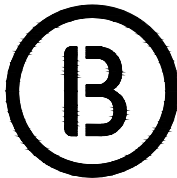


STUDIO ASSOCIATO BARBIERI - TAPPI

ARCH. ING. FILIPPO BARBIERI
ARCH. LORENZO TAPPI
info@studioassociatobarbieri.it
studioassociatobarbieri@pec.it

VIALE OSSERVANZA 145
47521 CESENA (FC)
T/F +39 0547.611227



COMUNE DI CERVIA

GENNAIO 2026

Progetto

PdC relativo ad attuazione del progetto di prolungamento di Via delle Rose di cui alla determina dirigenziale n. 854 del 11/06/2024 da realizzarsi in quartiere Malva Nord, Via delle Rose e Via Maccanetto, Cap 48015, Cervia (RA)

Committente

COMUNE DI CERVIA
RUP - ING. LUCA GIOVANNINI
SETTORE GESTIONE DEL TERRITORIO

Progetto Architettonico

Timbro e firma progettisti

Arch. Ing. Filippo Barbieri
Viale Osservanza 145, 47521, Cesena (FC)
Iscritto all'Ordine degli Architetti di Forlì-Cesena al n.1271
Iscritto all'Ordine degli Ingegneri di Forlì-Cesena al n.07/b
CF: BRBFPP76L27C573L

RELAZIONE GEOLOGICA

B-02



Studio Associato Barbieri

B-02 RELAZIONE GEOTECNICA

PdC relativo ad attuazione del progetto di prolungamento di Via delle Rose di cui alla determina dirigenziale n. 854 del 11/06/2024 da realizzarsi in quartiere Malva Nord, Via delle Rose e Via Maccanetto, Cap 48015, Cervia (RA)

Soggetto Attuatore: COMUNE DI CERVIA
RUP - ING. LUCA GIOVANNINI
SETTORE GESTIONE DEL TERRITORIO

L'area oggetto di intervento, situata in località Malva Nord, ricade all'interno del territorio urbanizzato (art. 6.3) come descritto dal PUG vigente. Il presente provvedimento è finalizzato alla realizzazione di un nuovo tratto di strada consistente nello specifico nel prolungamento dell'attuale strada chiusa in Via delle Rose fino alla Via Maccanetto per una lunghezza complessiva di circa 100 m. L'intervento prevede, unitamente alla realizzazione della strada, a carico del soggetto attuatore una serie di opere infrastrutturali funzionali alla realizzazione e consono fruizione del tratto di nuova realizzazione come la realizzazione di parcheggio pubblico, marciapiedi, pista ciclabile e realizzazione dei relativi sottoservizi.



Studio Associato Barbieri

LOCALIZZAZIONE

Per quanto riguarda il rischio sismico, poiché l'area di interesse ricade in base alla tavola 05_S1b "Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)", nella zona ZA_LQ 4 – Zona di attenzione per liquefazione, nella relazione si dà risposta anche a quanto richiesto all'art. 4.6 del PUG di Cervia (prescrizione 5), con lo svolgimento degli opportuni approfondimenti sismici finalizzati all'analisi della pericolosità sito – specifica ed alla verifica della fattibilità degli interventi previsti.





MODELLO GEOLOGICO

Si inizierà la trattazione partendo dall'ultima glaciazione (WURM) che investì il nostro pianeta a partire da 60.000-70.000 anni fa e che durò, sia pure intervallata da periodi interglaciali, fino a 17.000-20.000 anni fa col risultato di fare abbassare il livello marino ad un centinaio di metri al di sotto di quello attuale. Nel sottosuolo ravennate, ad una profondità di circa 80 m è stato possibile osservare che le faune marine fossili del Pleistocene superiore (TIRRENIANO) tendono a scomparire passando attraverso forme di ambiente lagunare, a sedimenti di ambiente sia terrestre che di acqua dolce. Lo spessore dei sedimenti continentali depositatisi in questa zona durante la regressione Wurmiana si aggira sui 50 m. Si tratta in prevalenza di limi argillosi con intercalazioni di argille e sabbie. In definitiva durante la regressione Wurmiana, a seguito dell'abbassamento del livello marino, l'alto Adriatico si era trasformato in una vasta piana alluvionale. Secondo studi eseguiti su scala mondiale sembra accertato che ad iniziare da 17.000 anni fa la temperatura media terrestre cominciò ad aumentare. Prese così avvio un miglioramento climatico che portò come conseguenza ad un generale ritiro dei ghiacciai e ad un aumento del livello marino che durante questa generale trasgressione si arrestò contro le prime colline a sud di Rimini. Nel corso della massima espansione della trasgressione Flandriana la linea di costa raggiunse posizioni nell'entroterra ravennate distanti una ventina di km. da quella attuale. Pertanto tutta una vasta area attorno a Ravenna fu occupata dal mare fino a circa 5-7000 anni b.p., quando ebbe inizio una generale regressione che portò, sia pure con alterne vicende, la linea di costa all'attuale posizione. Nel territorio ravennate la trasgressione è contrassegnata dalla presenza di limo dello spessore di poco più di un metro di ambiente lagunare cui segue sabbia di ambiente di spiaggia. Questa sabbia segna il passaggio della linea di costa che, dopo aver raggiunto le posizioni più occidentali, durante la fase della massima espansione della trasgressione, si ritirò su una posizione di qualche km più arretrata. Su questa nuova posizione la spiaggia si stabilizzò per qualche migliaio di anni, dando vita ad un corpo sabbioso spesso a 15 ai 25 m; in questo corpo sabbioso si inseriscono anche strati ghiaiosi a causa di particolari condizioni di trasporto delle correnti di riva. Ad ovest di tale corpo sabbioso si ebbe invece una sedimentazione di limo sabbioso, limo, argilla e torba per l'instaurarsi di un ambiente prima lagunare poi vallivo. Infine, ad est dello stesso corpo sabbioso, dove la sedimentazione avveniva via via in mare aperto sempre più lontano dalla costa, si aveva deposito di limo sabbioso, limo o argilla. Esaminando la successione pleistocenico-aternaria tipica del territorio ravennate si evidenzia, durante la fase regressiva Wurmiana (60000-70000 anni fa) la deposizione di sedimenti continentali (40-50 m di potenza) costituiti da argille alluvionali, all'interno delle quali sono presenti corpi sabbiosi irregolari costituenti depositi fluviali di alveo o di esondazione. Al di sopra di questi depositi è presente localmente un livello di argilla molle di tipo palustre o lagunare testimoniante il riavvicinamento della linea costiera causato dalla trasgressione Flandriana (iniziata 17000 anni fa); detta trasgressione, dovuta all'innalzamento della temperatura di alcuni gradi centigradi su



Studio Associato Barbieri

scala planetaria, ha causato l'arretramento della linea di costa dalla posizione di massima regressione Wurmiana (ad Est di Ancona) sino a 15-16 Km ad Ovest dell'attuale alla latitudine di Ravenna e 26-27 Km a quella dell'area di indagine "Tetto delle sabbie litorali dell'allomembro di Ravenna". La trasgressione della linea di costa attraverso il territorio ravennate ha determinato la deposizione di sabbie fini di ambiente litorale, con frequenti intercalazioni limosoargillose, di spessore relativamente modesto e sedimenti fini di bassa consistenza con lenti di sabbia fine tipici di un ambiente marino poco profondo in cui sfociavano i fiumi. Terminata la trasgressione Flandriana la linea di costa è rimasta per alcune migliaia di anni, pur con piccole oscillazioni, nella stessa posizione ovvero secondo una linea che corre, dal comune di Cervia verso Nord, parallela alla SS adriatica ed immediatamente a ponente di questa sino a Ravenna, per poi spostarsi più ad Ovest. Con l'ultima regressione infine, iniziata tra i 6000 ed i 7000 anni fa, la linea di costa è migrata verso Est (con episodi alterni) sino all'attuale posizione. Durante la fase regressiva Olocenica si è depositato un corpo sabbioso complesso formato dall'accostamento di cordoni litorali sabbiosi, via via successivi fino a quello attuale affiorante; al suo interno sono localmente inserite intercalazioni ghiaiose, con direzione all'incirca NO-SE (parallele all'antica linea di costa), deposte in seguito a particolari condizioni di trasporto delle correnti di riva. L'elevato spessore, fino a 10-15 m, della bancata formata dalla progradazione di sedimenti sabbiosi, testimonia la lenta evoluzione della fase regressiva che ha provocato la migrazione verso Est della linea di spiaggia. La formazione di un ambiente prima lagunare poi alluvionale è stata favorita anche dalla subsidenza naturale, che ha determinato un lento ma incessante abbassamento del suolo.

SUCCESSIONE NEOGENICO-QUATERNARIA DEL MARGINE APPENNINICO PADANO

AES8 - Subsintema di Ravenna

Ghiaie da molto grossolane a fini con matrice sabbiosa, sabbie e limi stratificati con copertura discontinua di limi argillosi, limi e limi sabbiosi, rispettivamente depositi di conoide ghiaiosa, intravallivi terrazzati e di interconoide. L'unità comprende più ordini di terrazzo nelle zone intravallive. Argille, limi ed alternanze limoso-sabbiose di tracimazione fluviale (piana inondabile, argine, e tracimazioni indifferenziate). Il tetto dell'unità è rappresentato dalla superficie deposizionale, per gran parte relitta, corrispondente al piano topografico. A tetto suoli, variabili da non calcarei a calcarei, a basso grado di alterazione con fronte di alterazione potente meno di 150 cm, e a luoghi parziale decarbonatazione; orizzonti superficiali di colore giallobruno. I suoli non calcarei e scarsamente calcarei hanno colore bruno scuro e bruno scuro giallastro, spessore dell'alterazione da 0,5 ad 1,5 m, contengono frequenti reperti archeologici di età del Bronzo, del Ferro e Romana. I suoli calcarei appartengono all'unità AES8a. nel sottosuolo della pianura: depositi argillosi e limosi grigi e grigio scuri, arricchiti in sostanza organica, di piana inondabile non drenata, palude e laguna passanti, verso l'alto, a limi-sabbiosi, limi ed argille bruni e giallastri di piana alluvionale. Il contatto di base è



Studio Associato Barbieri

discontinuo, spesso erosivo e discordante, sugli altri subsintemi e sulle unità più antiche. Lo spessore massimo dell'unità è circa 20 m. Pleistocene sup. – Olocene

AES8a - Unità di Modena

Ghiaie prevalenti e sabbie, ricoperte da una coltre limoso argillosa discontinua, talora organizzate in corpi a geometrie lenticolari, nastriformi, tabulari e cuneiformi. Depositi alluvionali intravallivi, terrazzati (primo ordine dei terrazzi nelle zone intravallive), deltizi, litorali, di conoide e, localmente, di piana inondabile. Nella costa e nel Mare Adriatico sabbie di cordone litorale e di fronte deltizia passanti ad argille e limi di prodelta e di transizione alla piattaforma. Limite superiore coincidente con il piano topografico dato da un suolo calcareo di colore bruno olivastro e bruno grigiastro. Il profilo di alterazione è di esiguo spessore (meno di 100 cm). Può ricoprire resti archeologici di età romana del VI secolo d.C. Lo spessore massimo dell'unità è generalmente di alcuni metri, talora plurimetrico. Olocene.

STRATIGRAFIA DEL TERRENO

- da 0.00 m circa fino a circa -3.50 m si è attraversato terreno di natura sabbiosa da mediamente ad addensato.
- da 3.50 m circa fino alla profondità di -9.00 metri si è attraversato terreno sabbioso limoso con livelli decimetrici di sabbia addensata/molto addensata.
- da 9.00 m circa fino alla profondità di - 14.00 m si è attraversato limo argilloso/argilla limosa.
- da 14.00 m circa fino alla profondità di - 20.00 m si è attraversato argilla limosa.

CARATTERISTICHE SISMICHE

Secondo l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003 recante i "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione del territorio nazionale e di normative per la costruzione in zona sismica", il territorio comunale di Cervia risulta all'interno della "zona 2". Secondo la precedente classificazione il Comune di Cervia risultava zona sismica di II^a categoria. Le "N.T.C. 2018" (entrate in vigore il 22/03/2018), approvate con Decreto del Ministero delle Infrastrutture, relativamente alla classificazione sismica non hanno modificato quanto indicato dalle precedenti. Essendo gli strati sabbiosi saturi presenti nei primi 20 metri di profondità quelli potenzialmente liquefacibili, è stata valutata tale potenzialità per gli strati granulari riscontrati nel corso della prova CPTU (secondo il metodo proposto dal C.N.R. e consigliato dal Gruppo Nazionale Difesa dai Terremoti), adottando i valori di accelerazione al bedrock forniti dall'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia). Quindi per il comune di Cervia, inserito in zona 2, l'accelerazione è pari a 0.25 g. Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto secondo la classificazione indicata nelle NTC 2018, è stata effettuata una nuova indagine geofisica dal dott. geol. Rolfini (vedi allegato) che ha evidenziato una velocità

equivalente $V_{seq} - V_{s,30}$ pari a 241 m/s. In riferimento alla tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo (NTC 2018) che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato, il sito esaminato presenta pertanto un sottosuolo di tipo C ovvero: "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 $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s".

STIMA DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE





Studio Associato Barbieri

Per liquefazione di un terreno si intende il quasi totale annullamento della sua resistenza al taglio con l'assunzione del comportamento meccanico caratteristico dei liquidi. Il fenomeno della liquefazione si può manifestare preferibilmente in depositi sciolti non coesivi posti sotto falda, in seguito ad eventi che producano un forte aumento della pressione interstiziale dell'acqua. Durante un terremoto il terreno può essere visto come sottoposto da una serie di cicli di carico variabili in intensità e numero in funzione della magnitudo del sisma stesso. In terremoti di elevata magnitudo è sufficiente un numero ridotto di cicli di carico per produrre la liquefazione del deposito, poiché ad ogni ciclo è associata una sollecitazione dinamica di maggiore intensità. In terremoti di minore magnitudo lo stesso effetto lo si ottiene con un numero superiore di cicli di carico. In definitiva, un'elevata magnitudo del sisma e una lunga durata dello stesso rendono più probabile l'iniziarsi della liquefazione in un deposito a prevalenza sabbiosa. Dall'analisi dei fattori che predispongono un terreno alla liquefazione, tra i quali la granulometria, la profondità del livello potenzialmente liquefacibile, il grado di addensamento dei depositi, in linea generale si possono ritenere potenzialmente liquefacibili quei depositi sciolti costituiti da sabbie da fini a medie con contenuto in fine variabile dallo 0 al 25%, si trovano sotto falda, sono da poco a mediamente addensati e si trovano a profondità relativamente basse (di solito inferiori a 15 metri). Per la presenza di depositi granulari/incoerenti con spessori > 1,00 m e saturi d'acqua, si ritiene necessario eseguire la verifica a liquefazione. Come indicato nelle delibere regionali, tra i metodi semplificati sono raccomandati quelli basati su prove penetrometriche e tra questi in particolare il metodo di Robertson 2009 e Idriss & Boulanger, 2004-2008. Per il presente studio sono state quindi realizzate le verifiche della propensione alla liquefazione sulle tre verticali delle penetrometrie elettriche recentemente eseguite. Per i calcoli è stato utilizzato il programma "Cliq 2.2" della Geologismiki Geotechnical Software, sviluppato in collaborazione con il Prof. Peter Robertson. L'algoritmo di calcolo utilizzato si basa sul metodo di Robertson, e le analisi eseguite seguono le procedure di riferimento dettate dall'NCEER. Lo stesso software esegue il calcolo dei cedimenti attesi secondo il metodo proposto da Zhang ed al. (2002), calcolando per tutti i livelli che hanno un fattore di sicurezza inferiore a 1. Il potenziale di liquefazione si ottiene eseguendo il calcolo del fattore di sicurezza FSL, definito dal rapporto CRR su CSR. La metodologia utilizzata permette di esprimere la suscettibilità alla liquefazione del deposito attraverso il confronto tra le caratteristiche granulometriche e di addensamento del deposito, espresse dai valori della resistenza penetrometrica q_c normalizzati con lo sforzo tagliante indotto dal sisma (CRR e CSR). Il fattore di sicurezza alla liquefazione FSL è definito dal rapporto: $FSL = CRR \cdot MSF / CSR$ (dove MSF è il coefficiente correttivo funzione della magnitudo del sisma).

$FSL > 1$ liquefazione assente

E' necessario considerare che, secondo alcuni autori (Sherif-Ishibashi, 1978), occorre che i depositi siano costituiti da sabbie o sabbie limose con frazione fine inferiore al 25% che si trovino sotto il livello statico di falda e che siano sovrastati da livelli non liquefacibili con spessore inferiore a 3 metri. I valori dei fattori di sicurezza ottenuti dalle verifiche, comunque superiori all'unità, portano a concludere che i rischi in tal senso nell'area interessata dagli



Studio Associato Barbieri

interventi di progetto si possono considerare estremamente ridotti. Si segnala comunque che, nel caso specifico, alcuni livelli degli strati considerati presentano fattori di sicurezza inferiore a 1; pertanto, per maggiore dettaglio, si è proceduto alla Valutazione dell'indice del potenziale di liquefazione IL secondo quanto riportato nell'Allegato A3 della DGR 2193-2015; il rischio di liquefazione in base ai valori di tale indice risulta essere:

$IL = \rightarrow$ NON LIQUEFACIBILE ($FI > 1$)

$0 < IL \leq 2 \rightarrow$ RISCHIO DI LIQUEFAZIONE "BASSO"

$2 < IL \leq 5 \rightarrow$ RISCHIO DI LIQUEFAZIONE "MODERATO"

$5 < IL \leq 15 \rightarrow$ RISCHIO DI LIQUEFAZIONE "ALTO"

$IL > 15 \rightarrow$ RISCHIO DI LIQUEFAZIONE "MOLTO ALTO"

L'indice del potenziale di liquefazione, IL è definito dalla seguente relazione: in cui z è la profondità dal piano campagna in metri e $w(z) = 1.0 - 0.5z$; ad una data quota z il fattore $F(z) = F$ vale:

$F = 1 - FL$ se $FL \leq 1.0$

$F = 0$ se $FL > 1.0$

dove FL è il fattore di sicurezza alla liquefazione alla quota considerata. Dallo sviluppo dei calcoli attraverso il software CLIQ (IN ALLEGATO), si ottiene, in corrispondenza delle prove i seguenti valori:

CPTU 1 $IpL = 0.942$

CPTU 2 $IpL = 2.346$

CPTU 3 $IpL = 2.582$

Tali risultati consentono, nel caso specifico, di attribuire al sito in questione un rischio di liquefazione basso/moderato. Pertanto, in sintesi, le verifiche svolte nella presente relazione consentono, nel caso specifico, di attribuire al sito in questione un rischio di liquefazione basso/moderato, confermando a livello locale la classificazione comunale inserita nel PUG e verificando la fattibilità degli interventi previsti senza la necessità di interventi di mitigazione. Si ribadisce e si conferma inoltre che, in base alla nuova DGR 1814/2020 relativa all'individuazione degli interventi strutturali in zone sismiche, trovandosi l'area in zona con IL inferiore a 5 come da banca dati regionale (che riporta gli esiti della MZS comunale, con IL 2-5), il progetto esecutivo riguardante le strutture presso gli sportelli unici comunali è solo oggetto di deposito sismico.



Studio Associato Barbieri

Cervia, il 15/01/2026



Il progettista:
Arch. Ing. Filippo Barbieri

