



## CONSORZIO DI BONIFICA PIANURA DI FERRARA

Sede legale e recapito postale:

44121 Ferrara - Via Borgo dei Leoni, 28 - C.F. 93076450381

web: [www.bonificaferrara.it](http://www.bonificaferrara.it) - e-mail: [info@bonificaferrara.it](mailto:info@bonificaferrara.it) - pec: [posta.certificata@pec.bonificaferrara.it](mailto:posta.certificata@pec.bonificaferrara.it)

aderente all'  Associazione Nazionale Bonifiche, Irrigazioni e Miglioramenti Fondiari

### SISTEMA IRRIGUO VALLE PEGA

#### PROGETTO DEFINITIVO ED ESECUTIVO

Provincia di Ferrara

Comuni di Comacchio e Ostellato

### Recupero, adeguamento e miglioramento funzionale del sistema irriguo di Valle Pega

#### RELAZIONI TECNICHE E SPECIALISTICHE INQUADRAMENTO GENERALE - AUTORIZZAZIONI

Elaborato:

#### RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA

Codifica:

# 1.5

**Progetto generale e  
integrazione delle prestazioni  
specialistiche:**

Dott. Ing. Marco Volpin



**Collaboratori:**

Dott. Ing. Laura Montanari

Per. Ind. Lorenzo Fantini

**Progetto rete di distribuzione:**



Dott. Ing. Emiliano Corsi

**Progetto opere  
elettromeccaniche:**



Per. Ind. Deris Ortali

**Progetto impianti elettrici:**



Per. Ind. Andrea Angelini

**Data:**

**28.06.2021**

**Il Responsabile  
del Procedimento**

Geom. Marco Ardizzoni

**Indagini geologiche:**



Dott. Geol. Antonio Mucchi

**Coordinamento sicurezza:**



Dott. Ing. Livia Burini

Rev.	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato	Data
A	Emissione	Bonaguri E.	Flamigni P.	Corsi E.	Aprile 2021
B					
C					

## INDICE

<b>1. PREMESSA</b>	<b>2</b>
<b>2. CAMPAGNA DI INDAGINI GEOGNOSTICHE</b>	<b>3</b>
<b>3. MANUFATTI DI LINEA</b>	<b>4</b>
3.1 Parametri geotecnici di progetto	4
<b>4. ANALISI DI STABILITA' DEGLI SCAVI DI POSA DELLE CONDOTTE</b>	<b>5</b>
4.1 Parametri geotecnici di progetto	5
<b>5. CARATTERIZZAZIONE SISMICA</b>	<b>6</b>
<b>6. ANALISI DELLA SUSCETTIBILITA' SISMICA ALLA LIQUEFAZIONE</b>	<b>10</b>

## 1. PREMESSA

La presente relazione geotecnica e sismica è finalizzata a riassumere i parametri che sono implementati per il dimensionamento (e la verifica delle relative condizioni di posa e messa in opera) delle opere a rete da realizzarsi nell'ambito dei lavori di Recupero, adeguamento e miglioramento funzionale del sistema irriguo di Valle Pega.

I suddetti parametri sono stati definiti nell'ambito delle indagini, delle caratterizzazioni e delle elaborazioni svolte dal dott. geol. Antonio Mucchi e dal dott. ing. Valentina Mucchi che sono esposte nel gruppo di elaborati denominato "Indagini geologiche, idrogeologiche e di caratterizzazione sismica", ed in particolare nella "Relazione generale" (elaborato cod. 2.1).

Il comprensorio Valle Pega si presenta delimitato da arginature perimetrali, che separano il bacino dalle residue Valli sul lato a sud ed est, dal Canale Navigabile Migliarino-Porto Garibaldi sul lato nord e dal Mezzano ad ovest, nei comuni di Comacchio e Ostellato (FE).

La Valle Pega è stata bonificata dalle acque salmastre negli anni 50 mediante interventi seguiti dall'Ufficio del Genio Civile di Ferrara prima e dall'Ente Delta Padano poi.

Il bacino di Valle Pega, di circa 2700 ha, presenta una struttura idraulica modulare, propria delle bonifiche moderne: in posizione centrale mediana, coincidente con le quote più depresse dei terreni, si sviluppa il collettore principale di scolo, nel quale confluiscono, secondo un tipico disegno a pettine, i canali secondari.

Il sistema irriguo al servizio di Valle Pega è indirettamente alimentato da una presa posta sull'argine sinistro del canale Navigabile che immette le acque nell'irrigatore Ponti, quest'ultimo è collegato mediante una presa dotata di 3 paratoie di regimazione e da una botte sifone che sottopassa la strada provinciale Ferrara-Comacchio da cui traggono origine sia l'Adduttore Pega Est, di lunghezza complessiva 6600 m, che l'Adduttore Pega Ovest avente sviluppo di 4730 m.

Dieci stazioni di pompaggio (5 per ciascun adduttore) prelevano acqua dagli adduttori e la convogliano nella rete irrigua di distribuzione: ciascuna di esse serve così una propria area di competenza (Comizio irriguo), compresa tra l'adduttore e i secondari posti rispettivamente a monte ed a valle della stazione stessa.

Gli impianti di sollevamento immettono acqua nella rete di distribuzione la cui condotta principale si sviluppa alla base dell'argine di contenimento dell'Adduttore irriguo che alimenta la stazione di pompaggio. Perpendicolarmente alla condotta si diramano le linee che si inoltrano nei poderi, inizialmente posizionate in corrispondenza delle capezzagne.

## 2. CAMPAGNA DI INDAGINI GEOGNOSTICHE

Al fine di caratterizzare le caratteristiche litologico-stratigrafiche, geotecniche e sismiche del terreno interessato dal progetto di che trattasi, a cura del dott. geol. Antonio Mucchi e del dott. ing. Valentina Mucchi è stata compiuta la campagna di indagini geognostiche che viene riassunta e quantificata nel seguito:

- n° 25 prove penetrometriche meccaniche CPT, spinte fino ad una profondità di 7.0 m sotto al p.c.
- n° 10 prove penetrometriche a punta elettrica CPTU, spinte fino ad una profondità di 20 m sotto al p.c.
- n° 10 sondaggi geognostici a carotaggio continuo spinti fino ad una profondità di 5 m sotto al p.c.
- rilievo falda freatica nei punti di indagine
- prelievo di n° 36 campioni
- analisi geotecniche di laboratorio
- esecuzione di n° 8 rilievi tromografici H/V, per la stima della Vs30 e lo studio della Risposta Sismica Locale

Sui campioni prelevati sono state eseguite le seguenti analisi di laboratorio:

- contenuti d'acqua (ASTM D 2216)
- pesi dell'unità di volume (ASTM D 2937)
- limiti di Atterberg (ASTM D 4318)
- granulometrie per sedimentazione (ASTM D 422 – Racc. AGI 1994)
- granulometrie per setacciatura a umido (UNI EN 933-1-2)
- prove di permeabilità (DIN 18130)
- prove triassiale non consolidata non drenata U.U. (Racc. AGI 1994)
- prova di taglio diretto (Racc. AGI 1994)

### 3. MANUFATTI DI LINEA

I manufatti di linea di cui al presente progetto esecutivo sono i pozzetti e le camerette necessari al funzionamento del sistema irriguo.

Altre costruzioni e/o interventi relativi ad eventuali, differenti tipologie di edifici o manufatti saranno oggetto di altre progettazioni.

#### 3.1 Parametri geotecnici di progetto

Conformemente ai dati riportati nel gruppo di elaborati denominato “Indagini geologiche, idrogeologiche e di caratterizzazione sismica” (in particolare nella “Relazione generale”, elaborato cod. 2.1), ed in base al tipo di modellazione del terreno prevista come input per il programma di calcolo utilizzato per la definizione delle pressioni esercitate dal terreno sui manufatti (programma AZTEC SCAT 14), per i terreni sono stati messi in conto parametri geotecnici riportati nel seguito.

Terreno sabbioso (strati sottostanti la platea di fondazione dei manufatti)

valori caratteristici dei parametri:

$$\gamma_d = 1,8 \text{ t/m}^3$$

$$\varphi_d = \varphi_k = 32^\circ$$

$$c_{ud} = c_{uk} = 22 \text{ kN/m}^2 (\equiv 0,224 \text{ kg/cm})$$

$$E_d = 70 \text{ MPa} (\approx 700 \text{ kg/cm}^2)$$

$$\nu_d = 0,35$$

Terreno argilloso (strati a lato dei manufatti)

valori caratteristici dei parametri in condizione non drenata:

$$\gamma_d = 1,8 \text{ t/m}^3$$

$$\varphi_d = \varphi_k = 32^\circ$$

$$c_{ud} = c_{uk} = 22 \text{ kN/m}^2 (\equiv 0,224 \text{ kg/cm})$$

$$E_d = 70 \text{ MPa} (\approx 700 \text{ kg/cm}^2)$$

$$\nu_d = 0,35$$

valori caratteristici dei parametri in condizione drenata:

$$\gamma_d = 1,8 \text{ t/m}^3$$

$$\varphi_d = \varphi_k = 32^\circ$$

$$c_{ud} = c_{uk} = 22 \text{ kN/m}^2 (\equiv 0,224 \text{ kg/cm})$$

$$E_d = 70 \text{ MPa} (\approx 700 \text{ kg/cm}^2)$$

$$\nu_d = 0,35$$

La falda è stata prudenzialmente messa in conto ad una profondità di 0.3 m sotto alla quota del piano di campagna; i rilievi effettuati in situ hanno in effetti fornito per questa profondità dei valori maggiori di quello messo in conto, e compresi fra 0.8 m e 2.5 m.

## 4. ANALISI DI STABILITA' DEGLI SCAVI DI POSA DELLE CONDOTTE

Vengono controllate le condizioni di stabilità degli scavi sulla base di modellazioni “tipiche” delle differenti tipologie di terreni interessati.

Sono messe in conto delle tipologie di terreno relative alle condizioni ordinarie di progetto; in fase di realizzazione, eventuali condizioni locali che siano difformi da quelle analizzate saranno oggetto di specifiche considerazioni da parte della Direzione Lavori; queste considerazioni potranno portare all'utilizzo di sistemi di armatura e sostegno degli scavi.

Gli scavi necessari alla posa delle condotte interrato saranno effettuati solamente dopo il drenaggio e l'abbattimento (a mezzo di well-points) della falda idrica presente nelle zone interessate, fino ad abbassarne il livello al disotto delle quote di fondo scavo.

### 4.1 Parametri geotecnici di progetto

Conformemente ai dati riportati nel gruppo di elaborati denominato “Indagini geologiche, idrogeologiche e di caratterizzazione sismica”, in particolare nella “Relazione generale” (elaborato cod. 2.1), nell'ambito della modellazione del terreno per il programma di calcolo utilizzato per l'analisi della stabilità degli scavi (programma AZTEC FEM GT 16), sono stati messi in conto parametri geotecnici riportati nel seguito.

#### Scavi in sabbia

Per la combinazione (A1+M1+R1), sono messi in conto i valori caratteristici dei parametri:

$$\gamma_d = 1,8 \text{ t/m}^3 \text{ (terreno drenato)}$$

$$\varphi_d = \varphi_k = 32^\circ$$

$$c_{ud} = c_{uk} = 22 \text{ kN/m}^2 (\equiv 0,224 \text{ kg/cm})$$

$$E_d = 70 \text{ MPa } (\approx 700 \text{ kg/cm}^2)$$

$$\nu_d = 0,35$$

Per la combinazione (A2+M2+R2), risultano ridotti i seguenti parametri di resistenza del terreno:

$$\varphi_d = \varphi_k / 1,25 = 32^\circ / 1,25 = 25,6^\circ$$

$$c_{ud} = c_{uk} / 1,4 = 22 / 1,4 = 15,7 \text{ kN/m}^2 (\equiv 0,16 \text{ kg/cm})$$

#### Scavi in limo-argilla

Per la combinazione (A1+M1+R1), sono messi in conto i valori caratteristici dei parametri:

$$\gamma_d = 1,85 \text{ t/m}^3$$

$$\varphi_d = \varphi_k = 21^\circ$$

$$c_{ud} = c_{uk} = 42,3 \text{ kN/m}^2 (\equiv 0,43 \text{ kg/cm})$$

$$E_d = 25 \text{ MPa } (\approx 250 \text{ kg/cm}^2)$$

$$\nu_d = 0,35$$

Per la combinazione (A2+M2+R2), risultano ridotti i seguenti parametri di resistenza del terreno:

$$\varphi_d = \varphi_k / 1,25 = 21^\circ / 1,25 = 16,8^\circ$$

$$c_{ud} = c_{uk} / 1,4 = 42,3 / 1,4 = 30,2 \text{ kN/m}^2 (\equiv 0,31 \text{ kg/cm})$$

## 5. CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Dagli elaborati del gruppo denominato “Indagini geologiche, idrogeologiche e di caratterizzazione sismica”, ed in particolare dalla “Relazione generale” (elaborato cod. 2.1), per il sito di costruzione e per le opere da realizzare risultano i parametri di caratterizzazione sismica esposti nel seguito.

Viene presa in considerazione la classe d’uso II, a cui è associato il coefficiente d’uso  $C_u$  pari a 1.0

Ricavati i valori di  $V_n$  e  $C_u$ , è possibile calcolare il periodo di riferimento  $V_r$ , che vale:

$$V_r = 50 \times 1.0 = 50 \text{ anni.}$$

Prendendo come riferimento i parametri di  $V_{s30}$  ricavati con le otto prove H/V effettuate, il sito in esame risulta complessivamente rispondere alle caratteristiche di un suolo tipo “C”.

Risultano quindi i seguenti parametri di caratterizzazione sismica:

- Vita nominale ( $V_n$ ): 50 [anni]
- Classe d'uso: II
- Coefficiente d'uso ( $C_u$ ): 1
- Periodo di riferimento ( $V_r$ ): 50 [anni]
- Periodo di ritorno ( $T_r$ ) SLO: 30 [anni]
- Periodo di ritorno ( $T_r$ ) SLD: 50 [anni]
- Periodo di ritorno ( $T_r$ ) SLV: 475 [anni]
- Periodo di ritorno ( $T_r$ ) SLC: 975 [anni]
- Tipo di interpolazione: Media ponderata
- Coordinate geografiche del punto
- Latitudine (WGS84): 44.6793022 [°]
- Longitudine (WGS84): 12.1435070 [°]

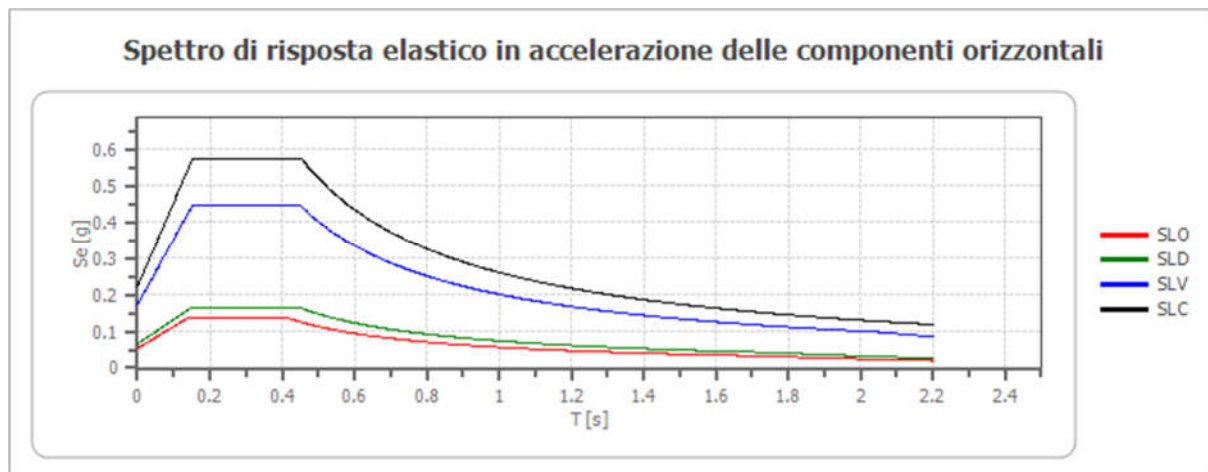
### Pericolosità Sismica di Sito

Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$  pari al 5%

Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)} = 1.000$

Categoria sottosuolo: terreno tipo “C”

Categoria topografica: T1 (superficie pianeggiante, o pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°)



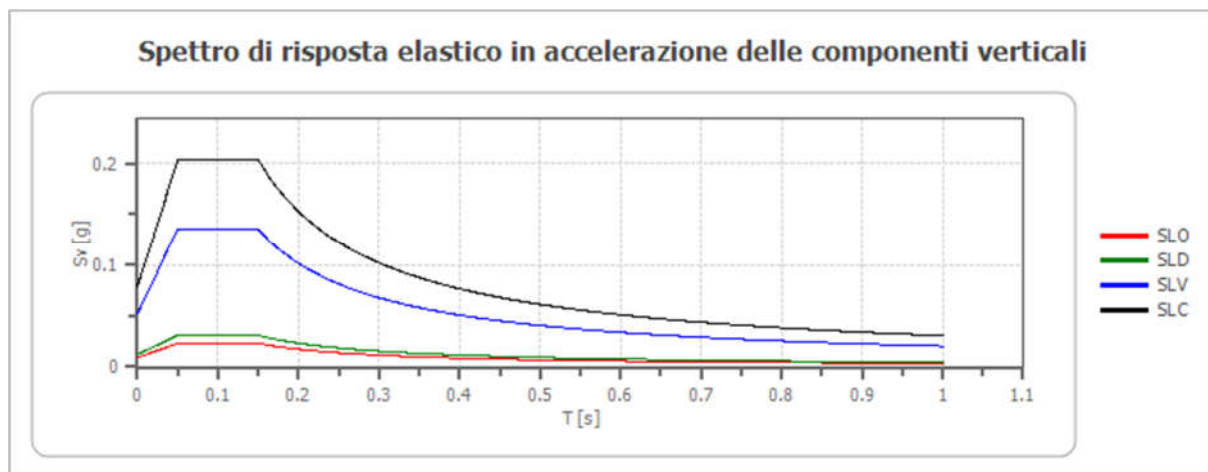
	cu	ag	F0	Tc*	Ss	Cc	St	S	$\eta$	TB	TC	TD	Se(0)	Se(TB)
		[g]	[-]	[s]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[s]	[s]	[s]	[g]	[g]
SLO	1.0	0.036	2.533	0.253	1.500	1.650	1.000	1.500	1.000	0.139	0.417	1.743	0.054	0.136
SLD	1.0	0.044	2.524	0.280	1.500	1.600	1.000	1.500	1.000	0.149	0.448	1.774	0.065	0.165
<b>SLV</b>	1.0	<b>0.114</b>	2.586	0.284	1.500	1.590	1.000	<b>1.500</b>	1.000	0.151	0.452	2.058	0.172	0.444
SLC	1.0	0.150	2.591	0.286	1.470	1.590	1.000	1.470	1.000	0.152	0.455	2.201	0.221	0.572

**PGA = S x Ag/g = 1,500 x 0,114 = 0,171 g.**

### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$  pari al 5%

Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$ : 1.000





	cu	ag	F0	Tc*	Ss	Cc	St	S	$\eta$	TB	TC	TD	Se(0)	Se(TB)
		[g]	[-]	[s]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[s]	[s]	[s]	[g]	[g]
SLO	1.0	0.036	2.533	0.253	1	1.650	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.009	0.023
SLD	1.0	0.044	2.524	0.280	1	1.600	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.012	0.031
SLV	1.0	0.114	2.586	0.284	1	1.590	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.052	0.135
SLC	1.0	0.150	2.591	0.286	1	1.590	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.079	0.204

## Spettro di progetto

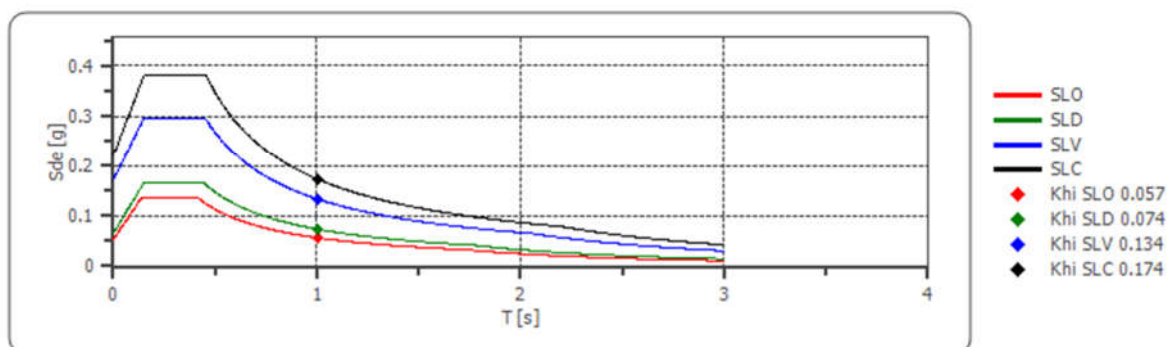
Fattore di struttura spettro orizzontale  $q$ : 1.50

Fattore di struttura spettro verticale  $q$ : 1.50

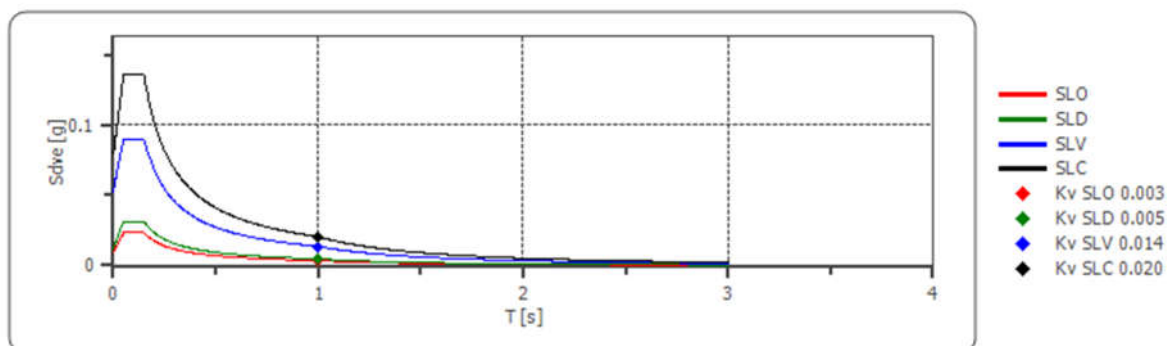
Periodo fondamentale  $T$ : 1.00 [s]

	SLO	SLD	SLV	SLC
khi = Sde(T) Orizzontale [g]	0.057	0.074	0.134	0.174
kv = Sdve(T) Verticale [g]	0.003	0.005	0.014	0.020

### Spettro di progetto delle componenti orizzontali



### Spettro di progetto delle componenti verticali



Si riporta nel seguito una tabella che raccoglie i parametri sismici di progetto:

	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	q [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Sd(0) [g]	Sd(TB) [g]
SLO orizzontale	1.0	0.036	2.533	0.253	1.500	1.650	1.000	1.500	1.000	0.139	0.417	1.743	0.054	0.136
SLO verticale	1.0	0.036	2.533	0.253	1.500	1.650	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.009	0.023
SLD orizzontale	1.0	0.044	2.524	0.280	1.500	1.600	1.000	1.500	1.000	0.149	0.448	1.774	0.065	0.165
SLD verticale	1.0	0.044	2.524	0.280	1.500	1.600	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.012	0.031
SLV orizzontale	1.0	0.114	2.586	0.284	1.500	1.590	1.000	1.500	1.500	0.151	0.452	2.058	0.172	0.296
SLV verticale	1.0	0.114	2.586	0.284	1.500	1.590	1.000	1.000	1.500	0.050	0.150	1.000	0.052	0.090
SLC orizzontale	1.0	0.150	2.591	0.286	1.470	1.590	1.000	1.470	1.500	0.152	0.455	2.201	0.221	0.382
SLC verticale	1.0	0.150	2.591	0.286	1.470	1.590	1.000	1.000	1.500	0.050	0.150	1.000	0.079	0.136

Conformemente alle indicazioni riportate su NTC 2018, per le verifiche strutturali sono state messe in conto le seguenti combinazioni di carico:

- per la verifica SLU, la combinazione SLV
- per la verifica SLE, la combinazione SLD

## 6. ANALISI DELLA SUSCETTIBILITA' SISMICA ALLA LIQUEFAZIONE

Nel seguito si fa riferimento ai dati riportati al cap. 9 della “Relazione generale” (elaborato cod. 2.1), documento appartenente al gruppo di elaborati denominato “Indagini geologiche, idrogeologiche e di caratterizzazione sismica”.

La verifica effettuata sulla base dei parametri sismici “di base” ha evidenziato un significativo pericolo di liquefazione (fattore di sicurezza FS minore di 1.0 e indice potenziale liquefazione IL maggiore di 2.0); si è quindi reso necessario procedere con uno studio di RSL (risposta sismica locale), come prescritto dalle NTC 2018.

Lo studio della RSL ha fornito un valore di  $A_g$  pari a circa 0.148 g, maggiore quindi di circa il 30% rispetto a quello fornito dalla normativa per il sito, che sulla base dei parametri sismici “di base” risultava pari a 0.114 g.

Un ulteriore passaggio dell'analisi è stato quindi elaborato mettendo in conto il valore di  $A_g$  risultante dallo studio della RSL:

- sono stati utilizzati (separatamente) sia il metodo di Robertson che il metodo di Boulanger-Idriss;
- sono state messe in conto sia una magnitudo sismica pari a  $M_w = 5.20$  che una magnitudo sismica pari a  $M_w = 6.14$ .

I risultati di questo ulteriore passaggio di analisi sono riportati nelle pagine finali della sopra citata “Relazione generale”.

Al fine di elaborare un giudizio ragionevolmente motivato circa la complessiva accettabilità dei risultati dell'analisi svolta nell'ambito del suddetto documento è opportuno tenere presente che:

- nel documento inerente lo studio di Microzonazione sismica “Relazione illustrativa – LIVELLO 3” relativo ai Comuni di Argenta, Ostellato e Portomaggiore datato Luglio 2017 e approvato dalla Regione Emilia Romagna, il metodo di Robertson è stato indicato come più aderente alla realtà locale rispetto al metodo di Boulanger-Idriss, generalmente indicato come metodo di riferimento per la Regione Emilia-Romagna;
- in effetti, meno della metà del territorio di Valle Pega rientra all'interno della zona sismogenetica n. 912, individuata dalle coordinate riportate nel Rapporto Conclusivo INGV– Aprile 2004, per la quale è significativa la magnitudo sismica  $M_w = 6.14$ , mentre per la maggior parte del territorio, posto al di fuori di detta zona sismogenetica, è significativa la magnitudo sismica  $M_w = 5.20$ , calcolata per il sito in oggetto sulla base del metodo generale di disaggregazione.

Applicando il metodo di Robertson e mettendo in conto una magnitudo sismica pari a 5.20, i risultati dell'analisi della suscettibilità alla liquefazione in condizioni sismiche sono ampiamente accettabili in quanto (con riferimento alle dieci verticali indagate con prospezioni CPTU) risulta:

- nei termini dell'Indice di Liquefazione:  $IL_{max} = 0.12 \ll 2.0$ ;
- nei termini dei cedimenti post-sismici: cedimento vert. max. = 1 cm

Sempre nell'ambito del metodo di Robertson, mettendo però in conto la magnitudo sismica della zona sismogenetica n. 912 (che è pari a 6.14), i risultati sarebbero ancora sostanzialmente accettabili per otto delle dieci verticali indagate a mezzo di CPTU.

Sulla base di quanto sopra esposto, tenendo conto anche;

- della tipologia strutturale dei manufatti che sono oggetto del presente progetto,
- della presenza solo saltuaria di personale all'interno di questi manufatti,
- della totale non pericolosità del fluido (acqua) che è trasportato dalle condotte,

risulta motivato il carattere favorevole che ha l'esito dell'analisi svolta nei confronti della suscettibilità dei terreni alla liquefazione in condizioni sismiche.