

COMMITTENTE:

**CM SOLAR srl**

UBICAZIONE:

PROVINCIA DI RAVENNA

COMUNE DI RAVENNA

FRAZIONE DI SAVIO

PROGETTO:

**REALIZZAZIONE DI  
IMPIANTO FOTOVOLTAICO  
A TERRA**

**CABINE ELETTRICHE**

PROGETTISTA:



**INGEGNERIA INTEGRATA Srl S**

Ing. Minorchio Massimiliano  
Cell: 347/9126620  
e-mail: inorchio.massimiliano@gmail.com  
Sede: Via Ugo la Malfa, 10 - 40026 Imola (BO)  
Ufficio Tecnico tel. 0542/644055



**PROGETTO DEFINITIVO**

aprile 2021

## RELAZIONE GEOLOGICA



**AMBITER** S.r.l.  
società di ingegneria ambientale

v. Nicolodi, 5/A  
43126 – Parma

tel. 0521-942630  
fax 0521-942436

info@ambiter.it  
[www.ambiter.it](http://www.ambiter.it)

Commessa  
**1838**

COMMITTENTE

**CM SOLAR SRL**

UBICAZIONE

PROVINCIA DI RAVENNA

**COMUNE DI RAVENNA**

OGGETTO

**REALIZZAZIONE DI IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA**  
**CABINE ELETTRICHE**

FASE

**PROGETTO DEFINITIVO****AMBITER** s.r.l.  
società di ingegneria ambientale

Via Nicolodi, 5/A 43126 – Parma tel. 0521-942630 fax 0521-942436 www.ambiter.it info@ambiter.it

**DIREZIONE TECNICA**

dott. Giorgio Neri

**REDAZIONE**

dott. geol. Giorgio Neri

dott. geol. Adriano Biasia

**CODIFICA**

1 8 3 8

0 1

R G

0 1

2 1

**ELABORATO****DESCRIZIONE****RG****RELAZIONE GEOLOGICA**

01	01/2021	A. Biasia	F. Ravaglia	G. Neri	G. Neri	Emissione
<b>REV.</b>	<b>DATA</b>	<b>REDAZIONE</b>		<b>VERIFICA</b>	<b>APPROV.</b>	<b>DESCRIZIONE</b>

FILE	RESP. ARCHIVIAZIONE	COMMESSA
1838_Relazione_02	AB	1838

## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>MODELLO GEOLOGICO</b>	<b>5</b>
2.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	5
2.2	ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO LOCALE	8
2.3	GEOMORFOLOGIA	12
2.4	RISCHIO IDRAULICO	12
2.5	IDROGEOLOGIA	15
2.5.1	<i>Comportamento idrodinamico dell'acquifero superficiale</i>	17
2.6	SISMICITÀ	18
2.6.1	<i>Zonizzazione sismica</i>	18
2.6.2	<i>Sorgenti sismogenetiche e faglie capaci</i>	19
2.6.3	<i>Sismicità storica</i>	20
2.6.4	<i>Classificazione sismica regionale</i>	22
2.6.5	<i>Pericolosità sismica di base</i>	23
<b>3</b>	<b>INDAGINI GEOGNOSTICHE</b>	<b>25</b>
3.1	PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CON PIEZOCONO C.P.T.U.	25
3.2	INDAGINE GEOFISICA ReMi	29
<b>4</b>	<b>MODELLO GEOTECNICO</b>	<b>32</b>
4.1	ASSETTO STRATIGRAFICO	32
4.2	PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA	35
4.2.1	<i>Valori caratteristici da adottare nelle verifiche</i>	36
<b>5</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE SISMICA</b>	<b>38</b>
5.1	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	38
5.2	AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA	39
5.3	VITA NOMINALE DELL'OPERA	39
5.4	CLASSE D'USO	40
5.5	PERIODO DI RIFERIMENTO	41
5.6	PARAMETRI SISMICI DEL SITO	44
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONI</b>	<b>45</b>

## ALLEGATI

Allegato A - Elaborazione prove penetrometriche statiche CPTU

Allegato B - Elaborazione indagine geofisica ReMi

Allegato C - Profili stratigrafici disponibili (database del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione ER)

Allegato D - Tavole

## **1 INTRODUZIONE**

Il presente studio approfondisce le caratteristiche geologiche, idrogeologiche e sismiche di un'area ubicata nella frazione di Savio in Comune di Ravenna, in cui è prevista la realizzazione di cabine elettriche a servizio di un'impianto fotovoltaico a terra.

L'area in oggetto risulta in gran parte occupata da due bacini lacustri, residui dell'attività estrattiva delle sabbie e delle ghiaie avvenuta negli scorsi decenni nell'ambito della coltivazione delle cave denominate Manzona vecchia e Manzona nuova.

Dal punto di vista cartografico, l'area ricade nel foglio 240080 "Savio" della Carta Tecnica Regionale della Regione Emilia Romagna (scala 1:10.000).

Per verificare le caratteristiche litostratigrafiche e geotecniche dei terreni che saranno interessati dalle cabine elettriche, oltre al rilevamento diretto ed alla ricerca bibliografica, è stata svolta una campagna di indagini geognostiche consistente nell'esecuzione di n. 2 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU) spinte sino alla profondità di circa 15 metri dal piano campagna e un'indagine geofisica ReMi (Refraction Microtremors).

I dati ottenuti dalle indagini geognostiche e geofisiche realizzate e dai profili stratigrafici di sondaggi a carotaggio continuo effettuati in passato nell'ambito della progettazione dell'attività estrattiva, hanno consentito la ricostruzione della stratigrafia del sottosuolo e la parametrizzazione geotecnica dei terreni di fondazione.

La presente relazione è corredata dalle seguenti tavole cartografiche:

- T01 - Inquadramento territoriale alla scala 1:20.000;
- T02 - Carta geologica e geomorfologica alla scala 1:5.000;
- T03 - Carta idrogeologica e del drenaggio superficiale alla scala 1:5.000;
- T04 - Ubicazione indagini geognostiche alla scala 1:5.000;
- T05 - Sezione stratigrafica alla scala 1:2.500 - 1:250.
- T06 - Modello geologico alla scala 1:125.

## 2 MODELLO GEOLOGICO

### 2.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il contesto geologico dell'area in esame è da porre in stretta relazione con la storia evolutiva del bacino padano. La dinamica interazione di importanti deformazioni tettoniche ed oscillazioni eustatiche del livello marino hanno determinato la successione di vari ambienti sedimentari, responsabili della situazione stratigrafica oggi osservata.

In particolare, la parte sommitale della copertura sedimentaria del bacino è costituita da una successione di depositi marini, deltizi, lagunari, palustri ed alluvionali di età pliocenico-quadernaria, che poggia su un substrato caratterizzato da una complessa configurazione a pieghe e pieghe-faglie, con gli assi tettonici paralleli ai principali allineamenti strutturali appenninici (NW-SE).

Questo assetto a pieghe-faglie dei depositi pre-quadernari condiziona la sedimentazione quadernaria di copertura, caratterizzata da spessori variabili con massimi in corrispondenza delle depressioni (sino a 3000 m) e minimi sulle strutture positive (circa 1500 m), con un assetto strutturale che ricalca tendenzialmente l'andamento del substrato.

La potenza dei sedimenti plio-quadernari raggiunge i valori più elevati, nell'ambito del bacino padano, proprio in corrispondenza del comprensorio di Ravenna, a dimostrazione che quest'area è stata soggetta a fenomeni naturali di subsidenza, in gran parte tettonica, fin da tempi geologici remoti.

L'assetto di tale corpo sedimentario è il risultato di alterne vicende legate soprattutto ad avanzamenti ed arretramenti della linea di riva, determinati da fenomeni di subsidenza e sollevamento tettonico, l'eustatismo, l'andamento dei principali corsi d'acqua della zona e la variabilità del loro carico sedimentario.

In accordo con quanto assunto dal Servizio Geologico e cartografico della Regione Emilia-Romagna, le unità stratigrafiche definite ed utilizzate nel presente studio rientrano nella classe delle Sequenze Deposizionali sensu Mitchum et Al. (1977).

Esse sono definite come: "unità stratigrafiche composte da una successione relativamente continua e concordante di strati geneticamente correlati, limitati alla base e al tetto da superfici di discontinuità o dalle superfici concordanti correlabili con esse".

Le Sequenze Deposizionali, a loro volta, possono essere suddivise in:

- Principali, corrispondenti ai Supersintemi e ai Cicli Sedimentari di Ricci Lucchi et alii (1982);
- Minori, corrispondenti ai Sintemi;
- Climatico-Eustatiche di rango superiore, corrispondenti ai Subsintemi

Dal punto di vista gerarchico  distinguono due Sequenze Principali (Supersintemi secondo la terminologia delle U.B.S.U.) denominate come segue:

- Supersintema del Quaternario Marino, costituito da terreni paralici e marini depositi tra il Pliocene superiore e il Pleistocene inferiore;
- Supersintema Emiliano-Romagnolo, costituito da depositi di ambiente continentale sedimentati a partire da 800.000 anni BP.

Nel complesso i depositi presenti nel sottosuolo della porzione di territorio in esame sono relativi al Supersintema Emiliano-Romagnolo (AES), ed in particolare al Subsintema di Ravenna AES8, che ne rappresenta l'elemento sommitale (circa 30 metri di spessore).

A causa della pluralità degli ambienti deposizionali, sia in senso spaziale che temporale, il complesso sedimentario è caratterizzato da un'elevata variabilità litologica degli strati, costituiti prevalentemente da sabbie, limi e argille e da miscele di tali litotipi.

Nei settori infravallivi ed allo sbocco delle valli, AES8 è dato da depositi fluviali organizzati in vari ordini di terrazzo, costituiti da ghiaie di canale fluviale ricoperte da tracimazioni fluviali argillose, limose e sabbiose, variamente pedogenizzate. Questi depositi passano, nel settore di pianura alluvionale, ad argille, limi ed alternanze limoso-sabbiose di tracimazione fluviale (piana inondabile, argine, rotta, ecc.) ed infine, nel settore costiero di bassa pianura (ad Est della trasgressione Flandriana), il Subsintema di Ravenna risulta costituito da sabbie, argille e limi di ambiente alluvionale (porzione più superficiale) deltizio e litorale, organizzati in corpi sedimentari lenticolari, nastri-formi, tubolari e cuneiformi di spessore plurimetrico.

Il limite inferiore è inconforme, non affiorante, marcato da una superficie di discontinuità che localmente materializza una lacuna stratigrafica di circa 15 ka anni definita su base radiometrica (14C).

Il limite superiore di AES8 coincide invece col piano topografico e la parte sommitale è costituita dall'Unità di Modena (AES8a) che contiene i depositi più recenti, compresi quelli attualmente in evoluzione, costituiti da sabbie, argille e limi alluvionali.

Le aree d'intervento ricadono in quest'ultima unità deposizionale.

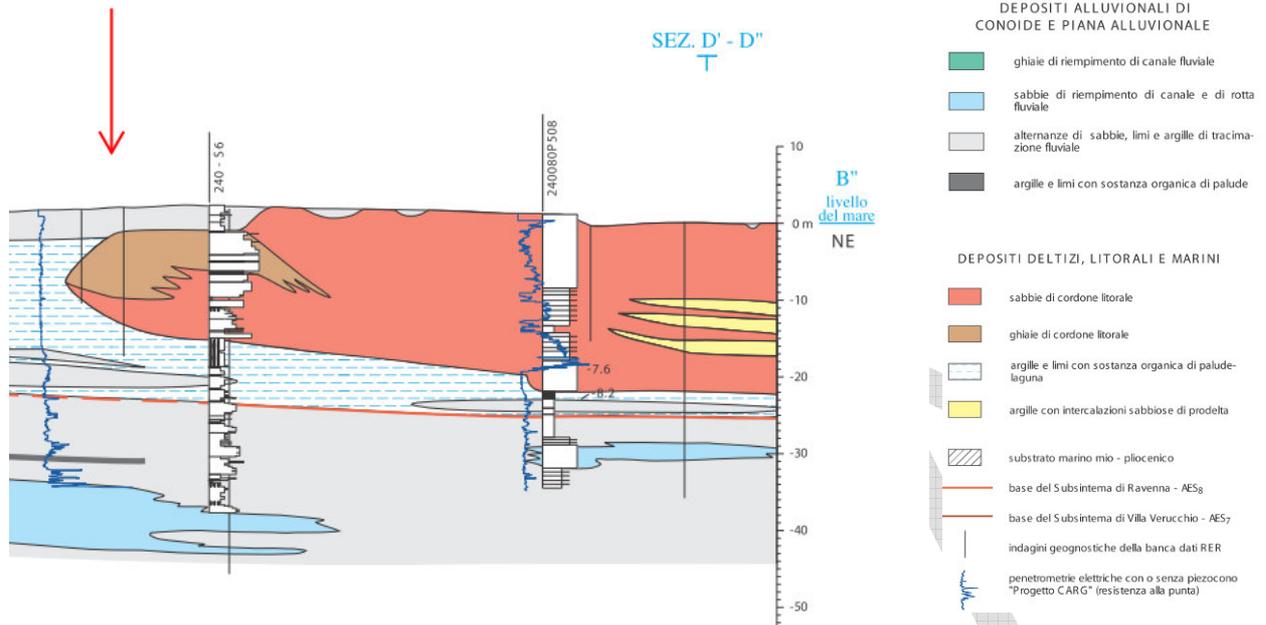


Figura 1: Stralcio Sez. 085 Progetto CARG

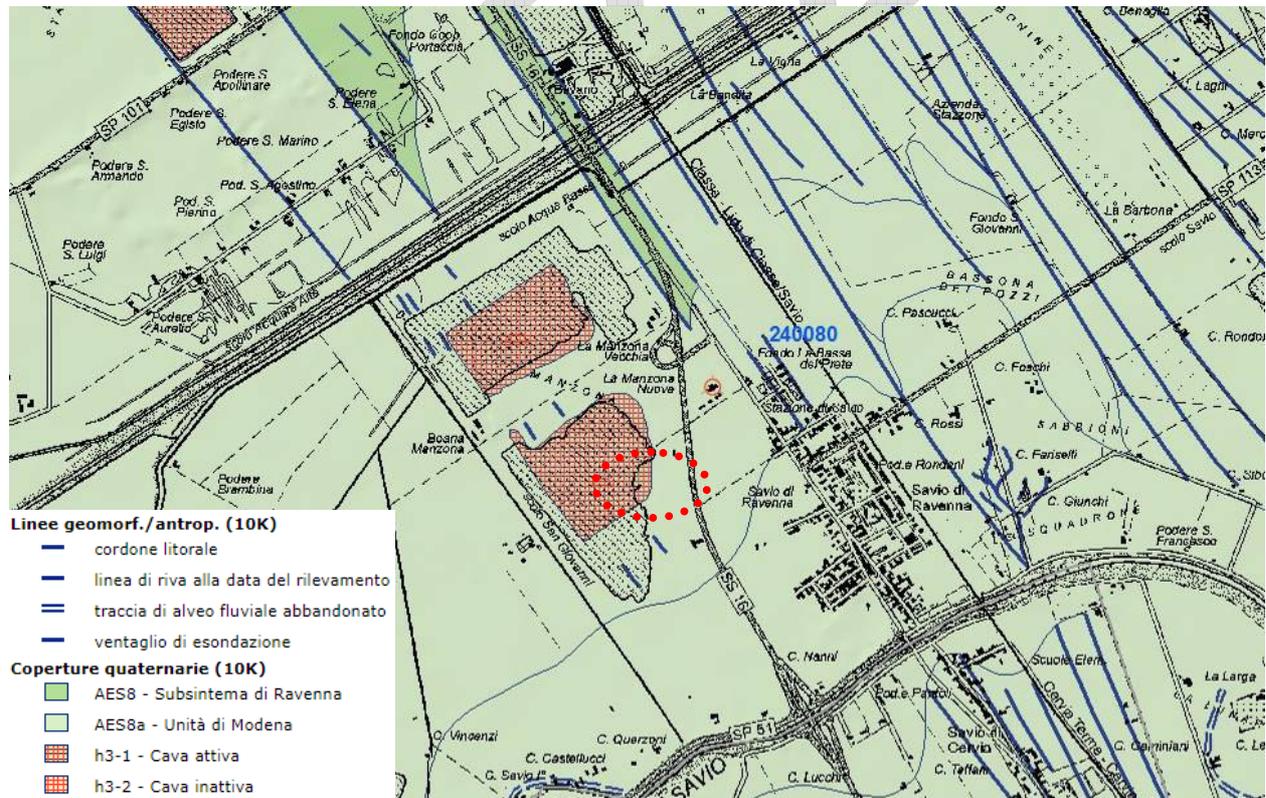


Figura 2: Stralcio Carta geologica del Progetto CARG

## 2.2 ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO LOCALE

Come anticipato nelle premesse, l'area in esame è stata oggetto di attività estrattiva delle sabbie e delle ghiaie, nell'ambito della coltivazione della cava denominata Manzona vecchia.

L'area si trova in corrispondenza delle formazioni litoranee costituite da sabbia grossolana (verso ovest), cui si intercalano spessori di sabbia fine e finissima (verso est). I depositi sabbiosi e sabbioso ghiaioso risultano ricoperti da uno strato di circa 3/4 m di spessore di limo argilloso e limo sabbioso sabbioso (fonte: Piano Attività Estrattiva del Comune di Ravenna).

L'originale assetto geomorfologico dell'area è stato quindi del tutto occultato dalle attività antropiche di regimentazione idraulica e delle attività estrattive.

Al riguardo si riporta uno stralcio di una foto aerea disponibile sul geoportale nazionale (<http://www.pcn.minambiente.it/mattm/>) che evidenzia che l'area in oggetto è stata interessata, in parte, dalle escavazioni e da successivi tombamenti necessari alla riprofilatura e diversificazione delle sponde del lago di cava



Figura 3: Foto 1994 (fonte geoportale nazionale)

Facendo riferimento ai numerosi profili stratigrafici di sondaggi a carotaggio effettuati verosimilmente a supporto della progettazione delle cave e disponibili dal Database del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna (SSGS), è possibile ricostruire l'assetto originario dell'area sino a profondità di circa 15 m

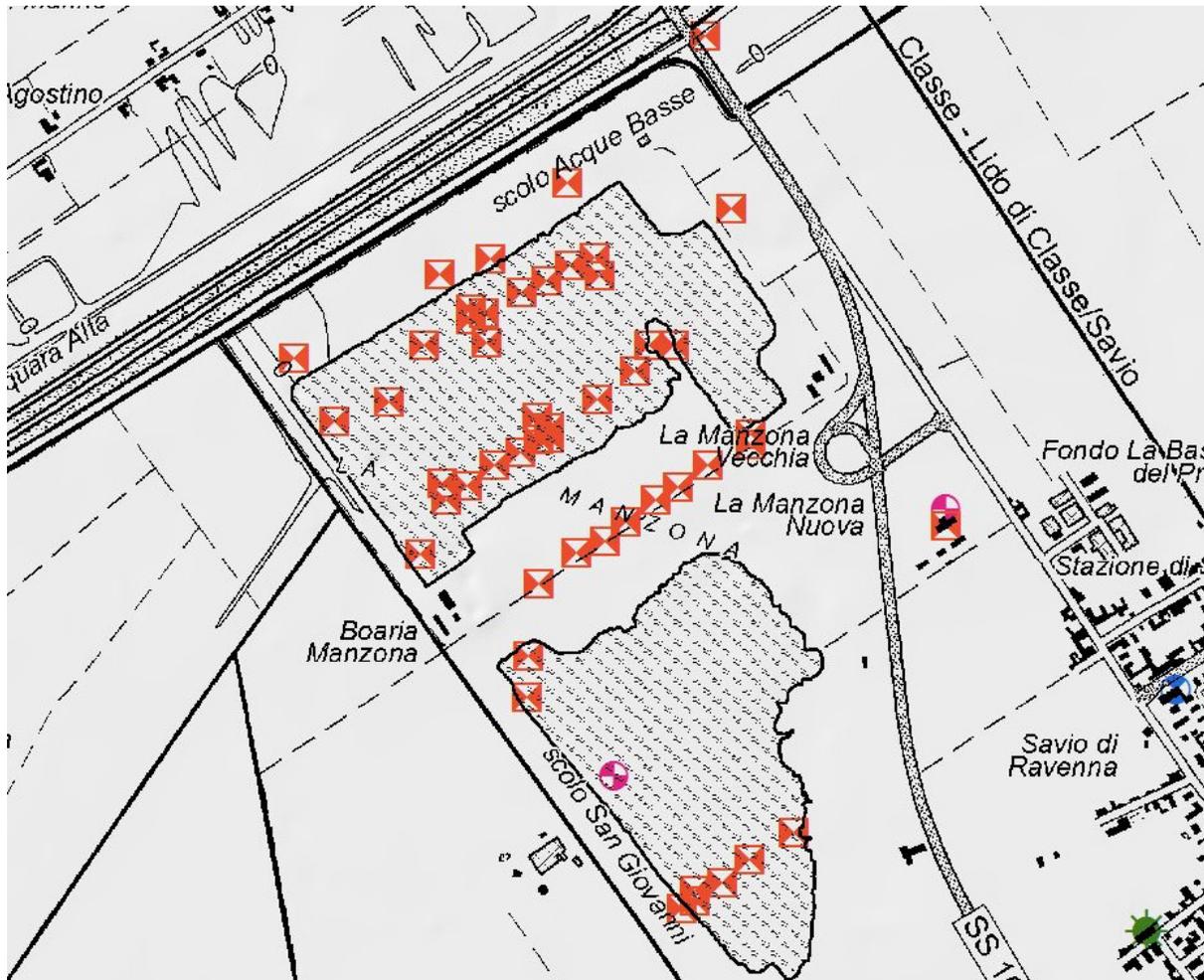


Figura 4: Ubicazione sondaggi a carotaggio effettuati nell'area (fonte Database del SGSS della Regione Emilia-Romagna)

In particolare, può essere fatto riferimento ai dati relativi ai sondaggi 240080P423, 240080P425, 240080P448, 240080P421, 240080P413 e 240080P513X, di cui si riportano di seguito le stratigrafie speditive:

<b>240080P423</b>	
Data esecuzione: 19/04/1993	
Tipo di prova: Sondaggio a carotaggio continuo	
Profondità	Stratigrafia
0 - 1,9	Limo sabbioso limo argilloso
1,9 - 3,2	Sabbia medio grossolana
3,2 - 8,5	Sabbia medio grossolana con ghiaia fine e resti conchigliari
8,5 - 13,2	Sabbia medio fine
13,2 - 15	Limo sabbioso limo argilloso

<b>240080P425</b>	
Data esecuzione: 16/04/1993	
Tipo di prova: Sondaggio a carotaggio continuo	
Profondità	Stratigrafia
0 - 2,4	Limo sabbioso limo argilloso
2,4 - 8,2	Sabbia medio grossolana con ghiaia fine e resti conchigliari
8,2 - 10,0	Sabbia medio fine
10,0 - 15	Limo sabbioso limo argilloso

<b>240080P448</b>	
Data esecuzione: 30/07/1987	
Tipo di prova: Sondaggio a carotaggio continuo	
Profondità	Stratigrafia
0 - 3,2	Limo sabbioso limo argilloso e argilla limosa
3,2 - 6,0	Sabbia medio grossolana con ghiaia fine e resti conchigliari
6,0 - 8,1	Ghiaia in matrice sabbiosa
8,1 - 9,3	Sabbia medio grossolana con ghiaia fine e resti conchigliari
9,3 - 9,8	Sabbia medio fine
9,8 - 12	Limo sabbioso limo argilloso

<b>240080P421</b>	
Data esecuzione: 30/07/1987	
Tipo di prova: Sondaggio a carotaggio continuo	
Profondità	Stratigrafia
0 - 2,3	Limo sabbioso limo argilloso e argilla limosa
3,2 - 8,6	Sabbia medio grossolana
8,6 - 12,2	Sabbia medio fine
12,2- 13,0	Sabbia medio grossolana con ghiaia fine e resti conchigliari
13,0 - 17,0	Sabbia medio fine
17,0 - 19,0	Argilla limosa

<b>240080P413</b>	
Data esecuzione: 15/06/1995	
Tipo di prova: Sondaggio a carotaggio continuo	
Profondità	Stratigrafia
0 - 3,8	Limo argilloso
3,8 - 7,5	Sabbia medio grossolana con ghiaia fine e resti conchigliari
7,5 - 13,0	Ghiaia con sabbia
13,0 - 15,0	Argilla

<b>240080P513X</b>	
Data esecuzione: 01/02/1999	
Tipo di prova: Sondaggio a carotaggio continuo	
Profondità	Stratigrafia
0 - 3,5	Limo argilloso argilla limosa
3,5 - 5,4	Sabbia medio grossolana
5,4 - 8,7	Ghiaia con sabbia
8,7 - 13,4	Sabbia medio grossolana
13,4 - 14,0	Argilla e limi
14,0 - 16,7	Sabbia fine e limi sabbiosi
16,7 - 17,4	Sabbia e ghiaia
17,4 - 25,6	Limi e argilla
25,6 - 31,5	Sabbie limose e argille limose

### 2.3 GEOMORFOLOGIA

L'attuale assetto geomorfologico della porzione di territorio in esame è il risultato dell'effetto combinato di alterne vicende climatiche di varia intensità, lente deformazioni tettoniche ed interventi antropici, che si sono imposti negli ultimi millenni ed hanno direttamente interagito sulla rete idrografica. Nel periodo storico si è sovrapposta anche l'attività antropica molto invasiva connessa alla realizzazione di opere di urbanizzazione e infrastrutturali e, soprattutto, all'attività estrattiva delle sabbie.

L'area presenta una morfologia pianeggiante con quote altimetriche di circa 1 - 2 m s.l.m.

L'originale assetto geomorfologico è stato del tutto occultato dalle attività antropiche di regimentazione idraulica e dall'attività estrattiva delle sabbie e delle ghiaie. L'area in esame risulta infatti in parte scavata e ritombata con la presenza di un lago per attività ludico sportive.

I principali collettori idrici presenti sono il Torrente Bevano, che scorre a circa 200m dalla cava, e gli scoli demaniale Acquara, Bevanella e San Giovanni.

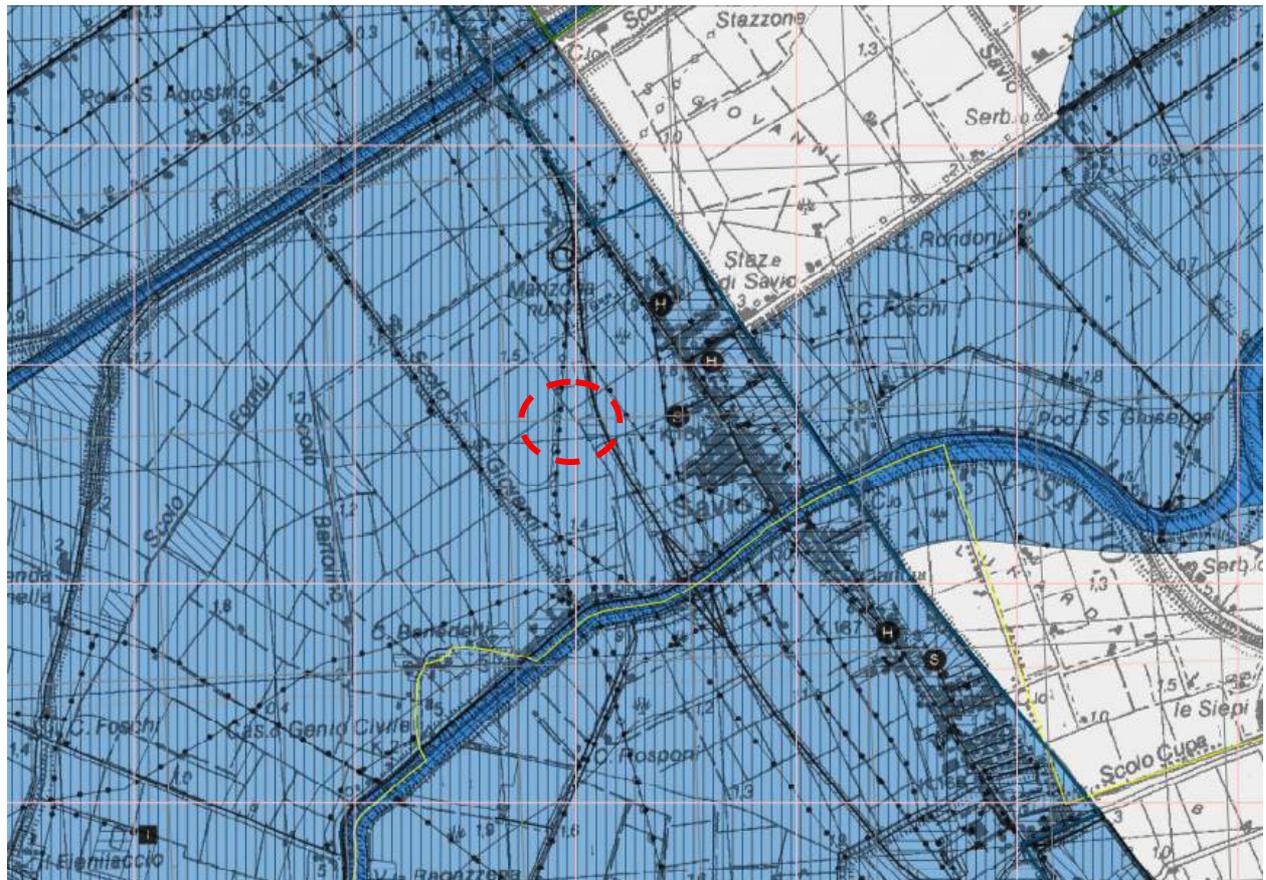
Il rilievo geomorfologico effettuato evidenzia la stabilità complessiva della porzione di territorio su cui insisteranno le opere previste, non si prevedono infatti processi morfodinamici in grado di provocare trasformazioni nel medio-lungo termine.

### 2.4 RISCHIO IDRAULICO

Per quanto riguarda la valutazione del rischio idraulico si è fatto riferimento agli elaborati del PGRA (Piano gestione rischio alluvioni) della regione Emilia-Romagna.

Il Piano di gestione del rischio di alluvioni (PGRA) è un Piano introdotto dalla Direttiva comunitaria 2007/60/CE (cd. 'Direttiva Alluvioni') con la finalità di costruire una mappatura delle aree allagabili, classificate in base alla pericolosità e al rischio.

Sulla base di quanto riportato nella Mappa di pericolosità di alluvioni e degli elementi potenzialmente esposti a scala 1: 25.000 - 240NE Classe, l'area di intervento ricade all'interno delle aree P2-M (Alluvioni poco frequenti: tempo di ritorno tra 100 e 200 anni - media probabilità) alluvionabili sia dal reticolo principale e secondario che dal Reticolo secondario di pianura.



**Legenda**

**Scenari di Pericolosità**

- P3 – H (Alluvioni frequenti: tempo di ritorno tra 20 e 50 anni - elevata probabilità)
- P2 – M (Alluvioni poco frequenti: tempo di ritorno tra 100 e 200 anni - media probabilità)
- P1 – L (Scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi)

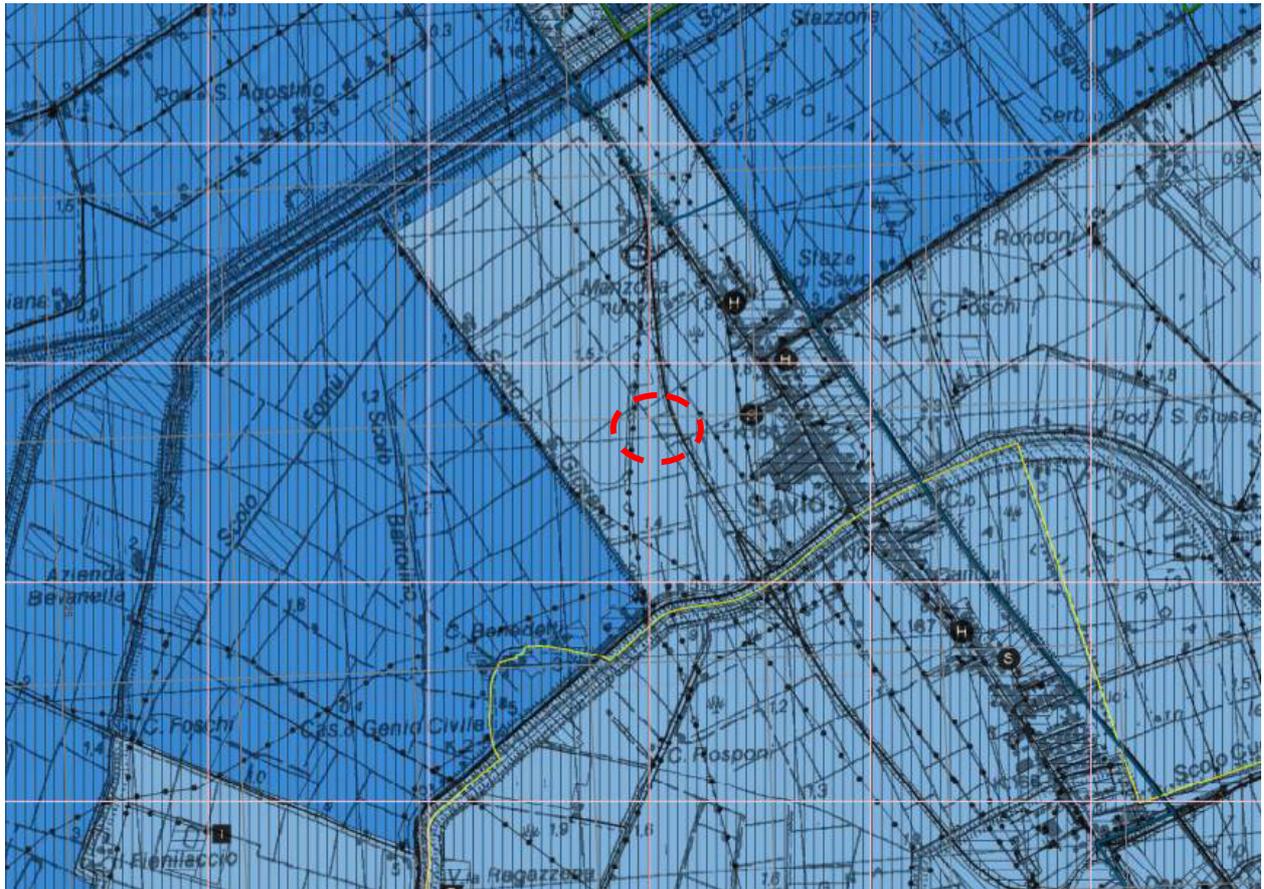
**Aree Protette**

- Zone Parco
- SIC - ZPS

**Elementi Potenzialmente Esposti**

	areali	puntuali	lineari
Zone urbanizzate			
Attività produttive			
Strutture strategiche e sedi di attività collettive		<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">S</span> scuola</li> <li><span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">H</span> ospedale</li> <li><span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">▲</span> diga</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li> reti per la distribuzione di servizi</li> <li> reti stradali secondarie e spazi accessori</li> <li> reti ferroviarie e stradali primarie e spazi accessori</li> </ul>
Infrastrutture strategiche		<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">I</span> impianti insediamenti	
Insedimenti produttivi o impianti tecnologici, potenzialmente pericolosi dal punto di vista ambientale			
Beni ambientali, storici e culturali di rilevante interesse		<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">▼</span>	

**Figura 5: Stralcio Mappa della pericolosità e degli elementi potenzialmente esposti del PGRA - Foglio 240NE – Classe (Reticolo naturale principale e secondario)**



**Legenda**

**Scenari di Pericolosità**

- P3 – H (Alluvioni frequenti: tempo di ritorno tra 20 e 50 anni - elevata probabilità)
- P2 – M (Alluvioni poco frequenti: tempo di ritorno tra 100 e 200 anni - media probabilità)
- P1 – L (Scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi)

**Aree Protette**

- Zone Parco
- SIC - ZPS

**Elementi Potenzialmente Esposti**

	areali	puntuali	lineari
Zone urbanizzate			
Attività produttive			
Strutture strategiche e sedi di attività collettive		<ul style="list-style-type: none"> <li> scuola</li> <li> ospedale</li> <li> diga</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li> reti per la distribuzione di servizi</li> <li> reti stradali secondarie e spazi accessori</li> <li> reti ferroviarie e stradali primarie e spazi accessori</li> </ul>
Infrastrutture strategiche		<ul style="list-style-type: none"> <li> impianti</li> <li> insediamenti</li> </ul>	
Insedimenti produttivi o impianti tecnologici, potenzialmente pericolosi dal punto di vista ambientale			
Beni ambientali, storici e culturali di rilevante interesse			

**Figura 6: Stralcio Mappa della pericolosità e degli elementi potenzialmente esposti del PGRA - Foglio 240NE Classe (Reticolo secondario di pianura)**

## 2.5 IDROGEOLOGIA

Le caratteristiche degli acquiferi del territorio in esame sono inserite nel quadro evolutivo idrogeologico e stratigrafico della Pianura Padana Emiliano-Romagnola.

Secondo quanto riportato nello studio del Bacino Idrogeologico della Pianura Emiliano-Romagnola, il Servizio Geologico della Regione Emilia-Romagna distingue tre Unità Idrostratigrafiche, denominate Unità Idrostratigrafico-Sequenziali (Regione Emilia-Romagna, Eni-Agip, 1998), le cui caratteristiche peculiari sono le seguenti (v. Figura 7):

- sono costituite da una o più unità Stratigrafiche a limiti discontinui (limiti di discontinuità stratigrafica), denominate Sequenze Deposizionali, sensu Mitchum et Al. (1977);
- comprendono in posizione basale e/o sommitale una Barriera di Permeabilità Regionale.

Le Unità Idrostratigrafico-Sequenziali di rango superiore, denominate Gruppi Acquiferi A, B e C, a loro volta sono suddivise in 12 UIS, gerarchicamente inferiori, denominate Complessi Acquiferi. Esse affiorano estesamente sul margine meridionale del Bacino Idrogeologico della Pianura Emiliano-Romagnola per poi immergersi verso nord al di sotto dei sedimenti depositati dal Fiume Po e dai suoi affluenti negli ultimi 20 000 anni, contenenti Sistemi Acquiferi quasi sempre freatici, di scarsa estensione e potenzialità (Complesso Acquifero Superficiale o A0).

I corpi geologici che fungono da acquiferi sono costituiti da sedimenti ghiaiosi e sabbiosi di origine deltizia, litorale e alluvionale depositi dai corsi d'acqua appenninici e dal Fiume Po a partire da circa 1 milione di anni fa. Ciascun Gruppo Acquifero è idraulicamente separato, almeno per gran parte della sua estensione, da quelli sovrastanti e sottostanti grazie a barriere di permeabilità Regionali.

Al suo interno ogni Gruppo Acquifero è composto da serbatoi acquiferi sovrapposti e giustapposti, parzialmente o totalmente isolati tra loro, suddivisi in Complessi e Sistemi Acquiferi.

Le principali barriere di permeabilità in senso orizzontale sono costituite da corpi geologici decametrici, a prevalente granulometria fine, interpretabili come sistemi deposizionali interdeltizi o di interconoide e bacino interfluviale, che si giustappengono a sistemi deposizionali deltizi, di conoide alluvionale e fluviali, ricchi in materiali grossolani.

L'Unità Idrostratigrafico-Sequenziale affiorante nell'area in esame e direttamente coinvolta dalle opere di fondazione dell'intervento in progetto è denominata Gruppo Acquifero A, che ricalca il Sintema Emiliano Romagnolo superiore (450 000 - 350 000 anni BP).

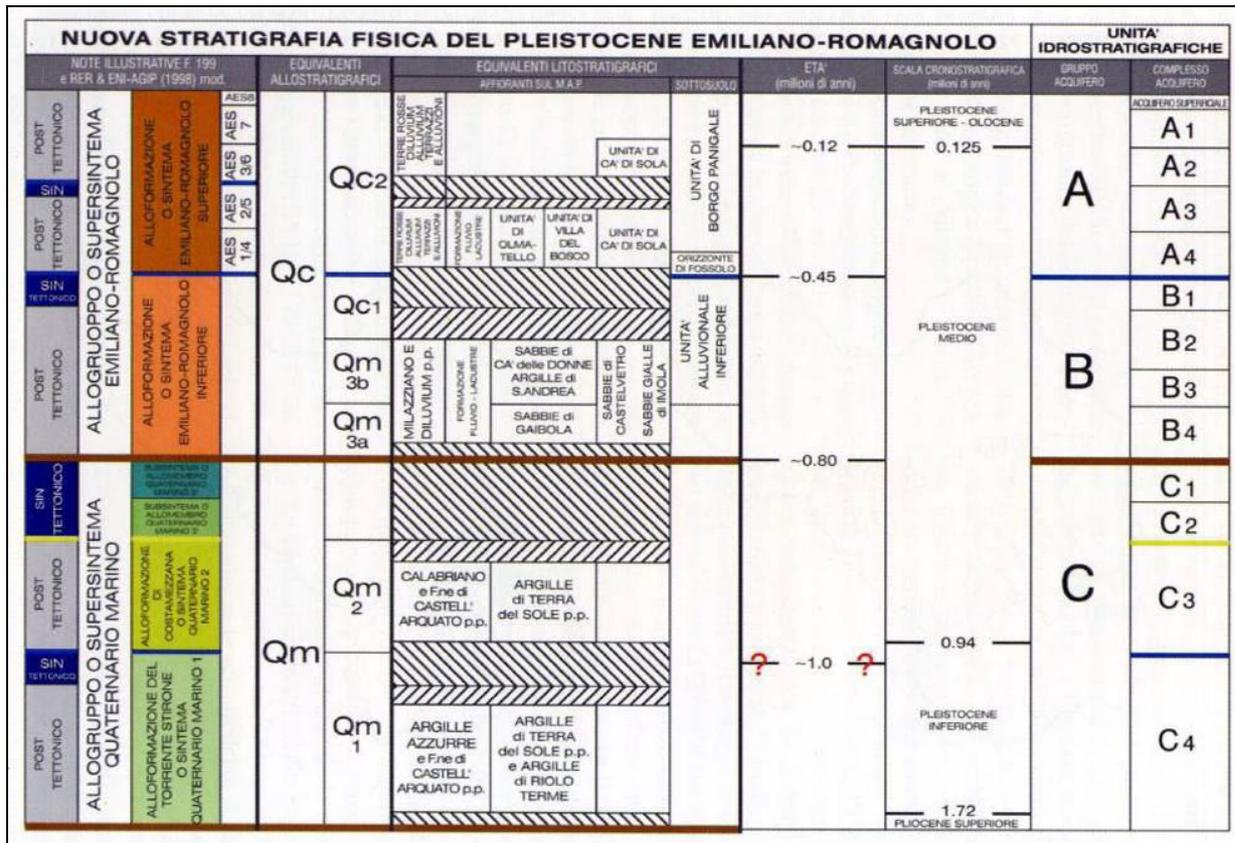


Figura 7: Schema geologico-stratigrafico e idrostratigrafico del Bacino Pleistocenico della Pianura Emiliano-Romagnola (da RER, ENI – AGIP, 1998. Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia Romagna)

Nell'ambito del territorio comunale di Ravenna è riconoscibile un sistema acquifero ad acque dolci, costituito da terreni del Quaternario continentale, delimitato inferiormente dall'interfaccia acqua dolce-acqua salata.

In particolare, sono riconoscibili

- **acquifero freatico:** generalmente legato ad una circolazione in terreni misti costituiti generalmente da alluvioni e depositi di palude salmastra, con potenze da pochi metri sino ad oltre 10 m, che sovrastano il banco sabbioso litorale.
- **sistema di acquiferi con falde in pressione:** formato da una serie di orizzonti permeabili sabbiosi riconducibili ad un unico acquifero multistrato a scala regionale, soggetto ad emungimento intensivo per l'approvvigionamento idrico ed alimentato, per flusso sotterraneo, dalla retrostante pianura, con alimentazione nella fascia pedecollinare (conoidi).

### 2.5.1 Comportamento idrodinamico dell'acquifero superficiale

Nel territorio di interesse è presente una falda freatica con soggiacenza prossima al piano campagna alimentata dall'infiltrazione diretta, dalle perdite di subalveo del reticolo idrografico e dall'irrigazione, regimata dalla rete di canali e scoli consorziali e soggetta ad emungimenti da parte dei pozzi presenti in zona.

La formazione del lago di cava, esercita un richiamo nei confronti degli afflussi sotterranei provenienti da monte e nello stesso tempo, ricarica localmente la falda a valle; l'entità di tale fenomeno è comunque modesta.

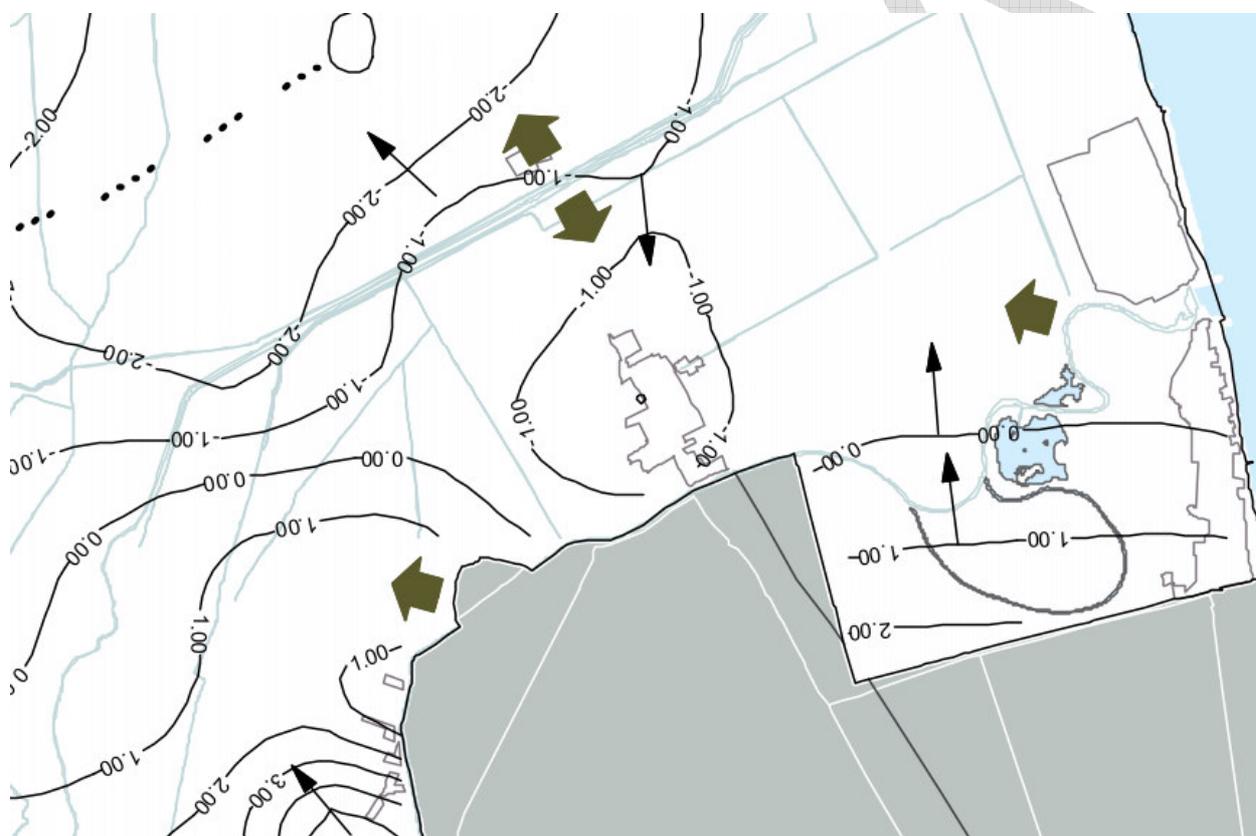


Figura 8: Stralcio della Tavola B.2.2.a Acque sotterranee del Quadro Conoscitivo del PSC di Ravenna

## 2.6 SISMICITÀ

### 2.6.1 Zonizzazione sismica

L'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia ha prodotto una zonizzazione sismogenetica (ZS) del territorio nazionale che tiene conto dell'analisi cinematica degli elementi geologici, cenozoici e quaternari coinvolti nella dinamica delle strutture litosferiche profonde e della crosta superficiale ("Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall' O.P.C.M. 20-3-2003, n. 3274 Rapporto conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano - Roma, aprile 2004, 65 pp + 5 appendici").

La zonizzazione è stata condotta tramite l'analisi cinematica degli elementi geologici, cenozoici e quaternari coinvolti nella dinamica delle strutture litosferiche profonde e della crosta superficiale. Il confronto tra le informazioni che hanno condotto alla costruzione del modello geodinamico e la sismicità osservata ha permesso di costruire la carta nazionale delle zone sismo genetiche.

Per il reperimento dei dati relativi alla sismicità osservata è stato considerato il catalogo storico contenente 2 488 eventi degli ultimi 1000 anni con intensità epicentrali maggiore o uguale al V – VI grado MCS la cui magnitudo è maggiore o uguale a 4.

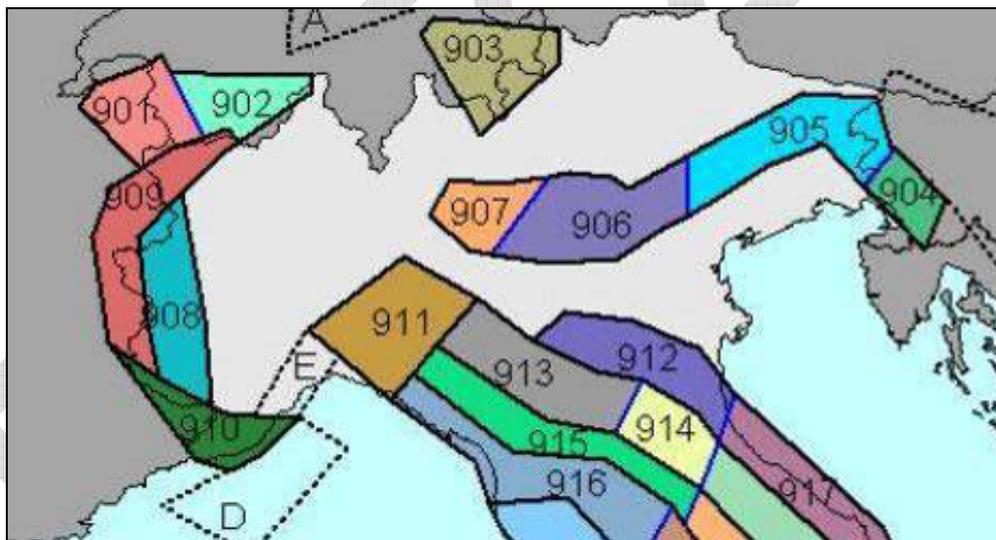


Figura 9: Stralcio della Zonizzazione sismogenetica ZS9

Dall'esame della si evince che il Comune di Ravenna ricade nella Zona Sismogenetica 912 "Dorsale Ferrarese" che fa parte del complesso "Appennino settentrionale e centrale" (zone che vanno dalla 911 alla 923).

Tali zone ricadono in una fascia di transizione a carattere misto in cui convivono meccanismi diversi (essenzialmente compressivi a NW e distensivi a SE); si possono altresì avere meccanismi trascorrenti nelle zone di svincolo che dissecano la continuità longitudinale delle strutture.

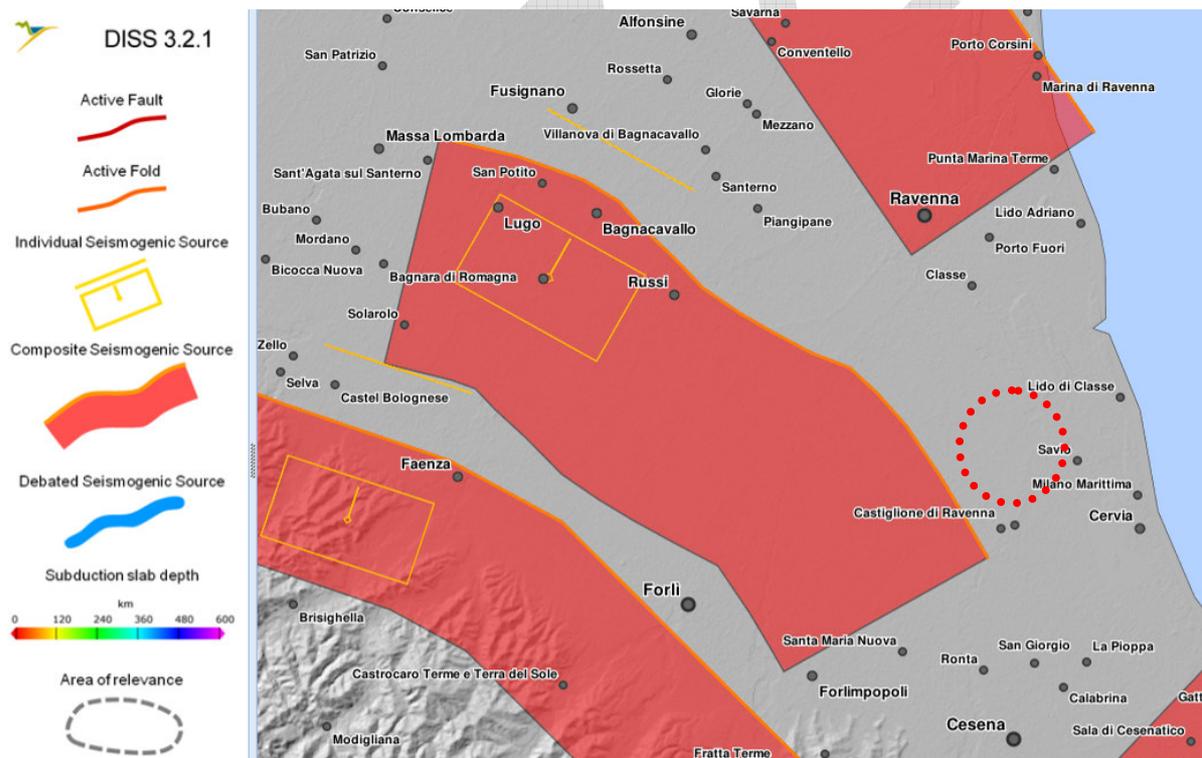
La massima magnitudo rilevata è  $M_d = 4,6$ ; le zone ipocentrali si verificano generalmente a profondità comprese tra 5 e 8 Km con profondità efficace di 7 km; nella Zona Sismogenetica 912 è previsto, sulla base dei meccanismi focali, valori di massima magnitudo momento pari a  $M_{wmax} = 6,14$ .

### 2.6.2 Sorgenti sismogenetiche e faglie capaci

Il Database “A compilation of Potential Sources for Earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas”, versione 2.0 (Valensise & Pantosti, 2001), contiene sorgenti sismogenetiche individuali e composite ritenute in grado di generare grandi terremoti.

L’assetto di queste sorgenti fornisce informazioni sull’andamento dei maggiori sistemi di faglie attive, consentendo in alcuni casi di individuare aree di potenziale gap sismico.

Dall’esame del Database, la sorgente sismogenetiche composta più vicina al territorio in esame è: la sorgente Ascensione-Armaia (ITCS011).



**Figura 10 – Sorgenti sismogenetiche contenute nella nuova versione del “Database of Potential Sources for Earthquakes larger than M 5.5 in Italy” per l’area in oggetto**

Le principali informazioni di riferimento per la sorgente ITCS011 sono riportate in Figura 11.

### PARAMETRIC INFORMATION

PARAMETER	QUALITY	EVIDENCE	
Location [Lat/Lon]	44.38 / 11.94	OD	Based on macroseismic, geological and geomorphological data.
Length [km]	9.1	ER	Calculated using the relationships from Wells and Coppersmith (1994).
Width [km]	6.0	ER	Calculated using the relationships from Wells and Coppersmith (1994).
Min depth [km]	2.5	OD	Based on seismic profile and geomorphological observations.
Max depth [km]	5.0	OD	Based on seismic profile and geomorphological observations.
Strike [deg]	119	OD	Based on geological and geomorphological observations.
Dip [deg]	25	OD	Based on seismic profile and geomorphological observations.
Rake [deg]	90	OD	Inferred from geological data, constrained by orientation of T axes.
Slip Per Event [m]	1.0	ER	Calculated from $M_0$ using the relationship from Hanks and Kanamori (1979).
Slip rate [mm/y] min... max	0.1...0.3	LD	Based on geological data from Maesano et al. (2015).
Recurrence [y] min... max	3333... 10000	EJ	Inferred from slip rate and average displacement.
Magnitude [Mw]	5.8	LD	Value adopted from the historical earthquake catalogue CPT11.

LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP; EJ=EXPERT JUDGEMENT;

Figura 11 –Quadro riassuntivo della sorgente sismogenetica Imperia Promontory (ITCS026)

#### 2.6.3 Sismicità storica

La sismicità storica del Comune di Ravenna è stata desunta dal database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPT15 (Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P., 2016. CPT15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia-<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPT15>).

La sismicità del territorio comunale è riassunta graficamente nel diagramma di Figura 12.

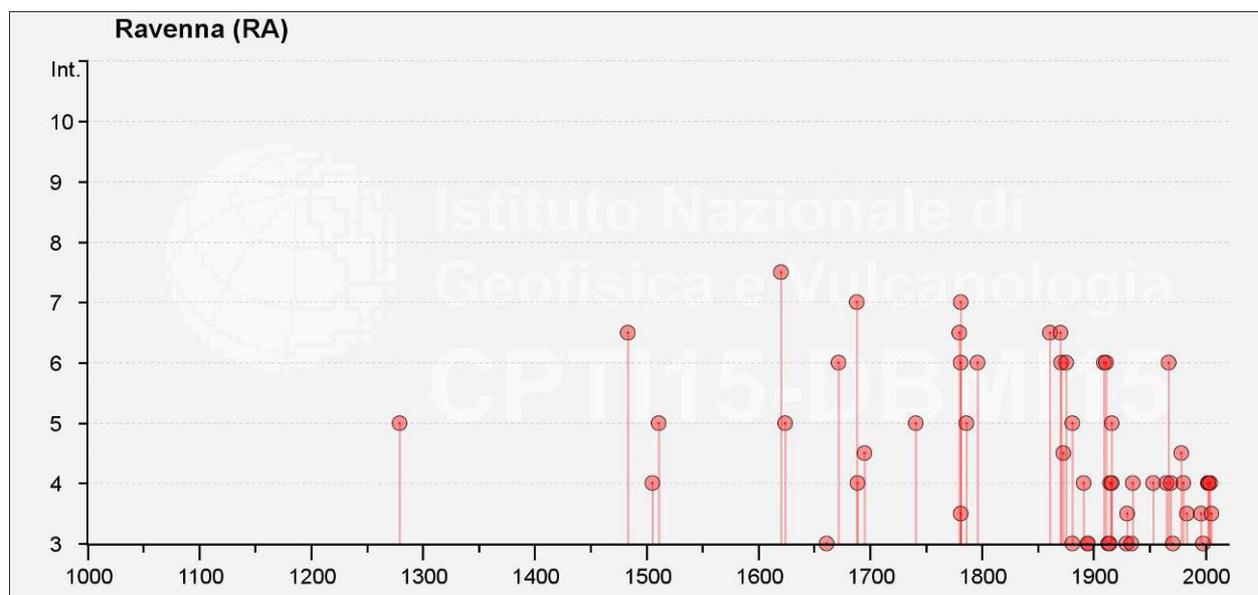


Figura 12: Diagramma rappresentante la storia sismica del Comune di Ravenna

Intensity	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	Io	Mw
5	1279 04 30	Appennino forlivese	7-8	5,52
6-7	1483 08 11 19 40	Romagna	8	5,69
7-8	1620 06 22	Ravennate	6-7	4,86
5	1624 03 19	Argenta	7-8	5,43
6	1672 04 14 15 45	Riminense	8	5,59
7	1688 04 11 12 20	Romagna	8-9	5,84
6-7	1780 05 25	Romagna	5-6	4,4
6	1781 04 04 21 20	Faentino	9-10	6,12
7	1781 07 17 09 40	Faentino	8	5,61
5	1786 12 25 01	Riminense	8	5,66
6	1796 10 22 04	Emilia orientale	7	5,45
6-7	1861 10 16	Romagna	6-7	5,13
6-7	1870 10 30 18 34	Forlivese	8	5,61
6	1871 01 22 21 30	Pianura romagnola	6	4,95
6	1875 03 17 23 51	Costa romagnola	8	5,74
5	1881 02 12	Russi	5-6	4,69
6	1909 01 13 00 45	Emilia-Romagna orientale	6-7	5,36
6	1911 02 19 07 18 30.00	Forlivese	7	5,26
5	1916 05 17 12 50	Riminense	8	5,82
6	1967 12 30 04 19	Emilia-Romagna orientale	6	5,05

Tabella 1: Principali eventi sismici del Comune di Ravenna

## 2.6.4 Classificazione sismica regionale

La classificazione sismica è stata approvata con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/03/2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per la costruzione in zona sismica".

Il territorio nazionale è stato suddiviso in 4 classi con livelli decrescenti di pericolosità sismica in relazione a 4 differenti valori di accelerazione orizzontale ( $a_g/g$ ) d'ancoraggio dello spettro di risposta elastico e a 4 differenti valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo ( $a_g/g$ ), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

Zona	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni ( $a_g/g$ )
1	>0,25
2	0,15-0,25
3	0,05-0,15
4	<0,05

Tabella 2: Valori di PGA per le varie zone

Con Delibera n. 1164 del 23/07/2018, la Regione Emilia-Romagna ha recentemente predisposto l'aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei comuni della Regione, la quale prevede che il territorio comunale di Ravenna è classificato in classe 3, con conseguente accelerazione sismica orizzontale, con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, compreso tra 0,05 - 0,15 ( $a_g/g$ ).

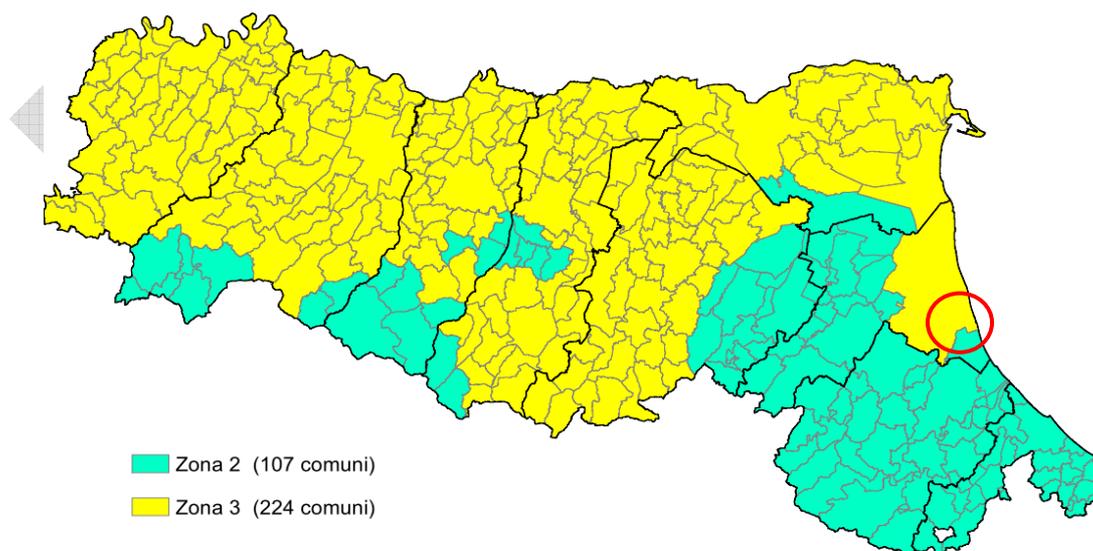


Figura 13: Classificazione sismica vigente dei Comuni della Regione Emilia-Romagna

## 2.6.5 Pericolosità sismica di base

Le Norme Tecniche per le costruzioni D.M. 17.1.2018 hanno modificato le modalità di valutazione delle azioni di progetto. In particolare, l'azione sismica è valutata a partire dalla pericolosità sismica di base, che costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La pericolosità sismica di base è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente,  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR, nel periodo di riferimento VR.

Le nuove norme tecniche forniscono le forme spettrali in funzione dei tre parametri:

- $a_g$  accelerazione orizzontale massima del terreno;
- $F_0$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T_c$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Questi tre parametri sono definiti in corrispondenza dei punti di un reticolo di riferimento (v. Figura 14), i cui nodi non distano fra loro più di 10 km, per diverse probabilità di superamento in 50 anni e per diversi periodi di ritorno (variabili tra 30 e 975 anni).

La classificazione sismica (zona sismica di appartenenza del Comune) rimane utile solo per la gestione della pianificazione e per il controllo del territorio da parte degli enti preposti (Regione, Genio civile, ecc.).

Allo stato attuale, la pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento è fornita dai dati pubblicati sul sito <http://esse1.mi.ingv.it/>.

Analizzando i dati riportati per ognuna delle suddette stazioni il territorio in esame presenta i seguenti dati di pericolosità:

- magnitudo attesa:  $M_w = 6,14$ ;
- accelerazione di picco per suoli di tipo A con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni per un periodo di ritorno di 475 anni  $PGA = 0,150 - 0,200$ .

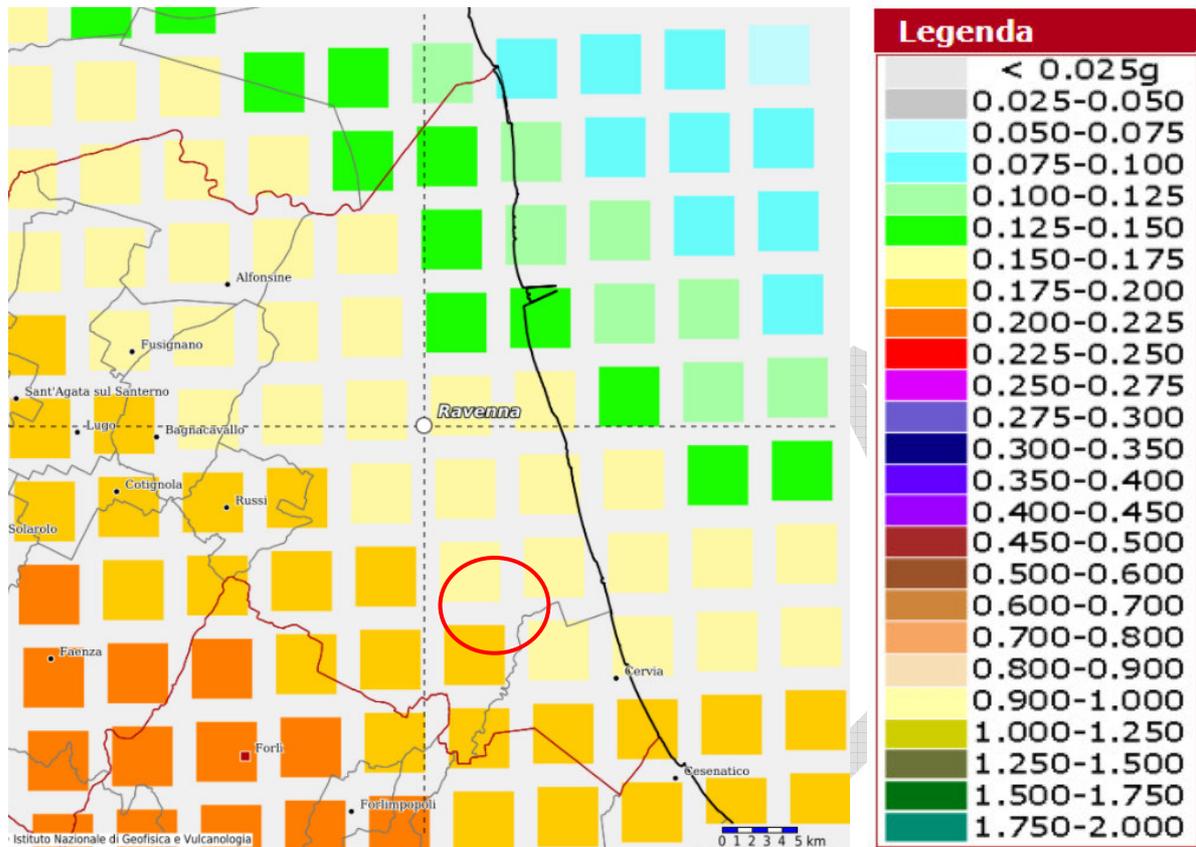


Figura 14 – Valori di pericolosità sismica espressi in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi

In Figura 15 vengono forniti, per periodi di ritorno  $T_R$  di 30, 50, 475 e 975 anni, i valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_C^*$ . Tali valori si riferiscono a suoli rigidi e non tengono conto delle amplificazioni di tipo stratigrafico (ss) e topografico (st)

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO	30	0,048	2,451	0,262
SLD	50	0,059	2,485	0,278
SLV	475	0,161	2,552	0,280
SLC	975	0,213	2,502	0,285

Figura 15 –Valori dei parametri di  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_C^*$  per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento

### 3 INDAGINI GEOGNOSTICHE

#### 3.1 PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CON PIEZOCONO C.P.T.U.

Le prove penetrometriche statiche costituiscono uno standard ormai consolidato nell'indagine in terreni coesivi (limi e argille) e sabbiosi. Le prove sono state realizzate in conformità con le specifiche ASTM (D 3441) e la "Raccomandazione" ISSMFE per la standardizzazione delle prove penetrometriche in Europa (1989).

La prova penetrometrica statica con piezocono CPTU è una tecnica di indagine geognostica che consiste nella misurazione, mediante cella di carico digitale, della resistenza alla penetrazione di una punta conica.

Per l'esecuzione delle indagini si è utilizzato un penetrometro statico tipo Pagani TG 63-200, fornito delle seguenti componenti: e connessioni elettriche:

- TGAS-08 – Il sistema di acquisizione;
- ENCODER – Misura la profondità e la velocità di infissione;
- POWER SUPPLY – Il sistema viene alimentato elettricamente dalla batteria del penetrometro, tramite una presa montata di serie;
- ROD ADAPTER – Collega meccanicamente il piezocono alle aste di spinta;
- GPS-GPRS ANTENNA – Permette di acquisire le coordinate GPS e di inviare le prove tramite la rete GSM;
- CPTU-ACQ SOFTWARE – Installato su di un notebook permette di importare i test dal sistema TGAS-08.



Figura 16: Strumentazione utilizzata per la prova CPTU

Le caratteristiche del piezocono sono le seguenti:

Canali di misura:		Dimensioni:	
Resistenza di punta (qc):	50; 100 MPa	Angolo di apertura cono:	60°
Attrito laterale (fs):	1,6 MPa (titanio)	Diametro:	36 mm
Pressione nei pori (U):	2,5 MPa	Sezione di spinta:	10 cm <sup>2</sup>
Inclinazione:	0 – 20°	Superficie laterale:	150 cm <sup>2</sup>
Tip area factor (a):	0,80	Peso:	2,1 kg
Sleeve area factor (b):	0	Lunghezza:	413 mm

**Tabella 3: Caratteristiche del piezocono Pagani**

La prova è stata eseguita secondo le procedure standard, ovvero attraverso l'infissione della punta (piezocono) a velocità costante di 2 cm/s, e registrazione dei valori della resistenza alla punta qc e dell'attrito laterale fs locale ogni centimetro. Tramite il piezocono, opportunamente saturato a grasso di litio prima dello svolgimento della prova, è stato possibile acquisire un terzo parametro cioè la pressione neutrale dell'acqua del terreno attraversato, quindi sono state effettuate prove di dissipazione della sovrappressione indotta dalla penetrazione, registrando contemporaneamente la variazione di tale pressione nel tempo sino ad annullare il 60% della stessa oppure se quest'ultima non viene raggiunta.

L'inclinazione dello strumento durante l'avanzamento nel sottosuolo viene determinata per mezzo di inclinometri.

L'acquisizione e la restituzione dei dati è fornita tramite un sistema analogico digitale munito di "encoder" di sincronizzazione con l'avanzamento delle aste nel terreno, di registratore grafico di qc, fs, u, incl. di registratore grafico della variazione nel tempo della pressione interstiziale, per le prove di dissipazione.

Nel diagramma penetrometrico definitivo sono state riportate le curve di:

- $q_c$  ( $R_p$ ): resistenza alla punta;
- $f_s$ : resistenza laterale;
- $U$ : pressione neutrale;
- $f_s/q_c$ : rapporto di frizione;
- inclinazione;
- grafici di dissipazione.

Complessivamente sono state realizzate n. 2 prove CPTU dalla Ditta specializzata Soil System di Piacenza, spinte sino a circa 15 metri di profondità.

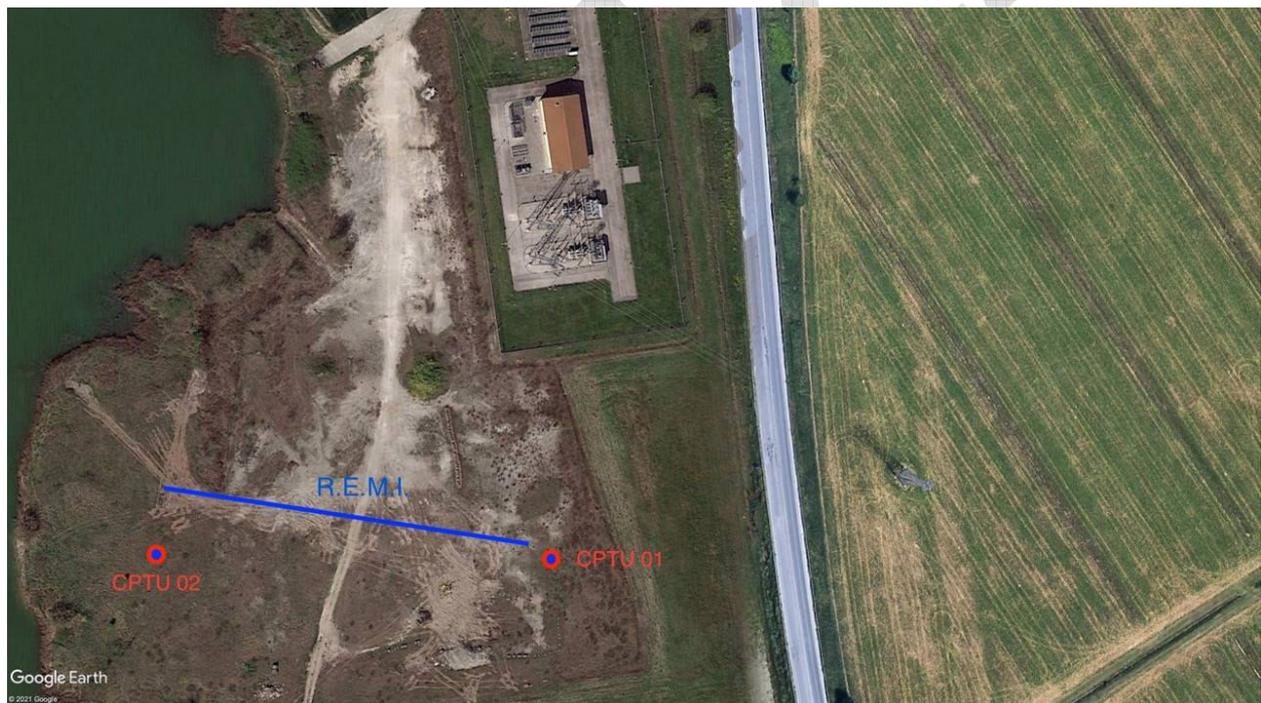


Figura 17: Ubicazione prove penetrometriche

L'elaborazione dei dati ottenuti dalle prove penetrometriche statiche CPTU sono riportati nell'**Allegato A**.



**Figura 18 – Postazioni CPTU**

### 3.2 INDAGINE GEOFISICA REMI

Al fine di caratterizzare dal punto di vista geofisico i terreni appartenenti all'area in esame è stata eseguita un'analisi dei microtremori (ReMi). Tale indagine, finalizzata al calcolo delle velocità delle onde ( $V_s$  equivalente), è stata impiegata per la definizione della categoria del suolo di fondazione sulla base di quanto previsto dalle NTC 2018.

L'analisi dei microtremori risulta essere particolarmente soddisfacente sia dal punto di vista dei risultati che dal punto di vista economico, essendo realizzabile con procedure operative molto simili a quelle impiegate per la sismica di superficie convenzionale.

L'elaborazione del segnale consiste nel trasformare le registrazioni effettuate in spettri bidimensionali di tipo "slowness-frequency" che permettono, attraverso un *picking* manuale, la definizione di una curva di dispersione caratteristica del moto sismico in superficie, strettamente correlata ai valori  $V_s$  relativi ai terreni prossimi alla superficie.

L'inversione di questa curva consente di ricostruire l'andamento delle velocità delle onde S con la profondità, da cui poi risulta agevole determinare le  $V_{seq}$ .

Il software con cui è stato realizzato questo tipo di elaborazione è denominato ReMi ed è prodotto dalla Optim LLC (Reno, Nevada, USA).

L'acquisizione è stata realizzata mediante un sismografo a 24 canali denominato GEODE prodotto dalla GEOMETRICS Ltd, dotato di un convertitore analogico-digitale a 24 bit; il sistema è dotato di una dinamica (dynamic range) di ben 144 dB e di un'ampia banda di ingresso (da 1.75 Hz a 20 kHz). Queste caratteristiche, associate ad una bassissima distorsione (0.0005%), si traducono nella possibilità di riprodurre in modo estremamente accurato il segnale sismico, anche nelle componenti in frequenza più elevate. Tale strumento viene collegato ad un'unità centrale di controllo costituita da un normale notebook (nel nostro caso un PC portatile DELL modello Latitude ATG). I sensori disposti sul terreno sono geofoni (Mark Products) caratterizzati da una frequenza di smorzamento di 14 Hz. La geometria di acquisizione in campagna è stata realizzata mediante l'allineamento di nr. 24 geofoni con spaziatura costante pari a 5 metri.

L'indagine geofisica è stata realizzata dalla Ditta specializzata Georeflex di Piacenza.

I dati ottenuti durante l'indagine sismica sono stati acquisiti in formato SEG-2 e successivamente trasferiti su PC per poi essere convertiti in un formato compatibile (SEGY) con il software ReMi impiegato per l'elaborazione.

Ciascuna delle registrazioni effettuate, è stata convertita in uno spettro frequency-slowness, sul quale è stata interpretata la curva di dispersione relativa alle componenti in frequenza dei tremori alla quale è sottoposto il sottosuolo del sito in esame.

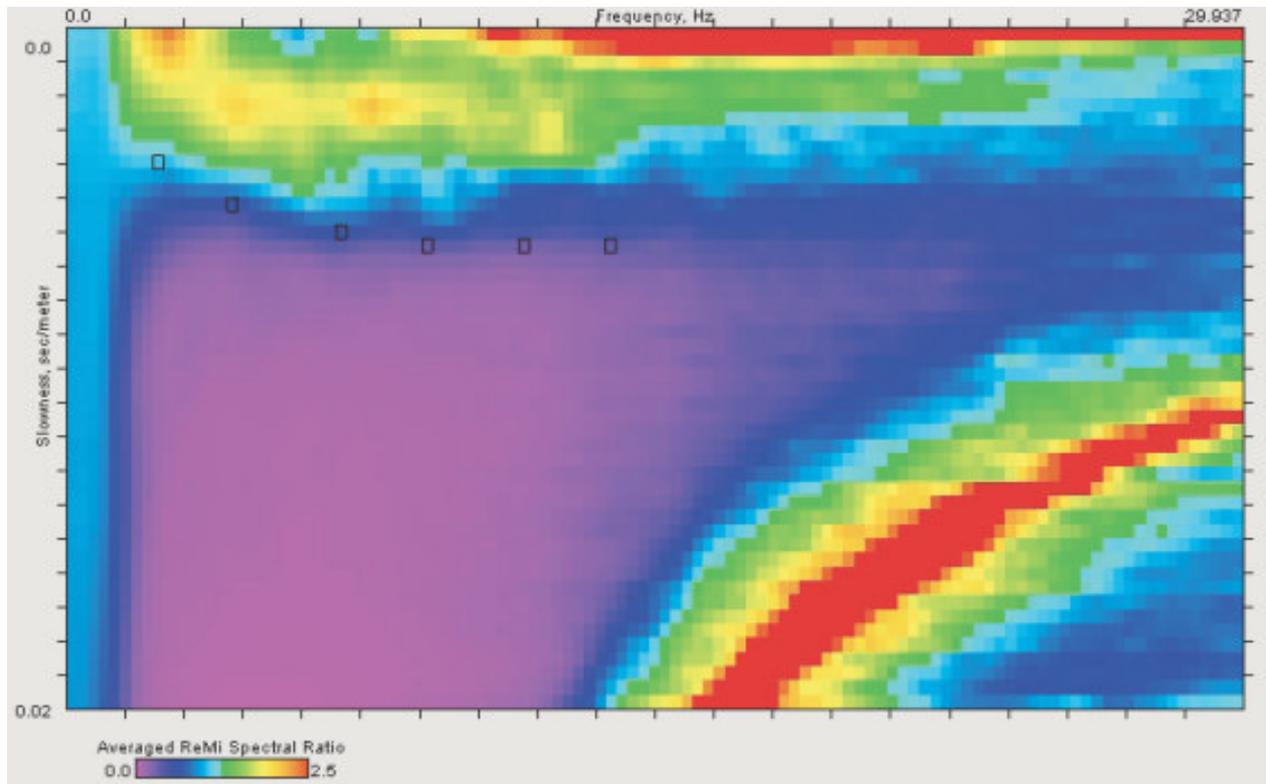


Figura 19: Grafico relativo allo spettro “frequency-slowness” e picking della curva di dispersione

L’inversione della curva di dispersione ha consentito la valutazione dell’andamento delle Vs con buona affidabilità fino a circa 30 metri di profondità

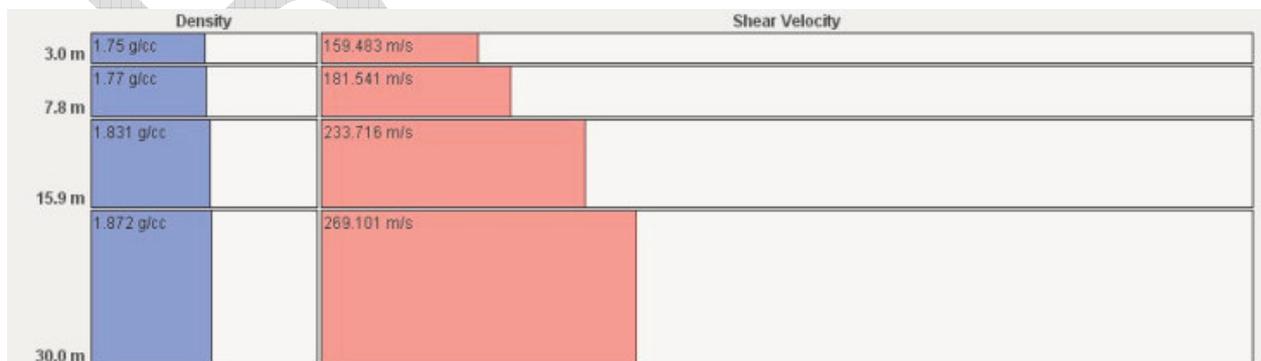


Figura 20: Grafico illustrante i risultati dell’inversione della curva di dispersione stimata

Per il calcolo della  $V_{S,eq}$ , sulla base dei dati ottenuti dall'indagine sismica ReMi, è stata impiegata la formula riportata nel D.M. del 17 gennaio 2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni" così di seguito enunciata:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

dove:

$h_i$  e  $V_i$  indicano lo spessore (in metri) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio  $\gamma < 10^{-6}$ ) dello strato  $i$ -esimo per un totale di  $N$  strati presenti.

Utilizzando la formula sopra riportata si ottiene il valore:

$$V_{S,eq} = 226 \text{ m/s}$$

Strato (n)	Spessore (m)	Velocità (m/sec)
1	3	159
2	5	181
3	8	234
4	14	269

Figura 21: Tabella Vs

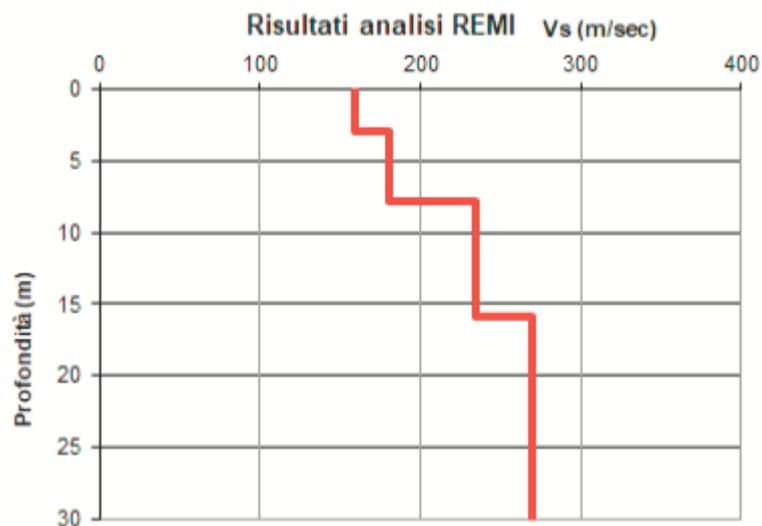


Figura 22: Grafico andamento Vs

## 4 MODELLO GEOTECNICO

### 4.1 ASSETTO STRATIGRAFICO

Sulla base dei risultati dell'indagine geognostica eseguita nell'area in esame e dall'esame dei profili stratigrafici dei sondaggi a carotaggio continuo effettuati nell'ambito del Progetto di coltivazione delle cave è stato possibile riconoscere la sequenza stratigrafica riportata di seguito.

Si evidenzia che l'area indagata presenta caratteristiche molto disomogenee, infatti, l'area di pertinenza della "cabina utente" (investigata grazie alla prova penetrometrica CPTU 1) è caratterizzata da terreni prevalentemente sabbiosi "in posto" mentre l'area delle cabine prospicienti al lago di cava (investigata mediante la prova penetrometrica CPTU 2) sembrerebbe essere stata coinvolta nelle attività estrattive e successivamente ritombata con materiale fine (verosimilmente limi di frantoio); in questo settore non si ha infatti evidenza dei depositi sabbiosi e sabbioso ghiaiosi evidenziati nella prova CPTU e in tutti i profili stratigrafici dei sondaggi a carotaggio continuo.

#### LIVELLO 0

Livello superficiale, costituito da una miscela eterogenea di terreno terreno fine rimaneggiato, costituita prevalentemente da argille, limi e sabbie.

Il livello A si estende dal piano campagna fino a circa  $0,8 \div 1$  m dal p.c.

I valori rappresentativi della resistenza alla punta del penetrometro statico sono molto variabili compresi tra  $q_c = 1 - 20$  MPa, indicativi di un deposito molto eterogeneo e rimaneggiato, frutto delle attività connesse alla coltivazione della cava.

Il livello A è sensibile alle variazioni d'umidità stagionali, alle variazioni del livello piezometrico e all'azione del gelo e del disgelo, le quali determinano dopo prolungati eventi meteorici fenomeni di plasticizzazione e di rigonfiamento anche di notevole intensità, mentre nei periodi siccitosi fenomeni di contrazione e fessurazione con aumento considerevole dell'indice di consistenza.

#### LIVELLO A

Livello appartenente all'Unità di Modena (AES8a), costituito argille, argille limose e argille organiche, al quale può essere attribuito un comportamento coesivo.

Il Livello A si estende da circa 1 m dal p.c. fino ad almeno  $3 \div 3,5$  m dal p.c.

Il Livello A rappresenta la copertura "fine" autoctona delle bancate sabbiose sottostanti e risulta individuato solo nella prova penetrometrica CPTU 1 eseguita nel sedime della "cabina utente". Nell'area

di pertinenza delle nuove cabine Enel in prossimità delle sponde del lago di cava, tale livello è sostituito da depositi fini indifferenziati di riporto (v. Livello R).

I valori rappresentativi della resistenza alla punta del penetrometro statico sono compresi tra  $q_c = 0,5 - 1,5$  MPa, indicativi di un deposito che presenta bassi valori di resistenza al taglio ed alti indici di compressibilità.

### **LIVELLO B**

Livello appartenente all'Unità di Modena (AES8a), costituito sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi, al quale può essere attribuito un comportamento granulare.

Il Livello B si estende da circa  $3 \div 3,5$  m fino circa  $8,5 \div 9$  m dal p.c.

Il Livello B ricomprende depositi misti di canale e argine prossimale e di rotta e risulta individuato solo nella prova penetrometrica CPTU 1. Nell'area di pertinenza delle cabine che verranno realizzate in prossimità delle sponde del lago di cava, tale livello è sostituito da depositi fini indifferenziati di riporto (v. Livello R).

I valori rappresentativi della resistenza alla punta del penetrometro statico sono molto variabili compresi tra  $q_c = 4 - 9$  MPa.

### **LIVELLO C**

Livello appartenente all'Unità di Modena (AES8a), costituito sabbie, sabbie con ghiaietto e sabbie ghiaiose con resti conchigliari, al quale può essere attribuito un comportamento granulare.

Il Livello C si estende da circa  $8,5 \div 9$  m fino circa 12 m dal p.c.

Il Livello C ricomprende depositi grossolani misti di cordone litorale e dune eoliche e risulta individuato solo nella prova penetrometrica CPTU 1. Nell'area di pertinenza delle cabine che verranno realizzate in prossimità delle sponde del lago di cava, tale livello è sostituito da depositi fini indifferenziati di riporto (v. Livello R).

I valori rappresentativi della resistenza alla punta del penetrometro statico sono molto variabili compresi tra  $q_c = 7 - 15$  MPa.

### **LIVELLO D**

Livello appartenente all'Unità di Modena (AES8a), costituito da argille e argille limose, al quale può essere attribuito un comportamento coesivo.

Il Livello D si estende da circa 12 m dal p.c. fino ad almeno 15 ÷ 20 m dal p.c e risulta ben individuato in entrambe le prove penetrometriche effettuate e nelle verticali di sondaggio disponibili in aree adiacenti a quella di interesse.

I valori rappresentativi della resistenza alla punta del penetrometro statico risultano generalmente minori di 1 MPa, indicativi di un deposito che presenta valori di resistenza al taglio molto bassi ed alti indici di compressibilità.

### **LIVELLO R**

In questo livello sono stati accorpati i depositi fini indifferenziati di riporto afferenti all'area di posa delle cabine elettriche prospicienti al lago di cava.

Trattasi verosimilmente di "limi di frantoio" a granulometria molto "fine" di natura argilloso limosa, residui dell'attività di lavorazione delle sabbie effettuate dall'impianto di lavorazione che era presente nell'area negli anni '90, utilizzati per il parziale tombamento del vuoto di cava e per la diversificazione delle sponde del bacino.

Le caratteristiche geotecniche di questo livello possono essere desunte dalla sola prova penetrometrica CPTU 2.

Il livello R si estende da p.c sino a circa 12 m dal p.c. (profondità massima di scavo della cava Manzona vecchia).

I valori rappresentativi della resistenza alla punta del penetrometro statico sono compresi tra  $q_c = 0,5 - 1,5$  MPa, indicativi di un deposito che presenta bassi valori di resistenza al taglio ed alti indici di compressibilità.

Trattandosi di materiali di riporto localmente si possono avere livelli con resistenza alla punta più elevati legati alla presenza di materiali più rossolani o resti conchigliari o di bioclasti.

## 4.2 PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA

Sulla base dell'interpretazione dei risultati delle prove penetrometriche CPTU eseguite e dei sondaggi a carotaggio continuo disponibili è stato possibile determinare il campo di oscillazione dei parametri geotecnici per i livelli riconosciuti, tramite le correlazioni note in letteratura geotecnica:

### LIVELLO A (da 0,8 ÷ 1 m dal p.c. fino circa 3 ÷ 3,5 m dal p.c.)

$\gamma'$	=	18,0 – 18,5	kN/m <sup>3</sup>
$c_u$	=	35 – 50	kPa
$\phi_u$	=	0	°
$\phi'$	=	20 – 22	°
M	=	2 – 5	MPa

### LIVELLO B (da 3 ÷ 3,5 m dal p.c. fino circa 8,5 ÷ 9 m dal p.c.)

$\gamma'$	=	19 – 19.5	kN/m <sup>3</sup>
$c'$	=	0	kg/cm <sup>2</sup>
$\phi'$	=	32 – 34 °	
E	=	10 – 12	MPa

### LIVELLO C (da 8,5 ÷ 9 m dal p.c. fino circa 12 m dal p.c.)

$\gamma'$	=	19 – 19.5	kN/m <sup>3</sup>
$c'$	=	0	kg/cm <sup>2</sup>
$\phi'$	=	34 – 36 °	
E	=	12 – 15	MPa

### LIVELLO D (da circa 12 m dal p.c. fino circa 15 ÷ 20 m dal p.c.)

$\gamma'$	=	18,0 – 18,5	kN/m <sup>3</sup>
$c_u$	=	50 – 60	kPa
$\phi_u$	=	0	°
$\phi'$	=	22 – 24	°
M	=	2,5 – 4	MPa

**LIVELLO R (da circa 12 m dal p.c. fino circa 15 ÷ 20 m dal p.c.)**

$\gamma'$	=	18,0 – 18,5	kN/m <sup>3</sup>
$c_u$	=	30 – 40	kPa
$\phi_u$	=	0	°
$\phi'$	=	20 – 21	°
$M$	=	2 – 4	MPa

dove:

$\gamma'$ = peso di volume;  $c_u$ = coesione in termini di sforzi totali;  $\phi_u$ =angolo di attrito in termini di sforzi totali;  $c'$ =coesione in termini di sforzi efficaci;  $\phi'$ =angolo di attrito in termini di sforzi efficaci di picco;  $M$ =modulo edometrico;  $E$ =modulo elastico.

**4.2.1 Valori caratteristici da adottare nelle verifiche**

Nella progettazione geotecnica la scelta ed il conseguente utilizzo dei parametri di resistenza e caratterizzazione del terreno giocano un ruolo di fondamentale importanza in termini di sicurezza, funzionalità, durabilità e qualità delle opere.

I valori caratteristici sono stati determinati utilizzando la 't' di Student ad n-1 gradi di libertà ed ipotizzando che la media del campione coincida con la media della popolazione, usando la seguente relazione:

$$\mu = t(n - 1) \left( \frac{s}{\sqrt{n - 1}} \right) + \bar{x}$$

dove:

$\bar{x}$  = valore medio della popolazione, ipotizzato essere uguale al valore medio del campione

t = è il valore della distribuzione di student ad n-1 gradi di libertà con probabilità  $u = 95\%$  ( $1 - \alpha = 0.95$ )

s = è la deviazione standard del campione

n = il numero di dati.

Di seguito si riportano i valori caratteristici dei parametri di resistenza al taglio e di deformabilità, da utilizzare per le verifiche geotecniche:

Livello	Litologia	Profondità		$\gamma'_k$	$Cu_k$	$\phi_{uk}$	$c'_k$	$\phi'_k$	$E_k$	$M_k$
		da m	a m	kN/m <sup>3</sup>	KPa	°	MPa	°	°	MPa
0	A_AL_AO	p.c	0,8 ÷ 1	18	-	-	-	-	-	-
R	A_AL_AO	p.c	12	18	35	0	0	20	-	2,5
A	A_AL_AO	0,8 ÷ 1	3 ÷ 3,5	18	40	0	0	20	-	3,5
B	S_SI	3 ÷ 3,5	8,5 ÷ 9	19	-	-	0	32	10	-
C	S_Sg	8,5 ÷ 9	12	19	-	-	0	33	12	-
D	A_AL_AO	12	15	18	50	0	0	22	-	3

$\gamma'$ = peso di volume;  $Cu$ = coesione in termini di sforzi totali;  $\phi_u$ =angolo di attrito in termini di sforzi totali;  $c'$ =coesione in termini di sforzi efficaci;  $\phi'$ =angolo di attrito in termini di sforzi efficaci di picco;  $M$ =modulo edometrico;  $E$ =modulo elastico.

**Tabella 4: Riepilogo dei valori caratteristici dei parametri geotecnici**

## 5 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

### 5.1 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

Il capitolo 3.2.2 delle NTC 2018 prevede che, per la definizione dell'azione sismica in progetto, si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab 3.2.II delle NTC 2018).

Tale classificazione si basa sui valori della velocità equivalente  $V_{s30}$  di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 metri di profondità dal piano di fondazione, calcolata secondo le indicazioni descritte nel paragrafo precedente.

Il valore della velocità delle onde sismiche di taglio  $V_{seq}$ , determinato grazie all'elaborazione della prova ReMi (226 m/s), permette di attribuire ai suoli di fondazione delle opere in progetto la Categoria C *“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 velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.”*

**NTC 2018 - Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.**

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
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.
C	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 velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

**Tabella 5: Categoria di suolo di fondazione**

## 5.2 AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA

Per la determinazione dell'azione sismica locale occorre considerare anche il contributo derivante dalla morfologia superficiale. Per condizioni topografiche complesse occorre predisporre specifiche analisi di Risposta Sismica Locale; nel caso in cui la topografia non presenti particolare complessità, è possibile adottare la seguente classificazione:

NTC 2018 - Tabella 3.2.III - *Categorie topografiche*

Categorie	Caratteristiche della superficie topografica (anni)
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $> 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

**Tabella 6: Categorie in base alle caratteristiche topografiche**

L'area in esame ricade nella categoria T1.

## 5.3 VITA NOMINALE DELL'OPERA

La vita nominale di un'opera strutturale  $V_N$  è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo per il quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere è quella riportata nella Tab 2.4.I delle NTC 2018 e deve essere precisata nei documenti di progetto.

NTC 2018 - Tabella 2.4.I - *Valori minimi della Vita nominale  $V_N$  di progetto per i diversi tipi di costruzioni*

Tipi di costruzione		Vita Nominale $V_N$ (in anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

**Tabella 7: Parametri per il calcolo della vita nominale da NTC 2018**

Le opere in progetto appartengono alla Classe 2 con  $V_N$  50 anni.

#### 5.4 CLASSE D'USO

Le costruzioni sono suddivise in quattro classi d'uso, la cui definizione viene di seguito sinteticamente riportata:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

NTC 2018 - Tabella 2.4.II - Valori del coefficiente d'uso  $C_u$

Classe d'uso	I	II	III	IV
Coefficiente $C_u$	0,7	1,0	1,5	2,0

Tabella 8: Parametri per il calcolo del coefficiente d'uso da NTC 2018

Le opere previste dal Piano urbanistico appartengono alla Classe II con  $C_u = 1,0$

## 5.5 PERIODO DI RIFERIMENTO

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$ :

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

In relazione alla destinazione d'uso prevista, per determinare il tempo di ritorno sono stati quindi considerati i seguenti parametri delle opere in progetto quali:

- Tipo di costruzione: "Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale".
- Classe d'uso II: "Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, industrie con attività non pericolose per l'ambiente, ponti e reti viarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza, dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti".

Da questi due parametri si ottiene il periodo di riferimento della costruzione che è dato da:

$$V_R = V_N \cdot C_U = 50 \cdot 1 = 50 \text{ anni}$$

Le forme spettrali previste dalle NTC sono caratterizzate da prescelte probabilità di superamento e vite di riferimento.

A tal fine occorre fissare:

- la vita di riferimento  $V_R$  della costruzione,
- le probabilità di superamento nella vita di riferimento  $P_{V_R}$  associate a ciascuno degli stati limite considerati, per individuare infine, a partire dai dati di *pericolosità sismica* disponibili, le corrispondenti azioni sismiche.

Fissata la vita di riferimento  $V_R$ , il tempo di ritorno è desunto dalla seguente espressione:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{V_R})}$$

Qualora l'attuale *pericolosità sismica* su *reticolo di riferimento* non contempli il periodo di ritorno  $T_R$  corrispondente alla  $V_R$  e alla  $P_{V_R}$  fissate, il valore del generico parametro  $p$  ( $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T^*_c$ ) ad esso corrispondente può essere ricavato per interpolazione, a partire dai dati relativi ai  $T_R$  previsti nella *pericolosità sismica*, utilizzando l'espressione seguente:

$$\log(p) = \log(p_1) + \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \times \log\frac{T_R}{T_{R1}} \times \left[\log\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right]^{-1}$$

nella quale:

- $p$  è il valore del parametro di interesse corrispondente al periodo di ritorno  $T_R$  desiderato;
- $T_{R1}$ ,  $T_{R2}$  sono i periodi di ritorno più prossimi a  $T_R$  per i quali si dispone dei valori  $p_1$  e  $p_2$  del generico parametro  $p$

I valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T^*c$  relativi alla pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento sono forniti nelle tabelle riportate nell'Allegato B delle NTC.

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limite di esercizio sono:

- Stato Limite di Operatività (SLO): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- Stato Limite di Danno (SLD): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC): a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella tabella 3.2.I delle NTC 2018.

**NTC 2018 - Tabella 3.2.1 - Probabilità di superamento  $P_{VR}$  al variare dello stato limite considerato**

Stati limite		$P_{VR}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

**Tabella 9: Probabilità di superamento  $P_{VR}$  al variare dello stato limite considerato da NTC 2018**

Nel caso in esame, considerando lo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV) e quindi una probabilità di superamento nel periodo di riferimento della vita dell'edificio (50 anni) pari al 10%, occorre considerare un tempo di ritorno dell'evento sismico di 475 anni.

## 5.6 PARAMETRI SISMICI DEL SITO

In riferimento alle considerazioni espresse nei paragrafi precedenti, si riportano di seguito i parametri sismici del sito in progetto:

- Coordinate del sito (espresse in ED50): latitudine: 44.708319 [°] - 10.227336 longitudine: [°]
- Categoria di sottosuolo: C
- Categoria topografica: T1
- Periodo di riferimento per l'azione sismica: 50 anni
- Coefficiente  $C_u$ : 1

Stato Limite	$T_R$	$a_g$	$F_0$	$T_c^*$
Operatività (SLO)	30	0,050	2,443	0,264
Danno (SLD)	50	0,063	2,465	0,282
Salvaguardia vita (SLV)	475	0,170	2,540	0,286
Prevenzione collasso (SLC)	975	0,225	2,493	0,291

**Tabella 10: Valori dei parametri sismici  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$  secondo Tempi di ritorno  $T_R$  variabili**

Stato Limite	$S_s$	$C_c$	$S_t$	$K_h$	$K_v$	A max	Beta
Operatività (SLO)	1,50	1,63	1,0	0,015	0,008	0,741	0,200
Danno (SLD)	1,50	1,60	1,0	0,019	0,009	0,924	0,200
Salvaguardia vita (SLV)	1,44	1,59	1,0	0,059	0,029	2,406	0,240
Prevenzione collasso (SLC)	1,36	1,58	1,0	0,086	0,043	3,004	0,280

**Tabella 11: Coefficienti sismici**

## 6 CONCLUSIONI

L'area interessata dall'intervento edilizio è pianeggiante e stabile; non sono presenti fenomeni geologici e geomorfologici attivi in grado di comprometterne la stabilità.

L'area si trova in adiacenza a due bacini lacustri, residui dell'attività estrattiva delle sabbie e delle ghiaie, avvenuta negli scorsi decenni nell'ambito della coltivazione delle cave denominate Manzona vecchia e Manzona nuova.

A seguito dell'attività estrattiva pregressa, l'area indagata presenta caratteristiche stratigrafiche molto disomogenee, infatti, l'area di pertinenza della "cabina utente" (investigata grazie alla prova penetrometrica CPTU 1) è caratterizzata da terreni prevalentemente sabbiosi "in posto" mentre l'area delle cabine prospicienti al lago di cava (investigata mediante alla prova penetrometrica CPTU 2) sembrerebbe essere stata coinvolta nelle attività estrattive e successivamente ritombata con materiale fine (verosimilmente limi di frantoio); in questo settore non si ha infatti evidenza dei depositi sabbiosi e sabbioso ghiaiosi evidenziati nella prova CPTU 1 e in tutti i profili stratigrafici dei sondaggi a carotaggio continuo disponibili.

Nel territorio di interesse è presente una falda freatica con soggiacenza prossima al piano campagna alimentata dall'infiltrazione diretta, dalle perdite di subalveo del reticolo idrografico e dall'irrigazione, regimata dalla rete di canali e scoli consorziali e soggetta ad emungimenti da parte dei pozzi presenti in zona

La formazione del lago di cava, esercita un richiamo nei confronti degli afflussi sotterranei provenienti da monte e nello stesso tempo, ricarica localmente la falda a valle; l'entità di tale fenomeno è comunque modesta.

Sulla base di quanto riportato nella Mappa di pericolosità di alluvioni e degli elementi potenzialmente esposti a scala 1: 25.000 - 240NE Classe, l'area di intervento ricade all'interno delle aree P2-M (Alluvioni poco frequenti: tempo di ritorno tra 100 e 200 anni - media probabilità), alluvionabili sia dal reticolo principale e secondario che dal Reticolo secondario di pianura.

L'area è soggetta ad un'attività sismica indotta sia da terremoti documentati con epicentro nell'ambito del territorio provinciale sia, di riflesso, dagli eventi più intensi provenienti dalle province limitrofe.

Nell'area non sono presenti faglie superficiali, discontinuità o cavità tali da indurre un pericolo sismico aggiuntivo. Non sono inoltre prevedibili fenomeni di amplificazione locale dell'accelerazione sismica dovuti all'assetto topografico o ad effetti di bordo.

Con Delibera n. 1164 del 23/07/2018, la Regione Emilia-Romagna ha recentemente predisposto l'aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei comuni della Regione, la quale prevede che il territorio comunale di Ravenna sia classificato in classe 3, con conseguente accelerazione

sismica orizzontale, con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, compreso tra 0,05 - 0,15 ( $a_g/g$ ).

Il valore della velocità delle onde sismiche di taglio  $V_{seq}$ , determinato grazie all'elaborazione della prova ReMi (226 m/s), permette di attribuire ai suoli di fondazione delle opere in progetto la Categoria C *“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 velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.”*.

In relazione all'assetto stratigrafico l'area in esame è quindi interessata da un'amplificazione sismica locale.

In relazione alla presenza di sabbie non addensate e della ridotta soggiacenza della falda, in fase di progettazione delle fondazioni, dovrà essere verificata la liquefacibilità dei terreni.

In relazione alla presenza superficiale di terreni argillosi e argilloso-limosi (“in posto” e “riportati”), che localmente presentano livelli organici di elevata compressibilità, le tensioni trasmesse da eventuali fondazioni superficiali indurranno cedimenti assoluti e differenziali significativi.

La scelta della tipologia fondazionale (superficiale o profonda) dovrà essere determinata dal progettista dell'opera, in funzione dei risultati della verifica di stabilità per i vari stati limite (SLE, SLU), una volta definiti puntualmente i carichi trasmessi alle fondazioni, la geometria e i requisiti prestazionali della struttura in elevazione.

Sulla base degli approfondimenti effettuati, l'area è idonea dal punto di vista geologico alla realizzazione delle destinazioni d'uso previste, nel rispetto delle prescrizioni di seguito riportate.

Nel caso di realizzazione di fondazioni superficiali:

- il piano di fondazione dovrà essere posto a profondità tali da non risentire di fenomeni di erosione o scalzamento di acque superficiali; e comunque al di sotto della coltre di terreno vegetale (laddove presente), nonché al di sotto dello strato interessato dal gelo;
- il terreno di fondazione non dovrà subire rimaneggiamenti e deterioramenti prima della costruzione della opera;
- eventuali acque ruscellanti o stagnanti dovranno essere allontanate dagli scavi;
- il piano di posa degli elementi strutturali di fondazione dovrà essere regolarizzato e protetto con conglomerato magro o altro materiale idoneo;
- è opportuno che il piano di posa delle fondazioni sia tutto sullo stesso livello;

- particolare attenzione dovrà essere posta alla realizzazione degli sbancamenti; dovranno essere eseguite, prima dell'esecuzione degli scavi, opportune opere di sostegno e, in caso di esecuzione di scavi non sostenuti, con altezza superiore a 1.0 m, la pendenza dovrà essere sempre  $< 25^\circ$ ;
- durante la realizzazione delle fondazioni, dovrà essere verosimilmente previsto l'agottamento delle acque di falda.

Nel caso di realizzazione di fondazioni profonde:

- le fondazioni dovranno rispettare le simmetrie della sovrastruttura;
- i pali dovranno essere armati adeguatamente per tutta la loro lunghezza, anche se ciò non dovesse risultare strettamente necessario in base ai risultati di carico;
- si dovrà provvedere ad assicurare un'efficace connessione dei pali con la struttura di collegamento alla loro testa, al fine di evitare che, in occasione di eventi sismici violenti, possa prodursi una disconnessione di alcuni pali; nel qual caso, perdurando il moto sismico, si avrebbe un aggravio delle forze agenti sui pali che mantengono la connessione.
- il dimensionamento dei pali e la scelta delle modalità di realizzazione dovranno essere effettuati considerando le pressioni idrauliche delle falde.

*Allegato A*

**ELABORAZIONE PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPTU**

**BONVA**

**BONVA**

*Allegato B*

**ELABORAZIONE INDAGINE GEOFISICA REMI**

*Allegato C*

**PROFILI STRATIGRAFICI DISPONIBILI (DATABASE DEL SERVIZIO GEOLOGICO,  
SISMICO E DEI SUOLI DELLA REGIONE ER)**

**BOWMA**

BONVA

*Allegato D*

**TAVOLE**