



COMUNE DI CALDERARA DI RENO

Provincia di Bologna

MESSA IN SICUREZZA S.P. n.18 "PADULLESE" CON REALIZZAZIONE DI ROTONDA (Via Pertini) CUP F61B18000070004 - CIG Z4D2E031DE

PROGETTO DEFINITIVO

Committente:

COMUNE DI CALDERARA DI RENO

PIAZZA MARCONI , 7
40012 CALDERARA DI RENO (BO)

Sindaco: dott. Giampiero FALZONE

Vicesindaco: Luca GHERARDI

R.u.p: ing.Pierluigi TROPEA

Progettazione:



THESIS ENGINEERING



Studio Tecnico di Ingegneria
40037 Sasso Marconi (BO) - via Castello n.7
tel. 051.6750312 fax. 051.6750370
E-mail: thesis@studiothesis.it

prof. ing. Claudio COMASTRI

ing. Elia COMASTRI

Collaborazioni:

Topografia: ing. Valentina RUSSO

Geologia: dott. geol. Maria Angela CAZZOLI

Grafica: geom. Cristiano LAMMA
p.i. Cristina LAMMA

REVISIONI: AGGIORNAMENTI:	6				
	5				
	4				
	3				
	2				
	1				
1 ^A EMISS.				20.013.JST.118.D.VBR.004	Aprile 2021
	RICHIEDENTE/APPLICANT:	OGGETTO		FILE:	DATA:
ELABORATO/DRAWN BY:		Geom. Cristiano Lamma	CONTROLLATO/ CHECKED BY:		Ing. Elia Comastri
			APPROVATO/APPROVED BY:		Ing. Claudio Comastri

PROGETTO:	LIVELLO	PROGETTO DEFINITIVO			
	UBICAZIONE	COMUNE DI CALDERARA DI RENO			
	TITOLO	MESSA IN SICUREZZA S.P.18 "Padullese" (Via Pertini)		SCALA:	REVISIONE:
	TIPICITÀ	RELAZIONE GEOTECNICA			DATA:
			TAVOLA N.:	20013118DVBR004	
				-	Aprile 2021



1 TITOLI E CODICI

Codice Commessa: 2020-13

Committente: Comune di Calderara di Reno (BO)

Opera: Miglioramento della sicurezza della strada via Pertini di Calderara di Reno

Organizzazione e pianificazione del progetto

Responsabile del Progetto: ing. Claudio Comastri

Collaborazioni: ing. Elia Comastri

geom. Cristiano Lamma

p.ind. Cristina Lamma

Redazione ed approvazione del documento

Titolo: Relazione geotecnica

Pagine numerate: N. 16

Fogli A4: N. 16

Fogli A3: N./

Tavole allegate: N./

Revisione: Prima emissione

Data:

Data approvazione: Aprile 2021

Trasmissione del documento

Comune di Calderara di Reno

Responsabile del procedimento: ing. Tropea

Data di trasmissione:

Trasmissione: PEC/Cartaceo


R004_Relazione Geotecnica	A	07 Apr 2021	C.Comastri	E. Comatri	C.Comastri
File:	Rev:	Data	Elaborazione	Controllo	Approvazione



INDICE

1	TITOLI E CODICI	2
2	DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	4
3	LEGGI E NORME DI RIFERIMENTO	5
4	FONTI BIBLIOGRAFICHE	6
5	INTRODUZIONE	9
6	QUADRO PROGETTUALE.....	9
7	INDAGINI GEOGNOSTICHE	9
7.1	Campagna di indagini 2019.....	9
7.2	Campagne geognostiche pregresse	9
8	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	9
8.1	Criteri di caratterizzazione	9
8.1.1	Terreni prevalentemente granulari.....	9
8.1.2	Proprietà fisiche dei terreni granulari	12
8.2	Terreni prevalentemente coesivi.....	12
8.2.1	Premessa	12
8.2.2	Proprietà indice dei terreni coesivi	12
8.2.3	Resistenza al taglio non drenata.....	12
8.2.4	Valutazione di cu da prove SPT	13
8.2.5	Parametri di resistenza al taglio in termini di sforzi efficaci.....	13
8.2.6	Caratteristiche di deformabilità	13
8.2.7	Interpretazione delle prove in sito e risultati delle prove di laboratorio.....	13
9	MODELLAZIONE GEOTECNICA.....	13
9.1	Premessa	13
9.2	Unità stratigrafiche: caratteristiche geotecniche	13
10	SISMICA	14
10.1	Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche	16

R004 Relazione Geotecnica	A	07 Apr 2021	C.Comastri	E. Comatri	C.Comastri
File:	Rev:	Data	Elaborazione	Controllo	Approvazione

 THESEENGINEERING Studio Tecnico Ingegneria	Committente: Comune di Calderara di Reno	
	Cantiere: Miglioramento sicurezza via Pertini	
	Elaborato: R004_Relazione Geotecnica	
		Pag. 4 di 16

2 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

Fanno parte della documentazione di riferimento tutti gli elaborati trasmessi e messi a disposizione dal Comune di Calderara di Reno. Oltre alla documentazione specifica acquisita si è fatto riferimento agli strumenti urbanistici del Comune di Calderara di Reno, ai vincoli sovracomunali di natura ambientale, ecologica, archeologica.

Per le componenti geologica, sismica si è fatto riferimento ai documenti degli strumenti di cui è dotato il Comune di Calderara di Reno anche in forma associata con i Comune di Anzola dell'Emilia, Crevalcore, Sala Bolognese, Sant'Agata Bolognese, San Giovanni in Persiceto (Unione Terre d'Acqua):

- PSC Piano Strutturale Comunale in forma associata (2011): LR 24 marzo 2000 n.20:
- Quadro conoscitivo QC.3 – Sistema Insediativo Storico;
- Quadro conoscitivo QC.6 – Suolo- Sottosuolo- Acque.
- POC Piano Operativo Comunale approvato nel 2013.


R004_Relazione Geotecnica	A	07 Apr 2021	C.Comastri	E. Comatri	C.Comastri
File:	Rev:	Data	Elaborazione	Controllo	Approvazione



3 LEGGI E NORME DI RIFERIMENTO

- [a]. Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018 “Norme tecniche per le costruzioni”
- [b]. Decreto Legislativo 18 aprile 2016, n.50 “Codice dei contratti pubblici”.
- [c]. Decreto-Legge 30 dicembre 2016 n.244.
- [d]. Decreto legislativo 19 aprile 2017, n.56.
- [e]. Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008 “Norme tecniche per le costruzioni”
- [f]. Circolare 2 febbraio 2009, n.617 “Istruzioni per l’applicazione delle “Norme Tecniche per le costruzioni” di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008.
- [g]. Decreto ministeriale 30 novembre 1999, n. 557: “Regolamento recante norme per la definizione delle caratteristiche tecniche delle piste ciclabili”.
- [h]. Circ. n.7 – 2019
- [i]. Circ. Min. II.TT. 02.02.2009, n. 617, “Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le
- [j]. costruzioni di cui al decreto ministeriale 14.01.2008”;
- [k]. EN 1997 Eurocodice 7 “Geotechnical Design: Part 1: General rule. Part 2: Ground investigation and testing
- [l].
- [m]. ASTM D4253 “Standard test methods for maximum index density and unit weight of soils using a
- [n]. vibratory table
- [o]. ASTM D4254 “Standard test method for minimum index density and unit weight of soils and
- [p]. calculation of relative density
- [q]. ASTM D1557 “Test method for laboratory compaction characteristics of soil using modified effort”.
- [r]. CNR UNI 10006 “Costruzione e manutenzione delle strade – Tecnica di impiego delle terre”.
- [s]. CNR n. 36 “Stabilizzazione delle terre con calce”.
- [t]. CNR B.U., anno XXVI, n° 146 “Determinazione dei moduli di deformabilità Md e Md’ mediante prova di carico a doppio ciclo con piastra circolare.

R004_Relazione Geotecnica	A	07 Apr 2021	C.Comastri	E. Comatri	C.Comastri
File:	Rev:	Data	Elaborazione	Controllo	Approvazione

 THESEENGINEERING Studio Tecnico Ingegneria	Committente: Comune di Calderara di Reno	
	Cantiere: Miglioramento sicurezza via Pertini	
	Elaborato: R004_Relazione Geotecnica	
		Pag. 6 di 16

4 FONTI BIBLIOGRAFICHE

- [1]. Associazione Geotecnica Italiana (2005) "Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica", Patron Editore, Bologna.
- [2]. Cestari F. (1996) "Prove geotecniche in sito", II edizione, ed. GEO-GRAPH s.n.c., Segrate.
- [3]. Colombo P., Colleselli F. (1996) "Elementi di geotecnica", Seconda edizione, ed. Zanichelli, Bologna.
- [4]. Lancellotta R. (1993) "Geotecnica", Seconda edizione, ed. Zanichelli, Bologna.
- [5]. Poulos H.G., Davis E.H. (1974) "Elastic solutions for soil and rock mechanics", ed. John Wiley & Sons, Inc..
- [6]. Baldi G., Jamiolkowski M., Lo Presti D.C.F., Manfredini G., Rix G.J. (1989) "Italian experiences in assessing shear wave velocity from CPT and SPT" Earthquake Geotechnical Engineering, Proc. Of Discussion Session on Influence of Local Conditions on Seismic Response, 12th Int. Conf. On S.M.F.E., Rio de Janeiro, Brasil, pp. 157-168.
- [7]. Berardi R. (1999) "Non linear elastic approaches in foundation design" Pre-failure Deformation Characteristics of Geomaterials, Torino, Balkema.
- [8]. Bolton (1986) "The strength and dilatancy of sands" Geotechnique 36, n° 1.
- [9]. Burland J.B. (1990) "On the compressibility and shear strength of natural clays" Géotechnique 40, n° 3, pag. 329.
- [10]. Clayton C.R.I. (1995) "The Standard Penetration Test (SPT): Methods and use" CIRIA Report n°143, 1995.
- [11]. Cubrinowski M., Ishihara K. (1999) "Empirical correlation between SPT N-value and relative density for sandy soils" Soils and Foundations, vol. 39, n° 5, pp. 61-71.
- [12]. Jamiolkowski M., Ghionna V.N., Lancellotta R., Pasqualini E. (1988) "New correlations of penetration tests for design practice" Proceedings of I International Symposium on Penetration Testing, ISOPT I, Orlando.
- [13]. Jamiolkowski, M., Lo Presti, D.C.F. and Garizio, G.M. (2001). "Correlation between Relative Density and Cone Resistance for Silica Sands". Jubilee Volume 75th Anniversary of K. Terzaghi's. Erdbaumechanik Wien, Edit. H. Brandl.
- [14]. Lo Presti D.C.F. (1989) "Proprietà dinamiche dei terreni" Atti delle Conferenze di Geotecnica di Torino, 14th Ciclo, Comportamento dei terreni e delle fondazioni in campo dinamico.
- [15]. Lunne, T., Robertson, P.K., Powell, J.J.M. (1997). "Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice" Blackie Academic and Professional, London.
- [16]. Mayne P.W., Rix G.J. (1993) "Gmax - Qc relationship for clays" Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, vol.16, n°1, pp. 54-60.
- [17]. Rix, G.J. and Stokoe, K.H. (1992). "Correlation of initial tangent modulus and cone resistance".
- [18]. Proc. of the International Symposium on Calibration Chamber Testing, Potsdam, N.Y. Edit. Elsevier.
- [19]. Robertson P.K., Campanella R.G., Wightman A. (1983) "SPT-CPT Correlations" Journal of the Geotechnical Eng. Division, ASCE, Vol. 109.
- [20]. Robertson P.K., Campanella R.G. (1984) "Guidelines for use and interpretation of the electric cone penetration tests" Soil Mech. Series n° 69, Department of Civil Engineering, University of British Columbia.

R004 Relazione Geotecnica	A	07 Apr 2021	C.Comastri	E. Comatri	C.Comastri
File:	Rev:	Data	Elaborazione	Controllo	Approvazione



- [21]. Robertson P.K., Campanella R.C. (1986) "Guidelines for use, interpretation and application of the CPT and CPTU" Soil Mechanics Series 105, Department of Civil Eng., Univ. Of British Columbia, Vancouver.
- [22]. Robertson, P.K. (1990). "Soil Classification using the Cone Penetration Test". Canadian Geotechnical Journal, n° 1.
- [23]. Skempton A.W. (1986) "Standard Penetration Test procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, ageing and overconsolidation" Geotechnique 36, n° 3. Berardi R., Lancellotta R., "Stiffness of Granular Soils from Field Performance"; (1991), Geotechnique.
- [24]. amiolkowski M., Ladd, C.C., Germaine, J. T. E Lancellotta R. (1985), New Development in Field and Laboratory Testing of Soils. Theme Lecture, vol. 1, XI ICSMFE, San Francisco.
- [25]. Jamiolkowski M., Ghionna V.N., Lancellotta R., Pasqualini E. (1988) – New Correlations of penetration Tests for Design Practice – Proc. 1st International Symposium on Penetration Testing, Orlando.
- [26]. Lunne, T and Christophersen H.P (1983), "Interpretation of cone penetrometer data for offshore sands". Proceedings of the Offshore Technology Conference, Richardson, Texas, Paper N° 4464;
- [27]. NAVFAC (1975) – The standard penetration test and the engineering properties of Glacial Materials, Conf. On Engineering behavior of glacial materials University of Birmingham.
- [28]. Schmertmann J.H. (1975), "Measurement of In-Situ Shear Strength". State-of-the-Art Report, Proc.
- [29]. ASCE Specialty Conf. on in situ Measurement of Soil Properties, Raleigh, Vol.2, pp. 57-138.
- [30]. Shmertmann, J.H. "Guidelines for Cone Penetration Test Performance and Design", report FHWA-TS-78-209, U.S. Department of Transportation, Washington, (1978);
- [31]. Seed, H.B. e Idriss, I.M. (1971), "Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential", ASCE Journal of Soil Mechanics and Foundations Division, 97(9), 1249-1273.
- [32]. Liao, S.C. e Whitman, R.V., 1986, "Overburden correction factors for SPT in sand", ASCE Journal
- [33]. of Geotechnical Engineering, 112(3), 373-377.
- [34]. Youd et all (2001). "Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and
- [35]. 1998 NCEER/NSF Workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering.
- [36]. Idriss and Boulanger (2004). "Semi-Empirical procedures for evaluating liquefaction potential during earthquakes", Department of Civil & Environmental Engineering University of California, Davis, CA 95616-5924.
- [37]. Brinch Hansen J. (1970), "A Revised and Extended Formula for Bearing Capacity". Bull. n°28 -Danish Geotechnical Institute - Copenhagen.
- [38]. Stroud M.A., Butler F.G. (1975) – The standard penetration test and the engineering properties of Glacial Materials, Conf. On Engineering behavior of glacial materials University of Birmingham.
- [39]. EPRI (Electric power research institute). (1990) – "Manual on estimating soil proprieties for foundation design ", 1990

R004 Relazione Geotecnica	A	07 Apr 2021	C.Comastri	E. Comatri	C.Comastri
File:	Rev:	Data	Elaborazione	Controllo	Approvazione



[40]. Dipartimento della Protezione Civile (2008) – “Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica –Parte II: Linee guida”.

R004 Relazione Geotecnica	A	07 Apr 2021	C.Comastri	E. Comatri	C.Comastri
File:	Rev:	Data	Elaborazione	Controllo	Approvazione



5 INTRODUZIONE

La componente geotecnica del progetto definitivo di miglioramento della sicurezza della strada via Pertini di Calderara di Reno è descritta nella presente relazione geotecnica. Il modello geotecnico dell'immediato sottosuolo dell'area interessata dalla costruzione della nuova rotatoria e degli attraversamenti ciclopeditoni è stato elaborato facendo riferimento alle indagini geognostiche realizzate direttamente nel sottosuolo in corrispondenza della rotatoria di progetto ed alle indagini condotte con precedenti campagne geognostiche.

6 QUADRO PROGETTUALE

Il progetto di cui si tratta riguarda la realizzazione di una rotatoria stradale e di attraversamenti ciclopeditoni. La componente geotecnica del progetto riguarda la caratterizzazione dell'immediato sottosuolo interessato dall'ampliamento della sede stradale per la formazione della rotatoria. Per caratterizzare il sottosuolo sono state eseguite indagini in sito e sono state acquisiti i risultati di indagini già eseguite in campagne geognostiche pregresse.

7 INDAGINI GEOGNOSTICHE

7.1 Campagna di indagini 2019

Nel mese di settembre 2019 sono state eseguite due sondaggi meccanici a carotaggio continuo dalla ditta SOGEO S.r.l. di Lugo (RA) per conto del Comune di Calderara di Reno. La mappa con i punti di indagine le stratigrafie con le fotografie delle casse catalogatrici sono riportati in "allegato A" alla presente relazione.

7.2 Campagne geognostiche pregresse

In passato sono state eseguite prove penetrometriche e sondaggi profondi. I diagrammi e le sezioni geologiche e geotecniche sono state acquisite dal sito della Regione Emilia Romagna. Si rimanda alla Relazione Geologica redatta dalla Dott.ssa Maria Angela Cazzoli allegata alla documentazione del progetto del quale è parte integrante la presente relazione.

8 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Sulla base dei risultati delle indagini eseguite e delle informazioni acquisite dagli archivi della Regione Emilia Romagna oltre che da indagini pregresse è stato elaborato il modello geotecnico di calcolo ai sensi del cap.6 della vigente norma tecnica NTC2018.

8.1 Criteri di caratterizzazione

8.1.1 Terreni prevalentemente granulari

Il prelievo di campioni di terreni a grana grossa in condizioni indisturbate è molto difficile. La

R004_Relazione Geotecnica	A	07 Apr 2021	C.Comastri	E. Comatri	C.Comastri
File:	Rev:	Data	Elaborazione	Controllo	Approvazione



caratterizzazione geotecnica di tali terreni è affidata principalmente all'interpretazione dei dati ottenuti da prove in sito. .

8.1.1.1 Densità relativa da Interpretazione prove SPT

L'interpretazione delle prove SPT è stata eseguita adottando una metodologia che si basa sulla definizione del valore del numero dei colpi normalizzato ($(N_1)_{60}$).

Le prove SPT a fondo foro consistono nel misurare il numero di colpi richiesto per provocare l'avanzamento per battitura di un campionatore standard per tre tratti consecutivi di 15 cm ciascuno. La resistenza dinamica puntuale, NSPT, si ottiene sommando il numero di colpi necessario per l'avanzamento degli ultimi 30 cm. Per tenere conto dei fattori di variabilità connessi ai diversi dispositivi di infissione presenti sul mercato e della pressione efficace del terreno alla profondità di esecuzione della prova, viene valutato in funzione della profondità il valore normalizzato di NSPT, cioè $(N_1)_{60}$, ricavato dalla seguente espressione:

$$(N_1)_{60} = N_{SPT} \times \frac{ER}{60} \times C_N$$

in cui:

$$C_N = (98.1/\sigma'_{v0})^{0.5} = \text{coefficiente di correzione dipendente dal valore di } \sigma'_{v0};$$

σ'_{v0} = pressione verticale efficace alla profondità di prova;

ER: rendimento medio del dispositivo di infissione effettivamente impiegato espresso in percentuale (per il presente caso assunto pari al 65%).

Sulla base della definizione del parametro $(N_1)_{60}$ sono state applicate delle correlazioni di letteratura per interpretare i dati in termini di parametri di resistenza al taglio e deformabilità.

Di seguito si forniscono le correlazioni adottate per le stime della densità relativa D_R , dell'angolo di resistenza al taglio ϕ' e dei moduli di elasticità.

I valori di densità relativa sono stati stimati utilizzando i valori del numero di colpi NSPT normalizzati

$$D_R = \left[\frac{(N_1)_{60}}{60} \right]^{0.5}$$

mediante il valore $(N_1)_{60}$. La stima dei valori di densità relativa è necessaria per la successiva determinazione dei valori degli angoli di resistenza al taglio e dei moduli di deformabilità per i terreni granulari. In particolare, per la stima del valore di densità relativa è stata adotta la relazione di Skempton.

Nella valutazione dei risultati, è stato tenuto conto dell'effetto della granulometria come segue:

- nelle sabbie, la D_R è il valore medio "prudenziale" (valore caratteristico);
- nelle ghiaie, di ogni tipo, la D_R e/o i parametri da essa derivati saranno stabiliti in modo tale da essere prudentemente inferiori al valore minimo assoluto; ciò in ragione del fatto che le prove SPT forniscono valori in proporzione maggiori delle sabbie in ragione della differente granulometria.

8.1.1.2 Angolo di resistenza a taglio

I valori dell'angolo di resistenza al taglio sono calcolati dall'interpretazione di numero di colpi SPT o da

R004 Relazione Geotecnica	A	07 Apr 2021	C.Comastri	E. Comatri	C.Comastri
File:	Rev:	Data	Elaborazione	Controllo	Approvazione



numero di colpi CPT mediante la relazione di Schmertmann.

$$\phi'_p = 28 + 0,14 \cdot D_R$$

Per sabbie fini uniformi;

$$\phi'_p = 31,5 + 0,115 \cdot D_R$$

Per sabbie medie uniformi e sabbie fini ben gradate,

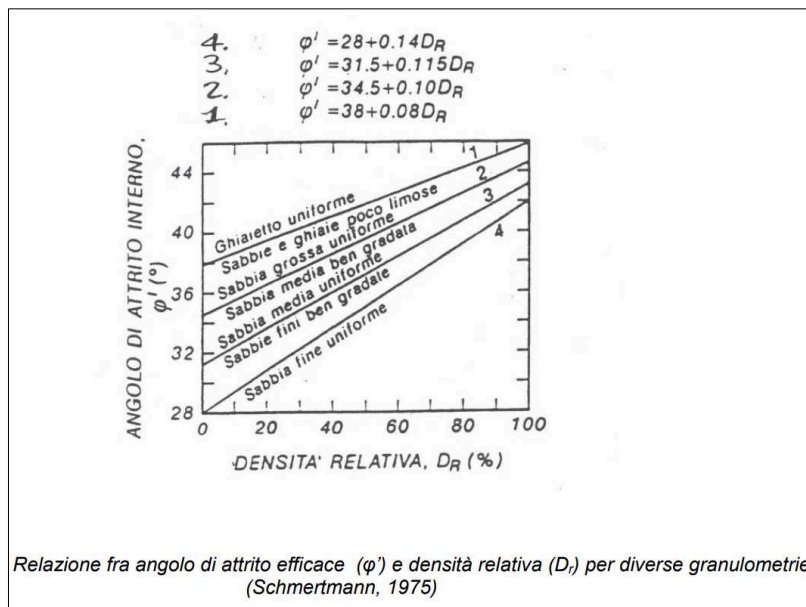
$$\phi'_p = 34,5 + 0,10 \cdot D_R$$

Per sabbie grosse uniformi e sabbie medie ben gradate,

$$\phi'_p = 38,0 + 0,08 \cdot D_R$$

Per ghiaietti uniformi e sabbie e ghiaie poco limose

D_R è il corrispondente valore della densità relativa. Si noti come nella relazione sopra riportata, il valore dell'angolo di resistenza al taglio sia quello "di picco".



8.1.1.3 Parametri di deformabilità

Moduli elastici a grandi deformazioni da prove SPT

Per una valutazione generale della rigidità dei materiali (paratie, opere di sostegno, etc.), il modulo elastico operativo E'_{25} (corrispondente ad un grado di mobilitazione della resistenza ultima pari al 25%) è valutato mediante la correlazione proposta da Jamiolkowski, 1988.

per terreni normalconsolidati:

$$E'_{25} = 0.0981 \times (10.5 - 3.5 D_R) \times N_{SPT} \text{ (MPa)}$$

per terreni sovraconsolidati:

$$E'_{25} = 0.0981 \times (52.5 - 35 D_R) \times N_{SPT} \text{ (MPa)}$$

In cui:

E'_{25} : modulo di Young secante, cui corrisponde un grado di mobilitazione della resistenza ultima pari

R004 Relazione Geotecnica	A	07 Apr 2021	C.Comastri	E. Comatri	C.Comastri
File:	Rev:	Data	Elaborazione	Controllo	Approvazione



al 25%;

D_R : densità relativa, espressa come frazione dell'unità;

N_{SPT} : numero di colpi da prova SPT

8.1.2 Proprietà fisiche dei terreni granulari

La classificazione dei terreni a grana fine, e pertanto a prevalente comportamento granulare, è stata effettuata in primo luogo facendo riferimento ai risultati delle prove di laboratorio in termini di:

- . analisi granulometrica;
- . pesi di volume naturale e secco.

8.2 Terreni prevalentemente coesivi

8.2.1 Premessa

Per la caratterizzazione geotecnica dei terreni a grana fine ci si è affidata sia all'interpretazione delle prove di laboratorio sia all'interpretazione delle prove in sito. Scopo delle indagini è quello di definire in particolare modo le seguenti proprietà:

- OCR – grado di consolidazione;
- parametri di resistenza al taglio;
- parametri di deformabilità;
- coefficienti di permeabilità.

8.2.2 Proprietà indice dei terreni coesivi

La classificazione dei terreni a grana fine, e pertanto a prevalente comportamento coesivo, è stata effettuata in primo luogo facendo riferimento ai risultati delle prove di laboratorio in termini di:

- analisi granulometrica;
- limiti di Atterberg (limite liquido e limite plastico);
- pesi di volume naturale e secco;
- grado di saturazione;
- umidità naturale;
- indice dei vuoti iniziale.

I primi due fattori consentono la classificazione del materiale secondo i riferimenti bibliografici correnti, come ad esempio la UNI 10006 ed il sistema USCS.

8.2.3 Resistenza al taglio non drenata

La resistenza al taglio non drenata c_u dei terreni limoso-argillosi saturi verrà valutata facendo riferimento:

- ai risultati delle prove di laboratorio triassiali non consolidate non drenate (TX-UU) ;
- all'interpretazione delle prove dinamiche SPT;
- all'interpretazione delle prove con pocket penetrometer e Torvane sulle carote estratte durante la fase di sondaggi;
- all'interpretazione delle prove con pocket penetrometer e Torvane sui campioni di laboratorio.

R004_Relazione Geotecnica	A	07 Apr 2021	C.Comastri	E. Comatri	C.Comastri
File:	Rev:	Data	Elaborazione	Controllo	Approvazione



8.2.4 Valutazione di cu da prove SPT

Nel caso dei terreni limoso-argillosi saturi, la resistenza al taglio non drenata è stata stimata sulla base di correlazioni empiriche.

Nello specifico, è adottata la correlazione di Terzaghi e Peck, coesione non drenata in kPa):

$$c_u = 6.0 N_{SPT} \text{ (kPa)}$$

e dalla relazione di Jamiolkowski (1985), valida per terreni normalconsolidati:

$$c_u \text{ min} = 0.2 \cdot \sigma'_{vo} \text{ (kPa)}$$

dove:

σ'_{vo} = pressione verticale efficace alla profondità di prova;

N_{SPT} = numero di colpi della prova SPT.

8.2.5 Parametri di resistenza al taglio in termini di sforzi efficaci

I parametri di resistenza in termini di sforzi efficaci verranno determinati sulla base dei risultati delle prove di laboratorio di taglio diretto (TD) e triassiali consolidate non drenate (TX-CIU).

8.2.6 Caratteristiche di deformabilità

8.2.6.1 Modulo edometrico da prove SPT

Il valore del modulo edometrico o modulo elastico drenato confinato, M_{ds} è stato calcolato, sulla base dei risultati delle prove SPT, mediante la relazione di Stroud e Butler (1975) :

$$M_{ds} = 0.6 \cdot N_{SPT} \text{ (MPa)}$$

8.2.7 Interpretazione delle prove in sito e risultati delle prove di laboratorio

Ad integrazione dei dati risultanti dalle prove in sito e delle prove di laboratorio in Appendice 1 sono stati riportati, suddivisi nelle diverse unità geotecniche riconosciute, tutti i relativi parametri geotecnici calcolati dai valori di N_{SPT} sulla base delle correlazioni proposte oppure determinati a mezzo delle prove di laboratorio eseguite.

9 MODELLAZIONE GEOTECNICA

9.1 Premessa

Il presente capitolo riporta la caratterizzazione geotecnica delle principali unità litostratigrafiche individuate lungo il tratto stradale in esame.

La caratterizzazione geotecnica si è basata principalmente su:

- descrizione stratigrafica dei sondaggi;
- interpretazione dei risultati delle prove penetrometriche dinamiche SPT;
- prove di laboratorio sui campioni rimaneggiati ed indisturbati.

9.2 Unità stratigrafiche: caratteristiche geotecniche

Le unità litostratigrafiche, così come presentate nel precedente capitolo, sono state suddivise nelle seguenti unità geotecniche:

R004_Relazione Geotecnica	A	07 Apr 2021	C.Comastri	E. Comatri	C.Comastri
File:	Rev:	Data	Elaborazione	Controllo	Approvazione



- Unità 1: profondità da 0,00m a – 0,30m;
Litologia: limi argillosi e sabbiosi con componente vegetale superficiale.
Peso di volume: $\gamma = 17,0 \text{ kN/m}^3 \div 17,5 \text{ kN/m}^3$
Angolo di resistenza a taglio: $\phi' = 20^\circ \div 22^\circ$
Coesione: $c' = 0,0 \text{ kPa}$
Modulo di deformazione: $M = 5,0 \div 8,0 \text{ MPa}$
- Unità 2: profondità da 0,30m a – 6,70m;
Litologia: limi argillosi e sabbiosi – argille sabbiose e limose
Peso di volume: $\gamma = 18,0 \text{ kN/m}^3 \div 18,5 \text{ kN/m}^3$
Angolo di resistenza a taglio: $\phi' = 22^\circ \div 24^\circ$
Coesione: $c' = 0,0 \text{ kPa}$
Modulo di deformazione: $M = 10,0 \div 20,0 \text{ MPa}$
- Unità 3: profondità da 6,70m a – 10,00m;
Litologia: sabbie limose e sabbie
Peso di volume: $\gamma = 18,0 \text{ kN/m}^3 \div 18,5 \text{ kN/m}^3$
Angolo di resistenza a taglio: $\phi' = 23^\circ \div 26^\circ$
Coesione: $c' = 0,0 \text{ kPa}$
Modulo di deformazione: $M = 20,0 \div 30,0 \text{ MPa}$
- Unità 4: profondità da 10,0m a – 15,00m;
Litologia: argilla e argille debolmente limosa
Peso di volume: $\gamma = 18,0 \text{ kN/m}^3 \div 19,0 \text{ kN/m}^3$
Angolo di resistenza a taglio: $\phi' = 24^\circ \div 27^\circ$
Coesione: $c' = 10,0 \text{ kPa}$
Modulo di deformazione: $M = 20,0 \div 30,0 \text{ MPa}$

10 SISMICA

Il territorio dell'Emilia-Romagna è costituito dal versante padano dell'Appennino settentrionale e dalla Pianura Padana a sud del Po; il limite regionale, infatti, coincide per lunghi tratti con lo spartiacque appenninico verso sud e con il corso del Po verso nord. Il fronte della catena appenninica non coincide però con il limite morfologico catena-pianura ma è individuabile negli archi esterni delle Pieghe Emiliane e Ferraresi sepolte dai sedimenti quaternari padani.

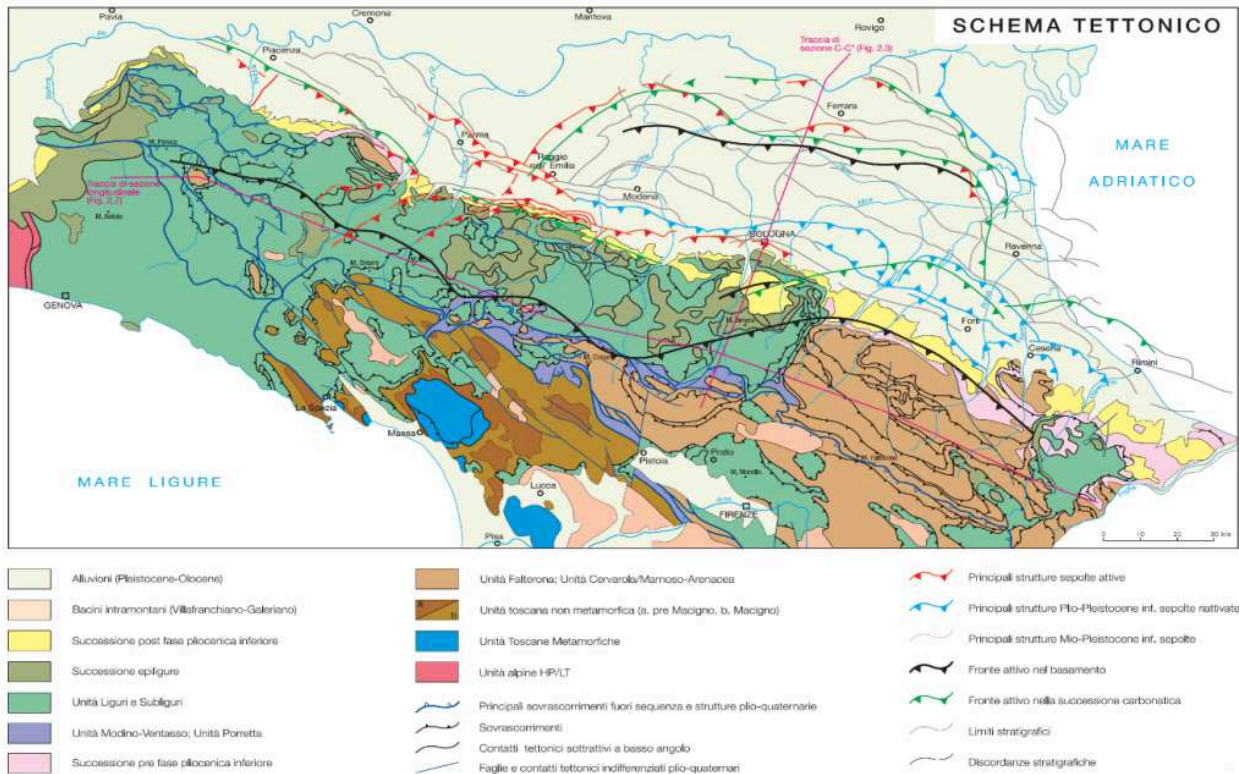
Per quanto attiene agli aspetti sismo-tettonici, le evidenze geologiche, le sezioni sismiche e gli studi morfo-tettonici indicano come la tettonica sia generalmente caratterizzata dalla presenza di strutture compressive attive, come sovrascorrimenti e piegamenti, come segnalato anche dalle soluzioni dei meccanismi focali di terremoti.

L'analisi della sismo-tettonica dell'Emilia-Romagna ha messo in evidenza come parte delle strutture individuate da profili sismici che interessano il riempimento sedimentario Plio-Pleistocenico siano

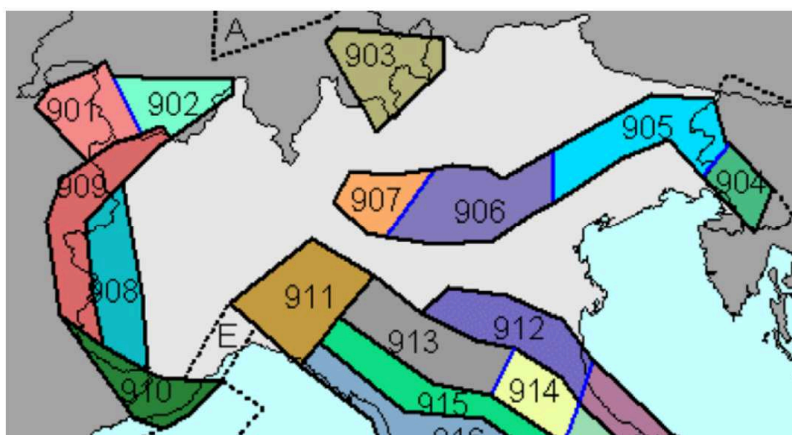
R004 Relazione Geotecnica	A	07 Apr 2021	C.Comastri	E. Comatri	C.Comastri
File:	Rev:	Data	Elaborazione	Controllo	Approvazione



caratterizzate da attività molto recente ad attuale. In particolare, risultano attivi i sovrascorrimenti sepolti che danno luogo agli archi di Piacenza - Parma, Reggio Emilia e di Ferrara (Boccaletti et alii, 2004).




A tali strutture (in particolare alla dorsale Ferrarese) possono essere associati i fenomeni di fagliazione superficiale osservati in alcune aree di Pianura Padana, nelle province di Reggio Emilia e Modena (Pellegriani & Mezzani, 1978). Lungo il margine, risulta attivo il thrust pede-appenninico tra Bologna e Parma, mentre blind thrusts attivi caratterizzano il settore a Sud Est di Bologna. L'attività del thrust pede-appenninico è in accordo con quanto osservato da Amorosi et alii (1996) sulla base dell'analisi delle correlazioni tra terrazzi fluviali del margine e conoidi alluvionali nella pianura nelle vicinanze della città di Bologna.



- Particolare della Zonazione sismogenetica ZS9 (Meletti et al., 2004)

Con riferimento ai recenti studi condotti sull'intero territorio nazionale per la realizzazione di un modello delle sorgenti sismo-genetiche, l'area in esame è compresa interamente nella zona sismo-genetica 912 (Meletti et al., 2004 - cfr. Figura 4-2), corrispondente alla Dorsale Ferrarese, caratterizzata da una magnitudo massima M_{wmax} pari a 6.14.

R004 Relazione Geotecnica	A	07 Apr 2021	C.Comastri	E. Comatri	C.Comastri
File:	Rev:	Data	Elaborazione	Controllo	Approvazione

 THESEENGINEERING Studio Tecnico Ingegneria	Committente: Comune di Calderara di Reno		Pag. 16 di 16
	Cantiere: Miglioramento sicurezza via Pertini		
	Elaborato: R004_Relazione Geotecnica		

Il territorio di Calderara di Reno, indicata nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la Deliberazione della Giunta Regionale n.1435 del 21 luglio 2003 e successivamente con la n.1164 del 23 luglio 2018 è classificato come **zona sismica 3** (*Zona con pericolosità sismica bassa, che può essere soggetta a scuotimenti modesti*).

10.1 Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche

Le categorie di sottosuolo sono definite sulla base del parametro di velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,30}$ relativo ai primi 30 metri di profondità. È altresì specificato che “Per le fondazioni superficiali, tale profondità è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell’opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione”.

La misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio è fortemente raccomandata; è peraltro previsto che, nel caso in cui la misura diretta della V_S non sia disponibile, è possibile eseguire la classificazione del sottosuolo sulla base del valore dei numeri di colpi equivalente della prova penetrometrica dinamica $N_{SPT,30}$ per i terreni a grana grossa e/o sulla base della coesione non drenata equivalente $c_{u,30}$ per quelli a grana fine.

Sulla base dei risultati delle indagini e delle prove condotte direttamente nel sottosuolo si attribuisce la **categoria di sottosuolo D** ai terreni di fondazione di tutte le opere previste in progetto.

Per quanto attiene infine al coefficiente di amplificazione topografica, si assume che le aree in esame siano sempre riferibili alla categoria T1, ovvero quali “superfici pianeggianti, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15$ ”.

 Prof. ing. Claudio Comastri

R004_Relazione Geotecnica	A	07 Apr 2021	C.Comastri	E. Comatri	C.Comastri
File:	Rev:	Data	Elaborazione	Controllo	Approvazione