CPT 7	5,8 m da p.c.
CPT 8	5,4 m da p.c.
CPT 10	6,6 m da p.c.
CPT 11	5,0 m da p.c.
CPT 12	5,0 m da p.c.
CPT 13	6,0 m da p.c.

CPT 14	5,0 m da p.c.
CPT 15	5,0 m da p.c.
CPT 16	5,0 m da p.c.
CPT 17	5,0 m da p.c.
CPT 18	6,0 m da p.c.

I fori delle prove DPSH/CPT 1, 4, 7, 10, 11, 13 e 17 sono stati strumentati con micropiezometria a tubo aperto.

Per tutte le prove è stato utilizzato un Penetrometro Dinamico "Mod. PAGANI TG63-200".

1.1.4 INDAGINI DI SISMICA A RIFRAZIONE DI SUPERFICIE E IN FORO

Nel mese di agosto 2018 la ditta Pignataro Trivellazioni s.r.l. di Terranova da Sibari (CS) ha eseguito n. 3 prospezioni di sismica a rifrazione, n. 1 linea di sismica a rifrazione in onde Sh di tipo Masw e n. 1 prospezione di sismica in foro di tipo down-hole.

L'indagine di sismica a rifrazione in onde Sh di tipo Masw, ha permesso di determinare in modo dettagliato l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio (o onde Sh) in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali o di Rayleigh.

La stesa ha permesso di individuare un primo sismostrato dello spessore di 2,4 m avente un valore di $V_s = 91$ m/s, a cui segue un secondo sismostrato dello spessore di 7,2 m avente un valore di $V_s = 193$ m/s, e un terzo sismostrato, investigato per 21,0 m, con $V_s = 233$ m/s.

Dall'indagine è stato ricavato un valore di $V_{s30} = 183$ m/s riferibile ad una categoria di suolo di fondazione di tipo 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.

L'indagine di sismica in foro di tipo down-hole eseguita nel foro di sondaggio S4 della profondità di 35,0 m, ha permesso la ricostruzione di una sismostratigrafia che vede la successione, partendo dal piano campagna di n. 4 sismostrati di cui il primo sismostrato dello spessore di 6,0 m avente un valore di $V_s = 131,6$ m/s, a cui segue un secondo sismostrato dello spessore di 6,0 m avente un valore di $V_s = 295,6$ m/s, un terzo sismostrato dello spessore di 17,0 m con $V_s = 429,4$ m/s, e un quarto sismostrato, investigato per 6,0 m, con $V_s = 521,9$ m/s.

Dall'indagine è stato ricavato un valore di $V_{s30} = 299,2$ m/s riferibile ad una categoria di suolo di fondazione di tipo 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.

1.1.5 INDAGINI DI SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA (TIPO HVSR)

Nell'agosto 2018 la ditta Pignataro Trivellazioni s.r.l. di Terranova da Sibari (CS) ha anche eseguito una misura di sismica passiva con tecnica a "stazione singola" (HVSR) permettono di determinare la frequenza di risonanza del sito.

La misura effettuata ha rilevato la presenza di un picco di frequenza a 0,97 Hz con $A_0 = 4,05$, che indicherebbe un contrasto di impedenza a profondità superiori ai 50,0 m dal p.c..

1.1.6 MODELLO GEOLOGICO, IDROGEOLOGICO E GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO

In sintesi la configurazione lito-stratigrafica dell'area di intervento è rappresentata, muovendo dall'alto verso il basso, dalla seguente successione di terreni:

- Depositi alluvionali costituiti da limi sabbiosi e limi argillosi con spessori compresi tra 5,0 e 6,0m. A questi depositi è possibile attribuire i seguenti parametri geotecnici

Numero colpi medio (Nspt)	Nspt = 2
Peso unità di volume	$\gamma = 18,0 \text{ kN/mc}$
Peso unità di volume saturo	$\gamma_{\text{sat}} = 20,29 \text{ kN/mc}$

- Depositi alluvionali costituiti da sabbia limoso argillosa con spessori compresi tra 8,0 e 10,0m. A questi depositi è possibile attribuire i seguenti parametri geotecnici

Numero colpi medio (Nspt)	Nspt = 24
Peso unità di volume	$\gamma = 18,4 \text{ kN/mc}$
Peso unità di volume saturo	$\gamma_{\text{sat}} = 20,3 \text{ kN/mc}$

- Depositi alluvionali costituiti da sabbia limoso ghiaiosa con intercalazioni di argilla con ghiaia sabbiosa.

A questi depositi è possibile attribuire i seguenti parametri geotecnici

Numero colpi medio (Nspt)	Nspt = 33
Peso unità di volume	$\gamma = 18,7 \text{ kN/mc}$
Peso unità di volume saturo	$\gamma_{\text{sat}} = 20,6 \text{ kN/mc}$

Da un punto di vista idrogeologico la configurazione che caratterizza il sito di intervento vede sostanzialmente la prevalenza di depositi con permeabilità media di tipo primario che permettono la formazione di acquiferi di estensione variabile e/o lenticolare. In corrispondenza di spessori costituiti da litologie francamente sabbiose e/o macroclastitiche si hanno caratteristiche di acquifero ad elevata permeabilità e a buona capacità di ricarica. Mentre in corrispondenza dei livelli francamente argilloso limosi, limoso sabbiosi e/o limoso argillosi si hanno permeabilità da medie a scarse. Tuttavia queste litologie possono essere sede di adunamento di acque per saturazione dei livelli superficiali a seguito di periodi piovosi.

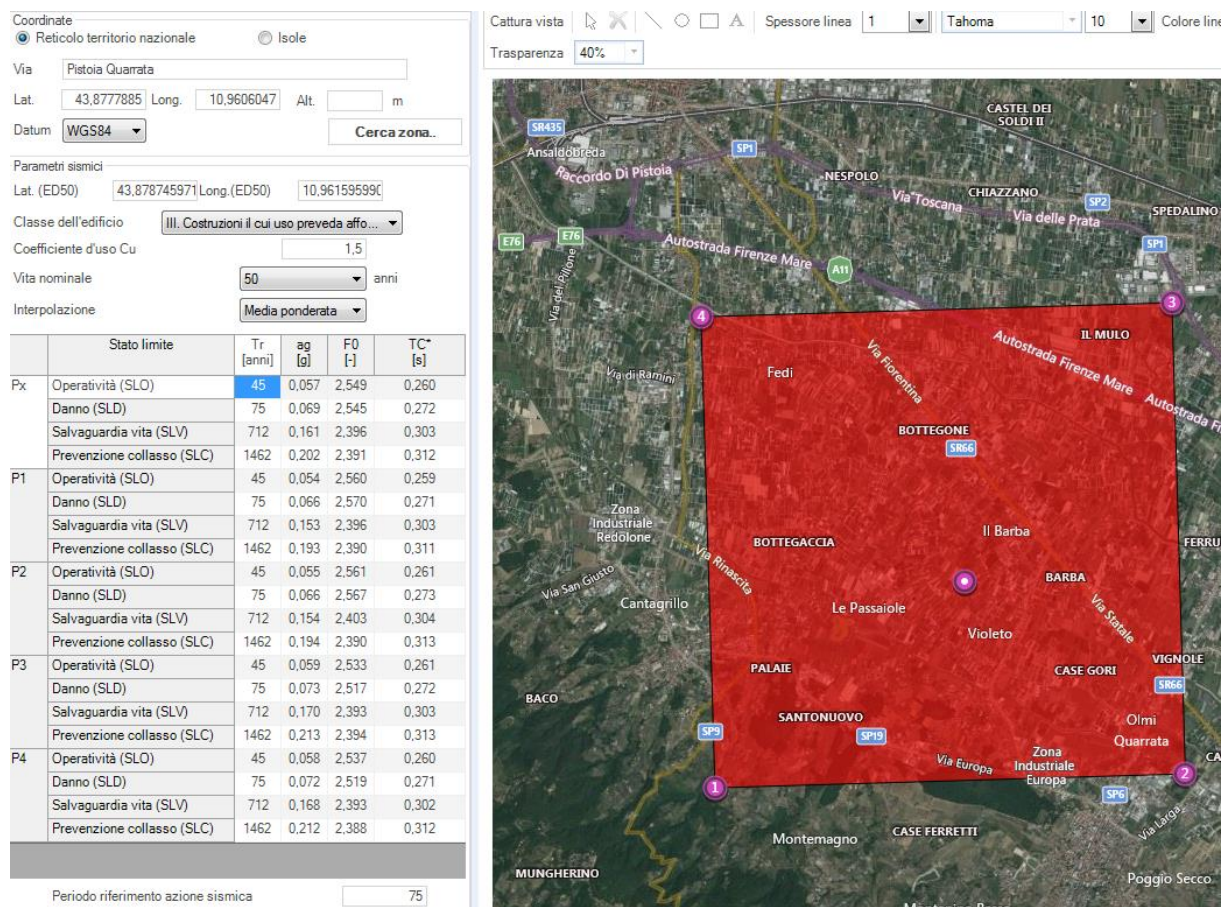
Da un punto di vista piezometrico il monitoraggio condotto nelle postazioni strumentate nei fori di sondaggio ha registrato le seguenti soggiacenze:

- Sondaggio S1:	-7,67 m da p.c. (02/07/2018)
	-10,20 m da p.c. (22/10/2019)
- Sondaggio S2:	-6,49 m da p.c. (02/07/2018)
- Sondaggio S3:	-9,10 m da p.c. (22/10/2019)
- Sondaggio S4:	-13,00 m da p.c. (22/10/2019)
- Sondaggio S5:	-6,14 m da p.c. (02/07/2018)
	-8,40 m da p.c. (22/10/2019)
- Sondaggio S6:	-8,58 m da p.c. (02/07/2018)
	-11,30 m da p.c. (22/10/2019)

Pertanto nel complesso, sulla scorta dei dati piezometrici acquisiti, è ipotizzabile cautelativamente un livello di soggiacenza della falda a circa 6,0 m dal p.c..

2. ANALISI SISMICA DEL SITO DI INTERVENTO

Pericolosità sismica



PREMESSA

Per valutare se un'opera strutturale è sicura bisogna far riferimento a degli stati limite, che possono verificarsi durante un determinato periodo di riferimento della stessa opera. Quindi per poter stimare l'azione sismica che dovrà essere utilizzata nelle verifiche agli stati limite o nella progettazione, bisognerà stabilire:

- in primo luogo la vita nominale dell'opera, che congiuntamente alla classe d'uso, permette di determinare il periodo di riferimento;
- una volta definito il periodo di riferimento e i diversi stati limite da considerare, dopo aver definito le relative probabilità di superamento è possibile stabilire il periodo di ritorno associato a ciascun stato limite;
- a questo punto è possibile definire la pericolosità sismica di base per il sito interessato alla realizzazione dell'opera, facendo riferimento agli studi condotti sul territorio nazionale dal Gruppo di Lavoro 2004 nell'ambito della convenzione-progetto S1 DPC-INGV 2004-2006 e i cui risultati sono stati promulgati mediante l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri (OPCM) 3519/2006.

VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO

Nel DM 17 gennaio 2018-Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» il periodo di riferimento, che non può essere inferiore a 35 anni, è dato dalla seguente relazione:

$$\mathbf{Y}_R = \mathbf{Y}_N \mathbf{G}_U(2).$$

dove:

V_R = periodo di riferimento

V_N = vita nominale

C_U = coefficiente d'uso

La vita nominale di un'opera strutturale V_N , secondo le NTC 2018, è definita 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 e viene definita attraverso tre diversi valori, a seconda dell'importanza dell'opera e perciò delle esigenze di durabilità.

I valori minimi di V_N da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella Tab. 2.1. Tali valori possono essere anche impiegati per definire le azioni dipendenti dal tempo.

Tab. 2.1 – Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Nel caso specifico $V_N = 50$ anni.

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso. Le NTC 2018 prevedono quattro classi d'uso a ciascuna delle quali è associato un valore del coefficiente d'uso:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli. $C_{11} = 0.7$;

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. $C_U = 1.0$;

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. $C_U = 1.5$;

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. $C_U = 2.0$;

Nel caso in esame viene presa in considerazione la classe d'uso III a cui è associato il coefficiente d'uso $C_U = 1.5$.

Ricavati i valori di V_N e C_U , è possibile calcolare il periodo di riferimento V_R , che qui vale:

$$V_R = 50 * 1.5 = 75 \text{ anni.}$$

STATI LIMITE, PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO E PERIODO DI RITORNO

Le NTC 2018 prendono in considerazione 4 possibili stati limite (SL) individuati facendo riferimento alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti: due sono stati limite di esercizio (SLE) e due sono stati limite ultimi (SLU). Uno stato limite è una condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per la quale è stata progettata.

Più in particolare le opere e le varie tipologie strutturali devono essere dotate di capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio (sicurezza nei confronti di SLE) e di capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e di dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone o comportare la perdita di beni, oppure provocare gravi danni ambientali e sociali, oppure mettere fuori servizio l'opera (sicurezza nei confronti di SLU).

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.

Ad ogni stato limite è associata una probabilità di superamento P_{VR} (Tabella 3.1), ovvero la probabilità che, nel periodo di riferimento V_R , si verifichi almeno un evento sismico ($n \geq 1$) di a_g prefissata (a_g = accelerazione orizzontale massima del suolo) avente frequenza media annua di ricorrenza $\lambda = 1/T_R$ (T_R = periodo di ritorno).

Tabella 3.1- Stati limite e rispettive probabilità di superamento, nel periodo di riferimento V_R

Stato limite di esercizio: operatività	SLO	$P_{VR} = 81\%$
Stato limite di esercizio: danno	SLD	$P_{VR} = 63\%$
Stati limite ultimo: salvaguardia della vita	SLV	$P_{VR} = 10\%$
Stati limite ultimo: di prevenzione del collasso	SLC	$P_{VR} = 5\%$

Fissati V_R e P_{VR} associata ad ogni stato limite, è possibile calcolare il periodo di ritorno dell'azione sismica T_R , espresso in anni, mediante l'espressione:

$$T_R = \frac{V_R}{1 - P_{VR}} (3)$$

Tale relazione tra P_{VR} (probabilità) e T_R (statistica) risulta biunivoca poiché utilizza la distribuzione discreta Poissoniana.

Poiché è $V_R = 75$ anni, il tempo di ritorno T_R sarà:

Tabella 3.2- Stati limite e rispettivi tempi di ritorno, nel periodo di riferimento V_R

Stato limite di esercizio: operatività	SLO	$T_R = 45$
Stato limite di esercizio: danno	SLD	$T_R = 75$
Stati limite ultimo: salvaguardia della vita	SLV	$T_R = 712$
Stati limite ultimo: di prevenzione del collasso	SLC	$T_R = 1462$

DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

La pericolosità sismica di base, cioè le caratteristiche del moto sismico atteso al sito di interesse, nelle NTC 2018, per una determinata probabilità di superamento, si può ritenere definita quando vengono designati un'accelerazione orizzontale massima (a_g) ed il corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione, riferiti ad un suolo rigido e ad una superficie topografica orizzontale.

Per poter definire la pericolosità sismica di base le NTC 2018 si rifanno ad una procedura basata sui risultati disponibili anche sul sito web dell'INGV <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>, nella sezione "Mappe interattive della pericolosità sismica".

Secondo le NTC 2018 le forme spettrali sono definite per 9 differenti periodi di ritorno T_R (30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975 e 2475 anni) a partire dai valori dei seguenti parametri riferiti a terreno rigido orizzontale, cioè valutati in condizioni ideali di sito, definiti nell'Allegato A alle NTC08:

a_g = accelerazione orizzontale massima;

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.

I tre parametri si ricavano per il 50° percentile ed attribuendo a:

a_g , il valore previsto dalla pericolosità sismica S1

F_o e T_C^* i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC08 scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica S1 (il minimo è ottenuto ai minimi quadrati, su valori normalizzati).

I valori di questi parametri vengono forniti in tabella (Tabella 4.1), contenuta nell'Allegato B delle NTC08 (a cui le NTC 2018 fanno riferimento), per i 10751 punti di un reticolo di riferimento in cui è suddiviso il territorio nazionale, identificati dalle coordinate geografiche longitudine e latitudine.

Tabella 4.1- Stralcio della tabella contenuta nell'Allegato B delle NTC08, che fornisce i 3 parametri di pericolosità sismica, per diversi periodi di ritorno e per ogni nodo del reticolo che viene identificato da un ID e dalle coordinate geografiche.

$T_R = 30$	$T_R = 50$	$T_R = 72$
------------	------------	------------

ID	LON	LAT	a _g	F ₀	T _c [*]	a _g	F ₀	T _c [*]	a _g	F ₀	T _c [*]	a _g	F ₀	T _c [*]
13111	6.5448	45.1340	0.263	2.500	0.180	0.340	2.510	0.210	0.394	2.550	0.220	0.469	2.490	0.240
13333	6.5506	45.0850	0.264	2.490	0.180	0.341	2.510	0.210	0.395	2.550	0.220	0.469	2.490	0.240
13555	6.5564	45.0350	0.264	2.500	0.180	0.340	2.510	0.200	0.393	2.550	0.220	0.466	2.500	0.240
13777	6.5621	44.9850	0.263	2.500	0.180	0.338	2.520	0.200	0.391	2.550	0.220	0.462	2.510	0.240
12890	6.6096	45.1880	0.284	2.460	0.190	0.364	2.510	0.210	0.431	2.500	0.220	0.509	2.480	0.240
13112	6.6153	45.1390	0.286	2.460	0.190	0.366	2.510	0.210	0.433	2.500	0.220	0.511	2.480	0.240
13334	6.6210	45.0890	0.288	2.460	0.190	0.367	2.510	0.210	0.434	2.500	0.220	0.511	2.490	0.240
13556	6.6268	45.0390	0.288	2.460	0.190	0.367	2.510	0.210	0.433	2.510	0.220	0.510	2.490	0.240
13778	6.6325	44.9890	0.288	2.460	0.190	0.366	2.520	0.210	0.430	2.510	0.220	0.507	2.500	0.240
14000	6.6383	44.9390	0.286	2.470	0.190	0.363	2.520	0.210	0.426	2.520	0.220	0.502	2.500	0.240
14222	6.6439	44.8890	0.284	2.470	0.190	0.360	2.530	0.210	0.421	2.530	0.220	0.497	2.500	0.240
12891	6.6803	45.1920	0.306	2.430	0.200	0.389	2.500	0.210	0.467	2.470	0.230	0.544	2.490	0.230
10228	6.6826	45.7940	0.283	2.420	0.200	0.364	2.460	0.220	0.430	2.460	0.240	0.505	2.440	0.250
13113	6.6860	45.1430	0.309	2.430	0.200	0.391	2.510	0.210	0.470	2.470	0.230	0.546	2.490	0.230
10450	6.6885	45.7450	0.278	2.440	0.200	0.356	2.480	0.220	0.415	2.500	0.230	0.485	2.470	0.250
13335	6.6915	45.0930	0.310	2.430	0.200	0.392	2.510	0.210	0.470	2.480	0.230	0.546	2.500	0.230
10672	6.6942	45.6950	0.275	2.450	0.200	0.351	2.490	0.210	0.406	2.520	0.230	0.475	2.490	0.250
13557	6.6973	45.0430	0.311	2.440	0.200	0.392	2.520	0.210	0.469	2.480	0.230	0.545	2.500	0.230
13779	6.7029	44.9930	0.310	2.440	0.200	0.391	2.520	0.210	0.467	2.480	0.230	0.543	2.500	0.230

Qualora la pericolosità sismica del sito sul reticolo di riferimento non consideri il periodo di ritorno T_R corrispondente alla V_R e P_{VR} fissate, il valore del generico parametro p ad esso corrispondente potrà essere ricavato per interpolazione (Figura 4.1), a partire dai dati relativi ai tempi di ritorno previsti nella pericolosità di base, utilizzando la seguente espressione dell'Allegato A alle NTC08:

$$p = \frac{p_1 (T_R - T_{R1}) + p_2 (T_{R2} - T_R)}{T_{R2} - T_{R1}}$$

nella quale p è il valore del parametro di interesse (a_g , F_0 , T_C^*) corrispondente al periodo di ritorno T_R desiderato, mentre $p_{1,2}$ è il valore di tale parametro corrispondente al periodo di ritorno $T_{R1,2}$.

Per un qualunque punto del territorio non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri p 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 l'espressione dell'Allegato A alle NTC08:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}} \quad (4.2)$$

nella quale p è il valore del parametro di interesse (a_g, F_o, T_C^*) corrispondente al punto considerato, p_i è il valore di tale parametro nell' i -esimo vertice della maglia elementare contenente il punto in esame e d_i è la distanza del punto in esame dall' i -esimo vertice della suddetta maglia.

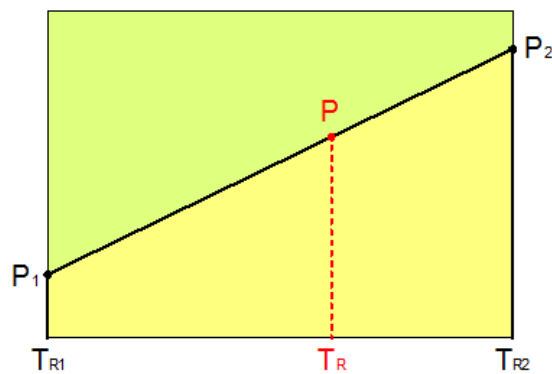


Figura 4.1 - Interpolazione dei periodi di ritorno, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC08.

La procedura per interpolare le coordinate geografiche è schematizzata nella Figura 4.2

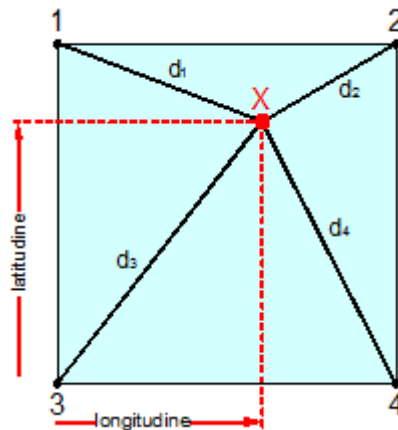


Figura 4.2 - Interpolazione delle coordinate geografiche, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC08.

Pertanto per poter procedere all'interpolazione delle coordinate geografiche, in accordo alla procedura delle NTC08, bisogna calcolare le distanze che intercorrono tra i 4 punti del reticolo e il punto di interesse. Questo calcolo può essere eseguito approssimativamente utilizzando le formule della trigonometria sferica, che danno la distanza geodetica tra due punti, di cui siano note le coordinate geografiche. Utilizzando quindi il teorema di Eulero, la distanza d tra due punti, di cui siano note latitudine e longitudine, espresse però in radianti, si ottiene dall'espressione seguente:



dove $R = 6371$ è il raggio medio terrestre in km, mentre lat_α , lon_α , lat_β e lon_β sono la latitudine e la longitudine, espresse in radianti, di due punti A e B di cui si vuole calcolare la distanza.

La formula di interpolazione sopra proposta, semplice da usare, presenta però l'inconveniente di condurre a valori di pericolosità lievemente diversi per punti affacciati ma appartenenti a maglie contigue. La modestia delle differenze (scostamenti in termini di PGA dell'ordine di $\pm 0,01g$ ossia della precisione dei dati) a fronte della semplicità d'uso, rende tale stato di cose assolutamente accettabile.

Qualora si vogliano rappresentazioni continue della funzione interpolata, si dovrà ricorrere a metodi di interpolazione più complessi, ad esempio i polinomi di Lagrange.

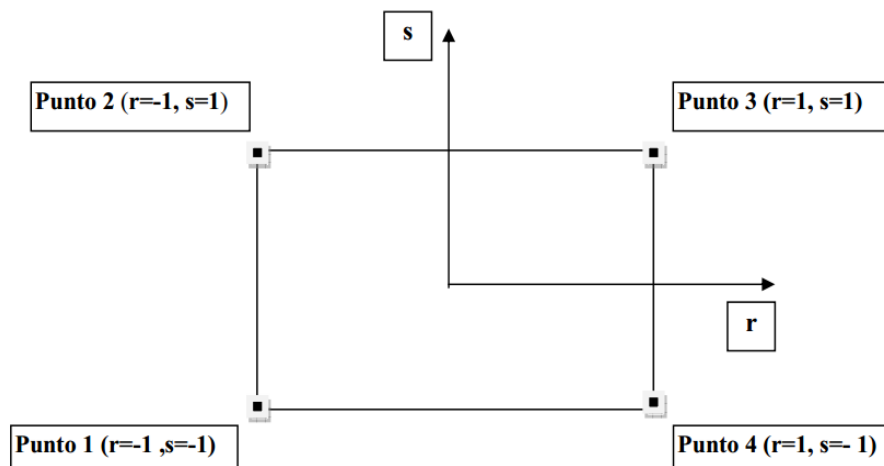


Figura 4.3 - Applicazione dell'interpolazione bilineare.

Definiti i 4 vertici di una generica maglia i polinomi di Lagrange sono così determinati:

$$h_1(r,s) = \frac{1}{4}(1-r)(1-s)$$

$$h_2(r,s) = \frac{1}{4}(1-r)(1+s)$$

$$h_3(r,s) = \frac{1}{4}(1+r)(1-s)$$

$$h_4(r,s) = \frac{1}{4}(1+r)(1+s)$$

Tra le coordinate x, y di un punto generico e le coordinate r, s dello stesso punto valgono le seguenti relazioni:

$$\begin{aligned} x &= R \cos(\text{lon}_\alpha) \sin(\text{lat}_\alpha) + R \cos(\text{lon}_\beta) \sin(\text{lat}_\beta) \\ y &= R \sin(\text{lon}_\alpha) \sin(\text{lat}_\alpha) + R \sin(\text{lon}_\beta) \sin(\text{lat}_\beta) \end{aligned}$$

La soluzione del sistema di equazioni non lineari è ottenuta iterativamente e, tramite i valori di r ed s , si determinano i parametri a_g , F_0 , T_c^* dall'equazione:



Dove p rappresenta il parametro cercato.

PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO

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

Coefficienti sismici

I coefficienti sismici orizzontale k_h e verticale k_v dipendono del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi e del tipo di opera da calcolare. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno (T_R) dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$T_R = \frac{V_R}{1 + (V_R)^2} \quad (5)$$

Con V_R vita di riferimento della costruzione e PVR probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso V_R non può essere inferiore a 35 anni.

Stabilità dei pendii e fondazioni

Nel caso di stabilità dei pendii i coefficienti k_h e k_v sono così determinati:

$$k_h = \beta_s \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \quad (5)$$

$$k_v = 0.5 \cdot k_h \quad (5)$$

Con

β_s coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

a_{max} accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g accelerazione di gravità.

I valori di β_s sono riportati nella tabella 5.1.

Tabella 5.1- Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_s	β_s
$0.2 < a_g(g) \leq 0.4$	0.30	0.28
$0.1 < a_g(g) \leq 0.2$	0.27	0.24
$a_g(g) \leq 0.1$	0.20	0.20

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa al sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{max} = S_s S_T a_g(5)$$

S_s (effetto di amplificazione stratigrafica) ($0.90 \leq S_s \leq 1.80$) è funzione di F_0 (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E). e del rapporto a_g/g . S_T (effetto di amplificazione topografica), varia con il variare delle quattro categorie topografiche:

T1: $S_T = 1.0$; T2: $S_T = 1.20$; T3: $S_T = 1.20$; T4: $S_T = 1.40$.

Fronti scavo e rilevati

Il comportamento in condizioni sismiche dei fronti di scavo e dei rilevati può essere analizzato con gli stessi metodi impiegati per i pendii naturali; specificamente mediante metodi pseudostatici, metodi degli spostamenti e metodi avanzati di analisi dinamica.

Nei metodi pseudostatici l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso W del volume di terreno potenzialmente instabile. Le componenti orizzontale e verticale di tale forza devono essere ricavate in funzione delle proprietà del moto atteso nel volume di terreno potenzialmente instabile e della capacità di tale volume di subire spostamenti senza significative riduzioni di resistenza.

In mancanza di studi specifici, le componenti orizzontale e verticale della forza statica equivalente possono esprimersi come

$$F_h = k_h \cdot W \text{ ed } F_v = k_v \cdot W$$

con k_h e k_v rispettivamente pari ai coefficienti sismici orizzontale e verticale definiti nel § 7.11.3.5.2 e adottando i seguenti valori del coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito:

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

$\beta_s = 0.47$ nelle verifiche dello stato limite di esercizio (SLD).

Nelle verifiche di sicurezza si deve controllare che la resistenza del sistema sia maggiore delle azioni (condizione [6.2.1]) impiegando lo stesso approccio di cui al § 6.8.2 per le opere di materiali sciolti e fronti di scavo, ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici (§ 7.11.1) e impiegando le resistenze di progetto calcolate con un coefficiente parziale pari a $\gamma_R = 1.2$.

Si deve inoltre tener conto della presenza di manufatti interagenti con l'opera.

Muri di sostegno

Per i muri di sostegno pendii i coefficienti k_h e k_v sono così determinati:

$$k_h = \beta_m \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \quad (5)$$

$$k_v = 0.5 \cdot k_h \quad (5)$$

Con:

β_m coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito, per i muri che non siano in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno assume valore unitario altrimenti assume i valori riportati di seguito.

$\beta_m = 0.38$ nelle verifiche allo stato limite ultimo (SLV)

$\beta_m = 0.47$ nelle verifiche allo stato limite di esercizio (SLD).

I valori del coefficiente β_m possono essere incrementati in ragione di particolari caratteristiche prestazionali del muro, prendendo a riferimento il diagramma di in Figura 5.2.

a_{max} accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g accelerazione di gravità.

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{max} = S \cdot S_a \quad (5)$$

S_T S è il coefficiente comprendente l'effetto di amplificazione stratigrafica S_s e di amplificazione topografica
 a_g accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

Paratie

In mancanza di studi specifici, a_h (accelerazione orizzontale) può essere legata all'accelerazione di picco a_{max} attesa nel volume di terreno significativo per l'opera mediante la relazione:

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

dove:

g è l'accelerazione di gravità;

k_h è il coefficiente sismico in direzione orizzontale;

$\alpha \leq 1$ è un coefficiente che tiene conto della deformabilità dei terreni interagenti con l'opera. Può essere ricavato a partire dall'altezza complessiva H della paratia e dalla categoria di sottosuolo mediante il diagramma in Figura 5.1:

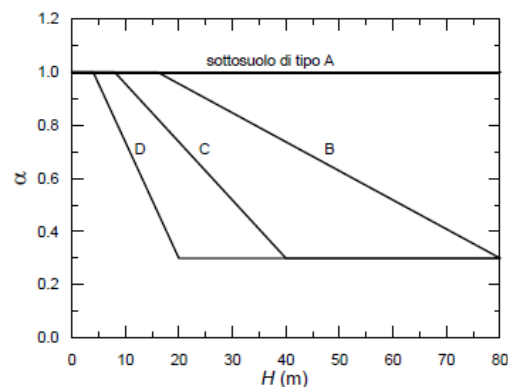


Figura 5.1 - Diagramma per la valutazione del coefficiente di deformabilità α .

Per il sottosuolo di categoria E si utilizzano le curve dei sottosuoli C o D in dipendenza dei valori assunti dalla velocità equivalente V_s . Per la valutazione della spinta nelle condizioni di equilibrio limite passivo deve porsi $\alpha = 1$.

Il valore del coefficiente β può essere ricavato dal diagramma riportato in Figura 5.2, in funzione del massimo spostamento u_s che l'opera può tollerare senza riduzioni di resistenza.

Per $u_s = 0$ si ha $\beta = 1$; $u_s \leq 0.005H$

Se $\alpha \cdot \beta \leq 0.2$ deve assumersi $k_h = 0.2 a_{max} / g$

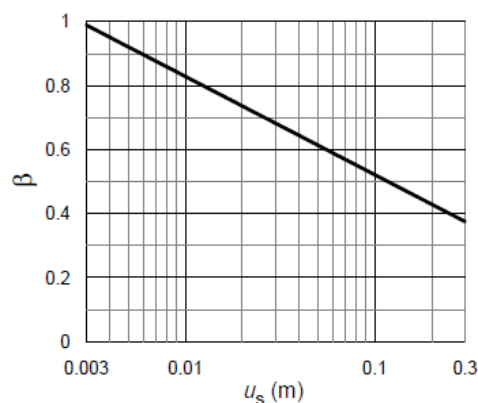


Figura 5.2 - Diagramma per la valutazione del coefficiente di spostamento β .

L'accelerazione di picco a_{\max} è valutata mediante un'analisi di risposta sismica locale, ovvero come

$$a_{\max} = S_s \cdot S_T \cdot a_g(5)$$

dove:

S è il coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica (S_s) e dell'amplificazione topografica (S_T), di cui al § 3.2.3.2;

a_g è l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

2.1 PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

Vita nominale (V_n): 50 [anni]
 Classe d'uso: III
 Coefficiente d'uso (C_u): 1,5
 Periodo di riferimento (V_r): 75 [anni]

Periodo di ritorno (T_r) SLO: 45 [anni]
 Periodo di ritorno (T_r) SLD: 75 [anni]
 Periodo di ritorno (T_r) SLV: 712 [anni]
 Periodo di ritorno (T_r) SLC: 1462 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Coordinate geografiche del punto

Latitudine (WGS84): 43,8777885 [°]
 Longitudine (WGS84): 10,9606047 [°]
 Latitudine (ED50): 43,8787460 [°]
 Longitudine (ED50): 10,9615955 [°]

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

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	19610	43,856860	10,924830	3822,28
2	19611	43,858350	10,994110	3455,11
3	19389	43,908330	10,992120	4099,15
4	19388	43,906830	10,922770	4407,99

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

Punto 1

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
	30	0,047	2,532	0,247
SLO	45	0,054	2,560	0,259
	50	0,057	2,568	0,262
	72	0,065	2,571	0,270
SLD	75	0,066	2,570	0,271
	101	0,073	2,567	0,277
	140	0,082	2,576	0,282
	201	0,096	2,502	0,288
	475	0,133	2,421	0,296
SLV	712	0,153	2,396	0,303
	975	0,171	2,376	0,307
SLC	1462	0,193	2,390	0,311
	2475	0,226	2,407	0,316

Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
	30	0,047	2,533	0,249
SLO	45	0,055	2,561	0,261
	50	0,057	2,568	0,264
	72	0,065	2,567	0,272
SLD	75	0,066	2,567	0,273
	101	0,074	2,567	0,278
	140	0,083	2,572	0,283
	201	0,096	2,509	0,289
	475	0,134	2,435	0,297
SLV	712	0,154	2,403	0,304
	975	0,172	2,379	0,309
SLC	1462	0,194	2,390	0,313
	2475	0,228	2,404	0,318

Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
	30	0,051	2,513	0,249
SLO	45	0,059	2,533	0,261
	50	0,062	2,539	0,265
	72	0,072	2,516	0,272

SLD	75	0,073	2,517	0,272
	101	0,081	2,527	0,277
	140	0,092	2,507	0,282
	201	0,110	2,425	0,285
	475	0,149	2,404	0,296
SLV	712	0,170	2,393	0,303
	975	0,189	2,384	0,309
SLC	1462	0,213	2,394	0,313
	2475	0,250	2,408	0,318

Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
	30	0,050	2,512	0,247
SLO	45	0,058	2,537	0,260
	50	0,061	2,543	0,264
	72	0,071	2,517	0,271
SLD	75	0,072	2,519	0,271
	101	0,080	2,533	0,276
	140	0,091	2,509	0,282
	201	0,109	2,431	0,284
	475	0,146	2,410	0,296
SLV	712	0,168	2,393	0,302
	975	0,187	2,380	0,308
SLC	1462	0,212	2,388	0,312
	2475	0,248	2,400	0,317

Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	45	0,057	2,549	0,260
SLD	75	0,069	2,545	0,272
SLV	712	0,161	2,396	0,303
SLC	1462	0,202	2,391	0,312

2.2 PERICOLOSITA' SISMICA DI SITO

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ : 5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$: 1,000

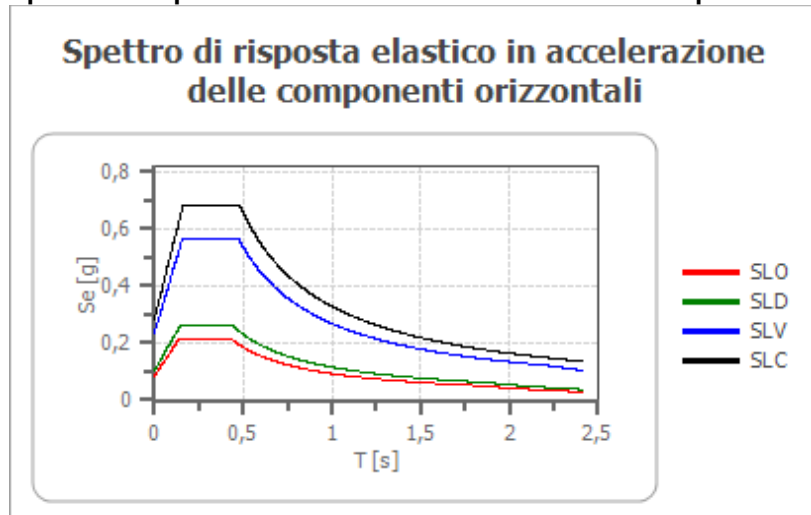
Categoria sottosuolo: C

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

Stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,017	0,021	0,057	0,080
kv	0,008	0,010	0,028	0,040
amax [m/s ²]	0,833	1,014	2,318	2,798
Beta	0,200	0,200	0,240	0,280

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

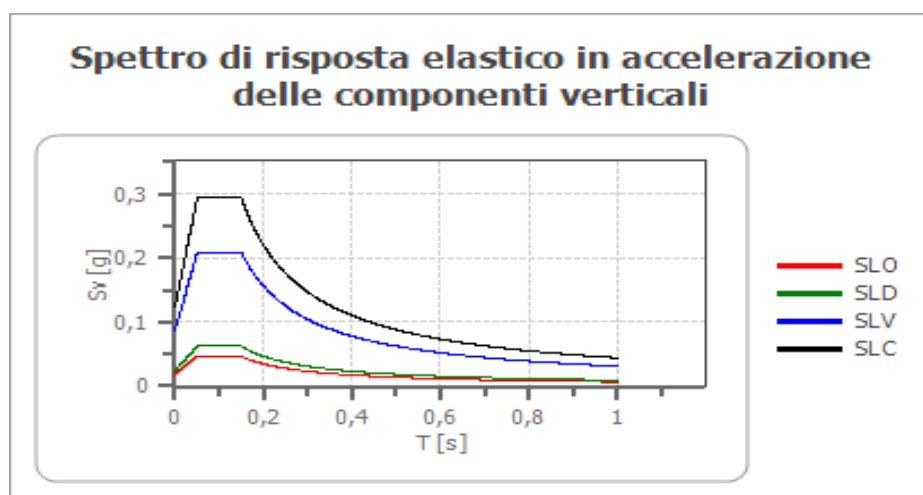


	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,5	0,057	2,549	0,260	1,500	1,640	1,000	1,500	1,000	0,142	0,427	1,826	0,085	0,216
SLD	1,5	0,069	2,545	0,272	1,500	1,610	1,000	1,500	1,000	0,146	0,438	1,876	0,103	0,263
SLV	1,5	0,161	2,396	0,303	1,470	1,560	1,000	1,470	1,000	0,158	0,473	2,243	0,236	0,566
SLC	1,5	0,202	2,391	0,312	1,410	1,540	1,000	1,410	1,000	0,160	0,481	2,409	0,285	0,682

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ : 5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta = [10/(5 + \xi)]^{(1/2)}$: 1,000



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,5	0,057	2,549	0,260	1	1,640	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,018	0,046
SLD	1,5	0,069	2,545	0,272	1	1,610	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,024	0,062
SLV	1,5	0,161	2,396	0,303	1	1,560	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,087	0,209
SLC	1,5	0,202	2,391	0,312	1	1,540	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,123	0,294

3. VERIFICA DI SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE

Finn & Cortè (1985)

Gli autori propongono due metodi diversi per calcolare il Rapporto di Resistenza Ciclica CRR, mentre il Rapporto di Tensione Ciclica CSR si calcola dalla seguente espressione:

$$\frac{CSR}{\sigma'_v} = \frac{CRR}{\sigma'_v} \cdot \frac{1}{r_d}$$

è valida per eventi sismici di magnitudo 7,5. Per magnitudo diverse bisogna dividere il Rapporto di Tensione Ciclica per il fattore correttivo MSF (*Magnitude Scaling Factor*):

$$\frac{CSR}{MSF}$$

Per determinare il valore del coefficiente riduttivo r_d viene utilizzata la formula empirica proposta da Iwasaki et alii (1978):

$$r_d = 1 - 0,01$$

mentre per il fattore correttivo MSF si fa riferimento ai valori riportati in Tabella 1 ricavati da diversi ricercatori, tra cui Seed H. B. e Idriss I. M (1982).

Tabella 1- *Fattore di scala della magnitudo derivato da diversi ricercatori*

Magnitudo	Seed H.B. & Idriss I.M. (1982)	Ambraseys N.N (1988).	NCEER (Seed R. B. et alii) (1997; 2003)
5,5	1,43	2,86	2,21
6,0	1,32	2,20	1,77
6,5	1,19	1,69	1,44
7,0	1,08	1,30	1,19
7,5	1,00	1,00	1,00
8,0	0,94	0,67	0,84
8,5	0,89	0,44	0,73

Per il calcolo del Rapporto di Resistenza Ciclica CRR, Finn propose una relazione in cui le variabili indipendenti sono la magnitudo M e il numero dei colpi corretto della prova penetrometrica standard SPT $N_{1,60}$:

$$CRR = \frac{N_{1,60}}{12,9}$$

Cortè propose invece la seguente espressione:

- per terreni con $0,04 \text{ mm} \leq D_{50} \leq 0,6$

$$C_{RN} = \left[\frac{N}{\gamma_{\text{so}} \cdot \gamma_{\text{so}} \cdot \gamma_{\text{so}}} \right]^{0,5}$$

- per terreni con $0,6 \text{ mm} \leq D_{50} \leq 1,5$

$$C_{RN} = \left[\frac{N}{\gamma_{\text{so}} \cdot \gamma_{\text{so}} \cdot \gamma_{\text{so}}} \right]^{0,5}$$

Il coefficiente A assume valori che variano fra 0,50 e 0,66, a seconda della magnitudo del sisma e del numero di cicli equivalenti che variano a loro volta fra 5 e 20.

VERIFICA: Prova Penetrometrica 13

DATI GENERALI

Normativa: Norme Tecniche Costruzioni 2018, Circolare cslp, febbraio 2019, n.7

Fattore sicurezza normativa 1,25

FALDA

Profondità falda idrica 6 m

DATI SIMICI

Accelerazione Bedrock 0,15

Fattore amplificazione 2,418

Tipo Suolo: C-Sabbie, ghiaie mediamente addensate, argille di media consistenza Vs30=180-360

Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS) 1,5

Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1

Magnitudo momento sismico (Mw) 6

Distanza epicentro 10 Km

Peak ground acceleration (PGA) 0,225

PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Descrizione	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unità volume (KN/mc)	Peso unità volume saturato (KN/mc)	Numero colpi medio (Nspt)
1	Limi sabbiosi	0	5,8	18	20,29	2
2	Sabbia limosa argillosa	5,8	14	18,4	20,3	24
3	Sabbia limosa ghiaiosa	14	15	18,7	20,6	33

Finn (1985)

Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Suscettibilità di liquefazione
6,20	112,140	110,179	0,907	0,363	0,135	2,69	Terreno non suscettibile di liquefazione
6,40	116,200	112,277	0,904	0,358	0,137	2,62	Terreno non suscettibile di liquefazione
6,60	120,260	114,376	0,901	0,354	0,139	2,56	Terreno non suscettibile di liquefazione
6,80	124,320	116,475	0,898	0,350	0,140	2,50	Terreno non suscettibile di liquefazione
7,00	128,380	118,573	0,895	0,346	0,142	2,44	Terreno non suscettibile di liquefazione
7,20	132,440	120,672	0,892	0,343	0,143	2,39	Terreno non suscettibile di liquefazione
7,40	136,500	122,771	0,889	0,339	0,145	2,34	Terreno non suscettibile di liquefazione
7,60	140,560	124,869	0,886	0,335	0,146	2,30	Terreno non suscettibile di liquefazione
7,80	144,620	126,968	0,883	0,332	0,147	2,25	Terreno non suscettibile di liquefazione
8,00	148,680	129,067	0,880	0,328	0,148	2,21	Terreno non suscettibile di liquefazione
8,20	152,740	131,165	0,877	0,325	0,149	2,17	Terreno non suscettibile di liquefazione
8,40	156,800	133,264	0,874	0,321	0,150	2,14	Terreno non suscettibile di liquefazione
8,60	160,860	135,363	0,871	0,318	0,151	2,10	Terreno non suscettibile di liquefazione
8,80	164,920	137,461	0,868	0,315	0,152	2,07	Terreno non suscettibile di liquefazione
9,00	168,980	139,560	0,865	0,311	0,153	2,03	Terreno non suscettibile di liquefazione
9,20	173,040	141,659	0,862	0,308	0,154	2,00	Terreno non suscettibile di liquefazione
9,40	177,100	143,757	0,859	0,305	0,155	1,97	Terreno non suscettibile di liquefazione
9,60	181,160	145,856	0,856	0,302	0,155	1,94	Terreno non suscettibile di liquefazione
9,80	185,220	147,955	0,853	0,299	0,156	1,92	Terreno non suscettibile di liquefazione
10,00	189,280	150,053	0,850	0,297	0,157	1,89	Terreno non suscettibile di liquefazione
10,20	193,340	152,152	0,847	0,294	0,157	1,87	Terreno non

							suscettibile di liquefazione
10,40	197,400	154,251	0,844	0,291	0,158	1,84	Terreno non suscettibile di liquefazione
10,60	201,460	156,349	0,841	0,288	0,158	1,82	Terreno non suscettibile di liquefazione
10,80	205,520	158,448	0,838	0,286	0,159	1,80	Terreno non suscettibile di liquefazione
11,00	209,580	160,547	0,835	0,283	0,159	1,77	Terreno non suscettibile di liquefazione
11,20	213,640	162,645	0,832	0,280	0,160	1,75	Terreno non suscettibile di liquefazione
11,40	217,700	164,744	0,829	0,278	0,160	1,73	Terreno non suscettibile di liquefazione
11,60	221,760	166,843	0,826	0,275	0,161	1,72	Terreno non suscettibile di liquefazione
11,80	225,820	168,941	0,823	0,273	0,161	1,70	Terreno non suscettibile di liquefazione
12,00	229,880	171,040	0,820	0,271	0,161	1,68	Terreno non suscettibile di liquefazione
12,20	233,940	173,139	0,817	0,268	0,161	1,66	Terreno non suscettibile di liquefazione
12,40	238,000	175,237	0,814	0,266	0,162	1,64	Terreno non suscettibile di liquefazione
12,60	242,060	177,336	0,811	0,264	0,162	1,63	Terreno non suscettibile di liquefazione
12,80	246,120	179,435	0,808	0,261	0,162	1,61	Terreno non suscettibile di liquefazione
13,00	250,180	181,533	0,805	0,259	0,162	1,60	Terreno non suscettibile di liquefazione
13,20	254,240	183,632	0,802	0,257	0,162	1,58	Terreno non suscettibile di liquefazione
13,40	258,300	185,731	0,799	0,255	0,163	1,57	Terreno non suscettibile di liquefazione
13,60	262,360	187,829	0,796	0,253	0,163	1,55	Terreno non suscettibile di liquefazione
13,80	266,420	189,928	0,793	0,251	0,163	1,54	Terreno non suscettibile di liquefazione
14,00	270,480	192,027	0,790	0,249	0,163	1,53	Terreno non suscettibile di liquefazione
14,20	274,600	194,186	0,787	0,339	0,163	2,08	Terreno non suscettibile di liquefazione
14,40	278,720	196,344	0,784	0,336	0,163	2,07	Terreno non suscettibile di liquefazione
14,60	282,840	198,503	0,781	0,334	0,163	2,05	Terreno non suscettibile di

							liquefazione
14,80	286,960	200,662	0,778	0,331	0,163	2,03	Terreno non suscettibile di liquefazione
15,00	291,080	202,820	0,775	0,328	0,163	2,02	Terreno non suscettibile di liquefazione

VERIFICA: Prova Penetrometrica 18

DATI GENERALI

Normativa: Norme Tecniche Costruzioni 2018, Circolare cslp, febbraio 2019, n.7

Fattore sicurezza normativa 1,25

FALDA

Profondità falda idrica 6 m

DATI SIMICI

Accelerazione Bedrock 0,15

Fattore amplificazione 2,418

Tipo Suolo: C-Sabbie, ghiaie mediamente addensate, argille di media consistenza Vs30=180-360

Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS) 1,5

Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1

Magnitudo momento sismico (Mw) 5,5

Distanza epicentro 10 Km

Peak ground acceleration (PGA) 0,225

PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Descrizione	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unità volume (KN/mc)	Peso unità volume saturo (KN/mc)	Numero colpi medio (Nspt)
1	Limi sabbiosi	0	6	18	20,29	2
2	Sabbia limosa argillosa	6	11	18,4	20,3	19
3	Sabbia limosa ghiaiosa	11	15	18,7	20,6	26

Finn (1985)

Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato o (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Suscettibilità di liquefazione
6,20	112,060	110,099	0,907	0,321	0,135	2,38	Terreno non suscettibile di liquefazione

6,40	116,120	112,197	0,904	0,317	0,137	2,32	Terreno non suscettibile di liquefazione
6,60	120,180	114,296	0,901	0,313	0,139	2,26	Terreno non suscettibile di liquefazione
6,80	124,240	116,395	0,898	0,310	0,140	2,21	Terreno non suscettibile di liquefazione
7,00	128,300	118,493	0,895	0,306	0,142	2,16	Terreno non suscettibile di liquefazione
7,20	132,360	120,592	0,892	0,303	0,143	2,12	Terreno non suscettibile di liquefazione
7,40	136,420	122,691	0,889	0,300	0,145	2,07	Terreno non suscettibile di liquefazione
7,60	140,480	124,789	0,886	0,296	0,146	2,03	Terreno non suscettibile di liquefazione
7,80	144,540	126,888	0,883	0,293	0,147	1,99	Terreno non suscettibile di liquefazione
8,00	148,600	128,987	0,880	0,290	0,148	1,96	Terreno non suscettibile di liquefazione
8,20	152,660	131,085	0,877	0,287	0,149	1,92	Terreno non suscettibile di liquefazione
8,40	156,720	133,184	0,874	0,284	0,150	1,89	Terreno non suscettibile di liquefazione
8,60	160,780	135,283	0,871	0,281	0,151	1,86	Terreno non suscettibile di liquefazione
8,80	164,840	137,381	0,868	0,278	0,152	1,83	Terreno non suscettibile di liquefazione
9,00	168,900	139,480	0,865	0,275	0,153	1,80	Terreno non suscettibile di liquefazione
9,20	172,960	141,579	0,862	0,273	0,154	1,77	Terreno non suscettibile di liquefazione
9,40	177,020	143,677	0,859	0,270	0,155	1,74	Terreno non suscettibile di liquefazione
9,60	181,080	145,776	0,856	0,267	0,156	1,72	Terreno non suscettibile di

							liquefazione
9,80	185,140	147,875	0,853	0,265	0,156	1,70	Terreno non suscettibile di liquefazione
10,00	189,200	149,973	0,850	0,262	0,157	1,67	Terreno non suscettibile di liquefazione
10,20	193,260	152,072	0,847	0,260	0,157	1,65	Terreno non suscettibile di liquefazione
10,40	197,320	154,171	0,844	0,257	0,158	1,63	Terreno non suscettibile di liquefazione
10,60	201,380	156,269	0,841	0,255	0,159	1,61	Terreno non suscettibile di liquefazione
10,80	205,440	158,368	0,838	0,253	0,159	1,59	Terreno non suscettibile di liquefazione
11,00	209,500	160,467	0,835	0,250	0,159	1,57	Terreno non suscettibile di liquefazione
11,20	213,620	162,625	0,832	0,339	0,160	2,12	Terreno non suscettibile di liquefazione
11,40	217,740	164,784	0,829	0,336	0,160	2,10	Terreno non suscettibile di liquefazione
11,60	221,860	166,943	0,826	0,333	0,161	2,07	Terreno non suscettibile di liquefazione
11,80	225,980	169,101	0,823	0,330	0,161	2,05	Terreno non suscettibile di liquefazione
12,00	230,100	171,260	0,820	0,327	0,161	2,03	Terreno non suscettibile di liquefazione
12,20	234,220	173,419	0,817	0,324	0,161	2,01	Terreno non suscettibile di liquefazione
12,40	238,340	175,577	0,814	0,321	0,162	1,99	Terreno non suscettibile di liquefazione
12,60	242,460	177,736	0,811	0,318	0,162	1,97	Terreno non suscettibile di liquefazione
12,80	246,580	179,895	0,808	0,316	0,162	1,95	Terreno non suscettibile di liquefazione
13,00	250,700	182,053	0,805	0,313	0,162	1,93	Terreno non suscettibile

							di liquefazione
13,20	254,820	184,212	0,802	0,310	0,162	1,91	Terreno non suscettibile di liquefazione
13,40	258,940	186,371	0,799	0,308	0,162	1,89	Terreno non suscettibile di liquefazione
13,60	263,060	188,529	0,796	0,305	0,162	1,88	Terreno non suscettibile di liquefazione
13,80	267,180	190,688	0,793	0,303	0,162	1,86	Terreno non suscettibile di liquefazione
14,00	271,300	192,847	0,790	0,300	0,163	1,85	Terreno non suscettibile di liquefazione
14,20	275,420	195,006	0,787	0,298	0,163	1,83	Terreno non suscettibile di liquefazione
14,40	279,540	197,164	0,784	0,295	0,163	1,82	Terreno non suscettibile di liquefazione
14,60	283,660	199,323	0,781	0,293	0,163	1,80	Terreno non suscettibile di liquefazione
14,80	287,780	201,482	0,778	0,290	0,163	1,79	Terreno non suscettibile di liquefazione
15,00	291,900	203,640	0,775	0,288	0,162	1,77	Terreno non suscettibile di liquefazione

Sulla scorta delle verifiche effettuate non si prevedono effetti di liquefazione, nei livelli non coesivi, dovuti all'azione del sisma di progetto.

L'unica risultanza di una azione sismica può manifestarsi nell'addensamento di livelli sabbiosi, se privi di componente coesiva, cosa che non attiene al caso di specie.

Firenze, dicembre 2024

Geol. Filippo Landini