

Via Enrico Mattei, 17
 61032 Fano (PU)

VASCA DI ACCUMULO A SERVIZIO DELLO SCOLMATORE DI ACQUE REFLUE URBANE SITO ALLA FOCE DELL'ARZILLA - COMUNE DI FANO

PROGETTO ESECUTIVO

INDICE	DATA	MODIFICHE	DISEGN.	CONTR.	APPROV.
RELAZIONE GEOTECNICA E SULLE FONDAZIONI					
I PROGETTISTI: Dott. Ing. Denis Cerlini Dott. Ing. Alessandro Balbo Dott. Ing. Giacomo Galimberti Dott. Ing. Luca Pezzoli Dott. Ing. Marta Mirabella			HANNO COLLABORATO: Dott. Ing. Marina Simonetti Dott. Ing. Daniele Recalcati		
			SCALA: -		
			DISEGNO: FVA 3.05		
					
			Maggio 2019		

INDICE

1. PREMESSA	2
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	3
3. RELAZIONE GEOTECNICA.....	4
3.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	4
3.2 CARATTERISTICHE STRATIGRAFICHE DEL TERRENO.....	4
3.2.1 Vasca di accumulo e sollevamento S1	4
3.2.2 Manufatto partitore B1	5
3.3 CARATTERISTICHE GEOMECCANICHE DEL TERRENO	5
3.3.1 Vasca di accumulo e sollevamento S1	5
3.3.2 Manufatto partitore B1	6
3.4 CARATTERISTICHE IDROLOGICHE ED IDROGEOLOGICHE.....	7
3.5 VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE DEL TERRENO	7
3.6 INTERVENTI PER LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE DEL TERRENO	8
3.7 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO	8
4. RELAZIONE SULLE FONDAZIONI.....	10
4.1 VASCA DI ACCUMULO E SOLLEVAMENTO S1.....	10
4.2 MANUFATTO PARTITORE B1.....	10

ALLEGATI:

A.1. DIMENSIONAMENTO DEI DRENI IN GHIAIA

A.1.1. DIMENSIONAMENTO SISTEMA DI RIDUZIONE DEL RISCHIO LIQUEFAZIONE DEI DEPOSITI E MIGLIORAMENTO CARATTERISTICHE DI COMPRESSIBILITÀ DEL TERRENO DI FONDAZIONE TRAMITE INSERIMENTI DI DRENI IN GHIAIA

A.1.2. VERIFICA TECNICA DRENI IN GHIAIA

1. **PREMESSA**

Nel febbraio 2017 è stata affidata agli scriventi l'attività di progettazione preliminare, definitiva ed esecutiva, nonché di Coordinamento per la sicurezza in fase di progettazione, del progetto di *“Realizzazione di una vasca di accumulo a servizio dello scolmatore di acque reflue urbane sito alla foce dell'Arzilla nel Comune di Fano”*. L'incarico riguarda la realizzazione di una vasca di accumulo che raccolga le acque di pioggia che transitano nelle reti miste della zona in sinistra idraulica del torrente Arzilla in evitando lo sfioro nel corso d'acqua, a monte di una zona balneabile e quindi di particolare sensibilità ambientale.

Le acque raccolte verranno accumulate in una vasca interrata in c.a. e poi inviate alla rete fognaria comunale esistente sulla sponda destra del torrente Arzilla.

Il progetto preliminare è stato consegnato nel maggio 2017; nel giugno 2017 sono stati revisionati alcuni elaborati a seguito di osservazioni del Committente.

A seguito dell'approvazione del progetto preliminare è stato redatto il progetto definitivo, consegnato nel mese di aprile 2018.

In data 31/01/2019 si è tenuta la Conferenza di Servizi Decisoria per l'approvazione del progetto definitivo e adozione della variante urbanistica per l'intervento denominato *“Realizzazione di una vasca di accumulo a servizio dello scolmatore di acque reflue urbane sito alla foce dell'Arzilla nel Comune di Fano (PU)”*, ai sensi dell'art. 158 bis del D.Lgs. n. 152/2006 e dell'art. 14 e seguenti della legge n. 241/1990 e s.m.i. La stessa si è conclusa con l'approvazione del progetto e con l'adozione della variante urbanistica, con i pareri favorevoli di tutti gli Enti interpellati.

Il presente documento costituisce la Relazione geotecnica e sulle fondazioni del progetto esecutivo.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il documento è stato redatto nel rispetto della normativa vigente e, in particolare:

- Legge n. 1086 del 05/11/1971, *“Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica”*;
- Legge n. 64 del 02/02/1974, *“Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”*;
- D.M. 14/01/2008, *“Norme Tecniche per le Costruzioni”*;
- Circ. Min. n. 617 del 02/02/2009, *“Istruzioni per l'applicazione delle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008”*.

3. RELAZIONE GEOTECNICA

3.1 Inquadramento geologico e geomorfologico

L'area di intervento fa parte della pianura alluvionale comprendente il torrente Arzilla ed il fiume Metauro ed è situata alla foce del torrente Arzilla in prossimità di viale Romagna.

Sulla base della relazione geologica a firma del dott. geol. Stefano Giuliani, maggiormente rappresentati risultano i depositi olocenici ascrivibili al IV ordine dei terrazzi alluvionali.

I depositi alluvionali del sito risultano maggiormente ghiaiosi alla base (con intercalazioni limose e sabbiose), mentre presentano verso l'alto frequenti livelli sabbiosi e argillosi limosi a spessore non eccessivamente elevato.

Inoltre, sempre all'interno della relazione geologica, viene evidenziato come l'area in oggetto presenti un *“andamento quasi completamente pianeggiante”*, che *“non permette l'evoluzione di fenomenologie gravitative”*. l'area risulta, pertanto, *“ampiamente stabile”*.

Infine, sempre nello stesso documento, si afferma che *“l'attività tettonica deformativa di tipo compressivo dovrebbe essersi conclusa dal Pleistocene medio”*, sostituita da *“un'attività di sollevamento verticale con qualche locale basculamento”*.

3.2 Caratteristiche stratigrafiche del terreno

3.2.1 Vasca di accumulo e sollevamento S1

Con riferimento alla relazione geologica, si può riconoscere, per la zona di realizzazione della vasca interrata, la seguente sequenza stratigrafica geolitologica:

A) Terreno vegetale	dal p.c. a -0,8 m
B) Sabbie limose	da -0,8 m a -2,8 m
C) Sabbie limose	da -2,8 m a -3,8 m

D) Ghiaie sabbiose	da -3,8 m a -7,6 m
E) Sabbie limose	da -7,6 m a -9,8 m
F) Argille limose	da -9,8 m a -11,4 m
G) Ghiaie e sabbie	da -11,4 m a -15,7 m
H) Argille limose	da -15,7 m a -22,2 m
I) Ghiaie con sabbie	da -22,2 m a -25,0 m

Per la descrizione e le caratteristiche specifiche dei vari strati si rimanda alla relazione geologica.

3.2.2 Manufatto partitore B1

Con riferimento alla relazione geologica, si può riconoscere, per la zona di realizzazione del manufatto partitore B1, la seguente sequenza stratigrafica geolitologica:

A) Terreno vegetale	dal p.c. a -1,0 m
B) Sabbie limose	da -1,0 m a -2,8 m
C) Sabbie limose	da -2,8 m a -6,8 m
D) Ghiaie sabbiose	da -6,8 m a -7,2 m
E) Sabbie limose	da -7,2 m a -8,2 m

Per la descrizione e le caratteristiche specifiche dei vari strati si rimanda alla relazione geologica.

3.3 Caratteristiche geomeccaniche del terreno

3.3.1 Vasca di accumulo e sollevamento S1

Sempre con riferimento alla relazione geologica, le caratteristiche geo-meccaniche dei litotipi presenti nella zona della vasca di accumulo, desunte dai sondaggi e dalle prove in situ, sono le seguenti:

	γ [kg/m ³]	γ_{sat} [kg/m ³]	ϕ' [°]	c' [kg/cm ²]	c_u [kg/cm ²]	E_y [kg/cm ²]	E_{ed} [kg/cm ²]	ν
Litotipo A)	1700	1800	16	-	-	24,8	30,1	0,35

	γ [kg/m ³]	γ_{sat} [kg/m ³]	φ' [°]	c' [kg/cm ²]	c_u [kg/cm ²]	E_y [kg/cm ²]	E_{ed} [kg/cm ²]	ν
Litotipo B)	1800	1900	20	-	-	24,0	28,9	0,35
Litotipo C)	1800	1900	25	-	-	43,1	55,4	0,34
Litotipo D)	1900	2000	30	-	-	232,7	272,0	0,32
Litotipo E)	1800	1900	27	-	-	66,9	88,2	0,33
Litotipo F)	2100	2200	22	0,15	0,80	70,0	55,0	0,45
Litotipo G)	2000	2100	34	-	-	310,0	400,0	0,26
Litotipo H)	2100	2200	22	0,15	0,75	70,0	55,0	0,45
Litotipo I)	2000	2100	34	-	-	310,0	400,0	0,26

Per quanto riguarda, invece, la spinta delle terre sulle pareti controterra, si adottano i seguenti parametri:

γ [kg/cm ³]	γ_{sat} [kg/cm ³]	φ' [°]	c' [kg/cm ²]
1800	1900	20	-

3.3.2 Manufatto partitore B1

Sempre con riferimento alla relazione geologica, le caratteristiche geo-meccaniche dei litotipi presenti nella zona del manufatto partitore B1, desunte dai sondaggi e dalle prove in situ, sono le seguenti:

	γ [kg/m ³]	γ_{sat} [kg/m ³]	φ' [°]	c' [kg/cm ²]	c_u [kg/cm ²]	E_y [kg/cm ²]	E_{ed} [kg/cm ²]	ν
Litotipo A)	1700	1800	16	-	-	24,8	30,1	0,35
Litotipo B)	1800	1900	20	-	-	24,0	28,9	0,35
Litotipo C)	1800	1900	25	-	-	43,1	55,4	0,34
Litotipo D)	1900	2000	30	-	-	232,7	272,0	0,32
Litotipo E)	1800	1900	27	-	-	66,9	88,2	0,33

Per quanto riguarda, invece, la spinta delle terre sulle pareti controterra, si adottano i seguenti parametri:

γ [kg/cm ³]	γ_{sat} [kg/cm ³]	φ' [°]	c' [kg/cm ²]
1800	1900	20	-

3.4 Caratteristiche idrologiche ed idrogeologiche

Nella relazione geologica, si afferma che, nell'area della vasca e del tracciato del collettore, la falda si trova frequentemente a profondità di $1,8\div 2,0$ m dal p.c., con risalite fino a $0,5\div 1,0$ m circa dal p.c. nei periodi di morbida idrogeologica, e anche a quote maggiori del p.c. attuale in condizioni di esondazione fluviale. Pertanto, la conseguente sottospinta idraulica dovrà essere attentamente presa in considerazione per la progettazione delle nuove opere.

Con riferimento al Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I.) della Regione Marche e come evidenziato anche nella relazione geologica, l'area risulta inclusa nelle zone a rischio esondazione R4 ("molto elevato").

Infine, poiché durante le fasi di esecuzione dei lavori è prevista l'adozione di sistemi di aggotamento della falda (es. wellpoint), data la vicinanza dell'opera con alcuni edifici, prima della messa in funzione di tali sistemi, si suggerisce l'installazione di piezometri nel relativo raggio di influenza, per consentire il monitoraggio del cono di depressione causato dall'abbattimento della falda, al fine di limitare l'incremento delle tensioni efficaci al di sotto degli edifici e, quindi, eventuali possibili cedimenti differenziali.

3.5 Valutazione del rischio di liquefazione del terreno

Per quanto riguarda il rischio di liquefazione del terreno, all'interno della relazione geologica viene evidenziato che *"le verifiche eseguite (...) hanno condotto generalmente a risultati solo parzialmente confortanti, con coefficienti di sicurezza accettabili per le ghiaie e le ghiaie sabbiose sotto falda acquifera"*, mentre *"i livelli prevalentemente sabbiosi limosi localmente argillosi sotto falda (...) hanno condotto a valori del coefficiente di sicurezza alla liquefazione inferiore all'unità (...). Alcuni strati ad ogni modo con spessore prossimo al metro non risultano liquefacibili per effetto geometrico (...)"*.

In definitiva, va evidenziato che lo strato di sabbie limose (litotipo E, rif. §3.2 e §3.3) presente mediamente da -7,5 a $-9,5\div 10,0$ m circa dal p.c. è potenzialmente liquefacibile sotto l'effetto sismico ciclico.

3.6 *Interventi per la mitigazione del rischio di liquefazione del terreno*

Al fine di scongiurare il fenomeno della liquefazione, si prevede di effettuare un intervento di miglioramento del terreno di tipo passivo, tramite **pali o dreni di ghiaia**.

La tecnica consiste nella realizzazione di dreni verticali di ghiaia nel sottosuolo, al fine di favorire il rapido smaltimento delle sovrappressioni interstiziali indotte dal sisma. I drenaggi possono avere il duplice effetto di limitare l'occorrenza del fenomeno della liquefazione, favorendo la dissipazione delle sovrappressioni interstiziali che ne sono la causa, e di ridurre le eventuali deformazioni indotte.

L'intervento prevede quindi la realizzazione, sotto la vasca in progetto, di pali di ghiaia profondi 5 m circa dal piano di sbancamento (quindi, fino ad una profondità di 10,0 m circa dal p.c.), di diametro 800 mm e disposti a quinconce con interasse di 3,0 m circa. Tale geometria, a seguito di verifica analitica (rif. allegato 1), ha portato a risultati confortanti nei confronti della liquefazione.

3.7 *Caratterizzazione sismica del sito*

Secondo quanto riportato nella relazione geologica, per il calcolo della velocità equivalente delle onde $V_{s,30}$ sono state eseguite due diverse tipologie di indagini geofisiche (HVSr e MASW). Dalla prove effettuate nella zona di realizzazione della nuova vasca interrata, sono emersi risultati non univoci della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m di profondità (rispettivamente **342 m/s** e **374 m/s**). Di conseguenza, per i terreni presenti nell'area può essere adottata prudenzialmente la categoria C.

Tuttavia, stante la possibile liquefazione sotto l'effetto sismico ciclico dello strato di sabbia limosa presente mediamente da -7,5 a -9,5÷10,0 m circa dal p.c. (rif. §3.5), il sito in oggetto potrebbe ricadere in categoria S2.

In proposito, comunque, va detto che gli interventi di miglioramento del terreno previsti in progetto possono far escludere tale rischio di liquefazione e, pertanto, in definitiva, si adotta per il sottosuolo la **categoria C**.

Infine, sempre all'interno della relazione geologica, viene indicata per l'area in oggetto la **categoria topografica T1**.

4. RELAZIONE SULLE FONDAZIONI

4.1 Vasca di accumulo e sollevamento S1

Sulla base della relazione geologica redatta dal dott. geol. Stefano Giuliani nonché di quanto detto al precedente §3.6 circa gli interventi in progetto per la mitigazione del rischio di liquefazione del terreno, si ritiene opportuno adottare per l'opera **fondazioni dirette a platea**, da impostare, visto anche l'approfondimento necessario da progetto, sulle ghiaie sabbiose (litotipo D, rif. §3.2 e §3.3).

La corrispondenza del terreno in situ con quanto riportato nel presente documento andrà verificata a cura della D.LL.; i litotipi indicati potranno essere eventualmente raggiunti tramite idonei spessori di calcestruzzo magro di sottofondo (armati se di spessore elevato).

L'analisi della struttura è stata effettuata con codice di calcolo agli elementi finiti per strutture spaziali (software S.T.S. CDS Win).

I tabulati di calcolo ed i relativi risultati sono riportati nell'elaborato *FVA 3.04/2 "Calcoli esecutivi delle strutture"*.

4.2 Manufatto partitore B1

Sulla base della relazione geologica redatta dal dott. geol. Stefano Giuliani, si ritiene opportuno adottare per l'opera **fondazioni dirette a platea**, da impostare, visto anche l'approfondimento necessario da progetto, sulle sabbie debolmente limose più consistenti (litotipo C, rif. §3.2 e §3.3).

La corrispondenza del terreno in situ con quanto riportato nel presente documento andrà verificata a cura della D.LL.; i litotipi indicati potranno essere eventualmente raggiunti tramite idonei spessori di calcestruzzo magro di sottofondo (armati se di spessore elevato).

L'analisi della struttura è stata effettuata con codice di calcolo agli elementi finiti per strutture spaziali (software S.T.S. CDS Win).

I tabulati di calcolo ed i relativi risultati sono riportati nell'elaborato *FVA 3.04/2 "Calcoli esecutivi delle strutture"*.

ALLEGATO 1:
Dimensionamento dei dreni in ghiaia

A.1. DIMENSIONAMENTO DEI DRENI IN GHIAIA

A.1.1. DIMENSIONAMENTO SISTEMA DI RIDUZIONE DEL RISCHIO LIQUEFAZIONE DEI DEPOSITI E MIGLIORAMENTO CARATTERISTICHE DI COMPRESSIBILITÀ DEL TERRENO DI FONDAZIONE TRAMITE INSERIMENTI DI DRENI IN GHIAIA

Il presente supplemento risulta parte integrante della Relazione Geologico-Tecnica eseguita in data 08/03/2018 per definire in termini definitivi il sistema più idoneo alla mitigazione del rischio geologico del sito.

Per quanto riguarda il **rischio liquefazione dei depositi** le verifiche eseguite con la metodologia Seed Idriss (1971) e Boulanger & Idriss 2014, vedi capitolo specifico pag. 25 – 30 della precedente Relazione Geologica hanno condotto generalmente a risultati solo parzialmente confortanti, con coefficienti di sicurezza accettabili per le ghiaie e le ghiaie sabbiose sotto falda acquifera (vedi capitolo 7 coefficienti di sicurezza sui vari livelli litologici).

Ad ogni modo i livelli prevalentemente sabbiosi limosi e solo localmente argillosi sotto falda presenti a circa 7-9 mt. dal p.c. hanno condotto a valori del coefficiente di sicurezza alla liquefazione localmente inferiore all'unità, fatto che implicherebbe la possibile liquefazione del livello sotto l'effetto sismico ciclico.

Alcuni strati con spessore prossimo al metro non risultano liquefacibili per effetto geometrico, mentre gli altri risulterebbero a liquefazione possibile.

In tale situazione il sito si potrebbe catalogare dal punto di vista sismico ai sensi delle NTC 2018 come categoria S2, ma le ipotesi di miglioramento del terreno previste possono far escludere tale rischio liquefazione rimanendo quindi la classificazione C.

Si può prevedere per il sito un **miglioramento del terreno potenzialmente liquefacibile e compressibile**, La soluzione tecnologica definita unitamente al progettista e strutturista potrà essere nel caso in esame tra quelle definite di tipo "passivo" ovvero del **"compaction grouting"** come esplicitato anche nella Determina della Regione Emilia Romagna n° 12418 del 02/10/2012.

Per i terreni alluvionali oggetto di studio, si sono previsti i seguenti interventi che permetteranno una riduzione sia del rischio liquefazione che un miglioramento delle caratteristiche meccaniche e di compressibilità del terreno di fondazione della vasca quindi una riduzione dei cedimenti conseguenti sia statici che post-sismici :

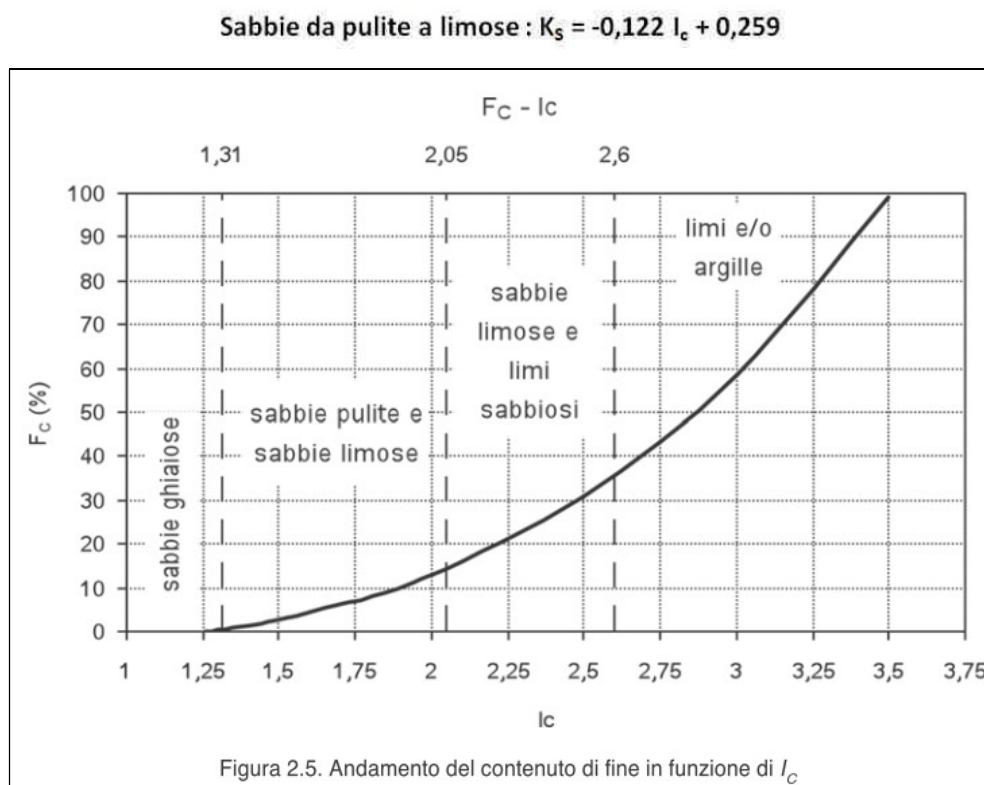
- Interventi di tipo passivo “**pali o dreni in ghiaia**” intervengono in maniera passiva se il fenomeno dovesse riproporsi, riducendo il generarsi della sovrappressione dell'acqua (IPS) o favorendo la dissipazione (dreni), la tecnica di drenaggio può avere il duplice effetto di limitare l'occorrenza del fenomeno della liquefazione, favorendo la dissipazione delle sovrappressioni interstiziali che ne sono la causa, e ridurre le eventuali deformazioni indotte, **l'effetto drenante può essere quindi accoppiato a quello “consolidante” attraverso la realizzazione di elementi colonnari di materiali a grana grossa fortemente addensati.** L'interasse di trattamento generalmente utilizzato è a maglia quadrata o a quinconce di lato 1,5-3 m.

Dalle verifiche tecniche effettuate attraverso il metodo di Seed e Booker (1977) ed allegate in sequenza si possono prevedere nel sito pali in ghiaia profondi sino a circa 5 mt. dal piano di sbancamento (N.B. - 4,50 mt. dal p.c.) di diametro 800 mm ad interasse di circa 3,0 mt.

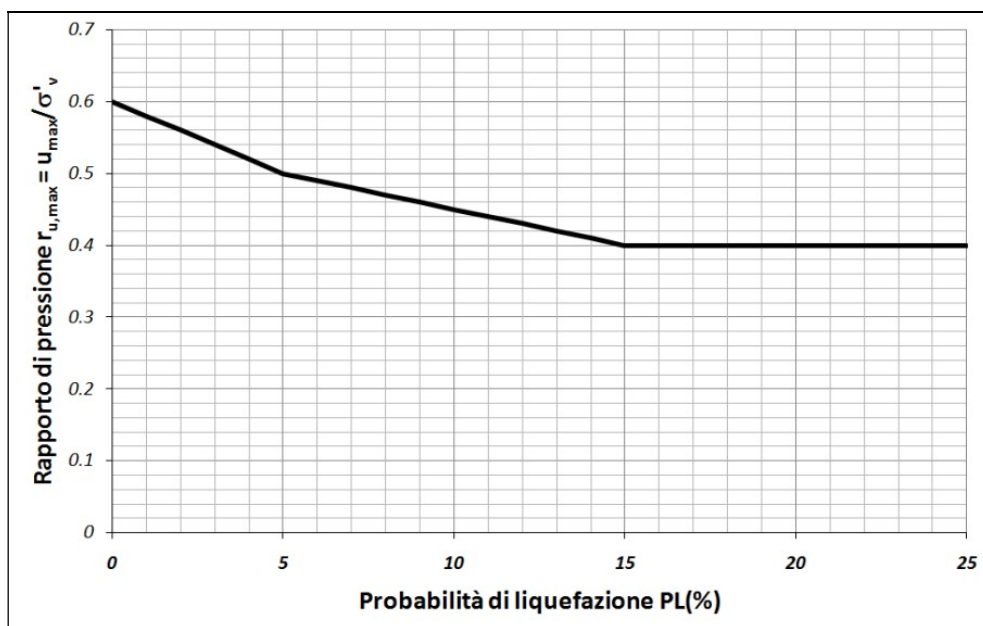
A.1.2. VERIFICA TECNICA DRENI IN GHIAIA

Litologia: Sabbie limose loc. argillose

Coefficiente di permeabilità orizzontale calcolabile con l'indice di comportamento di Robertson da prove penetrometriche



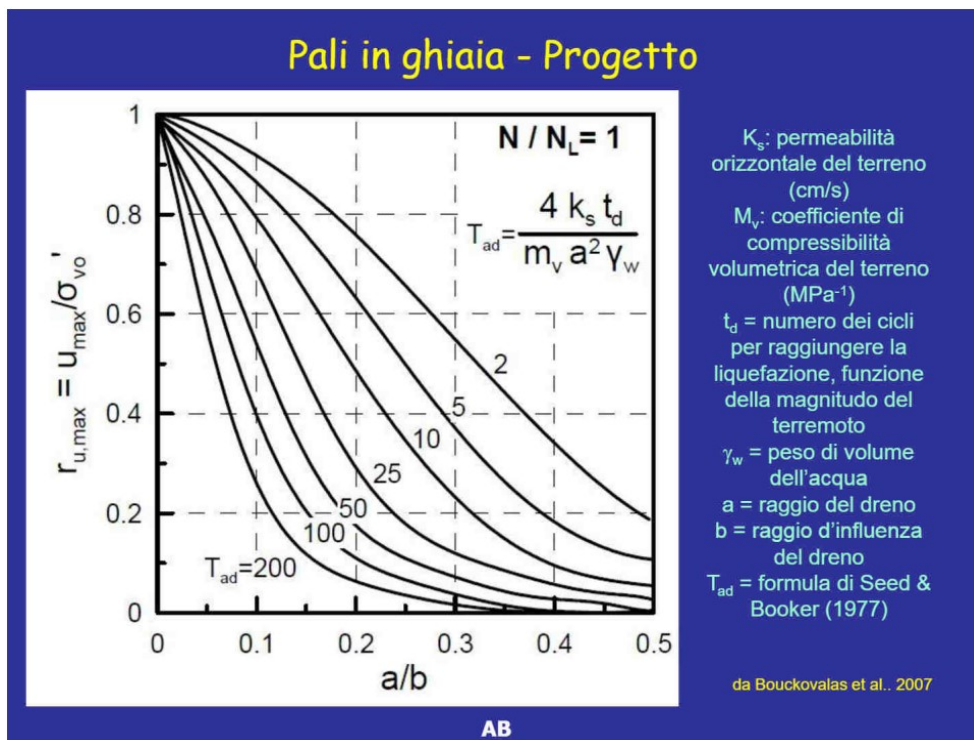
- **$K_s = 0,000163$ mt/sec (permeabilità orizzontale)**
- **$\Gamma_w = 9,81$ kN/mc**
- **td numero di cicli (da grafico) per magnitudo = 6.14 Richter = 4,20**
- **Raggio del dreno in ghiaia = 0,40 mt.**
- **Coeff. di compressibilità volumetrica $M_v = 1/E_{ed} = 1/4707$ kN/mq = 0,000212**
- **Spessore livello liquefazione colonna in ghiaia dal p. fondazione = 5 mt.**
- **Probabilità della liquefazione % = (15 – 25)**



Da cui:

- Rapporto di pressione $Ru_{max.} = 0,40$
- T_{ad} (Seed e Booker) = 8,23

Da abaco di Seed e Booker (1977):



Da cui:

- **Raggio di influenza equivalente del dreno = 1,60 mt.**
- **Distanza prevista tra due dreni contigui = 3,20 mt.**

Nel sito in esame si possono quindi prevedere dreni in ghiaia di diametro 800 mm. disposti a quinconce profondi 5 mt. dal piano di sbancamento ad interasse pari a circa 3 mt.

Jesi, li 07/05/2019

IL GEOLOGO

(Per Studio GEOTEC)

(Dott. Geol. Stefano Giuliani)

