

COMUNE DI CASALECCHIO DI RENO

OGGETTO DEI LAVORI

**RECUPERO FUNZIONALE E RISTRUTTURAZIONE EDILIZIA DI
EDIFICIO ESISTENTE AD USO SPORTIVO PER GIOCO BOCCE
SITO IN Loc. CERETOLO VIA MONTE SOLE**



COMMITTENTE

**COMUNE DI
CASALECCHIO DI RENO**
Via dei Mille, 9



ADOPERA Srl
Via Guido Rossa n° 1

PROGETTO ESECUTIVO

RUP:

Arch.

Vittorio Emanuele Bianchi

PROGETTAZIONE e D.L:

Ing. Franco Spalazzese

Ing. Daniele Laffi

Geom. Marco Marchi

IMPRESA:

PROGETTO STRUTTURE:

Ing. Rita Trentini

ELABORATO n.

S

ELABORATI PROGETTO ESECUTIVO STRUTTURALE

scala				
data	26.01.18	agg.	data	descrizione
prog. n.		1		
dis. Ing. Spalazzese		2		
file name				

OGGETTO:

RELAZIONE GEOLOGICA

GEO-PROBE

– *Studio Geologico Associato* –

2016.089/RG

Comune di Casalecchio di Reno (BO)

STUDIO GEOLOGICO-TECNICO DEI TERRENI DEL
PRIMO SOTTOSUOLO DI UN'AREA SITA IN VIA
MONTE SOLE - LOCALITÀ CERETOLO, PRESSO IL
CENTRO SOCIALE DI AGGREGAZIONE, DOVE È
PREVISTA LA DEMOLIZIONE DI UNA PORZIONE DI
FABBRICATO PER LA REALIZZAZIONE DI NUOVO
VOLUME COPERTO E CAMPI DA GIOCO BOCCE.

Gennaio 2017



Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

INDICE

1. PREMESSA	1
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
3. SITUAZIONE MORFOLOGICA E GEO-LITOLOGICA GENERALE	4
4. INDAGINE GEOGNOSTICA	6
5. LITOLOGIA E CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE DEI TERRENI	9
6. LAVORI IN PROGETTO E SCELTA DEL SISTEMA FONDALE	10
7. MODELLAZIONE GEOTECNICA DEL SITO.....	11
8. PARAMETRIZZAZIONE DELLE UNITÀ GEOTECNICHE.....	12
9. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE	14
10. PERICOLOSITÀ E CLASSIFICAZIONE SISMICA.....	15
11. MODELLAZIONE SISMICA	17
11.1. Vita nominale	17
11.2. Classi d'uso.....	17
11.3. Periodo di riferimento.....	18
11.4. Azione sismica	18
11.5. Categoria di sottosuolo.....	19
11.6. Condizioni topografiche.....	20
11.7. Amplificazione stratigrafica.....	21
11.8 Accelerazione massima al sito	21
11.9 Coefficiente sismico orizzontale e verticale	21
12. MODELLAZIONE DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE	23
13. RISCHIO DI LIQUEFAZIONE DEI TERRENI.....	26
14. RESISTENZA DI PROGETTO DEI TERRENI IN CONDIZIONI STATICHE	28
15. CONSIDERAZIONI FINALI	32

ALLEGATI:

- *diagrammi penetrometrie statiche con punta elettrica;*
- *indagine sismica;*
- *classificazione orientativa dei terreni attraversati*
(Robertson, 1990).

* * *

1. PREMESSA

A seguito dell'incarico ricevuto da Adopera S.r.l., si trasmette, in conformità con le normative vigenti, la seguente relazione geologico-tecnica riguardante lo studio dei terreni del primo sottosuolo di un'area sulla quale è in progetto la realizzazione di un nuovo volume coperto e campi da bocce.

L'area in esame si ubica in via Monte Sole, in Comune di Casalecchio di Reno (BO) (TAV. 1 - estratto C.T.R. Scala 1:5.000; elemento n. 220124 – Casalecchio di Reno).

Il presente studio è stato articolato nei seguenti punti:

- a) analisi e descrizione della situazione morfologica e geo-litologica generale;
- b) determinazione della natura dei terreni costituenti il primo sottosuolo;
- c) determinazione delle caratteristiche fisico-meccaniche degli stessi;
- d) caratterizzazione e modellazione geologica del sito;
- e) modellazione sismica dei terreni di fondazione;
- f) analisi della risposta sismica locale;
- g) valutazione della resistenza di progetto dei terreni di fondazione in condizioni statiche.

TAV. 1 - UBICAZIONE AREA IN ESAME



Area in esame

Scala 1:5.000

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La stesura della seguente relazione è stata compiuta in ottemperanza alle disposizioni contenute nelle normative di riferimento di seguito elencate:

- "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". D.M. 11 Marzo 1988.
- Istruzioni relative alle "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". Circ. Min. LL. PP. n. 30483, 24 Settembre 1988.
- AGI: raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche, Giugno 1977.
- AGI: raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio, Maggio 1990 (edizione provvisoria).
- Eurocodice Ec7 per l'ingegneria geotecnica, Settembre 1988.
- ISRM International Society for Rock Mechanics: Rock characterization testing and monitoring suggested methods - Commission on Testing Methods; 1981.
- "Norme tecniche per le costruzioni". D.M. 14 Gennaio 2008 (G.U. n. 29 del 04/02/08, supplemento ordinario n. 30).
- Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14/01/2008. Circolare Cons. Sup. LL.PP. n. 617/2009.
- Delibera dell'Assemblea legislativa Regione Emilia Romagna progr. N. 112 – oggetto n. 3121 del 2 maggio 2007.
- Delibera della Giunta della Regione Emilia Romagna progr. N. 1661/2009 del 2 novembre 2009.
- Ordinanza del Commissario Delegato per la Ricostruzione n. 70 del 13/11/2012.
- "Raccomandazioni per la redazione della relazione geologica ai sensi delle N.C.T." a cura del Centro Studi del C.N.G.
- Delibera della Giunta della Regione Emilia Romagna progr. N. 2193/2015 del 21 dicembre 2015.

3. SITUAZIONE MORFOLOGICA E GEO-LITOLOGICA GENERALE

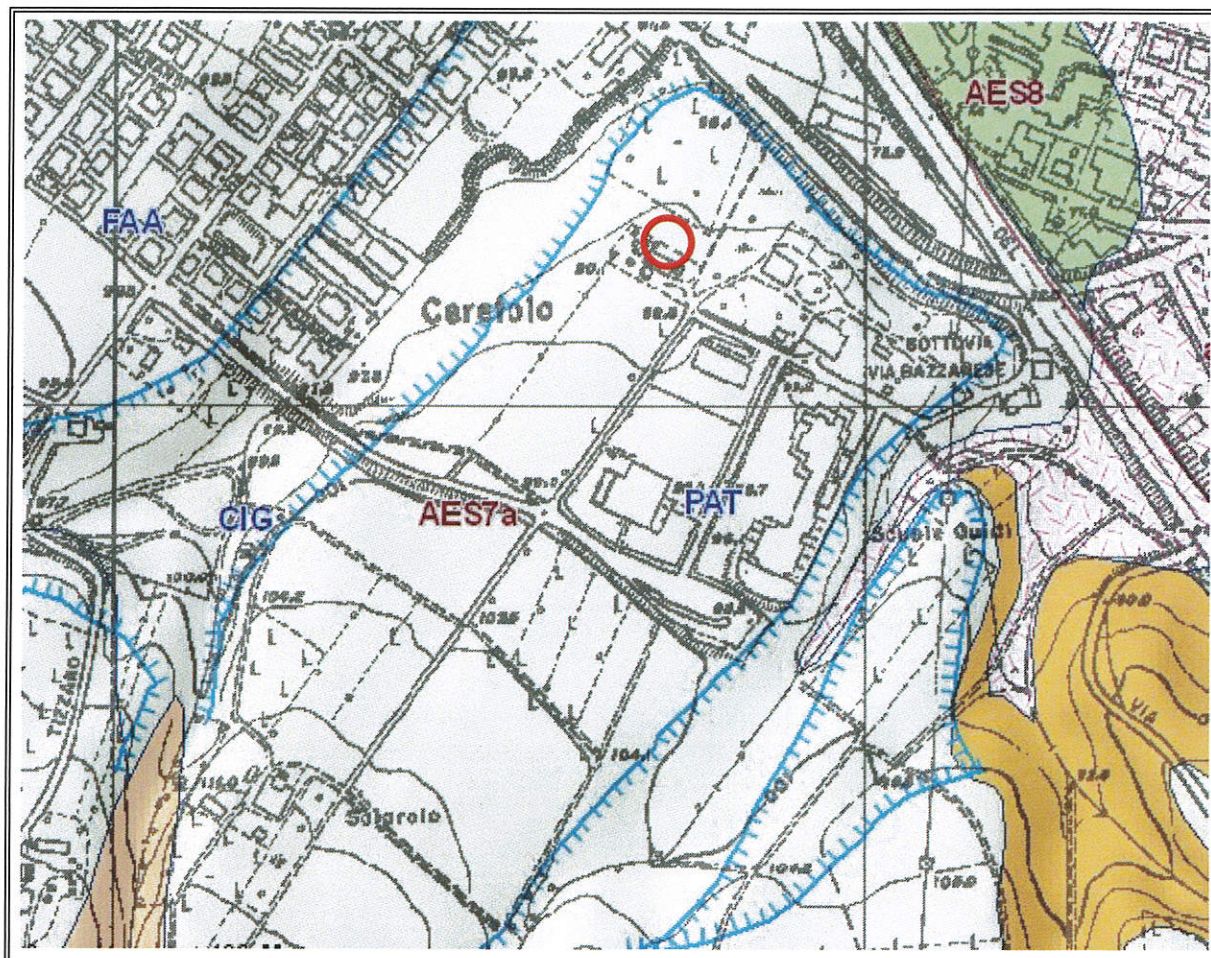
L'area in esame si ubica ad una quota media di 85,00 m s.l.m., in corrispondenza della prima fascia collinare moderatamente acclive (6÷8 %) di esposizione Nord/Est, caratterizzata da lievi ondulazioni che degradano progressivamente in direzione Nord.

Da un punto di vista geo-litologico, nell'area in esame si evidenziano materiali siltitici miocenici (**PAT** e **CIG**) sui quali poggiano i sedimenti calabrianici costituiti da alternanze ghiaioso limose ed argillose a diverso grado di cementazione (**AES7a**) sostituiti verso Ovest dai terreni di età pliocenica (**FAA**), costituiti da argille variabilmente limose e/o sabbiose di colore da giallastro a bruno.

Verso Nord, sono invece presenti depositi alluvionali recenti delle conoidi del Fiume Reno e del Torrente Lavino (**AES8**) caratterizzati da un'alternanza di sedimenti ghiaiosi e sabbiosi in contatto di tipo erosivo e con frequenti interdigitazioni caratteristiche dell'ambiente di transizione marino - continentale.

L'idrografia superficiale è rappresentata da rii e fossi che solcano in direzione Sud/Nord la testata dello spartiacque fra il Fiume Reno e il Torrente Lavino e da canali di scolo dove vengono convogliate artificialmente le acque meteoriche eccedenti.

TAV. 2 - CARTA GEO-LITOLOGICA



Area in esame

Scala 1: 5.000

- | | |
|--------------|---|
| AES8 | <i>Subsintema di Ravenna;</i> |
| AES7a | <i>Subsintema di Villa Verrucchio – Unità di Niviano (quaternario);</i> |
| FAA | <i>Formazione delle Argille Azzurre;</i> |
| PAT | <i>Formazione di Pantano;</i> |
| CIG | <i>Formazione di Cigarellino.</i> |

4. INDAGINE GEOGNOSTICA

Nell'area interessata dall'intervento, allo scopo di verificare la successione stratigrafica che caratterizza i terreni del primo sottosuolo e valutare le caratteristiche fisico meccaniche degli stessi, è stata eseguita un'indagine geognostica in sito e un'indagine sismica locale al fine di determinare il parametro Vs30 per poi classificare il suolo di fondazione.

4.1. Indagine geognostica in sito

L'indagine geognostica in sito, eseguita dalla Geo-Probe S.r.l., è consistita nella esecuzione di n. 3 penetrometrie statiche con punta elettrica (CPTE) che, rispetto al p.c. attuale, hanno raggiunto profondità variabili da 5,80 m a 5,94 m.

I punti di indagine, compatibilmente alla accessibilità dei luoghi, sono stati ubicati in prossimità del corpo di fabbrica esistente, ed in particolare le penetrometrie statiche n. 1 e 3 in prossimità del nuovo fabbricato in progetto, mentre la n. 2 a lato della porzione di edificio esistente non oggetto di intervento; l'esatta ubicazione degli stessi viene riportata di seguito nella TAV. 3.

Per l'esecuzione delle prove con punta elettrica è stato utilizzato un penetrometro statico montato su Unimog Mercedes 400L con cella di carico da 200 kN, che impiega una punta conica con apertura di 60° e superficie di 10 cm² per la misurazione della resistenza alla punta ed un manicotto di frizione (*friction jacket*) della superficie di 150 cm² per la misurazione dell'attrito laterale locale.

I risultati delle penetrometrie statiche con punta elettrica vengono rappresentati in forma diagrammatica nelle apposite tavole allegate, dove viene riportato il valore q_c (resistenza alla punta) il valore f_s (resistenza attrito laterale locale), espressi rispettivamente in MPa e kPa, il rapporto R_f (rapporto fra la resistenza laterale locale e la resistenza alla punta, espresso in %), che orientativamente ci permette una classificazione dei terreni attraversati, la velocità di avanzamento (F) e l'angolazione della strumentazione (Tilt) nel corso dell'avanzamento riferita alla verticale.

Le suddette letture vengono eseguite per avanzamenti di 1,0 cm.

4.2. Indagine sismica

Allo scopo di definire la frequenza di risonanza dei terreni e la velocità media delle onde sismiche di taglio Vs, è stata eseguita un'indagine sismica locale mediante metodologia di sismica passiva con misura del Rumore Sismico Passivo (microtremori).

Lo strumento utilizzato è il tromografo digitale Tromino prodotto dalla Micromed S.p.A.; si tratta di un sismografo di dimensioni molto contenute che contiene tre sensori elettrodinamici ortogonali (velocimetri) che permettono la registrazione del microtemore nel campo di frequenze compreso tra 0 e 256 Hz.

Il metodo di indagine utilizzato è quello a stazione singola dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (HVSR).

Il segnale di microtremore, dopo essere stato acquisito dai tre velocimetri, ad una frequenza di campionamento di 128Hz per un intervallo di tempo di 20', amplificato e digitalizzato a 24 bit equivalenti, viene suddiviso in intervalli di pochi secondi e mediante il software Grilla per ogni intervallo viene eseguita un'analisi spettrale nelle tre componenti e il calcolo dei rapporti spettrali H/V.

Il valore di tale rapporto è direttamente correlato alla frequenza di risonanza determinata dal passaggio tra due strati con una differenza significativa del contrasto di impedenza mentre la frequenza di risonanza è legata allo spessore e alla velocità delle onde di taglio V_s dalla relazione:

$$f_i = V_{si}/4h_i$$

dove:

f_i = frequenza dello strato i -esimo;

V_{si} = velocità delle onde S dello strato i -esimo;

h_i = spessore dello strato i -esimo.

I risultati dell'indagine sismica vengono restituiti in forma diagrammatica nelle apposite tavole allegate, dove vengono riportate gli spettri delle singole componenti del moto, le curve relative al rapporto spettrale orizzontale su verticale H/V e il grafico V_s /profondità.

TAV. 3 – UBICAZIONE INDAGINE GEOGNOSTICA



Scala 1:250

5. LITOLOGIA E CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE DEI TERRENI

L'indagine geognostica eseguita ci consente di ricostruire con discreta precisione la litologia del primo sottosuolo e di valutare le caratteristiche meccaniche dei terreni attraversati.

Schematicamente possiamo ricostruire la seguente successione stratigrafica:

al tetto, al disotto al di un orizzonte di terreno di riporto e/o di alterazione dello spessore medio di $0,60 \div 0,80$ m, sono inizialmente presenti delle argille limose e/o viceversa di consistenza variabile da plastica - plastico dura ($q_c = 1,0 \div 3,6$ MPa; $R_f = 3,0 \div 9,1$ %) a dura - molto dura ($q_c = 3,7 \div 6,2$ MPa; $R_f = 6,7 \div 8,5$ %), con i valori più elevati misurati nella fascia Nord/Ovest (CPT 3) per la presenza di alberature che presumibilmente hanno determinato processi di essiccamento e di sovra consolidamento.

A partire da una profondità media di 5,00 m si evidenziano dei limi sabbiosi di consistenza da dura a molto dura ($q_c = 3,8 \div 5,3$ MPa; $R_f = 2,5 \div 4,2$ %), inglobanti localmente sottili lenti sabbiose di addensamento medio buono ($q_c = 4,5 \div 5,1$ MPa; $R_f = 1,8 \div 2,0$ %).

I suddetti litotipi a partire da una profondità variabile mediamente da 5,60 m a 6,00 m circa sono sopportati da terreni molto consistenti, presumibilmente rappresentati da sabbie variabilmente limose di addensamento elevato ($q_c = 6,6 \div 16,9$ MPa; $R_f = 1,1 \div 1,7$ %).

Al termine dell'indagine all'interno dei suddetti terreni sino alla profondità indagata non è stata rilevata la presenza di falde freatiche di superficie e/o circolazioni idriche localizzate.

6. LAVORI IN PROGETTO E SCELTA DEL SISTEMA FONDALE

Si tratta della realizzazione di una porzione di fabbricato ad uso campo da bocce presso il centro sociale; di forma pressoché rettangolare (28,00 x 13,00 m circa), il cui sviluppo verticale è dato da un piano fuori terra ed il coperto.

Attualmente l'area interessata dall'intervento edificatorio è occupata da un fabbricato, del quale si prevede la completa demolizione.

Nell'area di intervento non si prevedono sostanziali movimenti di terra, di conseguenza il p.c. fine lavori corrisponderà a quello attuale.

L'indagine geognostica ha evidenziato come i terreni del primo sottosuolo, al disotto di uno spessore medio di 0,60÷0,80 m di terreno di riporto, si presentino scarsamente omogenei, per la presenza di argille limose e/o viceversa di consistenza variabile da plastica - plastico dura a dura - molto dura, con i più elevati misurati nella fascia Nord/Ovest per la presenza di alberature che presumibilmente hanno determinato processi di essiccamento e di sovra consolidamento.

A partire da una profondità media di 5,00 m si evidenziano dei limi sabbiosi di consistenza da dura a molto dura, inglobanti localmente sottili lenti sabbiose di addensamento medio buono.

I suddetti litotipi a partire da una profondità variabile mediamente da 5,60 m a 6,00 m circa sono sopportati da terreni molto consistenti, presumibilmente rappresentati da sabbie variabilmente limose di addensamento elevato.

Al termine dell'indagine all'interno dei suddetti terreni sino alla profondità indagata non è stata rilevata la presenza di falde freatiche di superficie e/o circolazioni idriche localizzate.

In considerazione della tipologia di intervento e delle buone caratteristiche che contraddistinguono i terreni del primo sottosuolo, si ritiene che per quanto in progetto possa essere adottato un sistema fondale diretto nastriforme, che rispetto al p.c. attuale dovrà approfondirsi come minimo di 1,00÷1,20 m allo scopo di superare i litotipi di riporto e/o alterazione superficiali ed evitare che i terreni di fondazione risentano eccessivamente delle variazioni climatiche stagionali.

Qualora nel corso degli scavi delle fondazioni in corrispondenza del previsto piano di posa si evidenziassero localmente ancora terreni di riporto o di caratteristiche meccaniche decisamente scarse, sarà indispensabile intervenire con piccole bonifiche che prevedano la sostituzione dei suddetti litotipi con "magrone".

7. MODELLAZIONE GEOTECNICA DEL SITO

La caratterizzazione geotecnica del sito viene fatta ricostruendo un modello in termini di unità geotecniche del volume significativo del terreno inteso come la parte di sottosuolo influenzata direttamente o indirettamente dalla costruzione dell'opera e che influenza l'opera stessa.

Ciascuna unità geotecnica (U.G.) è ottenuta correlando i dati stratigrafici e i dati di resistenza misurati nel corso dell'indagine geognostica in modo da suddividere il volume significativo in elementi omogenei.

Sulla base dei risultati dell'indagine geognostica è possibile distinguere il terreno secondo le unità geotecniche indicate nella tabella successiva.

U.G.	Profondità m da p.c.		Litologia prevalente	qc (MPa)	γ (kN/mc)	Cu (kPa)	φ (°)	Dr (%)
	da	a						
0	0,00	0,60÷0,80	R	-	-	-	-	-
A	0,80	2,80	AL/LA	1,0÷1,9	19,1÷19,2	50÷95	0	0
A1	0,60÷0,80	1,60÷3,70	AL/LA	3,7÷6,2	19,4÷19,7	150÷240	0	0
B	1,60÷3,70	4,90÷5,10	AL/LA	2,0÷3,6	19,2÷19,4	100÷150	0	0
C	4,90÷5,10	5,40÷5,90	LS	3,8÷6,0	19,4÷19,6	150÷220	0	0
D	5,40÷5,90	fine indag.	S/SL	6,6÷16,8	18,5÷18,6	0	36÷40	42÷80

R = terreno di riporto;

AL/LA = argille limose e/o viceversa;

LS = limi sabbiosi;

S/SL = sabbie variabilmente limose.

8. PARAMETRIZZAZIONE DELLE UNITÀ GEOTECNICHE

Sulla base dei risultati dell'indagine geognostica è stato possibile suddividere il volume significativo di terreno in unità geotecniche, delle quali di seguito, vengono definiti i parametri geomeccanici.

Unità geotecnica 0

È costituita dal terreno di riporto e si evidenzia sino ad una profondità media di 0,60÷0,80 m dal p.c. attuale.

Unità geotecnica A

È costituita da argille limose e/o viceversa di consistenza prevalentemente plastica ed umidità presumibilmente media.

L'unità A si evidenzia nella fascia Est da 0,80 m sino ad una profondità media di 2,80 m dal p.c. attuale, ed è caratterizzata dai parametri geotecnici medi riportati in tabella.

Verticale	qc (MPa)	γ (kN/mc)	Cu (kPa)	φ (°)
CPTE 2	1,3	19,1	65	0

Unità geotecnica A1

È costituita da argille limose e/o viceversa di consistenza da dura a molto dura ed umidità presumibilmente scarsa.

L'unità A1 si evidenzia da 0,60÷0,80 m sino ad una profondità variabile da 1,60 m a 3,70 m dal p.c. attuale, ed è caratterizzata dai parametri geotecnici medi riportati in tabella.

Verticale	qc (MPa)	γ (kN/mc)	Cu (kPa)	φ (°)
CPTE 1	4,1	19,5	160	0
CPTE 3	5,0	19,6	250	0

Unità geotecnica B

È costituita da argille limose e/o viceversa di consistenza plastico dura ed umidità presumibilmente medio scarsa.

L'unità B si evidenzia da 1,60÷3,70 m sino ad una profondità media di 4,90÷5,10 m dal p.c. attuale, ed è caratterizzata dai parametri geotecnici medi riportati in tabella.

Verticale	qc (MPa)	γ (kN/mc)	Cu (kPa)	φ (°)
CPTE 1	2,6	19,3	120	0
CPTE 2	2,2	19,3	105	0
CPTE 3	3,2	19,4	135	0

Unità geotecnica C

È costituita da limi sabbiosi di consistenza da dura a molto dura ed umidità presumibilmente scarsa.

L'unità C si evidenzia da 4,90÷5,10 m sino ad una profondità variabile da 5,40 m a 5,90 m dal p.c. attuale, ed è caratterizzata dai parametri geotecnici medi riportati in tabella.

Verticale	qc (MPa)	γ (kN/mc)	Cu (kPa)	φ (°)
CPTE 1	4,8	19,5	190	0
CPTE 2	4,2	19,5	165	0
CPTE 3	5,1	19,6	200	0

Unità geotecnica D

È costituita da sabbie e/o sabbie limose di addensamento elevato ed umidità presumibilmente media.

L'unità D si evidenzia da 5,40÷5,90 m sino alla profondità indagata, ed è caratterizzata dai parametri geotecnici medi riportati in tabella.

Verticale	qc (MPa)	γ (kN/mc)	Cu (kPa)	φ (°)
CPTE 1	9,3	18,5	0	38
CPTE 2	12,4	18,5	0	39
CPTE 3	10,5	18,5	0	38

9. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE

Nel sito di indagine è stata effettuata una misura di microtremore della durata di 20', allo scopo di definire le frequenze di risonanza fondamentali dei terreni del sottosuolo e, tramite inversione, di ricostruire il modello di sottosuolo in termini di profondità e velocità delle onde di taglio.

L'indagine sismica è stata condotta su terreno naturale duro e asciutto in condizioni meteo buone, in presenza di vento di debole entità tale da non creare disturbo durante la registrazione.

Gli spettri delle singole componenti del moto non mostrano particolari andamenti imputabili a fonti di rumore antropico; anche l'accoppiamento dello strumento con il terreno risulta di buona qualità, dato che le tre curve presentano un andamento concordante, pertanto i picchi evidenziati nel diagramma HVSR sono da considerarsi naturali.

Il diagramma HVSR mostra a circa 12,0 Hz un picco generato dal contrasto di impedenza dovuto al passaggio tra le argille limose e le ghiaie in matrice sabbiosa intercettato nel corso dell'indagine ad una profondità media di circa 5,00÷5,40 m dal p.c. attuale.

Tale picco è stato utilizzato per ancorare il diagramma H/V ai dati stratigrafici ricavando una curva H/V teorica che consente di stimare l'andamento della velocità sismica lungo la verticale indagata.

La buona sovrapposizione della curva sintetica H/V alla curva misurata, confermano la correttezza del modello di sottosuolo ottenuto con l'inversione.

La definizione dei sismostrati in termini di velocità delle onde di taglio permettono di calcolare il parametro Vs30 richiesto dall'attuale normativa, secondo l'equazione:

$$Vs30 = 30 / \sum (h_i / V_{si})$$

dove:

h_i = spessore dello strato i -esimo;

V_{si} = velocità dello strato i -esimo.

Nel caso in esame, per i valori considerati, la Vs30 al piano di campagna risulta pari a 360 m/s.

La frequenza caratteristica di risonanza del sito, ricavabile dal diagramma HVSR rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale in quanto si dovranno adottare adeguate precauzioni nell'edificare edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di doppia risonanza.

10. PERICOLOSITÀ E CLASSIFICAZIONE SISMICA

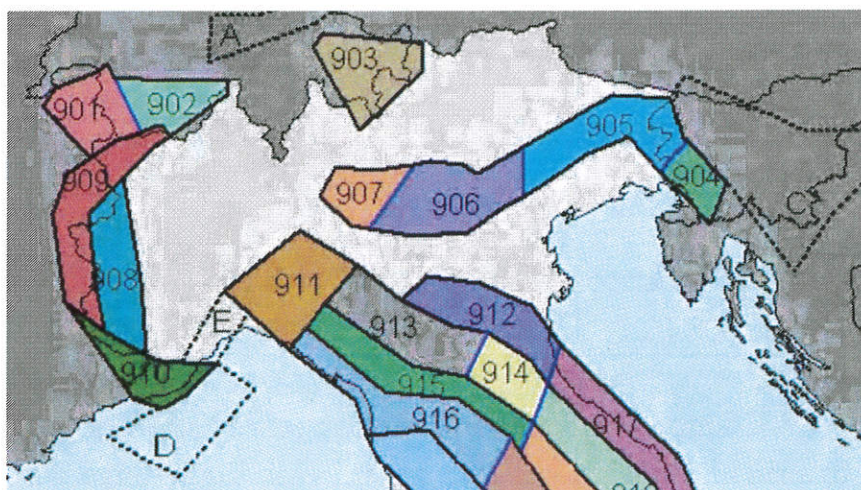
La pericolosità e il rischio sismico del territorio nazionale sono stati affrontati dal Servizio Sismico Nazionale utilizzando il calcolo probabilistico di Cornell, in grado di considerare tutte le possibili sorgenti influenzanti di un sisma.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni ideali di sito di riferimento con superficie topografica orizzontale di categoria A.

Il Comune di Casalecchio di Reno (TAV. 4 – Mappa di pericolosità sismica) presenta un'accelerazione al suolo tipo A con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni $PGA = 0,150 - 0,175g$.

La Magnitudo dell'area si ottiene, come riportato negli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica – Gruppo di Lavoro MS 2008" sulla base della zonazione sismogenetica ZS 9, secondo la quale la sismicità può essere distribuita in 36 zone, a ciascuna delle quali è associata una magnitudo massima.

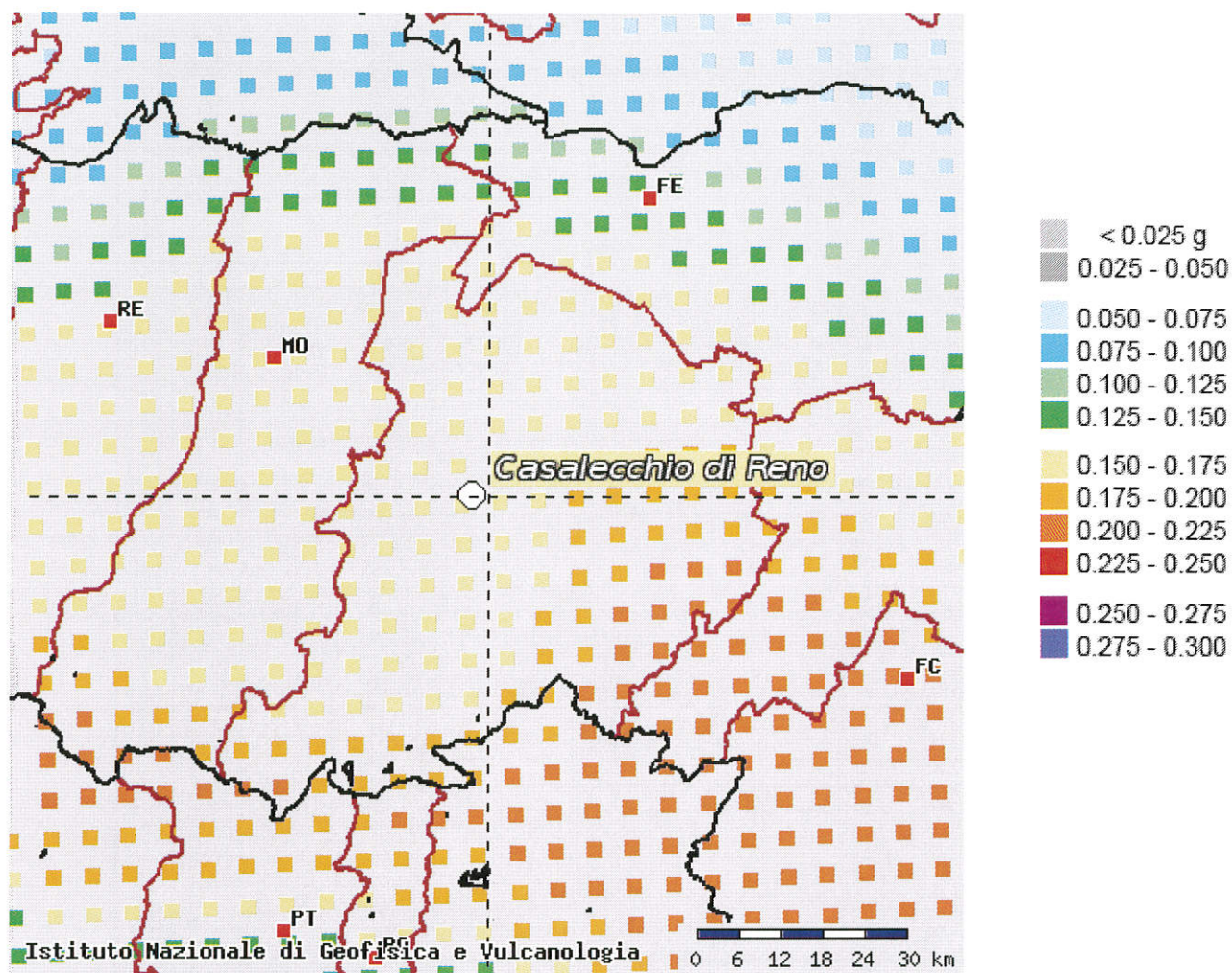
Come evidenziato dalla mappa delle zone sismogenetiche di cui si riporta uno stralcio, l'Emilia Romagna ricade nelle zone 911÷914 alle quali è attribuito un valore di M pari a 6,14.



La pericolosità sismica in un generico sito viene definita in termini di valori di accelerazione orizzontale massima e di spettri di risposta nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale, in corrispondenza dei punti di un reticolo e per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno ricadenti in un intervallo di riferimento compreso tra 30 e 2475 anni.

L'azione sismica così individuata viene successivamente variata per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo effettivamente presenti nel sito in esame e della morfologia di superficie.

TAV. 4 – MAPPA DI PERICOLOSITÀ SISMICA



11. MODELLAZIONE SISMICA

11.1. Vita nominale

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 al quale è destinata.

La vita nominale delle diverse tipologie di opere è riportata nella seguente tabella.

Tabella 2.4.I

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale V_n (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali – Strutture in fase costruttiva	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

Nell'area in esame sono previste opere tipo "2" per le quali si prevede una vita nominale $V_n \geq 50$ anni.

11.2. Classi d'uso

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso distinte nel modo seguente:

<i>Classe I</i>	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli
<i>Classe II</i>	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 IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
<i>Classe III</i>	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.
<i>Classe IV</i>	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 e B di cui al D.M. 5/11/2001 n. 6792 "Norme funzionali e geotecniche 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 e 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 impianti di produzione di energia.

Ad ogni classe d'uso è associato un coefficiente come da tabella seguente:

Tabella 2.4.II

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Le opere da realizzare nell'area in esame sono relative alla Classe II pertanto alle stesse è associato un coefficiente d'uso pari a $C_U = 1,0$.

11.3. Periodo di riferimento

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione sono 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 :

$$V_R = V_n \cdot C_U$$

Per il sito in esame il periodo di riferimento è pari a $V_R = 50$ anni.

11.4. Azione sismica

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La pericolosità sismica 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 $S(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR, nel periodo di riferimento V_R .

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- 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.

Nella seguente tabella vengono riportati i suddetti parametri elaborati per il sito in esame (individuato dalle coordinate Lat. 44.47943185; Long. 11.26141578), considerando un periodo di riferimento per l'azione sismica (VR) di 50 anni, in relazione al periodo di ritorno e agli stati limite di esercizio e agli stati limite ultimi e relative probabilità di superamento.

Stato limite		PVR (%)	TR (anni)	ag (g)	Fo (-)	Tc* (s)
Stati limite di esercizio	SLO	81	30	0,054	2,485	0,257
	SLD	63	50	0,067	2,488	0,271
Stati limite ultimi	SLV	10	475	0,164	2,388	0,308
	SLC	5	975	0,208	2,415	0,316

11.5. Categoria di sottosuolo

La nuova Normativa per gli effetti locali identifica cinque categorie di sottosuolo (A÷E) suddivisi sulla base dei valori di velocità equivalente Vs30 di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità, e due categorie aggiuntive (S1 e S2) per le quali è necessario predisporre specifiche analisi per la definizione della azione sismica.

Categorie di sottosuolo

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Categorie aggiuntive di sottosuolo

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Come riportato nella relazione sismica allegata i terreni del primo sottosuolo, alla profondità di 1,00 m presentano una V_{s30} media pari a 383 m/sec, pertanto ricadono nella Categoria B, che comprende *“Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $C_{u30} > 250$ kPa nei terreni a grana fine)”*.

11.6. Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale mentre per configurazioni semplici può essere adottata la seguente tabella.

Tabella 3.2.IV

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie piana e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
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 $i > 30^\circ$

Ad ogni categoria topografica è associato un coefficiente di amplificazione topografica come da tabella seguente:

Tabella 3.2.VI

CATEGORIA	T1	T2	T3	T4
COEFFICIENTE S_t	1	1,2	1,2	1,4

L'area in esame si ubica in una fascia moderatamente acclive (4÷5 %), perciò si configura una categoria topografica tipo T1 cui è associato un coefficiente di amplificazione topografica pari a 1,0.

11.7. Amplificazione stratigrafica

Per sottosuolo di categoria A i coefficienti S_s e C_c valgono 1; per le altre categorie vengono calcolati in funzione di a_g , F_0 e T_c^* mediante le espressioni fornite nella seguente tabella.

Tabella 3.2.V

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,4 - 0,4 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,7 - 0,6 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,4 - 1,50 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

Per il sito in esame otteniamo:

Stato limite	S_s	C_c
SLO	1,200	1,443
SLD	1,200	1,429
SLV	1,200	1,392
SLC	1,199	1,385

11.8 Accelerazione massima al sito

L'accelerazione massima attesa al sito può essere valutata mediante la relazione:

$$a_{\max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_t \cdot a_g$$

Nel nostro caso per i parametri considerati in precedenza e per lo stato limite SLV si ottiene un valore pari 1,931 m/sec².

11.9 Coefficiente sismico orizzontale e verticale

Il coefficiente sismico orizzontale si ottiene mediante la relazione:

$$k_h = \frac{\beta_s \times a_{\max}}{g}$$

dove:

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito ricavabile dalla sottostante tabella.

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_s	β_s
$0,2 < a_g (g) \leq 0,4$	0,30	0,28
$0,1 < a_g (g) \leq 0,2$	0,27	0,24
$a_g (g) \leq 0,1$	0,20	0,20

Nel nostro caso assumendo un valore di β_s pari a 0,24, si ottiene un coefficiente sismico orizzontale (k_h) pari 0,047.

Il coefficiente sismico verticale (k_v) si ottiene mediante la relazione:

$$k_v = 0,5 k_h = 0,0235$$