

**Comune di Cesena**  
**Provincia di Forlì-Cesena**

**IMPIANTO PER LA GESTIONE DI RIFIUTI DA  
COSTRUZIONE E DEMOLIZIONE NELL'AREA  
DEL POLO ESTRATTIVO 24 "SAN CARLO"  
UMI CO.GE.RO. S.r.l.**

**COMMITTENTE:**

**I.C.R. S.r.l.**

Via Pio Turrone n. 235

47522 Cesena (FC)

C. F. e P. IVA: 01851940401

**PROGETTO REDATTO DA:**

**Geologo Dott. Aldo Antoniazzi**

Studio di Geologia Tecnica e Ambientale

Via Pompeo Tumedei n. 90

47121 Forlì (FC)

C. F.: NTN LDA68D21C573I

P. IVA: 04418130409

Telefono: 054365724

Fax: 054366099

Cellulare: 3489110027

E-mail: aldo@studioantoniazzi.com

PEC: aldo@pec.studioantoniazzi.com

Home page: www.studioantoniazzi.com

Elaborato n°

**7**

Scala:

— : —

Data:

**GENNAIO 2022**

Estremi autorizzativi:

Oggetto:

**RELAZIONE GEOLOGICA  
E RELAZIONE SULLA  
MODELLAZIONE SISMICA**

**Revisioni**

—

—

—

—

—

—

—

—

**Oggetto:**

**IMPIANTO PER LA GESTIONE DI RIFIUTI DA COSTRUZIONE E DEMOLIZIONE NELL'AREA DEL POLO ESTRATTIVO 24 "SAN CARLO", UMI CO.GE.RO. S.R.L. NEL COMUNE DI CESENA (FC), ITALIA**

*Studio Preliminare Ambientale*

**Committenti:**

I.C.R. S.r.l.

Via Pio Turrone n. 235

47522 Cesena (FC), Italia

P. IVA e Cod. Fisc.: 01851940401

**Progettista:**

Geologo Dott. Aldo Antoniazzi

Studio di Geologia Tecnica e Ambientale

Via Pompeo Tumedei n. 90

47121 Forlì (FC), Italia

Codice Fiscale: NTN LDA68D21C573I

P. IVA: 04418130409

**Collaboratori:**

Dott. Geol. Alberto Antoniazzi

**Consulenti:**

Geom. Cesarino Bianchi

Geom. Marco Vitali

**Specialisti:**

Geom. Paolo Bilancioni

Dott. For. Giovanni Grapeggia

P. I. Edile Franco Massi

Dott. Ing. Dante Neri

**Coordinamento:**

Dott. Geol. Aldo Antoniazzi

 **Geologo**  
**Dott. Aldo Antoniazzi**  
STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE

Tutti i diritti riservati

## INDICE

<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>3</b>
<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>4</b>
1.1. Opere in progetto .....	4
1.2. Scopi dell'indagine.....	4
1.3. Definizione del modello geologico .....	4
<b>2. INQUADRAMENTO DEL SITO .....</b>	<b>5</b>
2.1. Ubicazione.....	5
2.2. Lineamenti morfologici .....	7
2.3. Rischio idrogeologico .....	7
2.4. Dissesto e vulnerabilità territoriale.....	8
<b>3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....</b>	<b>9</b>
3.1. Cartografia geologica .....	9
3.2. Lineamenti geologici della zona in esame .....	9
3.3. Inquadramento tettonico.....	10
<b>4. LITOLOGIA DELLA ZONA IN ESAME .....</b>	<b>12</b>
4.1. Terreni interessati.....	12
4.2. Caratteristiche geomeccaniche dei terreni .....	12
4.2.1. Definizione dei parametri geotecnici .....	12
4.2.2. Parametri geotecnici dei terreni in esame.....	12
<b>5. ACQUE SUPERFICIALI E SOTTERRANEE.....</b>	<b>13</b>
5.1. Deflusso idrico superficiale.....	13
5.2. Idrologia sotterranea .....	13
<b>6. SISMICITÀ .....</b>	<b>14</b>
6.1. Classificazione sismica del Comune di Cesena .....	14
6.2. Zonizzazione sismica .....	15
6.3. Terremoto di riferimento .....	15
6.4. Magnitudine di progetto.....	20
<b>7. INDAGINE GEOFISICA .....</b>	<b>21</b>
7.1. Premessa .....	21
7.2. Indagini eseguite .....	21
<b>8. CATEGORIA DEL SOTTOSUOLO E PARAMETRIZZAZIONE SISMICA .....</b>	<b>24</b>
8.1. Categoria del terreno di fondazione .....	24
8.2. Parametrizzazione sismica.....	24
<b>9. RISCHIO DI LIQUEFAZIONE .....</b>	<b>26</b>
<b>10. ORIENTAMENTI TECNICI.....</b>	<b>27</b>
10.1. Modello geologico ed idoneità del terreno .....	27
10.2. Portanza del terreno .....	27
10.3. Cedimenti del terreno .....	27
10.4. Indicazioni progettuali.....	28
10.5. Coefficiente di sottofondo .....	28
<b>11. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....</b>	<b>30</b>

## **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

### **Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018**

Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni

### **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici**

Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018. Circolare 21 gennaio 2019 n. 7

### **Decreto Ministeriale 14.01.2008**

Testo Unitario - Norme Tecniche per le Costruzioni

### **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici**

Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008. Circolare 2 febbraio 2009

### **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici**

Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007

### **Eurocodice 8**

Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici

### **Eurocodice 7**

Progettazione geotecnica - Parte 1: Regole generali

### **Eurocodice 7**

Progettazione geotecnica - Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo

**Leggi Regionali** in materia di pianificazione e di Vincolo Idrogeologico

**Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico** redatto dall'Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli

**Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale** della Provincia di Forlì-Cesena

**Piano Regolatore Generale (PRG) e Regolamento Edilizio** del Comune di Cesena

### **D.M. 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

## **1. PREMESSA**

### **1.1. OPERE IN PROGETTO**

La presente indagine geognostica concerne il terreno, ove è prevista la realizzazione di un impianto per la gestione di rifiuti da costruzione e demolizione, ubicato nell'area del Polo estrattivo 24 "San Carlo" - UMI CO.GE.RO S.r.l., sito in Comune di Cesena (FC).

### **1.2. SCOPI DELL'INDAGINE**

La presente indagine è stata realizzata al fine di definire la situazione geologica, geomorfologica ed idrogeologica dell'area in esame, di ricostruire il modello geologico e i lineamenti geotecnici dei terreni interessati, di riconoscere la presenza di acque sotterranee, di caratterizzare la situazione sismica locale, di definire il potenziale di liquefazione del terreno, di fornire indicazioni e prescrizioni in merito all'utilizzabilità geologica dell'area in relazione all'intervento previsto.

### **1.3. DEFINIZIONE DEL MODELLO GEOLOGICO**

Il modello geologico locale è stato definito con riferimento:

- ♦ all'insieme degli elementi cartografici, stratigrafici, geofisici e normativi disponibili in merito al suolo e sottosuolo considerato;
- ♦ ad un attento rilevamento di superficie.

### **1.4. ELABORATI PREDISPOSTI**

La ricerca eseguita nell'area in esame ha portato alla realizzazione:

- ♦ della presente relazione geologica;
- ♦ della documentazione raccolta nella presente relazione.





L'area del Polo estrattivo 24 "San Carlo" di pertinenza della UMI CO.GE.RO S.r.l. è precisata nella figura n. 3.

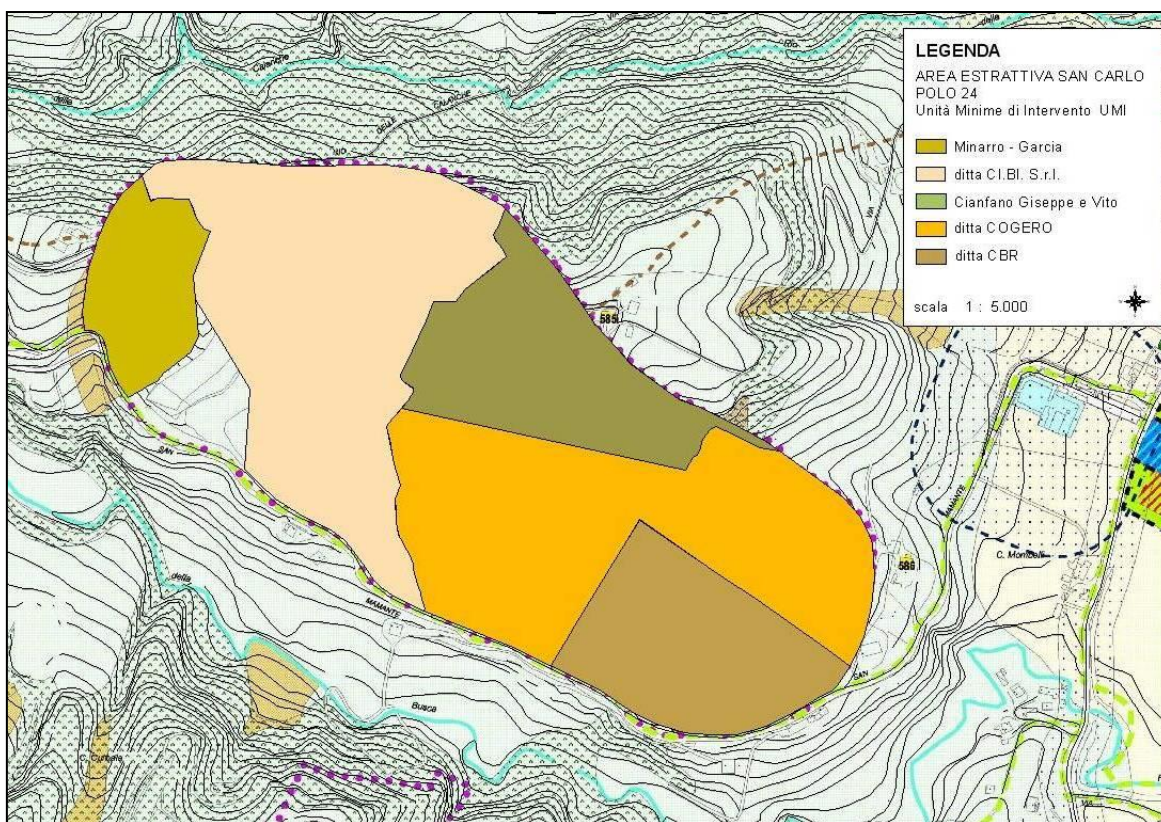


Figura n. 2 - Zonizzazione, su base C.T.R., del Polo 24 "San Carlo"

L'inquadramento catastale della UMI CO.GE.RO S.r.l. è fornito dalla figura n. 4. Il particolare della zona interessata dalla realizzazione dell' impianto per la gestione di rifiuti da costruzione e demolizione in progetto si può osservare nella figura n. 5.

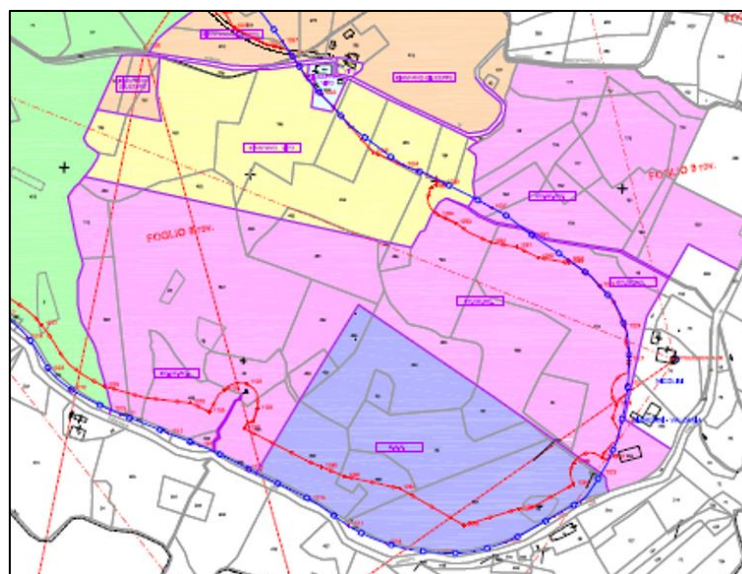


Figura n. 4 - Inquadramento catastale della UMI CO.GE.RO S.r.l. (area rosa)

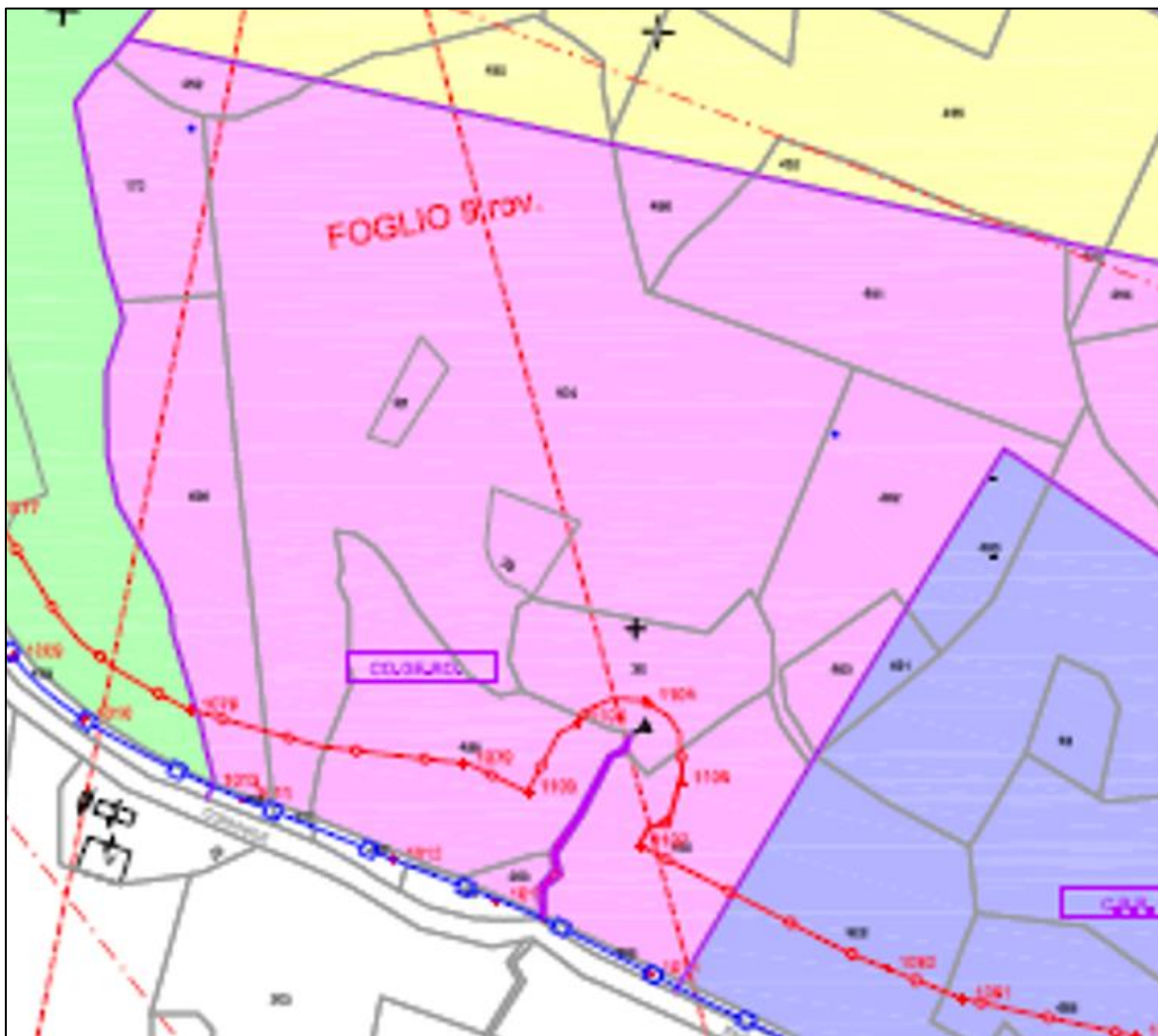


Figura n. 5 - Inquadramento catastale della parte della UMI CO.GE.RO S.r.l. (area rosa) interessata dalla realizzazione dell' impianto per la gestione di rifiuti da costruzione e demolizione in progetto

## 2.2. LINEAMENTI MORFOLOGICI

La situazione morfologica dell'area del Polo estrattivo 24 "San Carlo" in esame è in continua evoluzione a causa dell'attività estrattiva in atto, che prevede una situazione morfologica di abbandono contraddistinta:

- ♦ presso il margine di via San Mamante da un'ampia fascia quasi pianeggiante o in dolce pendio (in parte ormai realizzata o prossima all'attuazione);
- ♦ nel restante rilievo da pendici con acclività massime generalmente non superiori al 50%, pertanto minori di quelle frequentemente presenti in condizioni naturali nel territorio collinare di pertinenza.

La realizzazione dell' impianto per la gestione di rifiuti da costruzione e demolizione in progetto è prevista nella parte della UMI CO.GE.RO S.r.l., prossima alla strada. Nella zona non sono evidenti tracce di franosità quiescente o in atto, né propensioni al dissesto.

## 2.3. RISCHIO IDROGEOLOGICO

Nella perimetrazione delle aree a rischio idrogeologico in scala 1:25.000 (Tavv.



255 NE - 255 SE) del vigente Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico, redatto dall'Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli l'area in esame ricade tra quelle prive di rischio idrogeologico. Si veda in proposito l'estratto cartografico riportato nella figura n.6.

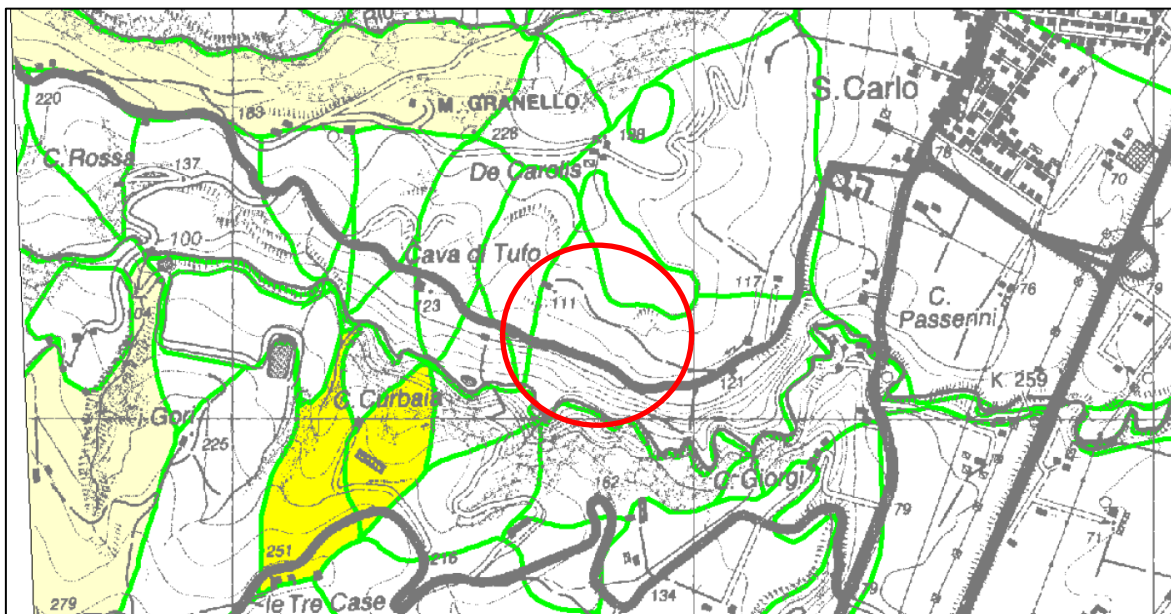


Figura n. 6 - Estratto della perimetrazione delle aree a rischio idrogeologico, originale in scala 1:25.000 (Tavv. 255 NE - 255 SE)

#### 2.4. DISSESTO E VULNERABILITÀ TERRITORIALE

I rischi geologici, idrogeologici e geomorfologici del territorio provinciale sono inquadrati nella Carta del dissesto e della vulnerabilità territoriale in scala 1:25.000 (tavola 4), variante specifica al Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale, integrato con delibera C.P. n. 70346/146 del 19/07/2010. Nel suo estratto, evidente nella figura n. 7, il sito considerato ricade su un'area priva di dissesti.

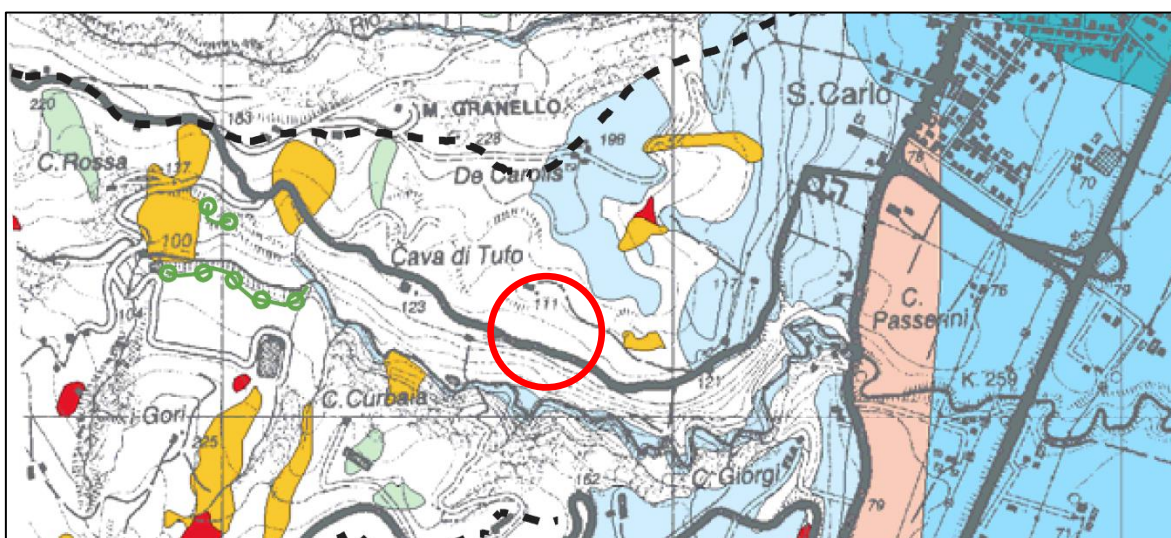


Figura n. 7 - Estratto della Carta del dissesto e vulnerabilità territoriale del P.T.C.P. concernente l'area in esame e la zona di pertinenza

### 3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

#### 3.1. CARTOGRAFIA GEOLOGICA

Per quanto concerne la cartografia ufficiale, l'area del Polo estrattivo in oggetto figura:

- nella Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000, foglio 255 Cesena, pubblicata dal Servizio Geologico d'Italia (ISPRA), edizione 2009;
- nella Carta geologica dell'Appennino Emiliano-Romagnolo in scala 1:10.000, Sezione 255110 Borello pubblicata dalla Regione Emilia-Romagna nel 2011 (estratto nella figura n. 8).

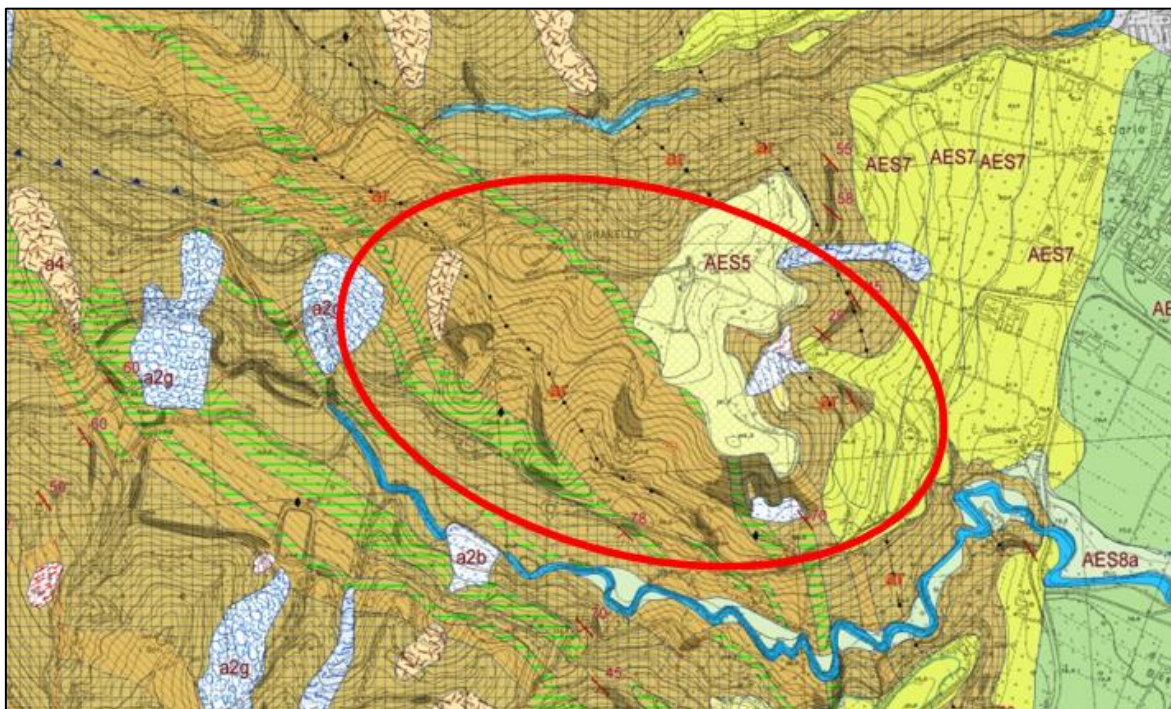


Figura n. 8 - Estratto della Carta geologica dell'Appennino Emiliano-Romagnolo (originale in scala 1:10.000). L'area in esame e la zona di pertinenza ricadono in un affioramento del Membro di Castel del Rio (FMA12) della Formazione Marnoso-arenacea (FMA). Nell'area interessata dal Polo estrattivo 24 "San Carlo" è stato ormai completamente asportato il deposito alluvionale terrazzato appartenente al Subsistema di Torre Stagni (AES5) del Pleistocene medio

#### 3.2. LINEAMENTI GEOLOGICI DELLA ZONA IN ESAME

Come si può osservare nell'estratto della Carta geologica regionale in scala 1:10.000 (figura n. 8), nell'area ove è prevista la realizzazione dell' impianto per la gestione di rifiuti da costruzione e demolizione in oggetto è presente un affioramento del Membro di Castel del Rio (FMA12) della Formazione Marnoso-Arenacea (FMA). Questa formazione è un deposito sedimentario costituito da areniti e peliti torbiditiche e da marne emipelagiche, con mutevoli spessori reciproci dei singoli letti. Nella serie questo dà luogo a variabili rapporti arenaria pelite (A/P). Le arenarie sono in prevalenza feldspatiche e litiche, con granulometria media e fine. La loro base può essere, talvolta, grossolana o addirittura microconglomeratica. La provenienza dei costituenti è in prevalenza alpina (paleocorrenti da ONO) e subordinatamente appenninica (paleocorrenti da ESE, come le calcareniti e le areniti ibride "colombine"). Questa formazione appartiene al Miocene (Burdigaliano



superiore - Messiniano inferiore) ed è stata suddivisa in membri e litofacies diverse, talvolta parzialmente eteropiche.

Nel Membro di Castel del Rio, sedimentatosi nel Tortoniano, figurano litofacies sia arenacee (rapporto  $20/1 > A/P > 2/1$ ), sia pelitico-arenacee ( $A/P$  variabile). Le arenarie sono poco cementate, da fini a grossolane, e sono disposte in letti di spessore generalmente variabile dal medio al grande.

### 3.3. INQUADRAMENTO TETTONICO

Il territorio ove ricade l'area in esame appartiene strutturalmente all'Appennino Settentrionale<sup>1</sup>, la cui tettonica è contraddistinta da ampi fronti di scorrimento, che individuano alcune unità tettoniche fondamentali, e da importanti accavallamenti. Si veda in proposito lo schema tettonico, redatto del Servizio Geologico dell'Emilia-Romagna (figura n. 9).

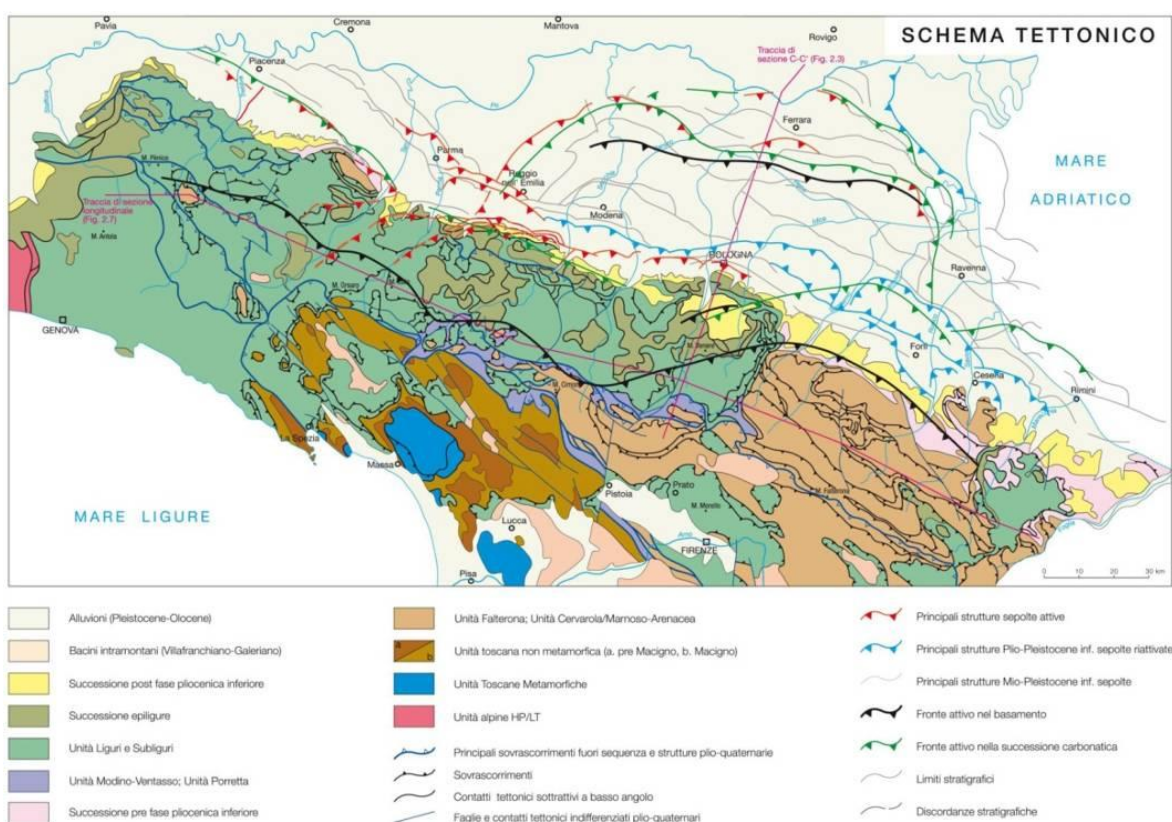


Figura n. 9 - Schema tettonico dell'Emilia-Romagna

I lineamenti tettonici della zona di pertinenza dell'area in esame, sono visibili nella figura n.10, tratta dalla Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000, foglio 255 Cesena, pubblicata dal Servizio Geologico d'Italia (ISPRA) nel 2009, nella quale si osserva che l'area in esame è situata a sud ovest di un'importante linea di sovrascorrimento.

<sup>1</sup> L'Appennino Settentrionale è una catena a falde derivata dal corrugamento e dalla sovrapposizione di prismi sedimentari, depositatisi nel paleo oceano ligure-piemontese e sul margine continentale della microplacca dell'Adria, durante la collisione tra la placca africana e quella europea. L'orogenesi, iniziata nell'Eocene medio e sviluppata soprattutto a partire dall'Oligocene, ha dato luogo a pieghe e a sovrascorrimenti lungo faglie inverse con spostamento generale verso nord-est.

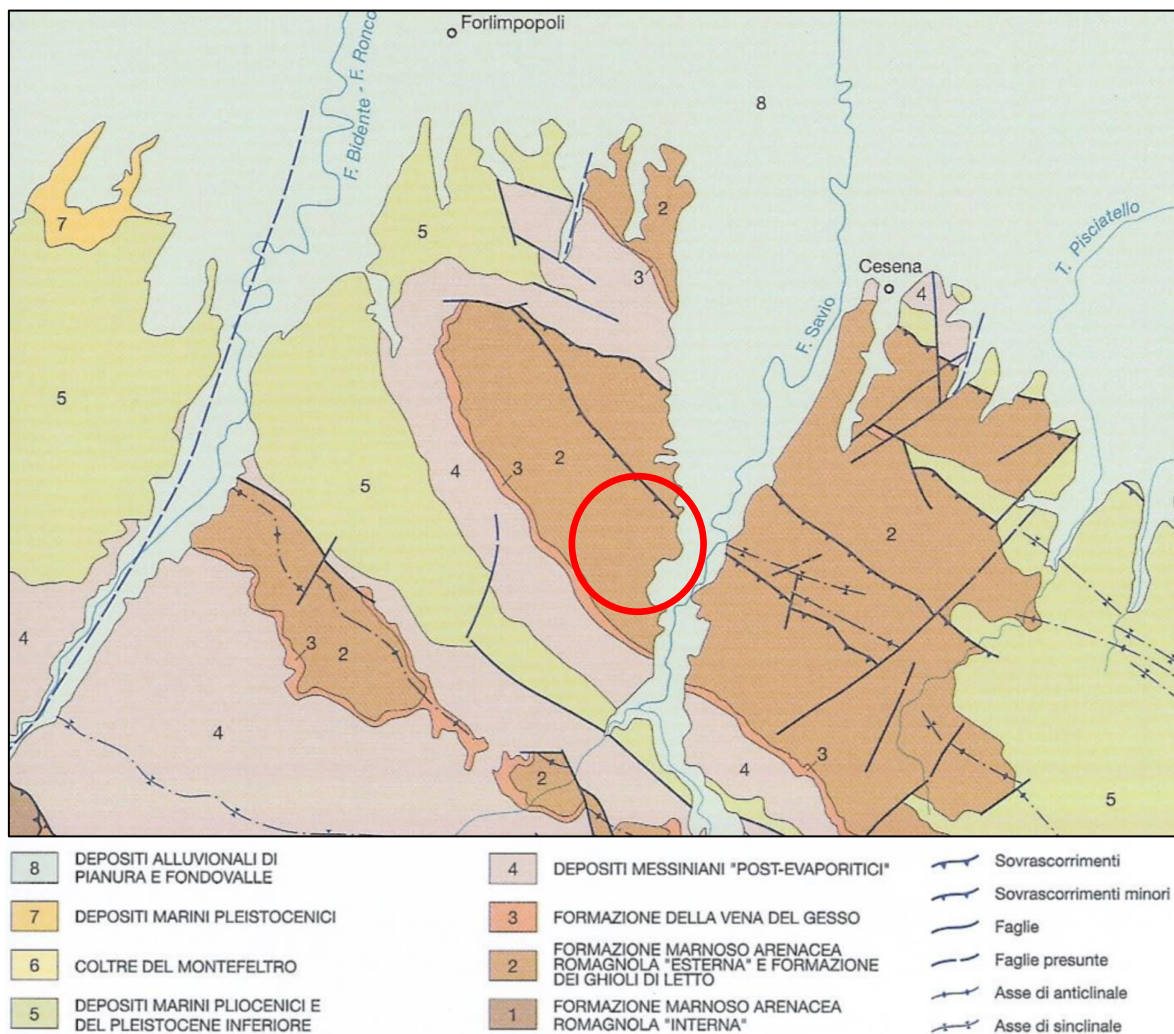


Figura n. 10 - Tettonica della zona di pertinenza dell'area in esame

## 4. LITOLOGIA DELLA ZONA IN ESAME

### 4.1. TERRENI INTERESSATI

I fronti di scavo, prodotti dagli interventi estrattivi nel Polo 24, hanno posto in evidenza che, nell'area in esame, le torbiditi prevalentemente arenacee di pertinenza della Formazione Marnoso-Arenacea sono normalmente caratterizzate dalla presenza di letti arenacei aventi le dimensioni di strati e banchi. Le arenarie sono da fini a grossolane, poco cementate e disposte in letti di spessore variabile (strati e banchi), a volte raggruppati in lenti di potenza anche superiore a 10 metri. Le intercalazioni pelitiche sono generalmente sottili, frequentemente centimetriche. Nella serie a volte s'intercala un corpo sedimentario, costituito da alternanze pelitico arenacee (A/P 1/2), in cui le arenarie gradate sono medio fini, poco cementate e disposte in letti generalmente da sottili a medi, raramente spessi.

Nella parte dell'UMI CO.GE.RO S.r.l. ove è prevista la realizzazione dell'impianto per la gestione di rifiuti da costruzione e demolizione in oggetto, sono presenti alcuni accumuli temporanei di terreno vegetale o di materiali estratti pronti per l'avvio ai luoghi di destinazione.

### 4.2. CARATTERISTICHE GEOMECCANICHE DEI TERRENI

#### 4.2.1. Definizione dei parametri geotecnici

Le caratteristiche geotecniche dei terreni presenti nel Polo 24 (Formazione Marnoso-arenacea, sedimenti alluvionali e coltri detritiche coesive) sono state definite, nelle fasi di progettazione ed esecuzione dell'attività estrattiva, in base:

- ◆ a prove di laboratorio eseguite su campioni della "sabbia di monte" estratta dal Polo in esame;
- ◆ ad elementi acquisiti durante l'esecuzione di prove in sito (pocket penetrometer, torvane ecc.);
- ◆ a dati ricavati da prove penetrometriche statiche eseguite in passato in aree prossime a quelle in esame ed elaborati con le usuali procedure geotecniche;
- ◆ a dati forniti dalla letteratura geotecnica in merito ad analoghi tipi litologici.

In merito ai parametri geotecnici della Formazione Marnoso-Arenacea è stato fatto riferimento ai dati disponibili, determinati in laboratorio su campioni litologici prelevati in situazioni stratigrafiche di questa Formazione comparabili a quella in esame (lago artificiale di Ridracoli, Galeata, impianto di Potabilizzazione di Capaccio, Sarsina ecc.), nonché a prove in situ.

#### 4.2.2. Parametri geotecnici dei terreni in esame

La tabella n. 1 offre un quadro complessivo dei parametri geotecnici prudenziali del terreno in esame, ricavati dall'insieme delle prove in sito disponibili.

TABELLA N. 1 - PARAMETRI GEOTECNICI ORIENTATIVI DEL TERRENO IN ESAME

Tipo litologico	<i>Parametri geotecnici</i>				
	$\gamma$	$C_u$	$\phi_u$	$C'$	$\phi'$
	<i>t/mc</i>	<i>Kg/cmq</i>	$^\circ$	<i>Kg/cmq</i>	$^\circ$
Riporto coesivo	1,8-1,9	0,40-0,7	-	0,05-0,10	20-24
Riporto granulare	1,8-1,9	-	-	-	26-28
Formazione Marnoso-Arenacea	2,4-2,6	2,0-2,5	-	0,6-1,5	30-35



## **5. ACQUE SUPERFICIALI E SOTTERRANEE**

### **5.1. DEFLUSSO IDRICO SUPERFICIALE**

Le acque superficiali, che interessano l'area ove è prevista la realizzazione dell'impianto per la gestione di rifiuti da costruzione e demolizione in oggetto, derivano esclusivamente dalle precipitazioni e il loro deflusso temporaneo, dato l'andamento del pendio e la regolazione del sistema di scolo in atto nella cava, è indirizzato verso il Rio della Busca.

### **5.2. IDROLOGIA SOTTERRANEA**

Le rocce marnoso arenacee, presenti nell'area del Polo 24 di S. Carlo e, in particolare, nella zona in esame, appartengono ad un Membro della Formazione Marnoso-Arenacea dotato di una scarsa permeabilità d'assieme, dovuta al fatto che in esso le marne, praticamente impermeabili, s'intercalano tra gli strati e i banchi arenacei, che, a loro volta, presentano una granulometria ricca in silt e con una, sia pur modesta, frazione argillosa. In tale situazione, solo gli strati più superficiali alterati e fratturati possono, in qualche caso, assorbire una certa quantità idrica nei periodi piovosi, ma se ne liberano rapidamente una volta terminate le precipitazioni.

Quanto esposto è confermato dal fatto che nella zona di pertinenza del Polo in esame mancano non solo acque freatiche locali, ma anche sorgenti perenni o pozzi con portate significative.

## 6. SISMICITÀ

### 6.1. CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL COMUNE DI CESENA

Il territorio del Comune di Cesena è classificato sismico di seconda categoria (S=9) dal 1983, in base alla classificazione nazionale dei Comuni italiani stabilita dall'Allegato 1, punto 3 dell'Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003, che ha confermato quella precedente proposta nel 1998. I Comuni sismici italiani sono pertanto distinti in 4 zone (tabella n. 2). Le prime 3 [zone con sismicità alta (S=12), media (S=9) e bassa (S=6)] erano già state definite dalla Legge 64/74. La zona 4 è invece di nuova introduzione. A ciascuna di queste zone è stato assegnato uno specifico valore dell'accelerazione di picco orizzontale del suolo ( $a_g$ ) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni. Ad ogni area del territorio nazionale è stato assegnato un proprio livello di pericolosità sismica.

TABELLA N. 2 - ZONE SISMICHE E MASSIMI VALORI DI  $a_g$

ZONA	VALORI MASSIMI DI $a_g$
1	$>0,25$
<b>2</b>	<b><math>0,15 \div 0,25</math></b>
3	$0,05 \div 0,15$
4	$<0,05$

In base alla Classificazione sismica della Regione Emilia-Romagna, evidente nella figura n. 11, il territorio comunale di Cesena appartiene alla zona 2.

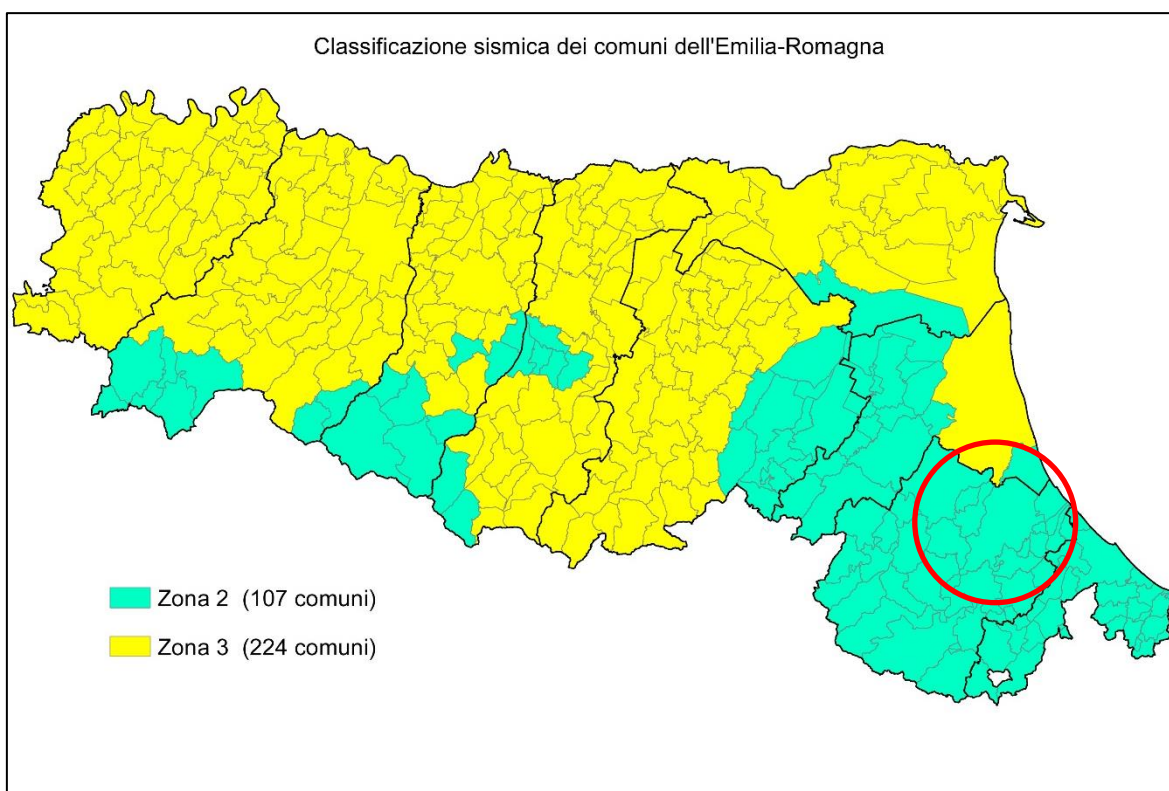


Figura n. 11 - Classificazione sismica dei Comuni della Regione Emilia-Romagna. DGR n° 1164 del 23.07.2018 "Aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei Comuni dell'Emilia-Romagna"

## 6.2. ZONIZZAZIONE SISMICA

Nella mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale, redatta a cura dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (figura n. 12) la pericolosità di ciascuna zona è espressa in termini di accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi contraddistinti da  $V_{s30} > 800$  m/s.

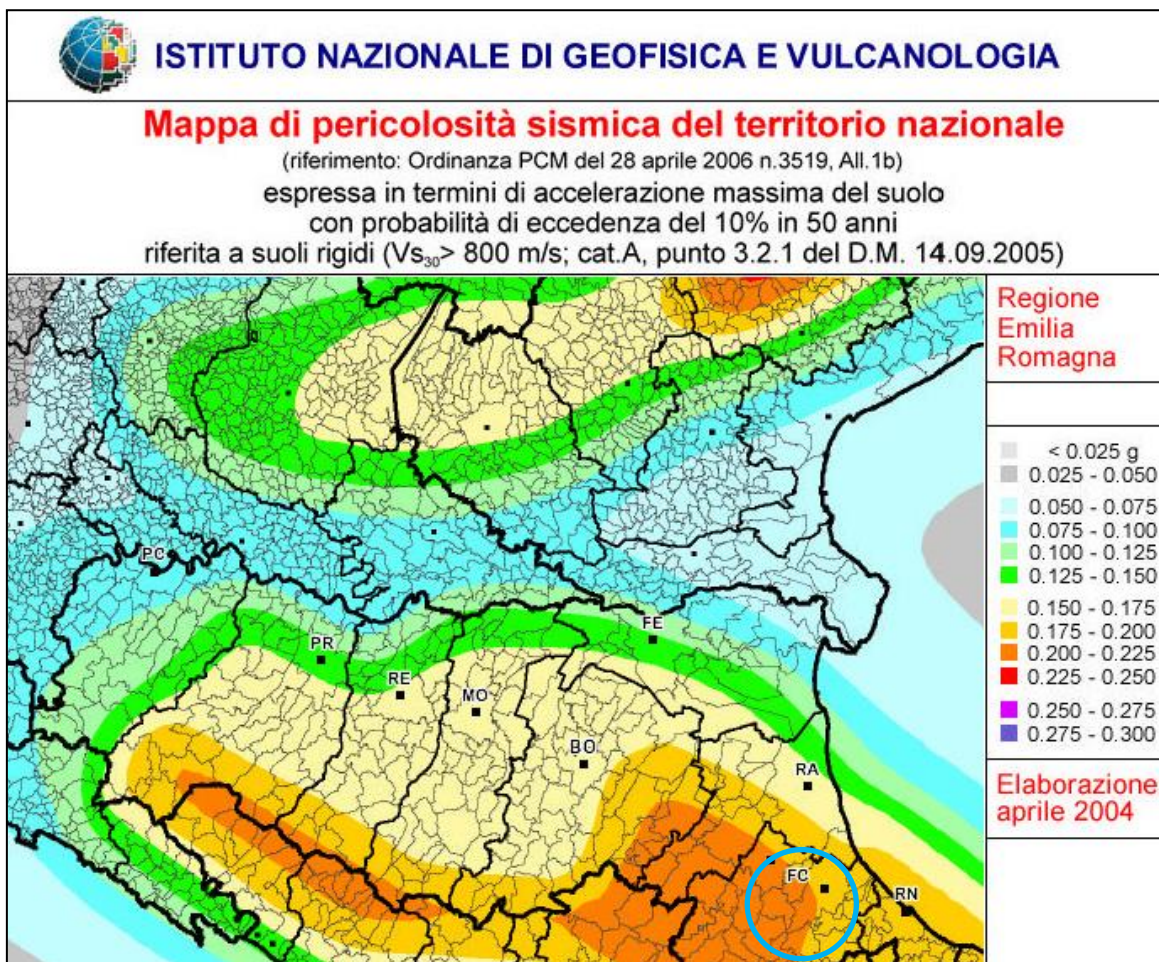


Figura n. 12 - Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale

In questa mappa il territorio in esame ricade in un'area caratterizzata da un'accelerazione sismica orizzontale massima  $a_g$  pari a 0,200-0,225 g.

## 6.3. TERREMOTO DI RIFERIMENTO

Per definire il terremoto di riferimento relativo al territorio di Cesena è stato consultato il Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (edizione dicembre 2015) dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, che fornisce il quadro della sismicità storica del Comune compendiatore nella tabella n. 3.

TABELLA N. 3 - STORIA SISMICA DI CESENA

Effetti	In occasione del terremoto del:				
Int.	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
6-7	1194	Galeata	3	6-7	4,86
7	1428 07 03 05	Forlivese	6	7-8	5,47
F	1468 06 06 10 30	Romagna	3	4	3,7
8	1483 08 11 19 40	Romagna	14	8	5,69
F	1504 12 31 04	Bolognese	15	6	5,02
F	1505 01 03 02	Bolognese	31	8	5,62
F	1505 01 20 23 50	Bolognese	11	5-6	4,76
4-5	1509 04 19	Faentino	5	7	5,02
5	1516 05 20 23	Pianura Padana	4		
5	1584 09 10 20 30	Appennino forlivese	17	9	5,97
6-7	1653 08 15	Romagna	3	5-6	4,4
7	1661 03 22 12 50	Appennino forlivese	79	9	6,05
6	1672 04 14 15 45	Riminese	92	8	5,59
6	1688 04 11 12 20	Romagna	39	8-9	5,84
5	1689 03 19	Faentino	3	4	3,7
5	1741 04 24 09 20	Fabrianese	135	9	6,17
5	1768 10 19 23	Appennino forlivese	45	9	5,99
3	1779 06 01 23 55	Bolognese	8		
3	1779 07 14 19 30	Bolognese	17		
3	1780 05 25	Romagna	5	5-6	4,4
6	1781 04 04 21 20	Faentino	96	9-10	6,12
5	1781 06 03	Cagliese	157	10	6,51
5	1781 07 17 09 40	Faentino	46	8	5,61
6-7	1786 12 25 01	Riminese	90	8	5,66
5	1801 10 08 07 52 53.00	Bolognese	6	6	4,9
6-7	1813 09 21 07 45	Romagna	12	7	5,28
5-6	1828 10 08 22 30	Romagna	8	5-6	4,57
F	1832 01 13 13	Valle Umbra	101	10	6,43
5	1841 04 14 04	Cagliese	4	5-6	4,4
5	1844 03 10 17 15	Forlivese	2	5-6	4,4
6-7	1861 10 16	Romagna	10	6-7	5,13
4	1869 06 25 13 58	Appennino bolognese	18	7-8	5,43
7	1870 10 30 18 34	Forlivese	41	8	5,61
5	1871 01 22 21 30	Pianura romagnola	8	6	4,95
3	1873 03 12 20 04	Appennino marchigiano	196	8	5,85
3	1874 10 07	Imolese	60	7	4,96
6-7	1875 03 17 23 51	Costa romagnola	144	8	5,74
3	1879 04 27 04 06	Appennino tosco-emiliano	20	7	5,03
3	1881 02 14 09 00 30.00	Appennino bolognese	21	6	4,77



Effetti	In occasione del terremoto del:				
Int.	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
7	1881 09 28	Cesena	24	6-7	4,71
NF	1887 02 23 05 21 50.00	Liguria occidentale	1511	9	6,27
3	1887 09 30 15 55	Faenza	10	5	4,12
3	1895 05 18 19 55 12.00	Fiorentino	401	8	5,5
3	1897 12 18 07 24 20.00	Alta Valtiberina	132	7	5,09
5	1909 01 13 00 45	Emilia Romagna orientale	867	6-7	5,36
7	1911 02 19 07 18 30.00	Forlivese	181	7	5,26
5	1911 03 20 15 47	Forlivese	25	6	5,09
4-5	1911 03 26 13 51	Riminese	9	5	5,04
4	1913 07 21 22 35	Appennino romagnolo	43	5-6	4,79
NF	1913 11 25 20 55	Appennino parmense	73	4-5	4,65
5	1914 10 27 09 22	Lucchesia	660	7	5,63
5	1915 01 13 06 52 43.00	Marsica	1041	11	7,08
5	1915 01 13 19 30	Cesenate	5	5	4,38
6	1916 05 17 12 50	Riminese	132	8	5,82
5	1916 06 16 01 27	Riminese	17	6	4,82
6	1916 08 16 07 06 14.00	Riminese	257	8	5,82
6	1918 11 10 15 12 28.00	Appennino forlivese	187	9	5,96
5	1919 06 29 15 06 13.00	Mugello	565	10	6,38
4	1920 09 07 05 55 40.00	Garfagnana	750	10	6,53
NF	1924 01 02 08 55 13.00	Senigallia	76	7-8	5,48
4	1929 04 10 05 44	Bolognese	87	6	5,05
3	1929 04 11 00 56	Bolognese	10	4	4,72
5	1930 10 30 07 13	Senigallia	268	8	5,83
SF	1934 05 28 21 09	Faentino	10	4	3,94
5	1935 06 05 11 48	Faentino	27	6	5,23
3	1939 02 11 11 17	Mugello	31	7	5,01
3	1949 03 09 04 16 30.00	Mugello	12	5	4,42
4	1951 09 01	Monti Sibillini	80	7	5,25
4	1952 07 04 20 35 12.00	Appennino forlivese	64	7	4,94
5	1952 12 02 06 13 22.00	Appennino forlivese	53	5	4,42
5-6	1953 12 14 07 11 06.00	Appennino forlivese	48	5-6	4,7
NF	1956 04 26 03 00 03.00	Appennino bolognese	89	6	4,74
4	1956 05 26 18 40	Appennino forlivese	76	7	4,99
4	1956 06 03 01 45 57.00	Appennino forlivese	62	6	4,51
3	1957 04 17 02 22	Appennino forlivese	14	6	4,68
5	1959 03 11 00 15	Appennino forlivese	11	5	4,31
5	1961 05 08 22 45 51.00	Forlivese	40	5	4,37
2	1962 08 30 06 27 07.00	Montefeltro	23	6-7	4,76
4	1963 08 09 06 05	Romagna	16	5	5,23



Effetti	In occasione del terremoto del:				
Int.	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
3	1965 08 04 11 49 53.00	Alta Valtiberina	44	5	4,48
5	1965 12 18 09 22 25.00	Pianura romagnola	11	5	4,54
2	1969 01 10 16 17 32.00	Pianura Ravennate	22	5	4,38
NF	1969 08 09 09 20 57.00	Appennino tosco-romagnolo	33	5	4,2
3-4	1970 02 09 07 39	Appennino forlivese	30	5-6	4,5
5	1970 09 26 16 42 28.00	Cesenate	18	4-5	3,93
2	1972 11 30 11 25 27.45	Costa pesarese	30		4,52
F	1978 12 05 15 39 04.00	Romagna	34	4-5	4,61
2-3	1983 11 09 16 29 52.00	Parmense	850	6-7	5,04
3-4	1984 04 29 05 02 59.00	Umbria settentrionale	709	7	5,62
4	1985 11 24 06 54 04.08	Appennino forlivese	29	5-6	4,29
2-3	1986 12 06 17 07 19.77	Ferrarese	604	6	4,43
4	1987 07 05 13 12 37.46	Montefeltro	90	6	4,44
4	1991 01 14 07 38 36.65	Casentino	62	5	4,26
4-5	1993 11 05 02 01 03.79	Cesenate	10		3,99
5	1993 11 07 23 21 11.72	Cesenate	36	4-5	3,95
4-5	1993 11 09 13 46 24.39	Cesenate	28	4-5	3,93
5	1995 12 27 23 44 27.69	Forlivese	37	5	3,97
3-4	1996 10 15 09 55 59.95	Pianura emiliana	135	7	5,38
4-5	1997 09 26 09 40 26.60	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	5,97
4-5	1999 01 25 22 45 58.08	Appennino forlivese	97	5	4,36
3	2000 05 06 22 07 03.78	Faentino	85	5	4,08
3-4	2000 05 08 12 29 56.20	Faentino	126	5	4,67
3-4	2000 05 10 16 52 11.60	Faentino	151	5-6	4,82
4-5	2000 08 01 02 34 31.00	Montefeltro	84	5-6	4,27
3	2001 11 26 00 56 55.46	Casentino	211	5-6	4,63
NF	2002 11 02 10 57 44.89	Ferrarese	79	4	4,21
4-5	2003 01 26 19 57 03.21	Appennino forlivese	35	6	4,66
4	2003 01 26 20 15 03.07	Appennino forlivese	63	5-6	4,5
3-4	2003 01 29 23 50 16.38	Appennino forlivese	71	4-5	4,06
4-5	2003 12 07 10 20 33.04	Forlivese	165	5	4,18
4	2005 07 15 15 17 18.00	Forlivese	173	4-5	4,29
5	2016 08 24 01 36 32.00	Monti della Laga	221	10	6,18
F	2017 01 18 10 14 09.90	Aquilano	280		5,7

*DEFINIZIONI DELLE SIGLE UTILIZZATE NELLA TABELLA N. 3*

<b>Intensità</b>	Intensità macrosismica espressa in scala MCS. Alcuni effetti non sono esprimibili con la scala MCS per cui vengono utilizzati dei codici alternativi (si veda la relativa tabella)
<b>Data</b>	Data del terremoto (anno, mese, giorno, ora, minuto, secondo)
<b>Area epicentrale</b>	Area geografica in cui sono stati riscontrati gli effetti maggiori del terremoto

<b>NMDP</b>	Numero di punti, numero di osservazioni macrosismiche disponibili per il terremoto
<b>Io</b>	Intensità macrosismica epicentrale, da CPTI15, espressa in scala MCS, Mercalli-Cancani-Sieberg [dettagli]
<b>Mw</b>	Magnitudo momento, da CPTI15

*CODICI ALTERNATIVI MCS UTILIZZATI NELLA TABELLA N. 3*

<b>Codice</b>	<b>Descrizione</b>
<b>D</b>	danno (damage): danno di entità non precisabile (indicativamente $Int \geq 6$ )
<b>F</b>	avvertito (felt): si ritiene di escludere che si siano verificati danni ( $3 \leq Int \leq 5$ )
<b>NC</b>	non classificato (not classified): indica una informazione non classificabile in termini di intensità ovvero con i codici utilizzati
<b>EE</b>	effetti sull'ambiente (environment effects): effetti sull'ambiente in prossimità della località cui vengono riferiti
<b>SW</b>	effetti marini anomali (sea waves): indica maremoto o comunque effetti anomali in mare, in prossimità della località cui vengono riferiti
<b>NR</b>	non segnalato (not reported): utilizzato a volte per segnalare che nelle fonti non vi è menzione di effetti per quella data località
<b>NF</b>	non avvertito (not felt): in presenza di segnalazione esplicita è equiparabile a $Int=1$
<b>RS</b>	registrazione strumentale: alcuni studi riportano questa informazione, non utilizzabile dal punto di vista macrosismico, che tuttavia si è preferito conservare

I maggiori terremoti locali sono indicati nella figura n. 13.

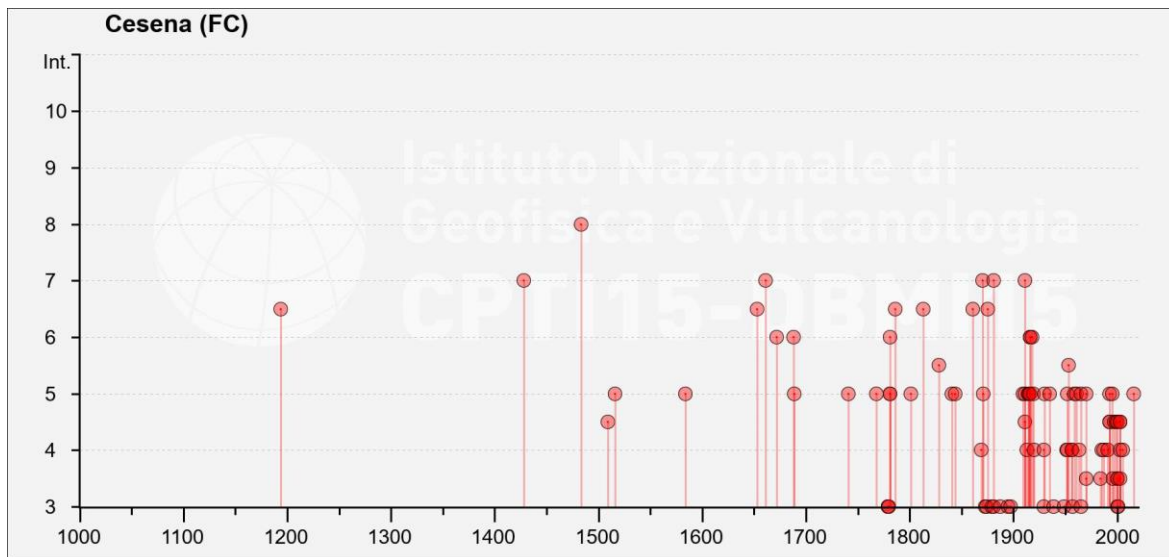


Figura n. 13 - Maggiori terremoti noti a Cesena

#### 6.4. MAGNITUDINE DI PROGETTO

Nella Zonazione sismogenetica ZS9 dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, l'area in oggetto ricade nella zona "Forlivese 14" con Mw max gr (magnitudo momento massima) di **6,14**.

Nel *Database of Individual Seismogenic Sources* (DISS) dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Version 3.2.0, l'area in esame è situata tra la zona "ITCS011: Ascensione-Armaia" con Mw max (magnitudo momento massima) di **6,0**, "ITCS001: Castel San Pietro Terme-Meldola" con Mw max (magnitudo momento massima) di **5,8** e la zona "ITCS039: Riminese onshore" con Mw max (magnitudo momento massima) di **5,9**.

L'insieme dei dati disponibili porta pertanto a ritenere che, nel caso del territorio in esame, sia cautelativo utilizzare, nei calcoli, una magnitudo pari a **6,14** (ZS9 914).

## **7. INDAGINE GEOFISICA**

### **7.1. PREMESSA**

Nel 2013, nell'area ormai esaurita e praticamente pianeggiante del Polo estrattivo 24 San Carlo prossima alla strada comunale e poco a nord ovest della zona ove è prevista la realizzazione dell' impianto per la gestione di rifiuti da costruzione e demolizione in progetto, la Soil Prospecting del dott. Francesco Stragapede ha compiuto un'indagine geognostica di tipo geofisico, con l'esecuzione di un rilievo microsismico a rifrazione in onde P su una base geofonica della lunghezza di m 39, a cui sono stati associati un rilievo ed elaborazione MASW (Multichannels Analysis Surface Waves) dei dati ed un rilevamento Re.Mi., impiegando il medesimo array geofonico lineare del rilievo a rifrazione.

Il rilievo dei microtremori, eseguito con un apparato velocimetrico a stazione singola con sensori orientati, per analisi spettrale delle componenti orizzontale e verticale del moto, ha consentito di determinare la locale frequenza di sito e di validare la successione sismo-stratigrafica rilevata nelle indagini geofisiche di tipo "attivo".

Questa indagine è stata mirata a definire sia le caratteristiche tecniche e geometriche dei terreni nel sottosuolo, sia la locale categoria di sottosuolo, ai sensi della legislazione vigente.

### **7.2. INDAGINI ESEGUITE**

L'indagine microsismica a rifrazione è stata realizzata come preliminare definizione delle caratteristiche elastiche dei terreni nell'immediato sottosuolo, a supporto della successiva elaborazione MASW dei dati. L'indagine è stata eseguita impiegando un sismografo "DOREMI-SARA" multicanale, con possibilità di incremento e di sovrapposizione strumentale del segnale, con frequenza di campionamento di 5000 Hz e registrazione magnetica degli eventi. Al medesimo apparato è stata connessa una catena geofonica dotata di sensori verticali da 4,5 Hz, posti a distanza reciproca di 3 m. Le energizzazioni, prodotte con una massa battente, sono state ripetute agli estremi della stesa geofonica e in posizioni intermedie ed esterne, al fine di dettagliare la morfologia dei rifrattori successivamente considerati.

I dati acquisiti, consistenti nelle registrazioni dei treni d'onda a partire dall'istante di energizzazione (+/- 1 msec), per un intervallo di tempo di 2.000 msec, sono stati riprodotti da supporto magnetico, utilizzando il quale è stata poi eseguita l'interpretazione geofisica che, condotta mediante elaborazione tomografica, evidenzia la presenza, nel sottosuolo dell'area investigata, la presenza di terreno di riporto variamente addensato per regolarizzazione topografica, caratterizzato da valori di velocità superficiali di 450-700 m/sec e con spessore locale di 2-3 m. A maggiore profondità è stata riscontrata la presenza di masse litologiche correlabili sia con volumi addensati di reinterro, sia con elementi di alterazione e fratturazione del substrato lapideo, qualificate da valori di velocità delle onde longitudinali dell'ordine di 1500-1800 m/sec. Il locale substrato, rappresentato da terreni lapidei di particolare tenacia, è intercettato dalla profondità di 8-10 m sotto il piano di campagna, situazione confermata dai rilievi MASW dei dati, e qualificati da velocità delle onde longitudinali superiori a 2.200 m/sec.

L'indagine microsismica Multichannels Analysis Surface Waves è stata eseguita impiegando pertanto il medesimo sismografo "DOREMI-SARA"

---

impianto per la gestione di rifiuti da costruzione e demolizione nell'area del Polo estrattivo 24 "San Carlo", UMI CO.GE.RO. S.r.l. nel Comune di Cesena (FC), Italia. *Relazione Geologica e Relazione sulla Modellazione Sismica*

multicanale, con possibilità di incremento e sovrapposizione strumentale del segnale, con frequenza di campionamento di 5000 Hz e con registrazione magnetica degli eventi, per un intervallo di tempo di msec 2000, e sviluppando l'analisi sulla direttrice geofonica a rifrazione. All'apparato è stata connessa una catena geofonica dotata di sensori verticali da 4,5 Hz, posti a distanza reciproca ridotta a 1,0 m. I dati sono stati ottenuti mediante operazione di energizzazione multipla agli estremi della direttrice di riferimento.

Mentre le energizzazioni per l'acquisizione dei dati per l'analisi MASW sono state prodotte agli estremi della stesa geofonica, i risultati sono riferiti alla più generica porzione indicata agli estremi di "Andata" e "Ritorno" della base di rilevamento.

L'interpretazione MASW è stata condotta con softwares votati (WinMASW, Geogiga, SeisImages e Masw-Vitantonio, WinMasw-Eliosoft) ed è stata tesa a determinare la sismostratigrafia in onde S del sito, accertando eventuali e locali inversioni di velocità e calcolando il valore equivalente nella profondità di 30 m, per la definizione della locale categoria di suolo.

I profili di velocità consentono di riconoscere, sulle verticali di restituzione delle informazioni sismostratigrafiche, orizzonti con caratteristiche elastiche e valori di velocità delle onde seconde arealmente correlabili.

Nella zona in esame i terreni più superficiali sono caratterizzati da valori di velocità delle onde S dell'ordine di 550 m/sec e presentano uno spessore dell'ordine di 8-10 m.

Il substrato, intercettato da maggiore profondità, risulta caratterizzato da litotipi lapidei qualificati da valori di velocità delle onde longitudinali di 900 m/sec, sino alla massima profondità di investigazione raggiunta.

Il rilievo Re.Mi., sviluppato sul medesimo array geofonico lineare impiegato per il rilievo a rifrazione e MASW, non ha fornito ulteriori informazioni ed i dati elaborati sono risultati di scarsa risoluzione a causa dell'attività di macchine operatrici pesanti, attive nell'area ad ovest quella di studio.

Il rilievo dei microtremori, elaborato con la tecnica HVSR o di Nakamura, consente di determinare la "*frequenza di risonanza*" di uno strato caratteristico del sito, per il quale assume il valore massimo il rapporto  $RHV = HS / VS$  (*Horizontal to Vertical Ratio*) tra gli spettri delle componenti orizzontale e verticale del moto del suolo, assumendo che la componente verticale (V) del *noise*, nel passare dal *bedrock* alla superficie, non subisca amplificazione.

Con l'impiego di programmi votati (Jsesame-Geopsy), è stato ricercato il valore di picco relativo del rapporto delle componenti spettrali vibrazionali orizzontali e verticale del rumore ambientale H/V sulla postazione di rilievo, accertando la presenza nel sottosuolo di particolari o singolari gradienti di rigidità.

L'esame del rapporto delle componenti vibrazionali orizzontale/verticale verificano valori di massimo relativo a frequenze di 3,5 Hz, relazionate all'effetto "risonante" del versante di monte, la cui stratigrafia s'immerge con un angolo dell'ordine di 40°, rispetto ai depositi regolarizzanti la superficie topografica. Il picco risulta infatti derivare da sorgenti marcatamente direzionate.

La frequenza caratteristica di sito è definita dalla seguente relazione:



$$f_0 = \frac{V_s}{4 * H}$$

dove:  $V_s$  è la velocità delle onde seconde sottese alla soluzione di continuità,  $f_0$  è la frequenza di picco caratteristica alla soluzione di continuità,  $H$  è la profondità alla soluzione di continuità di verifica.

Il calcolo ha fornito un valore di profondità pari a 8-9 m, coerente con la quota di soggiacenza del substrato lapideo locale, determinata con il rilievo a rifrazione ed il rilievo MASW.

Le elaborazioni MASW hanno consentito di verificare la “categoria di suolo” del sito in esame mediante la determinazione del valore della velocità sismica equivalente alla profondità di 30 m delle onde S, con riferimento a quanto disposto alle specifiche del D.M. 14.01.2008, assumendo quale quota di riferimento quella del p.d.p., che dovrà essere ricondotta, per le valutazioni del caso laddove differente, a quella effettiva “di fondazione”, attraverso la relazione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

dove:  $V_{s30}$  è la velocità sismica ponderata su 30 m delle onde trasversali,  $h_i$  è lo spessore dell'orizzonte  $i$ esimo ai 30 m di riferimento,  $V_i$  è la velocità delle onde S dell'orizzonte  $i$ esimo di spessore  $h_i$ .

L'analisi, schematizzata nella seguente tabella, evidenzia che i valori di velocità equivalente sulla profondità di 30 m dal piano di campagna, risultano variabili tra 742 m/sec e 769 m/sec, e con un valore medio caratteristico dell'ordine di 750 m/sec.

1/1	Verticale di riferimento			
	MASW – A		MASW – R	
	H	Vs	H	Vs
strati				
I	8	550	10	550
II	> 22	900	> 20	900
$V_{s30}$	<b>769</b>		<b>742</b>	

Il valore della  $V_{s30}$  medio indicato di 750 m/sec è pertanto compatibile con terreni della categoria di sottosuolo B.

## 8. CATEGORIA DEL SOTTOSUOLO E PARAMETRIZZAZIONE SISMICA

### 8.1. CATEGORIA DEL TERRENO DI FONDAZIONE

Lo studio geofisico realizzato ha definito un valore del parametro  $V_{s30}$ , computato a partire dal piano di misura, corrispondente al piano di campagna, dell'ordine di 750 m/s. Il terreno in esame risulta ascrivibile alla categoria B (rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s).

### 8.2. PARAMETRIZZAZIONE SISMICA

Si fornisce di seguito la parametrizzazione, relativa al sito considerato, secondo il D.M. 17 gennaio 2018.

#### Sito in esame

latitudine: 44,084216  
longitudine: 12,180838  
Classe: 2  
Vita nominale: 50

#### Siti di riferimento

Sito 1	ID: 18740	Lat: 44,0775	Lon: 12,1681	Distanza: 1266,676
Sito 2	ID: 18741	Lat: 44,0782	Lon: 12,2377	Distanza: 4588,128
Sito 3	ID: 18519	Lat: 44,1282	Lon: 12,2366	Distanza: 6615,443
Sito 4	ID: 18518	Lat: 44,1275	Lon: 12,1670	Distanza: 4934,535

#### Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B  
Categoria topografica: T2  
Periodo di riferimento: 50 anni  
Coefficiente  $c_u$ : 1

#### Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %  
Tr: 30 [anni]  
ag: 0,064 g  
Fo: 2,414  
Tc\*: 0,266 [s]

#### Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %  
Tr: 50 [anni]  
ag: 0,082 g  
Fo: 2,399  
Tc\*: 0,274 [s]

#### Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %  
Tr: 475 [anni]  
ag: 0,204 g  
Fo: 2,402  
Tc\*: 0,309 [s]

#### Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %  
Tr: 975 [anni]

ag: 0,256 g  
Fo: 2,455  
Tc\*: 0,321 [s]

**Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii**

**SLO:**

Ss: 1,200  
Cc: 1,430  
St: 1,200  
Kh: 0,018  
Kv: 0,009  
Amax: 0,902  
Beta: 0,200

**SLD:**

Ss: 1,200  
Cc: 1,430  
St: 1,200  
Kh: 0,024  
Kv: 0,012  
Amax: 1,153  
Beta: 0,200

**SLV:**

Ss: 1,200  
Cc: 1,390  
St: 1,200  
Kh: 0,082  
Kv: 0,041  
Amax: 2,875  
Beta: 0,280

**SLC:**

Ss: 1,150  
Cc: 1,380  
St: 1,200  
Kh: 0,099  
Kv: 0,049  
Amax: 3,464  
Beta: 0,280

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Coordinate WGS84

latitudine: 44.083274

longitudine: 12.179871

## **9. RISCHIO DI LIQUEFAZIONE**

Le norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche, elaborate e proposte nel dicembre 1984 dall'apposita Commissione del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti del C.N.R., suggeriscono che «se nel sottosuolo dell'opera e nelle sue adiacenze, entro una profondità massima di 15-20 m circa dal piano di campagna, sono presenti strati importanti di sabbie o sabbie limose sotto falda, dovranno essere eseguite indagini specifiche con relative verifiche per valutare il pericolo di liquefazione». Questo fenomeno si verifica nei sedimenti sabbiosi saturi, che, durante o dopo una sollecitazione di tipo ciclico, subiscono una drastica riduzione della resistenza al taglio.

Poiché nella successione stratigrafica in esame non sono presenti livelli sabbiosi di questo tipo, non è stata eseguita una specifica analisi di dettaglio della suscettibilità alla liquefazione dei terreni in esame.

## 10. ORIENTAMENTI TECNICI<sup>2</sup>

### 10.1. MODELLO GEOLOGICO ED IDONEITÀ DEL TERRENO

Gli elementi geologici, geotecnici ed idrogeologici acquisiti hanno consentito di definire le caratteristiche fondamentali (modello geologico) del terreno ove è prevista la realizzazione dell' impianto per la gestione di rifiuti da costruzione e demolizione in progetto.

Quanto esposto mostra che la portanza del locale terreno di fondazione è pienamente adeguata a sostenere la pressione esercitata su di esso dalle strutture e dai carichi dell' impianto da realizzare.

In ogni caso, la capacità portante del terreno può essere determinata, alla profondità e secondo le caratteristiche prescelte, con le metodologie correnti ed impiegando prudenzialmente i parametri geotecnici indicati nella tabella n. 1.

### 10.2. PORTANZA DEL TERRENO

Nel caso in esame può, ad esempio, essere presa in considerazione la possibilità di realizzare una struttura con fondazione superficiale, poggiante sulla roccia marnoso-arenacea sottostante il terreno di riporto.

La capacità portante di una fondazione superficiale continua, poggiante sulla roccia marnoso-arenacea, può essere calcolata, a titolo orientativo, con la procedura prevista dal D.M. 11.03.1988, utilizzando la seguente formula di Brinch Hansen (1970) senza considerare i fattori di inclinazione ed eccentricità del carico, di inclinazione del piano di campagna e di inclinazione della base della fondazione:

$$Q = c N_c S_c D_c + q N_q S_q D_q + 1/2 \gamma B N_\gamma S_\gamma D_\gamma$$

dove: Q = capacità portante; c = coesione del terreno al di sotto del piano di posa; q = pressione litostatica alla base della fondazione;  $\gamma$  = peso dell'unità di volume del terreno di fondazione;  $N_c$  = fattore di capacità portante relativo alla coesione;  $N_q$  = fattore di capacità portante relativo al sovraccarico;  $N_\gamma$  = fattore di capacità portante relativo al peso del terreno; B = larghezza della fondazione;  $S_c$ ,  $S_q$ ,  $S_\gamma$  = fattori di forma variabili a seconda se le fondazioni sono nastriformi, rettangolari, quadrate o circolari;  $D_c$ ,  $D_q$ ,  $D_\gamma$  = fattori di profondità della fondazione.

Nel caso di una fondazione nastriforme come quella citata, con profondità del piano di posa di 1,0 metri, con falda a 1,0 metri di profondità dal piano di campagna, una coesione non drenata  $c_u = 1,5$  kg/cm<sup>2</sup>, una coesione efficace  $c' = 0,2$  kg/cm<sup>2</sup>, un angolo d'attrito efficace pari a 28° e  $\gamma = 2,5$  t/mc, con L = 10 m, B = 1 m, si ottiene:

- in condizioni drenate (lungo termine), col fattore di sicurezza 3, un carico ammissibile di 3,17 kg/cm<sup>2</sup>;
- in condizioni non drenate (breve termine) col fattore di sicurezza 3, un carico ammissibile di 2,62 kg/cm<sup>2</sup>.

### 10.3. CEDIMENTI DEL TERRENO

Date le caratteristiche del terreno di fondazione marnoso-arenaceo considerato, i cedimenti prevedibili sono insignificanti e comunque contenuti entro i limiti delle

---

<sup>2</sup> I presenti orientamenti tecnici sono basati sul modello geologico locale e sulle caratteristiche generali delle opere in progetto. Essi esprimono una possibile modalità d'uso della zona, ma non intendono e non possono sostituirsi alle scelte tecniche del Progettista, fondate su una specifica conoscenza dei parametri dell'opera in progetto, dei suoi carichi e della sua compatibilità strutturale con le sollecitazioni e con le particolarità geologico - geotecniche del sito.

impianto per la gestione di rifiuti da costruzione e demolizione nell'area del Polo estrattivo 24 "San Carlo", UMI CO.GE.RO. S.r.l. nel Comune di Cesena (FC), Italia. *Relazione Geologica e Relazione sulla Modellazione Sismica*



usuali strutture. Per una eventuale stima puntuale del cedimento possono essere assunti in base alla formula di Sanglerat ( $mv=1/aRp$ ), a titolo puramente orientativo, i coefficienti di compressibilità volumetrica ( $m_v$ ) ricavabili da prove penetrometriche.

Terzaghi e Peck hanno proposto di considerare come valori limite tollerabili cedimenti assoluti di 2,5 centimetri in terreni incoerenti (sabbie e ghiaie) e 4 centimetri in terreni coesivi (limi e argille). La maggiore tolleranza consentita per i materiali dotati di coesione dipende dal fatto che in questi ultimi i cedimenti sono essenzialmente dovuti alla consolidazione, quindi distribuiti su intervalli di tempo relativamente ampi, fatto che consente alla sovrastruttura di meglio adattarsi alle deformazioni del terreno.

#### 10.4. INDICAZIONI PROGETTUALI

Di fondamentale importanza è far ricadere interamente il carico di fondazione della struttura in progetto sulla roccia marnoso-arenacea inalterata e in strato.

#### 10.5. COEFFICIENTE DI SOTTOFONDO

In merito al coefficiente di reazione del sottofondo ( $K_{ps}$ ) del terreno in esame, può essere fatto riferimento allo studio teorico sperimentale di Terzaghi (1955) riferito alla piastra modello di 0,30 metri di lato.

Lo studio citato fornisce valori medi del coefficiente di reazione del sottofondo aderenti al comportamento effettivo del suolo, quindi possono essere assunti i relativi valori, riportati nella tabella n. 4.

TABELLA N. 4 - COEFFICIENTE DI SOTTOFONDO SECONDO TERZAGHI

	$K_{ps}$ (kg/cm <sup>2</sup> )		
	<i>Sabbia sciolta</i>	<i>Sabbia media</i>	<i>Sabbia densa</i>
Sabbie asciutte o umide	1.3	4.1	16
Sabbie immerse in acqua	0.8	2.5	9.6
Resistenza alla compressione semplice in kg/cm <sup>2</sup>			
	$Q_u = 1-2$ kg/cm <sup>2</sup>	$Q_u = 2-4$ kg/cm <sup>2</sup>	$Q_u > 4$ Kg/cm <sup>2</sup>
Argilla compatta	2.4	4.8	>9.6

Il conseguente modulo di reazione ( $K_r$ ) può essere calcolato per fondazioni continue di larghezza  $B$  (in cm) e per un terreno incoerente tramite la seguente relazione:

$$K_r = K_{ps} \left( \frac{B + 30}{2B} \right)^2 \text{ kg/cm}^2$$

e per un terreno coerente tramite la seguente relazione:

$$K_r = \frac{K_{psnb} \times 30}{1,5B} \text{ kg/cm}^2$$

Un quadro orientativo generale relativo al coefficiente di reazione del sottofondo  $K_{ps}$  (Winkler) dei vari tipi litologici può essere anche ricavato dalla tabella n. 5.

TABELLA N. 5 - COEFFICIENTI DI REAZIONE DEL SOTTOFONDO  $K_{ps}$  (WINKLER) RICAVATI COME SINTESI DALLA CORRENTE LETTERATURA TECNICA (MAMMINO)

<i>Tipi di terreno</i>	$K_{ps}$ (kg/cm <sup>2</sup> )
Torba leggera	0.6-1.2
Torba pesante	1.2-1.8

Terra vegetale	1.0-1.5
Depositi recenti (ovvero pozzolane recenti, discariche di materiale litoide, morene male addensate ecc.)	1.0-2.0
Sabbia fine	1.5-2.0
Sabbia (con granulometria diffusa e scarso indice dei vuoti)	2.0-4.0
Miscugli eterogenei di sabbie, fasi limose, argille rappresentate in maniera casuale ed in percentuali variabili (terre classificabili empiricamente come segue): terra molto umida terra poco umida terra secca	2.0-3.5 3.0-6.0 5.0-10.0
Argilla con sabbia	8.0-10.0
Argilla plastica, montmorillonitica, rigonfiatasi in presenza d'acqua	10.0-12.0
Sabbia (i valori più alti vanno attribuiti ad arenarie farinose facilmente sfaldabili, già avviate però a divenire arenarie aggregate a struttura litoide per prosecuzione di fenomeni chimico fisici già in atto)	8.0-15.0
Ghiaia con sabbia (granulometricamente composta in modo che non ci siano vuoti visibili ad occhio nudo)	10.0-15.0
Ghiaia con sabbia (già classificabile come conglomerato naturale scarsamente o mediamente cementato, sul tipo delle puddinghe o brecce mioceniche)	15.0-25.0
Ghiaia (ad elementi sottili, da 0,5 a 2 centimetri di diametro)	15.0-20.0
Ghiaia (a ciottoli grossi di elevate caratteristiche meccaniche, come misti di fiume ben lavati): per fondazioni poco ampie per fondazioni ampie	20.0-25.0 25.0-30.0
Roccia	30.0 ed oltre
Roccia molto fratturata, epidermica rispetto alla formazione	15.0-25.0
Roccia sana, poco o nulla fratturata ed arenarie compatte	30.0-80.0
Arenarie antiche, metamorfosate, a struttura lamellare (ad esempio pietra lavagna)	30.0-50.0
Calcarei sani non cariati (formazioni dolomitiche, calcari grigi del Lias ecc.)	30.0-50.0
Rocce vulcaniche (porfidi, basalti, graniti) non degradate né argillificate	>50.0

## 11. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La presente indagine geognostica concerne il terreno ove è prevista la realizzazione di un impianto per la gestione di rifiuti da costruzione e demolizione, ubicato nell'area del Polo estrattivo 24 "San Carlo" - UMI CO.GE.RO S.r.l., sito in Comune di Cesena (FC).

L'area in esame è in debole pendio. In essa e nel territorio di pertinenza non si riscontrano particolari processi morfogenetici, tali da arrecare danno alla costruzione in oggetto. Nella zona non sono inoltre evidenti tracce di franosità quiescente o in atto, né propensioni al dissesto.

La situazione geologica locale è caratterizzata dalla presenza di un affioramento del Membro di Castel del Rio (FMA12) della Formazione Marnoso-Arenacea (FMA). Questa formazione è un deposito sedimentario costituito da areniti e peliti torbiditiche e da marne emipelagiche. La zona in esame è normalmente caratterizzata dalla presenza di letti arenacei aventi le dimensioni di strati e banchi. Le arenarie sono da fini a grossolane, poco cementate e disposte in letti di spessore variabile (strati e banchi), a volte raggruppati in lenti di potenza anche superiore a 10 metri. Le intercalazioni pelitiche sono generalmente sottili, frequentemente centimetriche.

Le caratteristiche geotecniche dei terreni locali sono state definite, nelle fasi di progettazione ed esecuzione dell'attività estrattiva in atto nella zona. La tabella n. 1 offre un quadro complessivo dei parametri geotecnici del terreno in esame.

Le rocce marnoso arenacee, presenti nella zona in esame, sono dotate di una scarsa permeabilità d'assieme, dovuta al fatto che in esso le marne, praticamente impermeabili, s'intercalano tra gli strati e i banchi arenacei, che, a loro volta, presentano una granulometria ricca in silt e con una, sia pur modesta, frazione argillosa. In tale situazione, solo gli strati più superficiali alterati e fratturati possono, in qualche caso, assorbire una certa quantità idrica nei periodi piovosi, ma se ne liberano rapidamente una volta terminate le precipitazioni.

Il territorio del Comune di Cesena è classificato sismico di seconda categoria (S=9). In base alla Classificazione sismica della Regione Emilia-Romagna, appartiene alla zona 2 e, nella mappa di pericolosità sismica dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, presenta valori di accelerazione sismica orizzontale massima ( $a_g$ ) pari a 0,200-0,225 g.

L'indagine geofisica, eseguita nella zona, ha consentito di definire un valore medio della velocità delle onde S alla profondità di 30 metri dal piano di campagna di dell'ordine di 750 m/sec, compatibile con la categoria di sottosuolo B delle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17 gennaio 2018 e s.m.i.).

Nel sito in esame non sono presenti terreni suscettibili alla liquefazione.

Gli elementi geologici, geotecnici ed idrogeologici acquisiti hanno consentito di definire le caratteristiche fondamentali (modello geologico) del terreno, ove è prevista la realizzazione in progetto. La portanza del locale terreno di fondazione risulta essere pienamente adeguata a sostenere la pressione esercitata su di esso dalle strutture e dai carichi dell'impianto da realizzare.

In base a quanto esposto, l'area in esame appare idonea dal punto di vista geologico alla realizzazione dell'impianto per la gestione di rifiuti da costruzione e demolizione in progetto.

Forlì, 5 gennaio 2022