

***Dott. Saverio Tabanelli***

***Geologo***

*Via S. Lucia n.37 - 48018 Faenza (RA) - Tel. 0546-  
Cod. Fisc. TBNSVR*

**Comune di Castel Bolognese (RA)**

**PROGETTO DI URBANIZZAZIONE**

**Manifestazione d'interesse edificatorio**

**art.4 L.R. 21/12/2017, n.24**

**comparto sito a Castel Bolognese, via Biancanigo**

***INDAGINE E RELAZIONE GEOLOGICA***

***analisi di fattibilità***

**finalizzata a:**

- ❑ **analisi della risposta sismica locale semplificata;**
- ❑ **progettazione manufatti ed opere di fondazione in zona sismica II<sup>a</sup> cat.;**

**Committente:**  
**geom. Calderoni**

**Relazione generale del comparto**

**Codice pratica: /**

**Faenza, luglio 2020**

## INDICE

Premessa	Pag n. 2
Normativa di riferimento	Pag n. 4
Ubicazione dell'indagine	Pag n. 6
Vincoli	Pag n. 10
Morfologia	Pag n. 14
Inquadramento geologico	Pag n. 14
Assetto idrologico ed idrogeologico locale	Pag n. 20
Indagine geognostica	Pag n. 20
Analisi dei risultati	Pag n. 22
Modello geotecnico	Pag n. 24
Cenni sulla sismicità del territorio	Pag n. 24
Microzonazione sismica	Pag n. 26
Caratterizzazione sismica del sito	Pag n. 28
Verifica alla liquefazione	Pag. n. 34
Conclusioni	Pag. n. 34

## **PREMESSA**

Scopo della presente relazione è la puntuale caratterizzazione geologica e sismica di un'area agricola posta nel Comune di Castel Bolognese (RA), in via Biancanigo, dove è prevista la realizzazione di una nuova lottizzazione residenziale. Il progetto di urbanizzazione prevede, sostanzialmente, la realizzazione di strade, parcheggi, aree verdi e lotti edificabili.

Per la trasformazione urbanistica dell'area in questione è necessaria una relazione geologica di fattibilità intervento, propedeutica alla futura stipula della convenzione urbanistica con l'Amministrazione Comunale e successivo rilascio del titolo abilitativo.

**Su tale pratica la Provincia di Ravenna è chiamata ad esprimere parere sulla base della relazione geologica e dell'analisi di risposta sismica locale** ai sensi del combinato disposto di cui all'art. 5 della L.R. 30 ottobre 2008, n. 19 "Norme per la riduzione del rischio sismico" (modificato al comma 2 da art. 61 L.R. 6 luglio 2009 n. 6) ed art. 14 c.1 della L.R. n. 10/2003, che recita: *Nei Comuni per i quali trova applicazione la normativa tecnica sismica, la Provincia esprime sugli strumenti urbanistici attuativi del vigente PRG, in merito alla compatibilità delle rispettive previsioni con le condizioni di pericolosità locale degli aspetti fisici del territorio.*

Con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 3274 del 20 marzo 2003 "primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", è stata confermata sostanzialmente la precedente classificazione sismica del territorio comunale di Castel Bolognese inquadrandolo nella II<sup>a</sup> zona sismica e pertanto sarà necessario determinare i parametri richiesti per la conseguente progettazione anti-sismica.

L'area non è soggetta a Vincolo Idrogeologico di cui al R.D.L. 30 dicembre 1923 n. 3267 mentre è soggetta a vincoli e limitazioni disposti dal Piano di Bacino – Stralcio per il Rischio Idrogeologico.

Al fine di fornire al progettista strutturale i parametri geologici, sismici e geotecnici necessari per la progettazione nell'area interessata sono state eseguite 5 indagini verticali CPT, spinte fino ad una profondità di 9 m dal piano di campagna.

La posizione della falda freatica è stata poi rilevata attraverso l'immissione di una sonda freatimetrica nei fori effettuati.

Per la valutazione della risposta sismica locale è stata effettuata una prova sismica di

microtremori “in array” al fine di determinare con maggior precisione i parametri necessari alla progettazione complessiva.

Atteso che il Comune di Castel Bolognese ha realizzato nel 2009, e perfezionato nel 2015 la microzonazione sismica del proprio territorio (con una parte di 3° livello ancora in corso), dei risultati di tale studio sarà tenuto conto all'interno della presente relazione, come indicato nella Deliberazione della Giunta Regionale dell'Emilia-Romagna 29 aprile 2019, n.630 “*Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica*”.

Per ultimo, l'analisi è stata completata con una ricerca nel Sistema Informativo dei Servizi Geologico della Regione Emilia-Romagna. I dati estrapolati sono stati poi confrontati con i risultati delle prove effettuate da cui è scaturita una sostanziale coerenza.



## **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

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

- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 marzo 2003, n.3274 “***primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica***” (G.U. n.72 del 8 maggio 2003);
- Deliberazione dell’Assemblea Legislativa della Regione Emilia-Romagna 2 maggio 2007, n.112 Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1, della L.R. 20/2000 "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio", in merito a “***Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica***”. (B.U.R. n.64 del 17 maggio 2007);
- Chiarimenti della Regione Emilia-Romagna in ordine alla ***entrata in vigore dell’atto di indirizzo e coordinamento tecnico in materia di microzonazione sismica*** (deliberazione dell’Assemblea Legislativa n.112 del 2 maggio 2007) nota prot.2007.0166430 del 22 giugno 2007;
- Decreto del Ministero delle Infrastrutture 14 gennaio 2008 “***Nuove norme tecniche per le costruzioni***” (G.U. n.29 del 4 febbraio 2008);
- Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 2 febbraio 2009, n.617 “***Istruzioni per l’applicazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008***” (G.U. n.47 del 26 febbraio 2009);
- Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 17 gennaio 2018 “***Norme tecniche per le costruzioni***”, (G.U. n. 42 del 20 febbraio 2018);
- Deliberazione della Giunta Regionale dell’Emilia-Romagna 23 luglio 2018, n.1164 “***Aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei Comuni dell’Emilia-Romagna***” (B.U.R. n.263 del 8 agosto 2018);
- Istruzioni per l’applicazione dell’Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018 – Circolare 21 gennaio 2019 , n. 7 C.S.LL.PP.;
- Deliberazione della Giunta Regionale dell’Emilia-Romagna 29 aprile 2019, n.630 “***Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la***

***pianificazione territoriale e urbanistica (Artt. 22 e 49, l.r . n. 24/2017)” (B.U.R.  
n.143 del 6 maggio 2019);***

## UBICAZIONE

L'area in esame ricade all'interno del territorio del Comune di Castel Bolognese (RA), in prossimità della periferia sud-est dell'abitato. La zona dista circa 700 m dal centro di Castel Bolognese ed è prospiciente la strada comunale via Biancanigo.

Geograficamente, è inquadrata nella Carta Topografica in scala 1:25.000 della Regione Emilia-Romagna nel quadrante 239 NO "Imola", mentre nella Carta Tecnica Regionale risulta posta nella sezione 239060 "Castel Bolognese" alla scala 1:10.000 e nell'elemento 239062 "Castel Bolognese" alla scala 1:5.000.

Catastalmente l'area è identificata nella mappa del Catasto Terreni del Comune di Castel Bolognese al Foglio 15 con le Particelle - Mappali 2910, 2913, 2916.



*Fig.1 - Ubicazione area di studio su foto aerea Google Maps 2020, scala 1:10.000.*



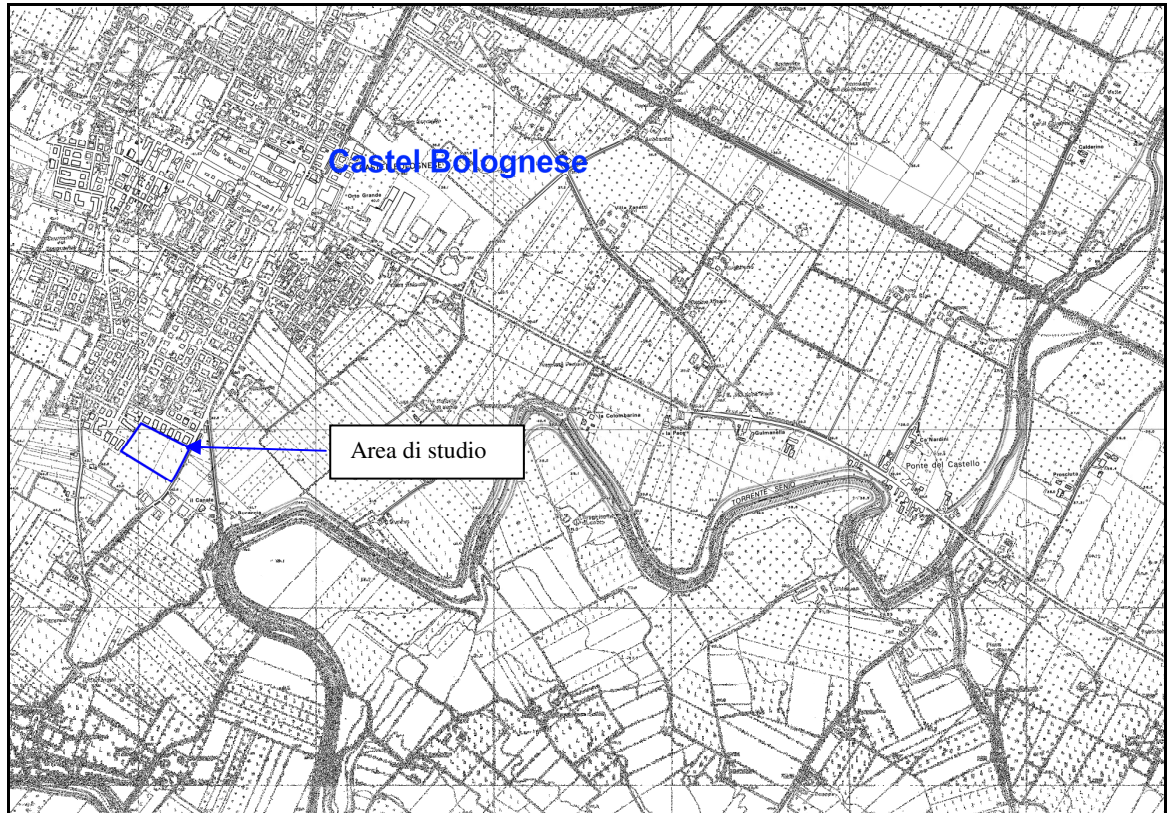


Fig.2 - Ubicazione area di studio su CTR scala 1:25.000.

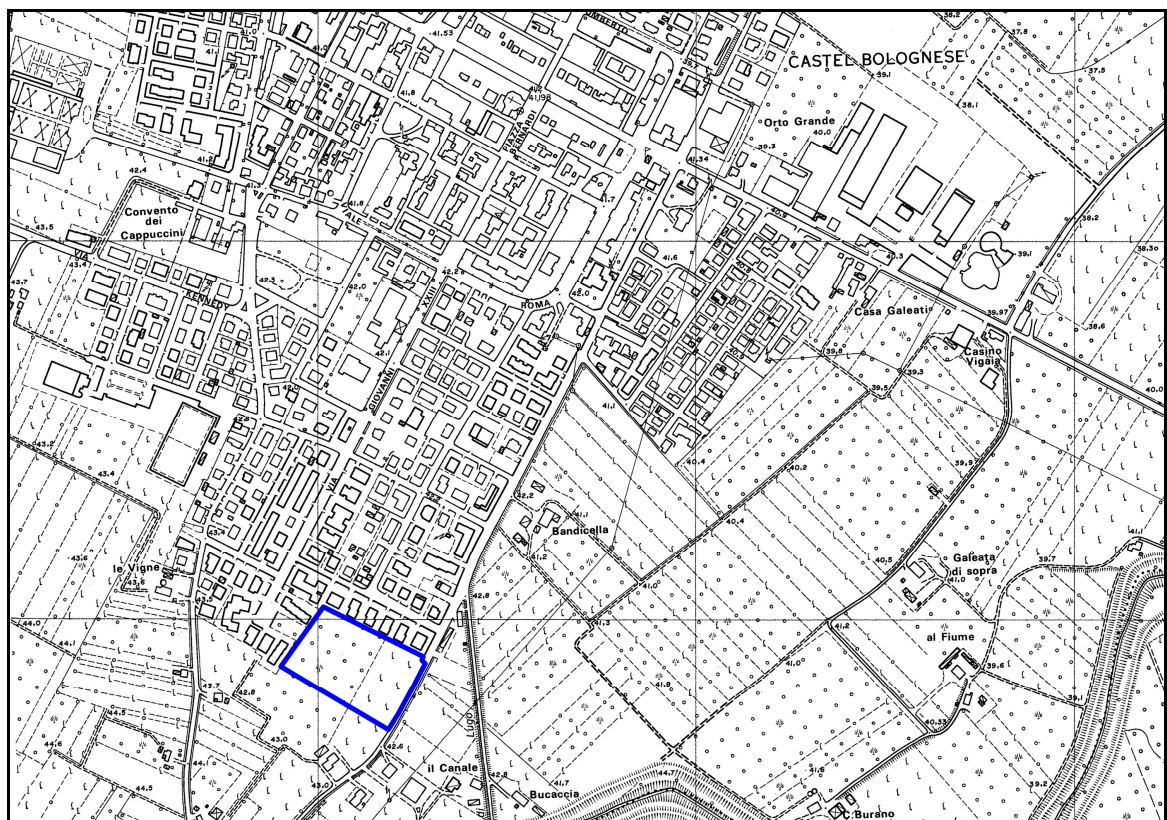
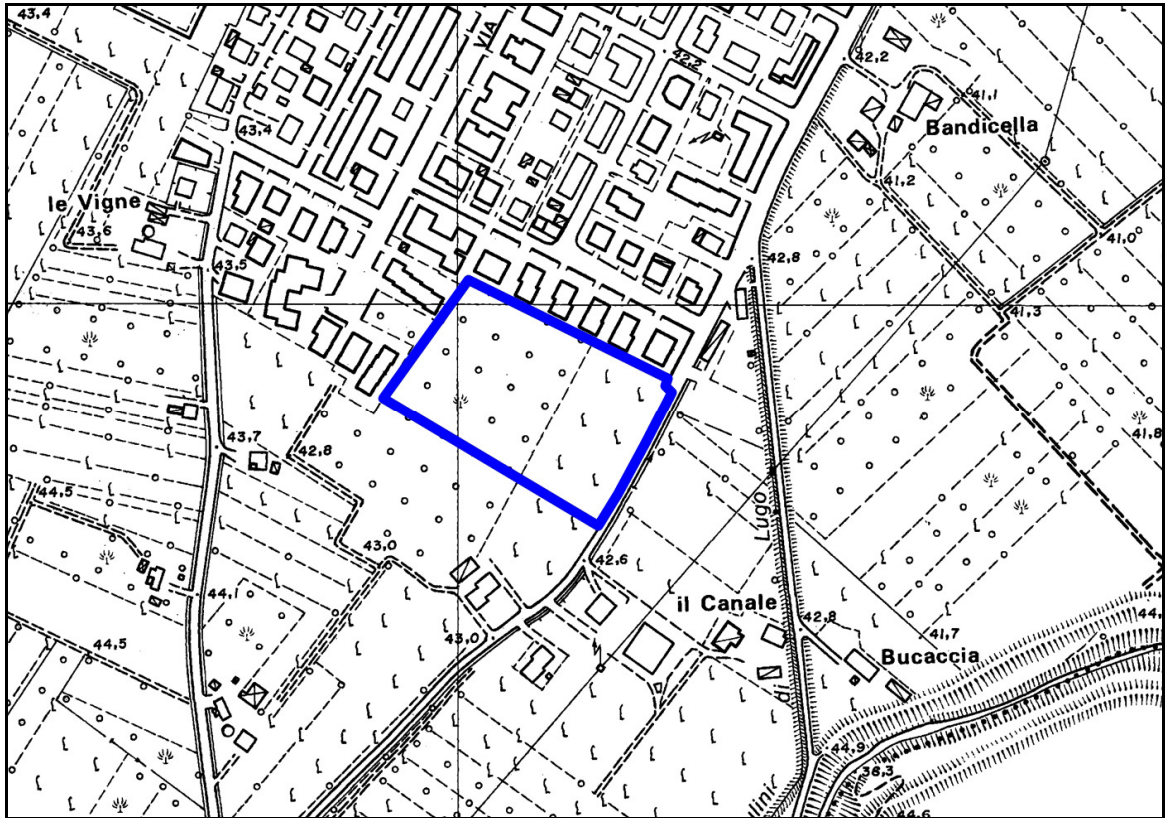
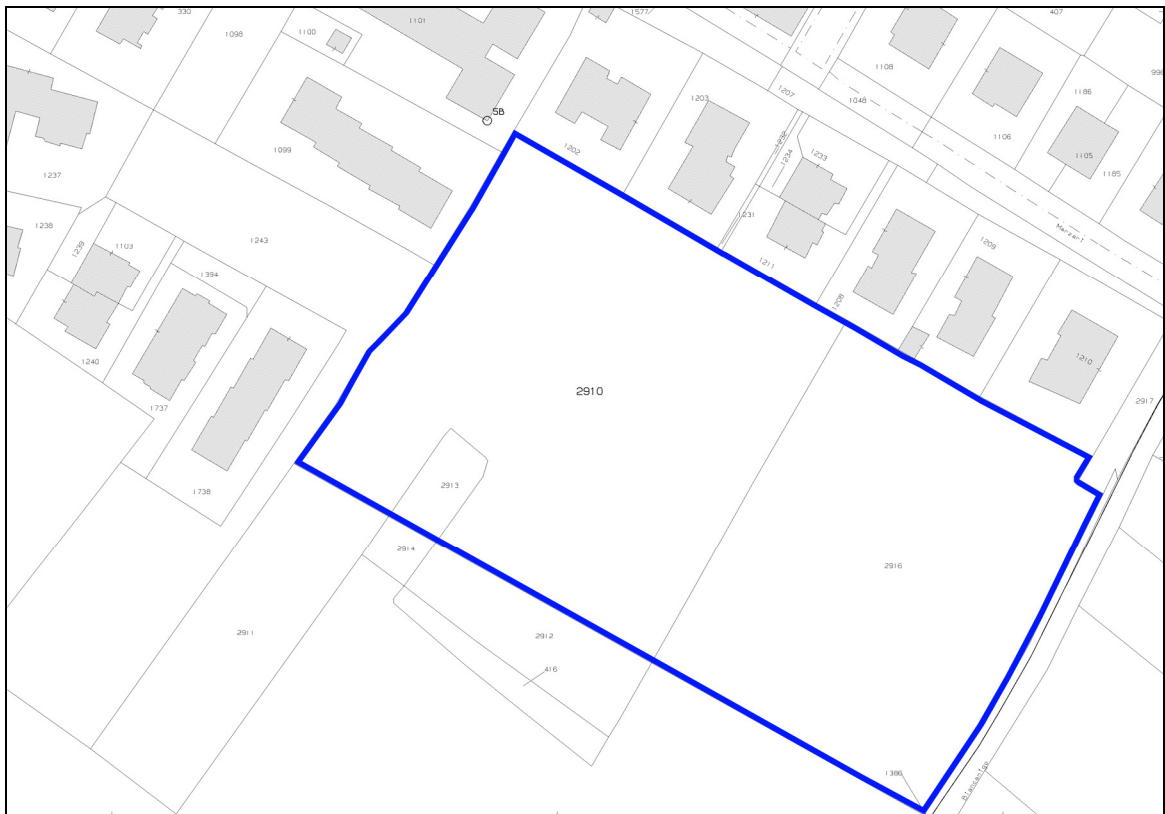


Fig.3 - Ubicazione area di studio su CTR scala 1:10.000.





*Fig.4 - Ubicazione area di studio su CTR scala 1:5.000.*



*Fig.5 - Ubicazione area di studio su mappa catastale scala 1.2000.*



*Fig.6 – Progetto di realizzazione comparto urbanistico scala 1:2.000 circa.*



## VINCOLI

L'area in esame è identificata quale Ambito 03 all'interno delle "Manifestazioni di interesse" adottate dal Comune di Castel Bolognese ai sensi dell'art. 4 della Legge Regionale n.24 del 21/12/2017.

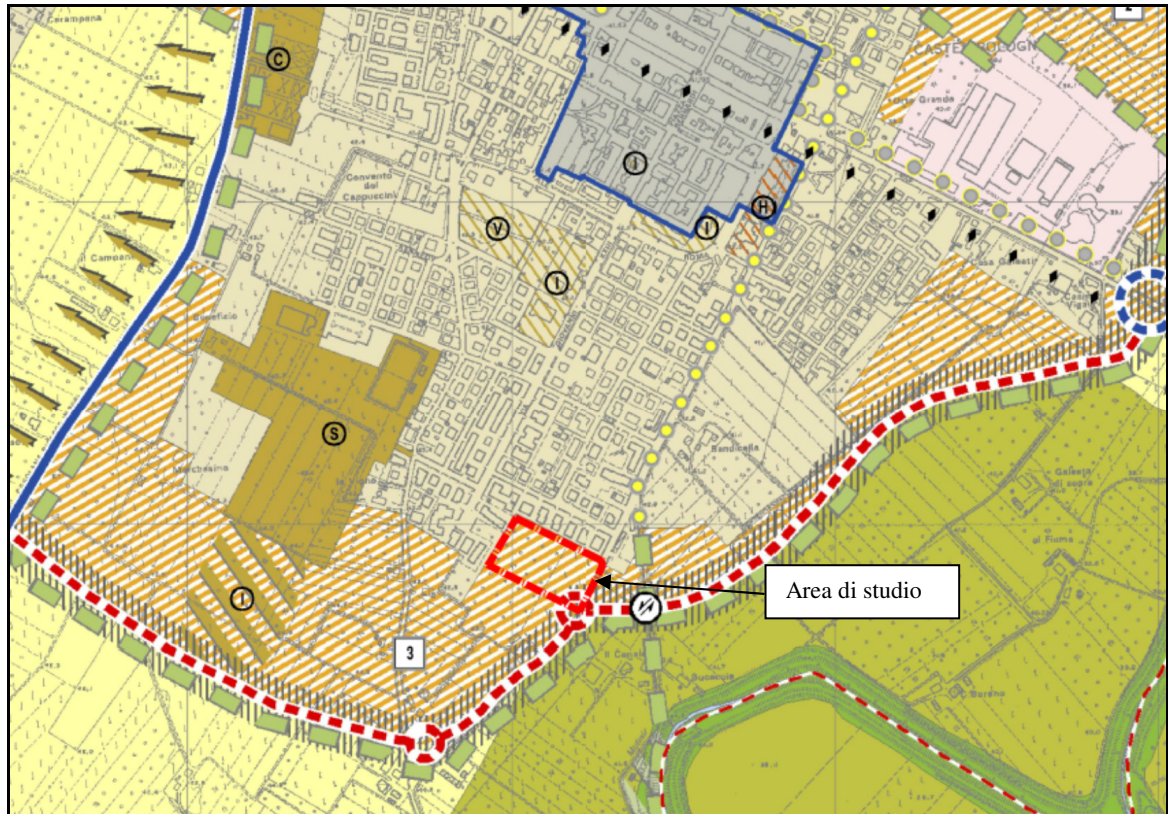


Fig.7 - Ubicazione area di studio su PSC del Comune di Castel Bolognese, scala 1:10.000

L'area non è soggetta al Vincolo Idrogeologico di cui al R.D.L. 30 dicembre 1923 n. 3267.

Il territorio del Comune di Castel Bolognese ricade prevalentemente all'interno del bacino idraulico del torrente Senio. Il Piano di Bacino del Reno - Stralcio del Torrente Senio è stato adottato e approvato, inizialmente nel 2001 e riguarda, essenzialmente il Rischio Idraulico e il Rischio da Frana.

In seguito il Piano Stralcio del Torrente Senio è stato oggetto di una Revisione Generale avvenuta nel 2009. L'approvazione è avvenuta con delibera della Giunta della Regione Emilia Romagna n. 1540 del 18/10/2010.

Relativamente al rischio idraulico, dalle tavole della Revisione Generale del Piano Stralcio per il Bacino del Torrente Senio del 2009, l'area in esame:

- non risulta all'interno del bacino imbrifero ad immissione naturale del torrente Senio (tav.A);
- è posta all'interno dell'ampio bacino pedecollinare e di pianura del torrente Senio su cui si innesta il sistema idrografico artificiale di bonifica del comparto idraulico Canal Vela (tav. B quadro 1). La zona oggetto del presente progetto di urbanizzazione afferisce al Canale dei Molini di Castel Bolognese – Lugo – Fusignano che scorre nelle vicinanze, come desumibile dalla cartografia sotto riportata. Il relativo comparto idraulico è denominato Canal Vela (CAVEL) e ricade nel comprensorio gestito dal Consorzio di Bonifica della Romagna Occidentale in cui il sistema di scolo delle acque meteoriche, costituito prevalentemente da opere artificiali, ha come ricettore principale il “Canale di bonifica in destra di Reno” che sfocia nel mare Adriatico in località Casal Borsetti;

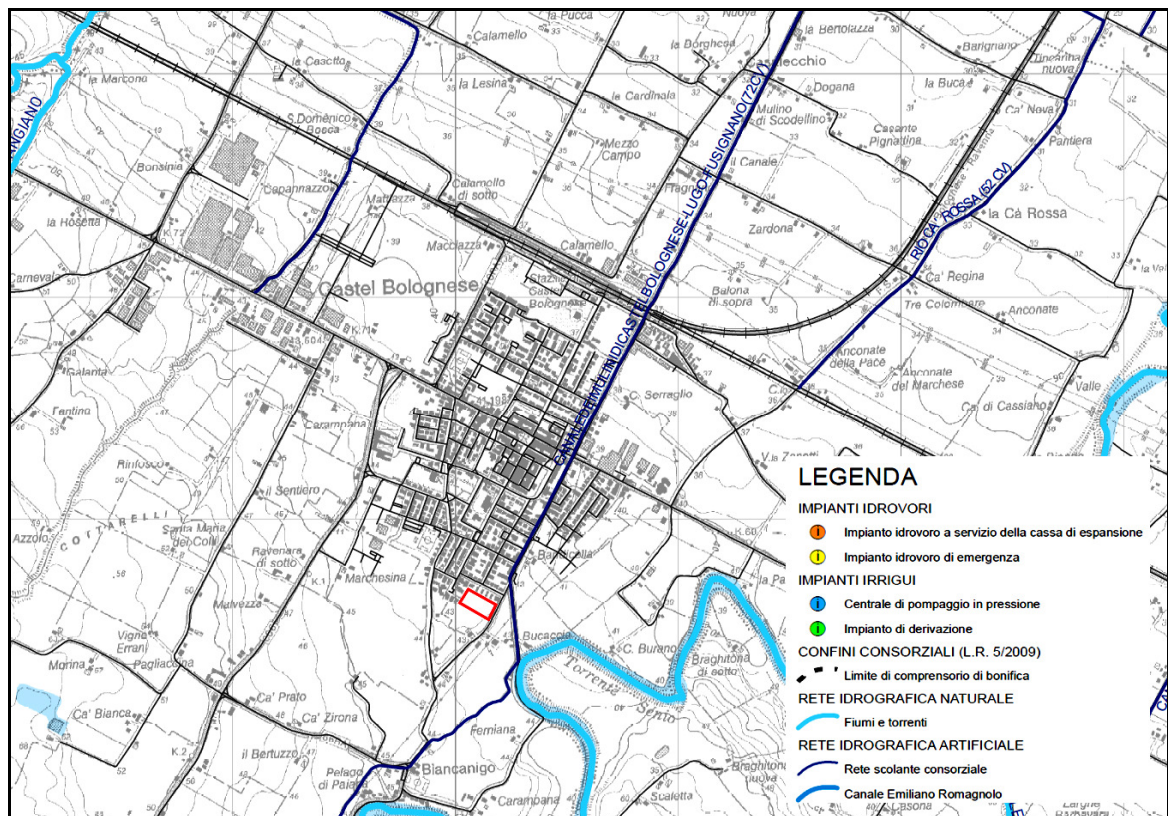


Fig. 8 - Inquadramento reticolo idraulico superficiale – rete scolante

- non appare inquadrata tra le situazioni a rischio elevato (tavola C);
- non ricade in alcuna fascia di pertinenza fluviale o in aree di localizzazione di interventi particolari (tav. RI 18);



- non ricade in aree ad alta probabilità di inondazione (tav. RI 18).

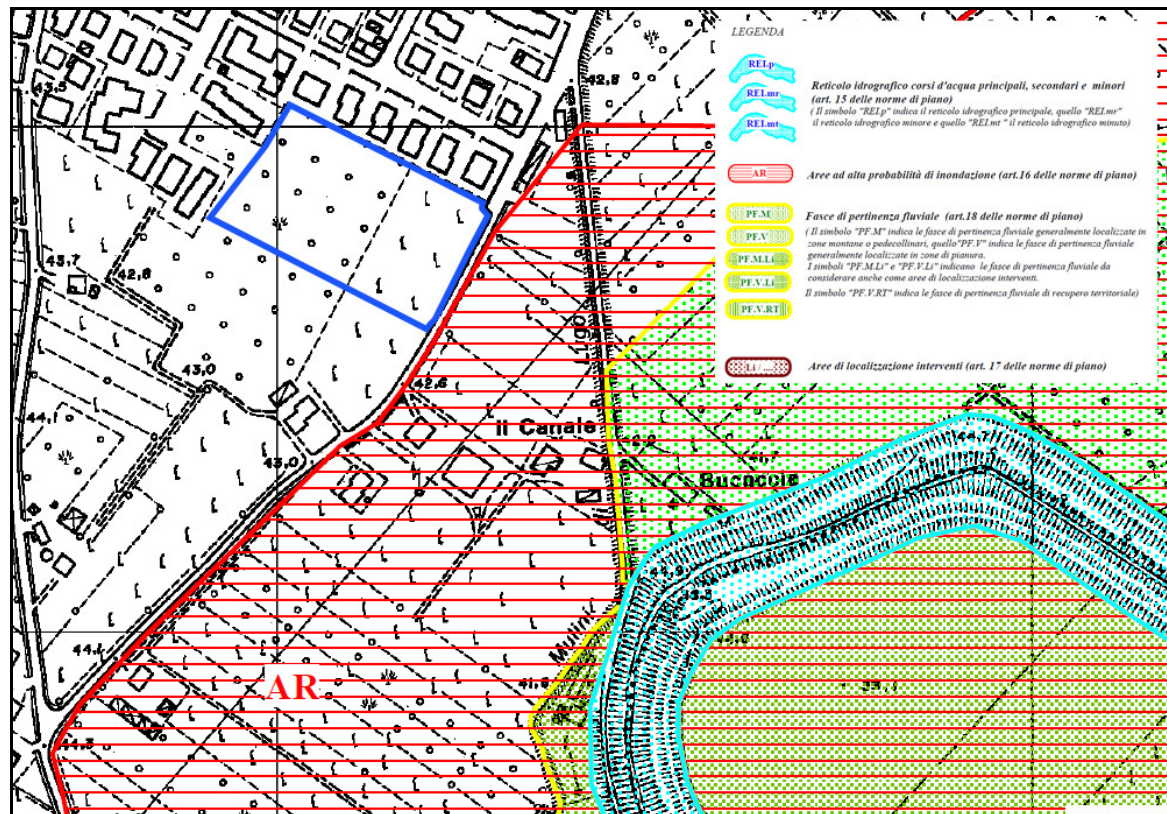


Fig. 9 - Piano di bacino del torrente Senio – Stralcio tavola RI 18 scala 1:5.000

Successivamente, il Comitato Istituzionale Integrato delle Autorità di Bacino nazionali in data 3 marzo 2016 ha approvato i Piani di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA) previsti dalla Direttiva europea 2007/60/CE realizzati dalle UoM (Unit of Management) del Distretto Idrografico dell'Appennino Settentrionale, tra cui Reno (UoM ITI021), Regionali Romagnoli (UoM ITR081), Marecchia-Conca (UoM ITI01319). Seguendo le indicazioni della "Direttiva alluvioni" 2007/60/CE e del decreto di recepimento n.49/2010, le Autorità di Bacino nazionali, interregionali e regionali, insieme alle regioni, hanno predisposto i piani per i territori di competenza. I piani sono costituiti da una parte cartografica con mappe di pericolosità e di rischio alluvioni (a scala di bacino) e una parte descrittiva, con la relazione generale e le misure relative alla gestione del rischio.

E' stato così necessario procedere nel 2016, ad una Variante ai Piani Stralcio del Bacino Idrografico del fiume Reno finalizzata al coordinamento tra tali Piani e il suddetto Piano Gestione Rischio Alluvioni (PGRA).

Tale variante costituisce attualmente la normativa idraulica ed idrogeologica di riferimento per l'intero territorio regionale ed è stata approvata dalla Giunta Regionale Emilia-Romagna con deliberazione n. 2111 del 05/12/2016.

La Mappa di Pericolosità (MP) delle aree potenzialmente interessate da alluvioni che riguarda l'area oggetto di studio è contenuta nella tavola MP10 di cui si riporta uno stralcio:

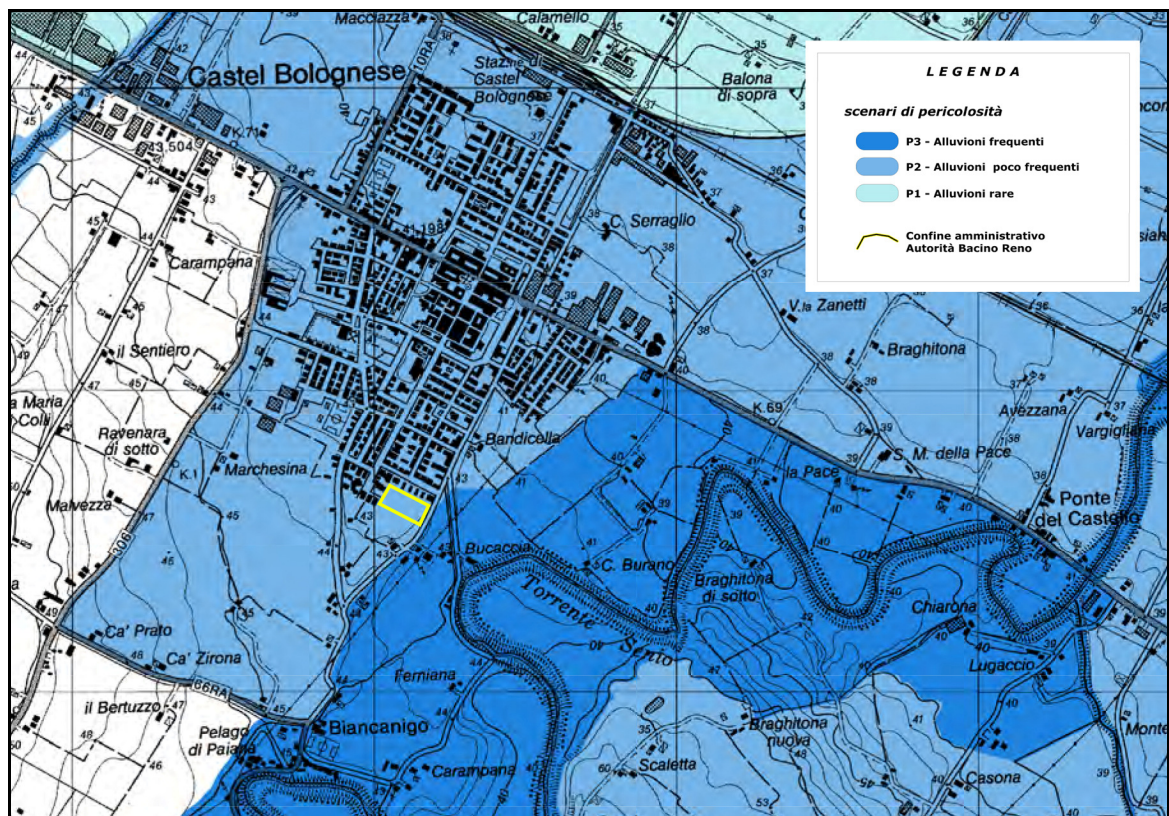


Fig. 10 - Piano di Bacino – variante adeguamento al Piano di Gestione Rischio Alluvioni

Come si desume dalla figura, l'area in oggetto ricade nelle zone classificate **“P2 - Alluvioni poco frequenti”**.

Le norme integrative della Variante di coordinamento tra il Piano Gestione Rischio Alluvioni e i Piani Stralcio di Bacino che riguardano la situazione in esame è riferibile essenzialmente all'art.32 comma b che demanda alle Amministrazioni comunali la valutazione della sostenibilità delle nuove previsioni urbanistiche relativamente, appunto, al rischio idraulico e all'adozione di misure di riduzione della vulnerabilità alle inondazioni.

Nell'ottica di cui sopra, il Regolamento Urbanistico Edilizio (RUE 2016-2017) Intercomunale del Comune di Castel Bolognese all'art.24 “Sicurezza del territorio”

comma 9 ha stabilito che, in ottemperanza all'art.32 di cui sopra, per manufatti edilizi di nuova costruzione in tali zone occorra sostanzialmente:

- **prevedere l'impostazione del piano terreno ad una quota superiore a quella del tirante idrico statico asseverato;**
- **divieto di realizzare interrati o seminterrati;**
- **adozione di opportuni accorgimenti atti ad annullare o limitare gli effetti degli allagamenti sulle reti tecnologiche ed impiantistiche.**

Tali condizioni costituiscono vincoli inderogabili per la progettazione e realizzazione del comparto in progetto.

## **MORFOLOGIA**

La zona in esame si trova ubicata in una porzione della pianura Romagnola, nel margine laterale sinistro dell'apice di conoide del torrente Senio, zona di transizione tra alta e bassa pianura del fiume medesimo.

Dalla C.T.R. risulta posta ad un'altitudine di circa 42,8 m sul livello medio del mare.

L'intera zona, morfologicamente appare pianeggiante e pertanto non sussistono né problemi di stabilità del terreno, né di amplificazione topografica dell'imput sismico.

## **INQUADRAMENTO GEOLOGICO**

L'area di studio è individuata nel Foglio 99 "Faenza" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 edita dal Servizio Geologico Italiano, II edizione nel 1968.

E' inserita nel vasto bacino sedimentario della Pianura Padana il cui assetto geologico è il prodotto di ripetute fasi, di aggradazione e progradazione, di depositi alluvionali e marini (di spiaggia), conseguenti all'alternanza di fasi erosive e di deposito (periodi di trasgressione e regressione marina), periodi piovosi e meno (glaciazioni) il tutto connesso con fenomeni di subsidenza. Tali depositi sono caratterizzati da una pendenza abbastanza modesta, intorno all'1‰ e costituiscono, di fatto, le "alluvioni padane".

Trattasi di sedimenti del Quaternario, sostanzialmente caratterizzati da una fase deposizionale marina iniziale (Pleistocene superiore) e una fase deposizionale



continentale (Pleistocene medio - Olocene).

La stratigrafia pleistocenica continentale presenta frequenti variazioni litologiche con sabbia intercalata a limi sabbiosi e/o limi argillosi, riferibili ai diversi cicli sedimentari che si sono succeduti e che costituiscono la sequenza deposizionale continentale della pianura faentina. La stratigrafia olocenica è dominata prevalentemente dai depositi dell'ultima regressione marina verificatasi in corrispondenza della glaciazione Wurmiana durante la quale è prevalsa l'azione di trasporto dei numerosi corsi d'acqua le cui alluvioni hanno depositato i recenti sedimenti olocenici continentali.

**Nel caso dell'area in esame, trattasi di depositi alluvionali di pianura quaternari, Olocenici, prevalentemente argilloso-sabbiosi, come risulta anche dalla Carta Geologica d'Italia.**

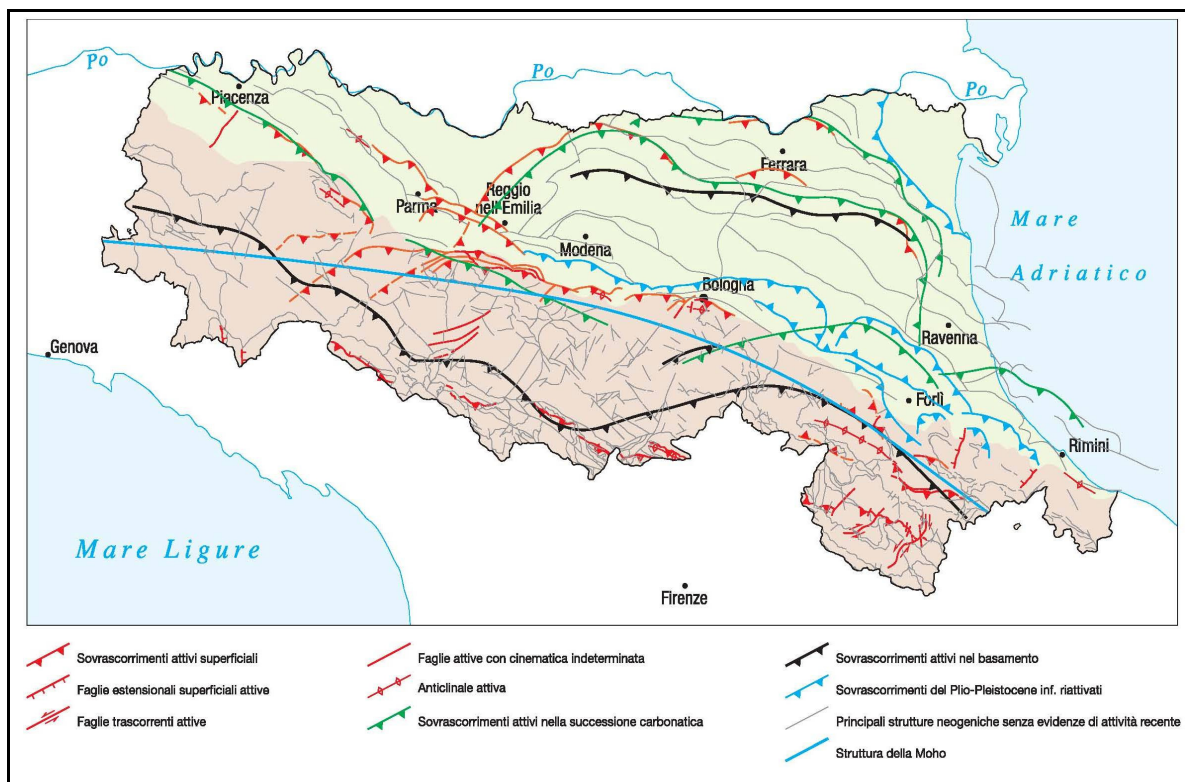


Fig. 11 - Carta tettonico-strutturale della Regione Emilia-Romagna (Servizio Geologico R.E.R.)

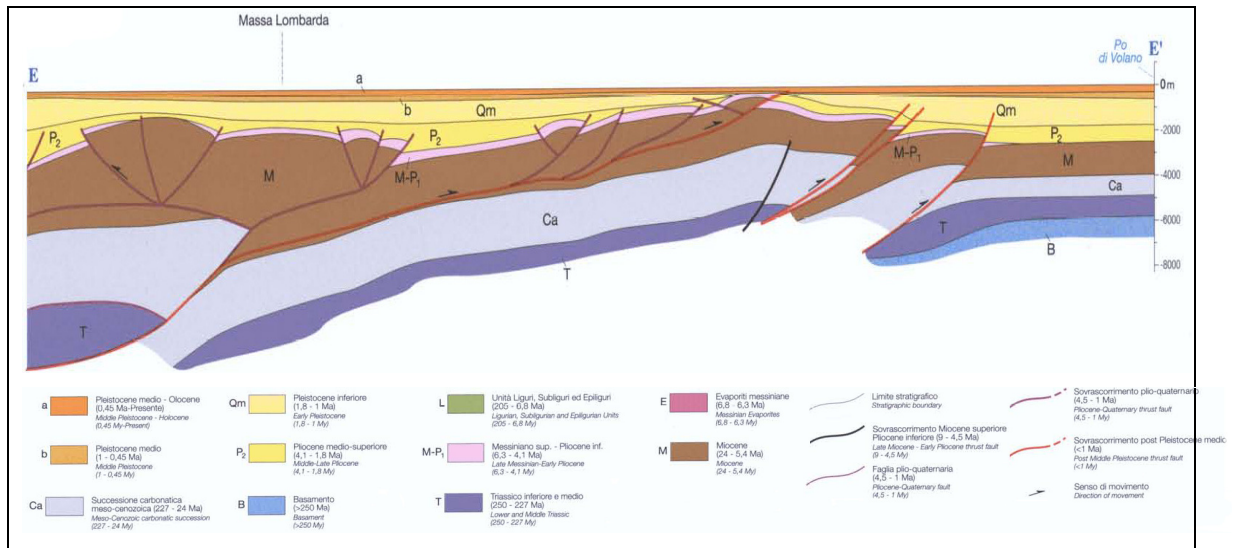


Fig. 12 – Sezione schematica tettonico-strutturale della zona (Servizio Geologico R.E.R.)

Da quanto rilevato sul posto e dai dati resi disponibili dal Servizio Geologico Regionale dell'Emilia-Romagna, è possibile ascrivere i terreni caratterizzanti l'area in esame, ai terreni argilloso- sabbiosi di conoide alluvionale, con frequenti intercalazioni ghiaiose, a testimonianza di una certa energia di trasporto attribuibile alla situazione di apice di conoide. Dalla Carta Geologica redatta dal Servizio Geologico della Regione E.R. risulta posta su sedimenti continentali di natura granulare (Unità geologica AES8), come confermato dal sopralluogo eseguito.

Nello specifico trattasi dell'Unità geologica AES8, appartenente al Sintema emiliano-romagnolo superiore - Subsintema di Ravenna. L'Unità AES8 è descritta quale unità costituita da sabbie con livelli e lenti di ghiaie ricoperte da una coltre limoso argillosa discontinua, in contesti di conoide alluvionale, canale fluviale e piana alluvionale intravalliva, con presenza di strati ghiaioso-sabbiosi permeabili (sede di acquiferi) intercalati a strati limoso-argillosi (acquitardi) impermeabili. Al tetto l'unità presenta localmente un suolo calcareo poco sviluppato di colore grigio-giallastro.

Tale depositi sono tipici di conoide prossimale sono riferibili al bacino sedimentario del torrente Senio che scorre a circa 300 m ad est rispetto all'area di studio.

Anche la carta geologica d'Italia, nel Foglio 99 "Faenza" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 edita dal Servizio Geologico Italiano, II edizione nel 1968 conferma i dati del Foglio 239060 della Carta Geologica dell'Emilia-Romagna in scala 1: 10.000 (Servizio Geologico R.E.R.) e ribadisce che la zona oggetto della presente relazione ricade in ambiente di pianura alluvionale.

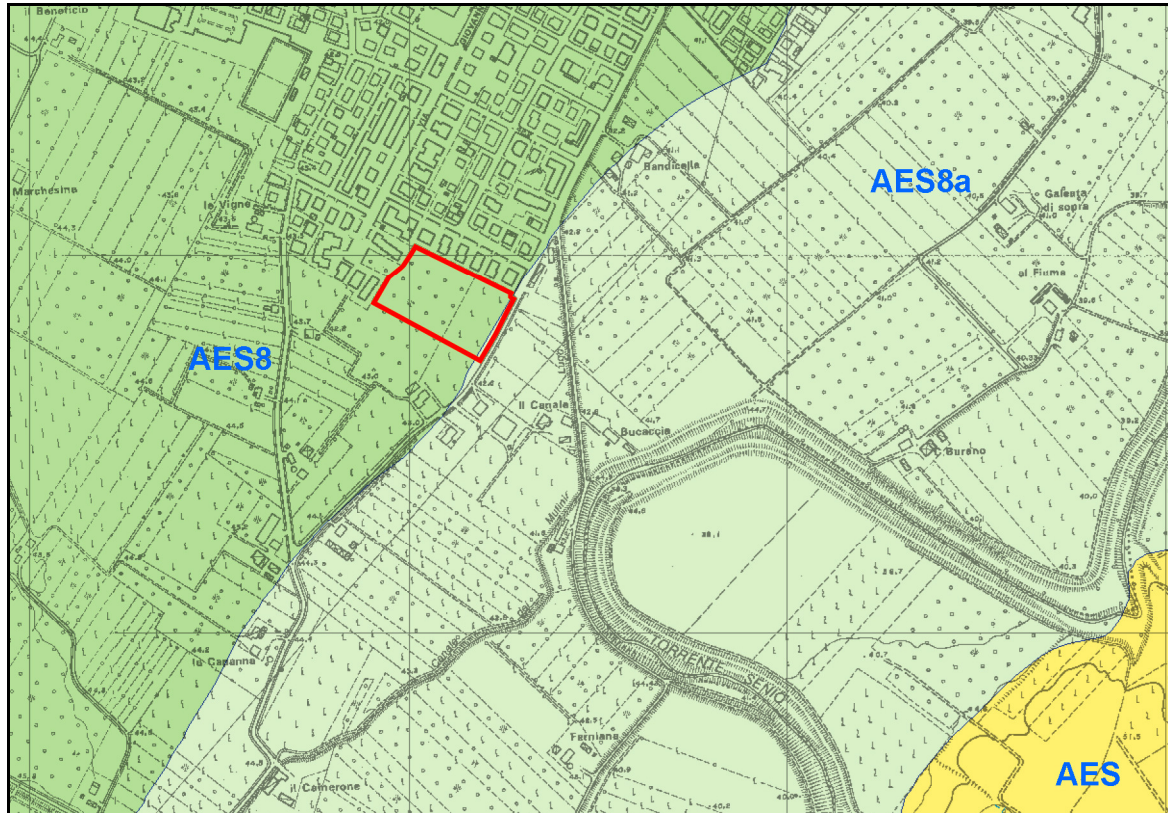
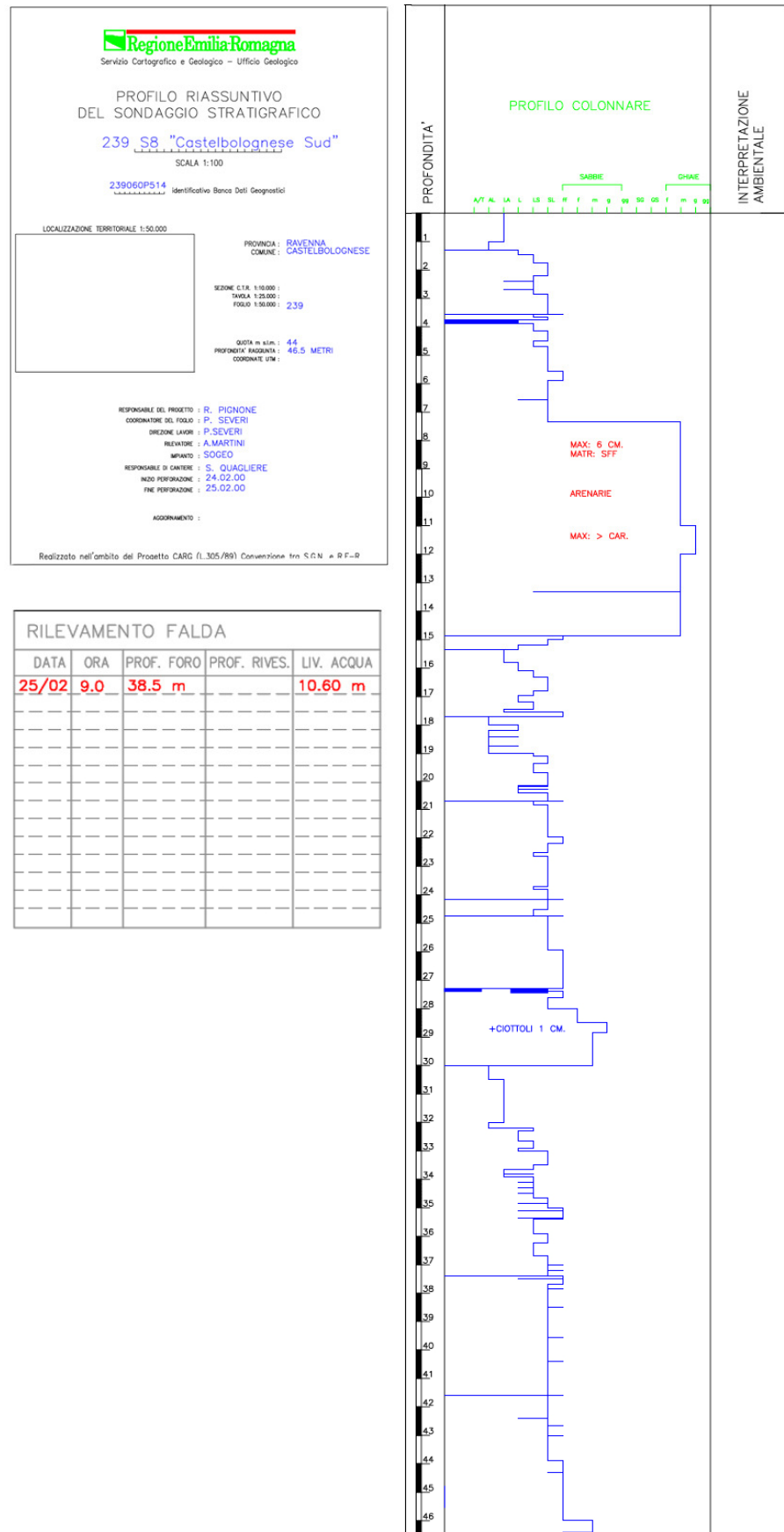


Fig. 13 – Area di studio su carta geologica Regione Emilia-Romagna scala 1:10.000

#### AES8 - Subsistema di Ravenna

Ghiaie da molto grossolane a fini con matrice sabbiosa, sabbie e limi stratificati con copertura discontinua di limi argillosi, limi e limi sabbiosi, rispettivamente depositi di conoide ghiaiosa, intravallivi terrazzati e di interconoide. L'unità comprende più ordini di terrazzo nelle zone intravallive. Argille, limi ed alternanze limoso-sabbiose di tracimazione fluviale (piana inondabile, argine, e tracimazioni indifferenziate). Il tetto dell'unità è rappresentato dalla superficie deposizionale, per gran parte relitta, corrispondente al piano topografico. A tetto suoli, variabili da non calcarei a calcarei, a basso grado di alterazione con fronte di alterazione potente meno di 150 cm, e a luoghi parziale decarbonatazione; orizzonti superficiali di colore giallo-bruno. I suoli non calcarei e scarsamente calcarei hanno colore bruno scuro e bruno scuro giallastro, spessore dell'alterazione da 0,5 ad 1,5 m, contengono frequenti reperti archeologici di età del Bronzo, del Ferro e Romana. I suoli calcarei appartengono all'unità AES8a. nel sottosuolo della pianura: depositi argillosi e limosi grigi e grigio scuri, arricchiti in sostanza organica, di piana inondabile non drenata, palude e laguna passanti, verso l'alto, a limi-sabbiosi, limi ed argille bruni e giallastri di piana alluvion Il contatto di base è discontinuo, spesso erosivo e discordante, sugli altri subsistemi e sulle unità più antiche. Lo spessore massimo dell'unità è circa 20m.  
(Pleistocene sup. - Olocene)

La stratigrafia geologica del sottosuolo della zona oggetto d'indagine, invece, è stata desunta sulla base di un sondaggio stratigrafico molto dettagliato, profondo 46,5 m, eseguito dal Servizio Geologico Regionale nelle immediate vicinanze dall'area in esame (circa 500 m) e riferibile al medesimo contesto geologico-stratigrafico, che ha riportato i seguenti risultati:



*Fig. 14 – Sondaggio stratigrafico eseguito dalla Regione E.R. in prossimità del sito in esame sigla 239060P514.*



Tale sondaggio trova perfetta rispondenza con i risultati delle 5 verticali penetrometriche CPT effettuate dal sottoscritto nell'area in esame e allegate alla presente relazione.

La successione (sequenza deposizionale) stratigrafica generale riscontrata può essere schematizzata come segue:

Da 0.00 a - 1,00 m:	orizzonte agrario pedogenizzato;
Da -1,00 m a - 6,50 m:	limi ed argille;
Da - 6.50 m a - 14,50 m	ghiaie e sabbie;
Da - 15,50 m a -30,00 m	limi, limi sabbiosi ed argille;

La successione di unità continentali (Qc) poggiano sul **bed-rock (substrato)** marino (Qa) qui costituito dai membri della formazione delle Argille Azzurre (IFAA) **posto a circa 85 m di profondità**, come riportato nella microzonazione sismica di 2° livello del Comune di Castel Bolognese del 2015 eseguita dal dott. Gabriele Tarabusi di cui si riporta la sezione sottostante:

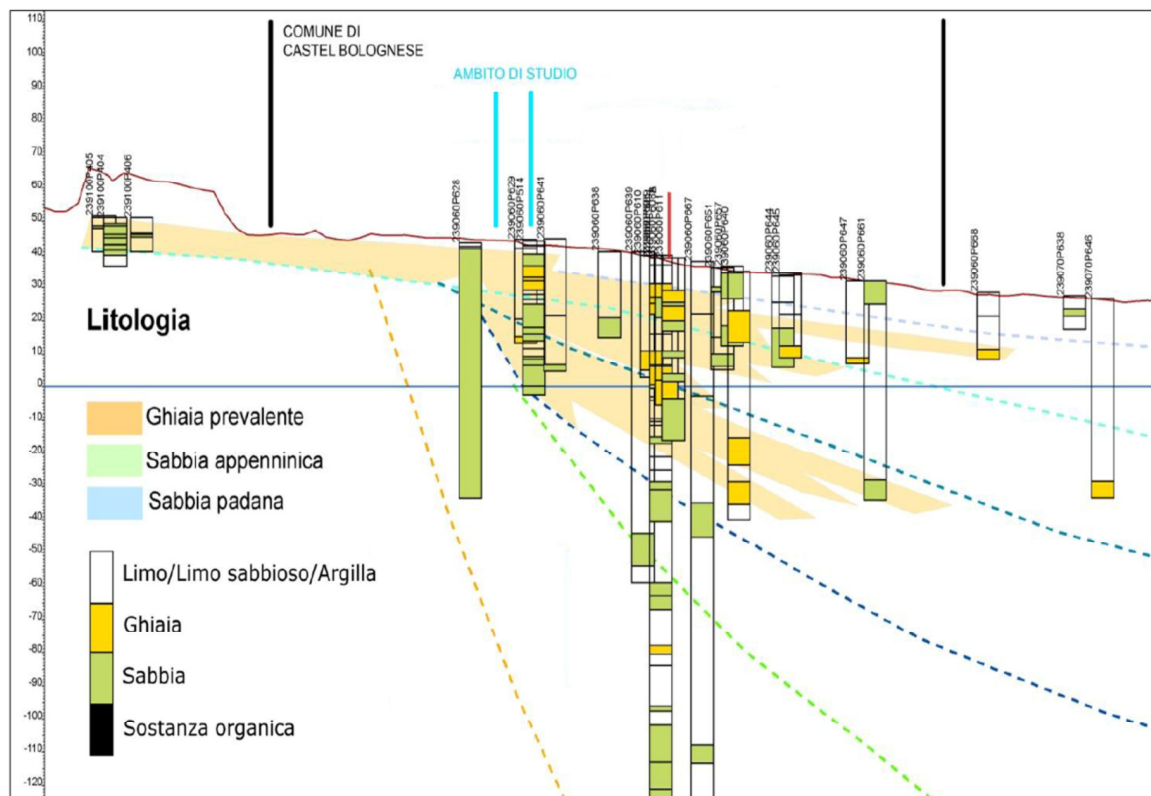


Fig. 15 – Sezione geologica tratta dalla microzonazione sismica di Castel Bolognese con evidenziato il sondaggio stratigrafico 239060P514 citato in precedenza.



**In conclusione, nei primi metri interessati dal piano di posa delle fondazioni, trattasi di depositi alluvionali di pianura olocenici con litologia fine determinata dalla scarsa energia idraulica del bacino sedimentario, confermato sia da quanto osservato direttamente sul terreno che dall'interpretazione dei risultati delle prove penetrometriche eseguite, sovrastanti un consistente strato di ghiaie sabbiose.**

### **ASSETTO IDROLOGICO ED IDROGEOLOGICO LOCALE**

Il territorio del Comune di Castel Bolognese ricade prevalentemente all'interno del bacino idraulico del torrente Senio, corso d'acqua che confluisce poi nel fiume Reno a circa 6 dall'abitato di Alfonsine (RA). L'area in esame dista circa 300 m dall'attuale corso arginato del torrente Senio posto ad est della medesima.

La zona è interessata da un'appropriata rete di fossi e scoline che convogliano le acque meteoriche nei fossi a lato della strada via Biancanigo che, a loro volta, confluiscono nel vicino Canale dei Molini di Castel Bolognese – Lugo - Fusignano (vedi figura n.8) posto a poche decine di metri dalla zona indagata.

La profondità massima raggiunta dalle verticali CPT eseguite pari a 9 m (arrestate per rifiuto all'infissione) non ha permesso di raggiungere la falda

La falda freatica locale, o per lo meno la prima falda sospesa, è stata desunta dalla perforazione eseguita dalla Regione E.R. il 25/02/2000 che ha riscontrato la presenza della prima falda a – 10,60 dal piano campagna.

Tale dato appare estendibile anche per la zona in esame in quanto la falda rilevata nel periodo tardo primaverile di giugno 2020, in un pozzo vicino, è risultata posta a 15 m dal p.c.

E' comunque normale attendersi consistenti oscillazioni della falda, anche di alcuni metri, fra i periodi estivi siccitosi e quelli autunnali piovosi. Di conseguenza una posizione della falda ad una profondità intorno a 10 m dal piano campagna appare essere un dato cautelativo realistico e verosimile.

## INDAGINE GEOGNOSTICA

Al fine di ottenere un primo quadro geologico e geotecnico, considerata la natura granulare dei terreni presenti, sono state eseguite all'interno del comparto 5 prove penetrometriche statiche CPT utilizzando un penetrometro meccanico semovente cingolato Pagani TG 63-200 con spinta verticale di 20 ton che hanno raggiunto una profondità media di circa 9 m dal piano campagna in quanto non è stato possibile oltrepassare il consistente strato ghiaioso riscontrato.

La prova penetrometrica statica CPT (tipo meccanico) consiste essenzialmente nella infissione di una punta meccanica di dimensioni e caratteristiche standard, infissa con velocità costante di 2 cm/s (+/- 0,5 cm/s).

La penetrazione avviene attraverso un dispositivo di spinta (martinetto idraulico) opportunamente ancorato al suolo che agisce su una batteria doppia di aste, aste interne cave ed aste esterne coassiali, alla cui estremità inferiore è collegata la punta.

Lo sforzo necessario per l'infissione viene rilevato da una cella di carico collegata al martinetto idraulico i cui dati sono visualizzati in continuo su un display digitale.

La punta meccanica di tipo Begemann ha le seguenti caratteristiche:

- diametro di base del cono  $\varnothing$  35,7 mm;
- punta conica con apertura di  $60^\circ$ ;
- area della punta conica  $10 \text{ cm}^2$ ;
- manicotto laterale con una superficie di  $150 \text{ cm}^2$ .

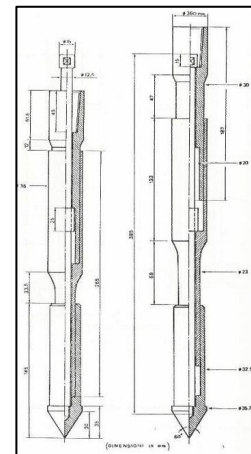
Sulla batteria di aste esterne è stato installato un anello allargatore per diminuire l'attrito sulle aste, onde facilitarne l'infissione.

Nel corso della prova sono state rilevate, ogni 20 cm di profondità, la resistenza alla penetrazione di punta ( $R_p$ ) e il valore dell'attrito laterale sul manicotto ( $R_l$ ).

Negli elaborati allegati sono riporti i valori di **qc (Rp)** resistenza alla punta in  $\text{kg/cm}^2$  e **fs** (correlata ad **Rl**) resistenza laterale locale ottenuti dai dati rilevati durante l'esecuzione delle prove.

Attraverso il rapporto **qc/fs** è possibile riconoscere, di massima, la litologia dei terreni attraversati (Begemann 1965, Raccomandazioni A.G.I. 1977) oppure in base ai valori di  $R_p$  e del rapporto  $Fr = R_p/R_l \%$  (Schmertmann 1978).

La **qc** consente inoltre di valutare le principali caratteristiche geomeccaniche.



Sempre negli allegati sono riportate le indicazioni relative ai principali parametri geotecnici:

- $C_u$  (coesione non drenata);
- $\phi'$  (angolo di attrito interno efficace);
- $D_r$  (densità relativa);
- $M_o$  (modulo edometrico);
- $\gamma$  (peso di volume).



Fig. 16 – Ubicazione prove verticali CPT eseguite nell'area in oggetto

## ANALISI DEI RISULTATI

I risultati ottenuti, rappresentati negli allegati, hanno evidenziato mediocri caratteristiche geomeccaniche dei terreni attraversati. Dopo lo strato superficiale costituito da un orizzonte agrario lavorato, con spessore di circa 1 m, i terreni attraversati sono costituiti prevalentemente da un alternanza di limi ed argille, ed argille sabbiose fino a 6,5 m di profondità, per passare poi a livelli sabbiosi, ed infine ghiaia .

La successione riscontrata può essere schematizzata come segue:

Da 0.00 a – 1,00 m: orizzonte agrario pedogenizzato;

Da -1,00 m a – 6,50 m: limi ed argille;

Da - 6.50 m a - 14,50 m ghiaie e sabbie;

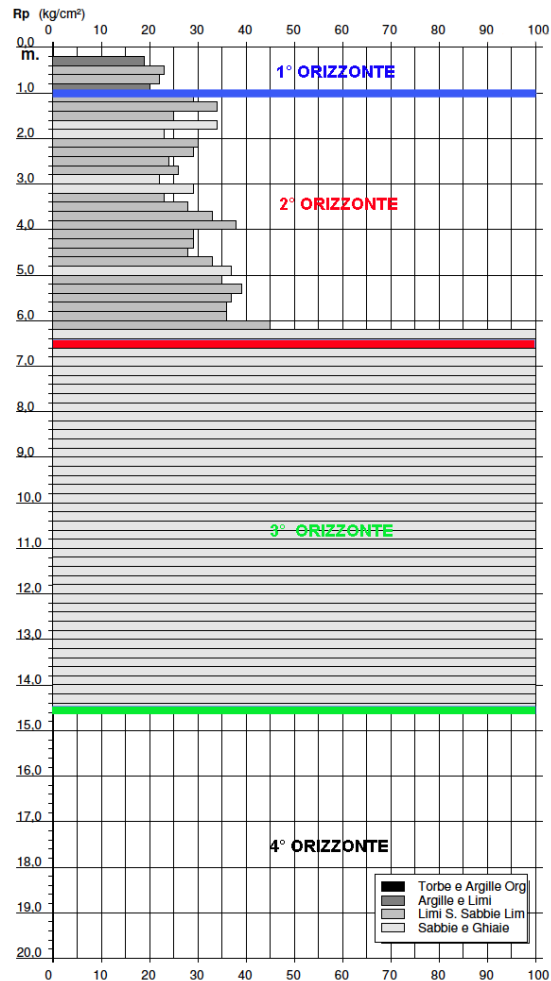
Da - 15,50 m a -30,00 m limi, limi sabbiosi ed argille;

La verticale CPT che ha raggiunto la maggior profondità, si è arrestata a - 9 metri in quanto le ghiaie incontrate non hanno permesso di essere oltrepassate.

Tali ghiaie, da un sondaggio vicino, dovrebbero avere uno spessore complessivo di circa 8 m, arrivando quindi ad una profondità di circa 14,5 m dove poi si ritrovano argille limose e sabbie limose continentali.

Durante l'esecuzione della prova non è emersa la presenza della falda freatica la cui posizione, nei periodi di maggior ravvenamento, dovrebbe assestarsi intorno ai 10 m di profondità.

## MODELLO GEOTECNICO GENERALE DEL COMPARTO



**1° orizzonte:** terreno alterato di vario genere, costituito da terreno vegetale e di riporto, con uno spessore rilevato di circa 1.0 m

**2° orizzonte:** si tratta di un orizzonte costituito alternanze di limi, limi sabbiosi ed argille con spessore di circa 5,50 m;

**3° orizzonte:** da -6,50 m a -14,50 costituito prevalentemente da ghiaie e sabbie con valori di resistenza alla punta superiori a 100  $\text{kg/cm}^2$

**4° orizzonte** oltre -14,50 con alternanze di limi sabbiosi e sabbie limose con valori di resistenza decisamente inferiore rispetto allo strato superiore.

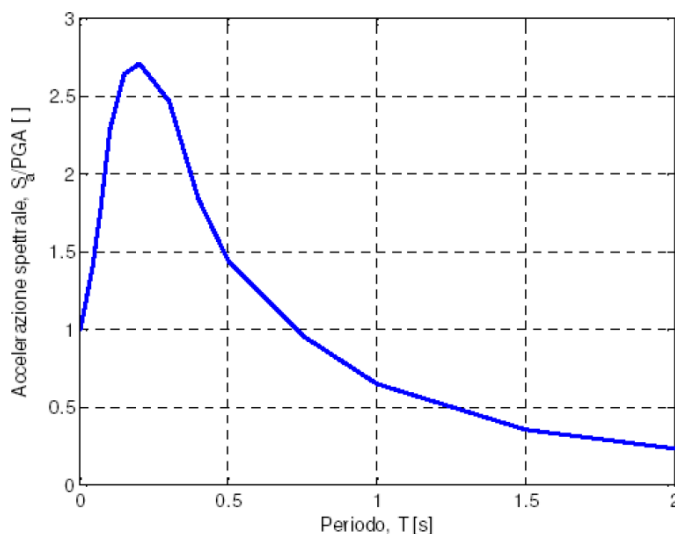
## CENNI SULLA SISMICITA' DEL TERRITORIO

La nuova classificazione sismica nazionale disposta dall'O.P.C.M. 3274/2003) e recepita dalla Regione Emilia-Romagna in via di prima applicazione con Delibera di Giunta Regionale n.1677/2005, ha confermato il territorio del Comune di Castel Bolognese fra i Comuni classificati in zona 2<sup>a</sup>.

Nel recente atto di indirizzo per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna ai fini della pianificazione territoriale ed urbanistica approvato con deliberazione dell'Assemblea Legislativa n.112 del 02/05/2007 sono contenuti i valori di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, cioè per  $T = 0$ , espressa in frazione dell'accelerazione di gravità  $g$  ( $a_{refg}$ ), per ogni comune della regione con tempo di ritorno  $TR = 475$  anni e smorzamento  $\zeta = 5\%$ .

Per la zona indagata del Comune di Castel Bolognese il valore è:

**Comune di Castelbolognese  $g(a_{refg}) = 0,206$**



*Spettro di risposta  
normalizzato ( $T_R =$   
475 anni,  
smorzamento = 5%)  
per l'Emilia-Romagna*

## **MICROZONAZIONE SISMICA**

Nel 2009, un gruppo di lavoro che aveva come responsabile il dr. Geol. Stefano Marabini e che era coordinato dal Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna (da qui in avanti SGSS), ha realizzato una serie di elaborati per lo studio di Microzonazione Sismica a scala dell'Unione, che all'epoca hanno rappresentato un riferimento per novità e qualità del prodotto (Marabini e Poggiali, 2009). Nell'ambito dell'attuale studio è stato però necessario procedere ad una completa rivisitazione di quanto esistente e alla realizzazione di diversi nuovi elaborati richiesti dagli attuali standard di archiviazione informatica (Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2013). Lo studio del 2009 aveva infatti previsto, oltre ad elaborati di inquadramento (carte geolitologica, geomorfologica, idrogeologica, ecc.) a scala dell'Unione (1:50.000) e quindi non adeguabili agli standard attuali, la sola "carta di microzonazione sismica" a scala comunale. Tale carta era stata però realizzata solo per il fattore di amplificazione in Intensità Spettrale di Housner (SI) per un intervallo di periodi compresi tra 0,1 e 0,5 secondi, ed è quindi solo parzialmente assimilabile alla cartografia di secondo livello richiesta dagli attuali standard.

Lo studio di Microzonazione sismica degli ambiti urbani effettuato nel 2009 in occasione del PSC (Piano Strutturale Comunale Associato) aveva individuato per il territorio del Comune di Castel Bolognese le seguenti microzone di amplificazione stratigrafica:

- Zona 6 - FA (0,1-0,5s) = 1,7 - 6 (cb) - Ambito di conoide e media pianura con successioni regolari di alluvioni mediamente compatte (AES8, AES8a), poggianti a profondità variabili tra 8/>15 m su ghiaie e substrato alluvionale "non rigido". Per la definizione di questa ampia zona, individuata nella zona centrale e orientale di Castel Bolognese, si è fatto riferimento cautelativo a valori di  $V_{s30} \leq 400$  m/s con substrato  $V_s > 800$  m/s e a profondità <100 m (Masw 35 e 36).
- Zona 7 - FA (0,1-0,5s) = 1,8 - 7 (cb) - Ambito di conoide e media pianura con successioni irregolari di alluvioni fini più o meno compatte (AES7, AES8, AES8a), poggianti su substrato alluvionale "non rigido". Per la definizione di questa ampia zona, individuata nella zona occidentale di Castel Bolognese, si è fatto riferimento



cautelativo a valori di  $V_{s30} \leq 350$  m/s con substrato  $V_s > 800$  m/s e a profondità  $< 100$  m (Masw 37).

**L'area oggetto del presente studio ricade nella zona 6, come da figura sottoriportata e comunque non è stata individuata tra le zone con terreni potenzialmente liquefacibili.**

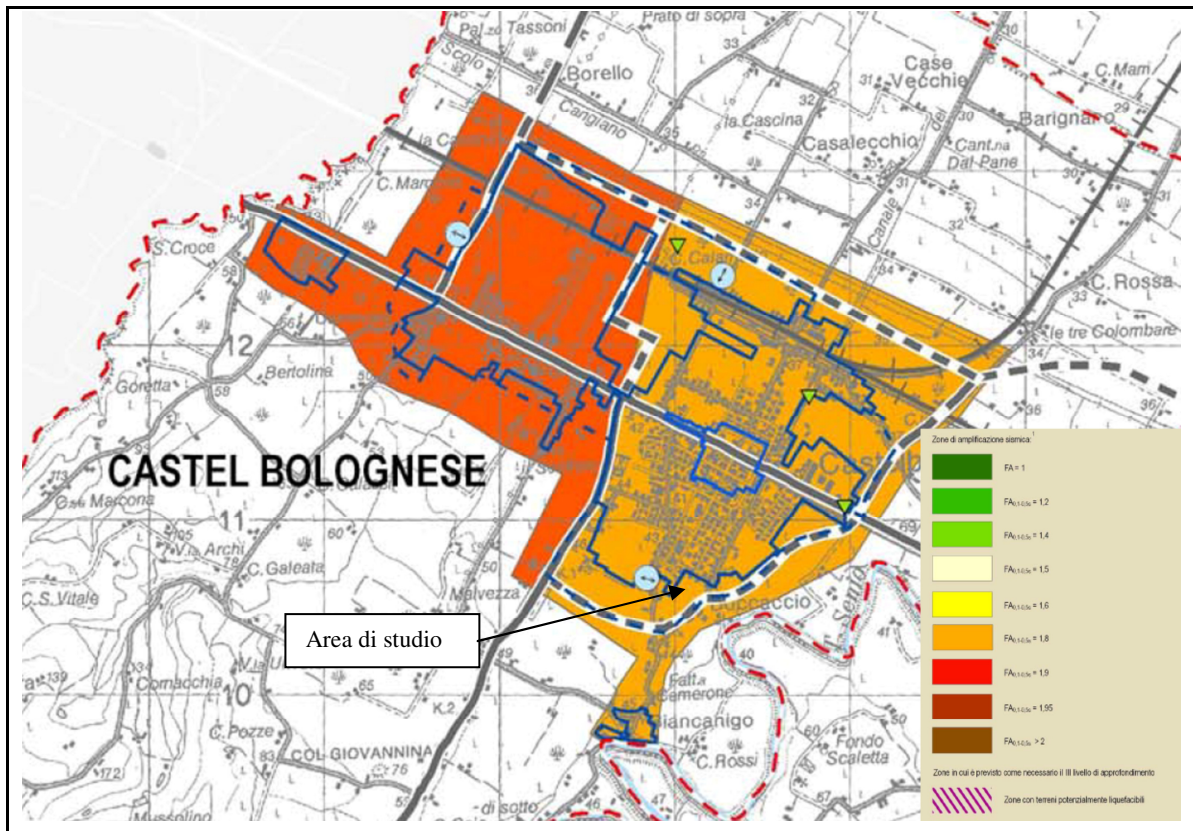


Fig. 17 – Carta dell'attuale microzonazione sismica di Castel Bolognese (2009)

E' stata avviata, nel 2015, una revisione generale dello studio di Microzonazione sismica del 2° livello, al fine di effettuare approfondimenti di 3° livello soltanto in due Comuni (Faenza e Solarolo) dell'Unione della Romagna Faentina di cui fa parte anche Castel Bolognese secondo le indicazioni contenute nella Deliberazione della Giunta Regionale dell'Emilia-Romagna 29 aprile 2019, n.630 “Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (Artt. 22 e 49, l.r. n. 24/2017)”.

Alla data attuale (luglio 2020) è stata prodotta e pubblicata soltanto una relazione illustrativa. Le preannunciate tavole riportate nella figura sottostante non risultano ancora disponibili e, di conseguenza, non sarà possibile fornire i dati ivi contenuti.



Elaborato cartografico	Comune di Brisighella	Comune di Casola Valsenio	Comune di Castel bolognese	Comune di Riolo Terme
Carta delle indagini	Tavola 1a	Tavola 1b	Tavola 1c	Tavola 1e
Carta geologico-tecnica	Tavola 2a	Tavola 2b	Tavola 2c	Tavola 2e
Carta delle frequenze naturali dei terreni	Tavola 3a	Tavola 3b	Tavola 3c	Tavola 3e
Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)	Tavola 4a	Tavola 4b	Tavola 4c	Tavola 4e
Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)	Tavola 5a	Tavola 5b	Tavola 5c	Tavola 5e
Carta di microzonazione sismica di livello 2 - FAPGA	Tavola 6a	Tavola 6b	Tavola 6c	Tavola 6e
Carta di microzonazione sismica di livello 2 - FH0.1-0.5	Tavola 7a	Tavola 7b	Tavola 7c	Tavola 7e
Carta di microzonazione sismica di livello 2 - FH0.5-1.0	Tavola 8a	Tavola 8b	Tavola 8c	Tavola 8e

## CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

L'attuale normativa di riferimento riguardo la caratterizzazione sismica del sito è riferibile al Decreto 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni" pubblicato sulla G.U. n.8 del 20 febbraio 2018, con il quale sono state riviste, in parte, le precedenti Norme Tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008 (NCT 08).

L'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire da una "**pericolosità sismica di base**", in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria **A**).

Le valutazioni della pericolosità sismica di base indicata generalmente come "*pericolosità sismica*" è stata determinata per ogni punto del territorio nazionale (desumibile dalla tabella allegato B alle NTC 08) ed è conseguente a studi condotti a livello nazionale.

L'azione sismica così individuata viene successivamente variata, nei modi chiaramente precisati dalle **NTC**, per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo effettivamente presente nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie. Tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale.

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/>.

Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle **NTC**, dalle accelerazioni  $a_g$  e dalle relative forme spettrali.

Le forme spettrali previste dalle **NTC** sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, 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.

L'allegato B del D.M. 14 gennaio 2008 fornisce per tutto il territorio nazionale (suddiviso in una maglia con 10751 punti di reticolo) e per 9 valori di periodo di ritorno  $T_R$  (30 anni, 50 anni, 72 anni, 101 anni, 140 anni, 201 anni, 475 anni, 975 anni, 2475 anni), i valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c$  relativi alla pericolosità sismica di base.

**Il baricentro dell'area interessata dal progetto, posta nel Comune di Castel Bolognese in via Biancanigo, è ubicato nella seguente posizione geografica ED50:**

<b>Latitudine (° decimali): 44.313790</b>	<b>Longitudine (° decimali): 11.797329</b>
---	--

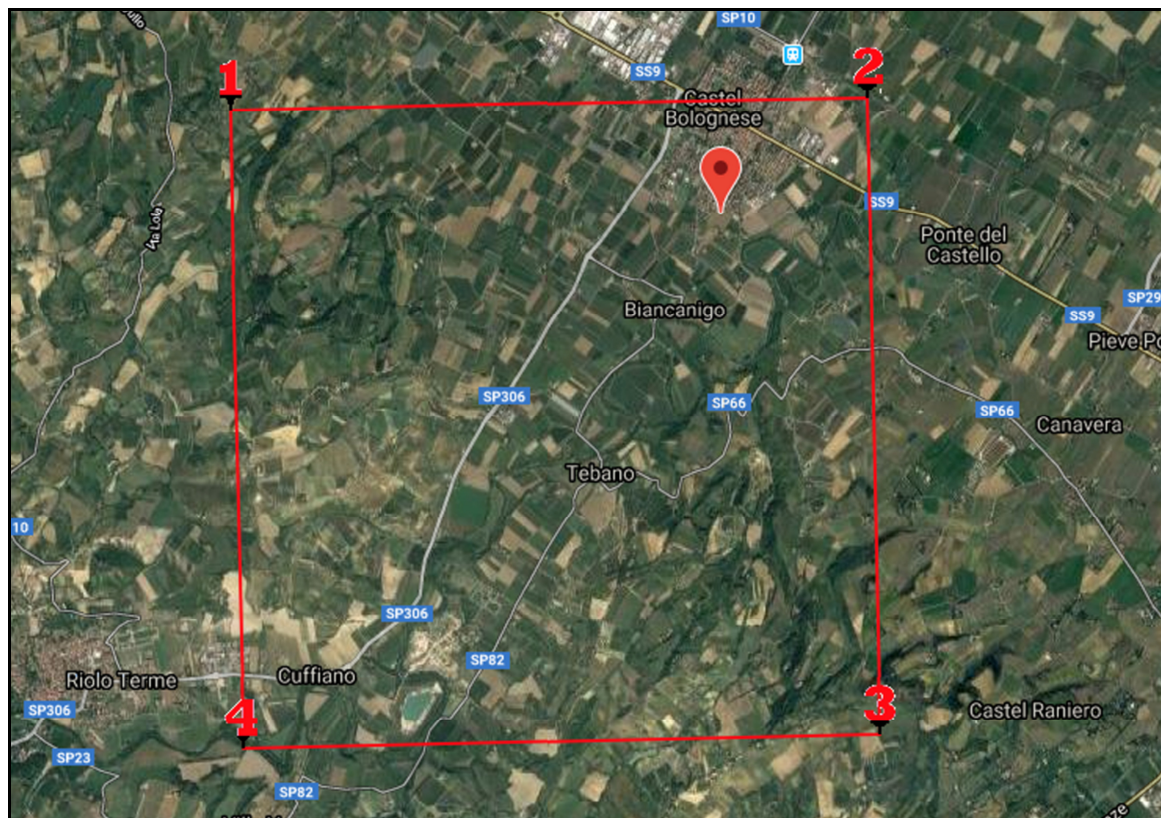


Fig. 18 – I 4 nodi del reticolo di riferimento per l'azione sismica intorno al punto di interesse

Esprimendo l'accelerazione orizzontale massima del terreno per il sito in esame, con un tempo di ritorno di 475 anni (SLV), in termini di sola accelerazione si ottiene un valore di  $g = 2,02 \text{ m/s}^2$  (trattasi del prodotto dell'accelerazione di gravità  $g$  pari a  $9,81 \text{ m/s}^2$  per il valore di  $a_g/g = 0,206$ ).

Successivamente, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, è necessario valutare **l'effetto della risposta sismica locale** mediante specifiche analisi.

Qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II qui sotto riportata, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, VS.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>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.</i>
B	<i>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.</i>
C	<i>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.</i>
D	<i>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.</i>
E	<i>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.</i>

Fig. 19 – Suoli per i quali è possibile un’analisi sismica semplificata (Tab. 3.2.II del Decreto 17 gennaio 2018)

I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità VS per l’approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo.

I valori di VS sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all’approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

Per depositi con profondità del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio VS,eq è definita dal parametro Vs30, ottenuto considerando le proprietà degli strati di terreno fino alla profondità di 30 m.

Per il caso in esame è stata eseguita una **indagine sismica puntuale** mediante la tecnica del rapporto spettrale H/V a stazione singola eseguita con tromografo digitale Tromino-Micromed® ed elaborazione dei dati mediante software GRILLA-Micromed per l’individuazione della Vs30 e delle frequenze di vibrazione dei terreni di fondazione, da cui è scaturito un suolo caratterizzato da un valore di Vs30 pari a:

$$Vs30 = 328\text{m/s} \pm 65\text{m/s}$$

che, alla luce della tipologia e posizione del substrato, risulta appartenente alla **categoria C**.

Tale risultato appare in linea con i dati che sarebbero scaturiti utilizzando correlazioni

empiriche riferite ai valori di Cu ottenuti dalla prova penetrometrica.

**Parametri sismici**determinati con **GeoStru PS**

Le coordinate geografiche espresse in questo file sono in ED50

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii

**Sito in esame.**

latitudine: 44,313790 [°]

longitudine: 11,797329 [°]

Classe d'uso: 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.

Vita nominale: 50 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

**Siti di riferimento.**

	ID	Latitudine [°]	Longitudine [°]	Distanza [m]
Sito 1	17624	44,321980	11,743580	4372,0
Sito 2	17625	44,322990	11,813410	1638,1
Sito 3	17847	44,273010	11,814790	4742,7
Sito 4	17846	44,271990	11,745050	6238,3

**Parametri sismici**

Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 50 anni

Coefficiente cu: 1

	Prob. superamento [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	30	0,068	2,398	0,261
Danno (SLD)	63	50	0,086	2,389	0,269
Salvaguardia della vita (SLV)	10	475	0,206	2,458	0,302
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	975	0,258	2,517	0,313

## VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

Per quanto riguarda il fenomeno della **liquefazione**, la microzonazione sismica del territorio comunale di Castel Bolognese effettuata nel 2009 non individua l'area in esame tra le zone con terreni potenzialmente liquefacibili.

L'indagine effettuata conferma le indicazioni di cui sopra in quanto:

- non è stata riscontrata la presenza di una falda fratica superficiale fino alla profondità massima raggiunta dalle indagini, pari a – 9 m;
- dal rilievo di pozzi vicini e dalle stratigrafie rintracciate, si ritiene possibile la presenza di una falda freatica superficiale ad una profondità intorno a - 10 m da piano campagna;
- non è stata riscontrata, per i primi 15 m, la presenza di sabbie potenzialmente liquefacibili.

Di conseguenza, la consistente profondità della falda e l'assenza di sedimenti sabbiosi con caratteristiche liquefacibili determinano, anche in presenza di eventi sismici importanti, l'assenza di fenomeni di liquefazione.

## CONCLUSIONI

Dal rilievo geologico della zona, dalle ricerche bibliografiche, dai risultati dei sondaggi penetrometrici eseguiti, dalla prova sismica tomografica nonché da quanto osservato sul posto, per il comparto urbanistico in esame si evince quanto segue:

- i primi metri del sottosuolo indagato, potenzialmente interessato dal piano di posa delle fondazioni, sono riferibili a depositi alluvionali di pianura limoso-argillosi;
- la stratigrafia riscontrata dalle n.5 prove verticali CPT eseguite, arretrate a – 9 m in quanto non è stato possibile oltrepassare il potente strato ghiaioso incontrato, appare così riassumibile:
  - **1° orizzonte:** terreno alterato di vario genere, costituito da terreno vegetale e di riporto, con uno spessore rilevato di circa 1.0 m;
  - **2° orizzonte:** si tratta di un orizzonte costituito alternanze di limi, limi sabbiosi ed argille con spessore di circa 5,50 m;
  - **3° orizzonte:** da -6,50 m a -14,50 costituito da ghiaie e ghiaie sabbiose con valori di resistenza alla punta superiori a 100 kg/cmq;



- l'orizzonte 2° che sarà interessato dal piano di posa delle fondazioni, ha evidenziato caratteristiche geotecniche mediocri;
- la classe sismica del sottosuolo, conseguente alla misura puntuale della Vs30 pari a 328m/s  $\pm$  65m/s, è quella riferibile alla categoria **C**;
- fino alla profondità massima raggiunta dalle prove pari a - 9 metri dal piano campagna, non è stata riscontrata la presenza di falda freatica;
- considerate le caratteristiche litologiche e geotecniche dei terreni attraversati, il potenziale di liquefazione appare pressochè nullo anche in presenza di rilevanti eventi sismici;
- nel Piano di Bacino del torrente Senio, integrato con il Piano di gestione Rischio Alluvioni, l'area ricade nelle zone classificate a medio rischio di alluvione e/o allagamento "P2 - Alluvioni poco frequenti".
- il Regolamento Urbanistico Edilizio (RUE 2016-2017) Intercomunale del Comune di Castel Bolognese ha stabilito che per manufatti edilizi di nuova costruzione in tali zone P2 occorra sostanzialmente:
  - **prevedere l'impostazione del piano terreno ad una quota superiore a quella del tirante idrico statico asseverato;**
  - divieto di realizzare interrati o seminterrati;
  - adozione di opportuni accorgimenti atti ad annullare o limitare gli effetti degli allagamenti sulle reti tecnologiche ed impiantistiche.

Tali condizioni costituiscono vincoli inderogabili per la progettazione e realizzazione del comparto in progetto.

Nel caso, durante le operazioni di scavo, si manifestassero situazioni sostanzialmente diverse da quanto contenuto nella presente relazione, occorre avvertire lo scrivente per un necessario supplemento d'indagine.



Faenza, luglio 2020



**PROVA PENETROMETRICA STATICA  
LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA****CPT 1**

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Saverio Tabanelli  
- lavoro : nuova lottizzazione  
- località : Via Biancanigo, Castel Bolognese (RA)  
- note :

- data : 27/05/2020  
- quota inizio : Piano Campagna  
- prof. falda : 0,00 m da quota inizio  
- pagina : 1

prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI	prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI
m	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	-	m	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	-
0,20	----	----	--	0,33	----	4,80	33,0	47,0	33,0	1,33	25,0
0,40	19,0	24,0	19,0	0,87	22,0	<b>5,00</b>	37,0	57,0	37,0	1,20	31,0
0,60	23,0	36,0	23,0	1,40	16,0	5,20	35,0	53,0	35,0	1,40	25,0
0,80	22,0	43,0	22,0	1,67	13,0	5,40	39,0	60,0	39,0	1,67	23,0
<b>1,00</b>	20,0	45,0	20,0	2,40	8,0	5,60	37,0	62,0	37,0	2,20	17,0
1,20	29,0	65,0	29,0	2,33	12,0	5,80	36,0	69,0	36,0	1,87	19,0
1,40	34,0	69,0	34,0	1,53	22,0	<b>6,00</b>	36,0	64,0	36,0	2,93	12,0
1,60	25,0	48,0	25,0	0,87	29,0	6,20	45,0	89,0	45,0	4,47	10,0
1,80	34,0	47,0	34,0	0,73	46,0	6,40	299,0	366,0	299,0	4,00	75,0
<b>2,00</b>	23,0	34,0	23,0	0,67	34,0	6,60	470,0	530,0	470,0	2,00	235,0
2,20	30,0	40,0	30,0	1,00	30,0	6,80	425,0	455,0	425,0	5,73	74,0
2,40	29,0	44,0	29,0	1,00	29,0	<b>7,00</b>	357,0	443,0	357,0	7,73	46,0
2,60	24,0	39,0	24,0	1,00	24,0	7,20	465,0	581,0	465,0	1,07	436,0
2,80	26,0	41,0	26,0	1,73	15,0	7,40	450,0	466,0	450,0	0,73	614,0
<b>3,00</b>	22,0	48,0	22,0	0,53	41,0	7,60	478,0	489,0	478,0	3,00	159,0
3,20	29,0	37,0	29,0	0,87	33,0	7,80	555,0	600,0	555,0	0,73	757,0
3,40	23,0	36,0	23,0	1,07	22,0	<b>8,00</b>	522,0	533,0	522,0	0,53	979,0
3,60	28,0	44,0	28,0	0,93	30,0	8,20	455,0	463,0	455,0	1,27	359,0
3,80	33,0	47,0	33,0	1,40	24,0	8,40	523,0	542,0	523,0	0,93	560,0
<b>4,00</b>	38,0	59,0	38,0	1,60	24,0	8,60	555,0	569,0	555,0	0,87	640,0
4,20	29,0	53,0	29,0	1,07	27,0	8,80	620,0	633,0	620,0	3,00	207,0
4,40	29,0	45,0	29,0	1,13	26,0	<b>9,00</b>	655,0	700,0	655,0	-----	-----
4,60	28,0	45,0	28,0	0,93	30,0						

- PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20 t - (con anello allargatore) -  
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s  
- punta meccanica tipo Begemann  $\phi = 35.7$  mm (area punta 10 cm<sup>2</sup> - apertura 60°)  
- manicotto laterale (superficie 150 cm<sup>2</sup>)

**PROVA PENETROMETRICA STATICA  
LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA****CPT 2**

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Saverio Tabanelli  
- lavoro : nuova lottizzazione  
- località : Via Biancanigo, Castel Bolognese (RA)  
- note :

- data : 27/05/2020  
- quota inizio : Piano Campagna  
- prof. falda : Falda non rilevata  
- pagina : 1

prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI	prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI
m	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	-	m	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	-
0,20	----	----	--	0,60	----	<b>4,00</b>	44,0	68,0	44,0	1,67	26,0
0,40	18,0	27,0	18,0	0,73	25,0	4,20	45,0	70,0	45,0	0,67	67,0
0,60	31,0	42,0	31,0	1,60	19,0	4,40	45,0	55,0	45,0	1,87	24,0
0,80	35,0	59,0	35,0	0,93	37,0	4,60	30,0	58,0	30,0	1,27	24,0
<b>1,00</b>	48,0	62,0	48,0	3,07	16,0	4,80	34,0	53,0	34,0	1,20	28,0
1,20	35,0	81,0	35,0	3,73	9,0	<b>5,00</b>	31,0	49,0	31,0	1,40	22,0
1,40	28,0	84,0	28,0	2,80	10,0	5,20	28,0	49,0	28,0	1,40	20,0
1,60	33,0	75,0	33,0	3,47	10,0	5,40	39,0	60,0	39,0	1,73	22,0
1,80	18,0	70,0	18,0	2,53	7,0	5,60	56,0	82,0	56,0	1,80	31,0
<b>2,00</b>	24,0	62,0	24,0	1,93	12,0	5,80	50,0	77,0	50,0	2,53	20,0
2,20	25,0	54,0	25,0	1,60	16,0	<b>6,00</b>	40,0	78,0	40,0	2,87	14,0
2,40	18,0	42,0	18,0	1,33	13,0	6,20	47,0	90,0	47,0	2,27	21,0
2,60	20,0	40,0	20,0	1,00	20,0	6,40	56,0	90,0	56,0	8,00	7,0
2,80	19,0	34,0	19,0	1,13	17,0	6,60	123,0	243,0	123,0	0,80	154,0
<b>3,00</b>	19,0	36,0	19,0	1,27	15,0	6,80	328,0	340,0	328,0	9,00	36,0
3,20	24,0	43,0	24,0	1,47	16,0	<b>7,00</b>	464,0	599,0	464,0	6,33	73,0
3,40	30,0	52,0	30,0	1,73	17,0	7,20	655,0	750,0	655,0	0,80	819,0
3,60	33,0	59,0	33,0	1,53	22,0	7,40	777,0	789,0	777,0	-----	----
3,80	38,0	61,0	38,0	1,60	24,0						

- PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20 t - (con anello allargatore) -  
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s  
- punta meccanica tipo Begemann  $\phi = 35.7$  mm (area punta 10 cm<sup>2</sup> - apertura 60°)  
- manicotto laterale (superficie 150 cm<sup>2</sup>)

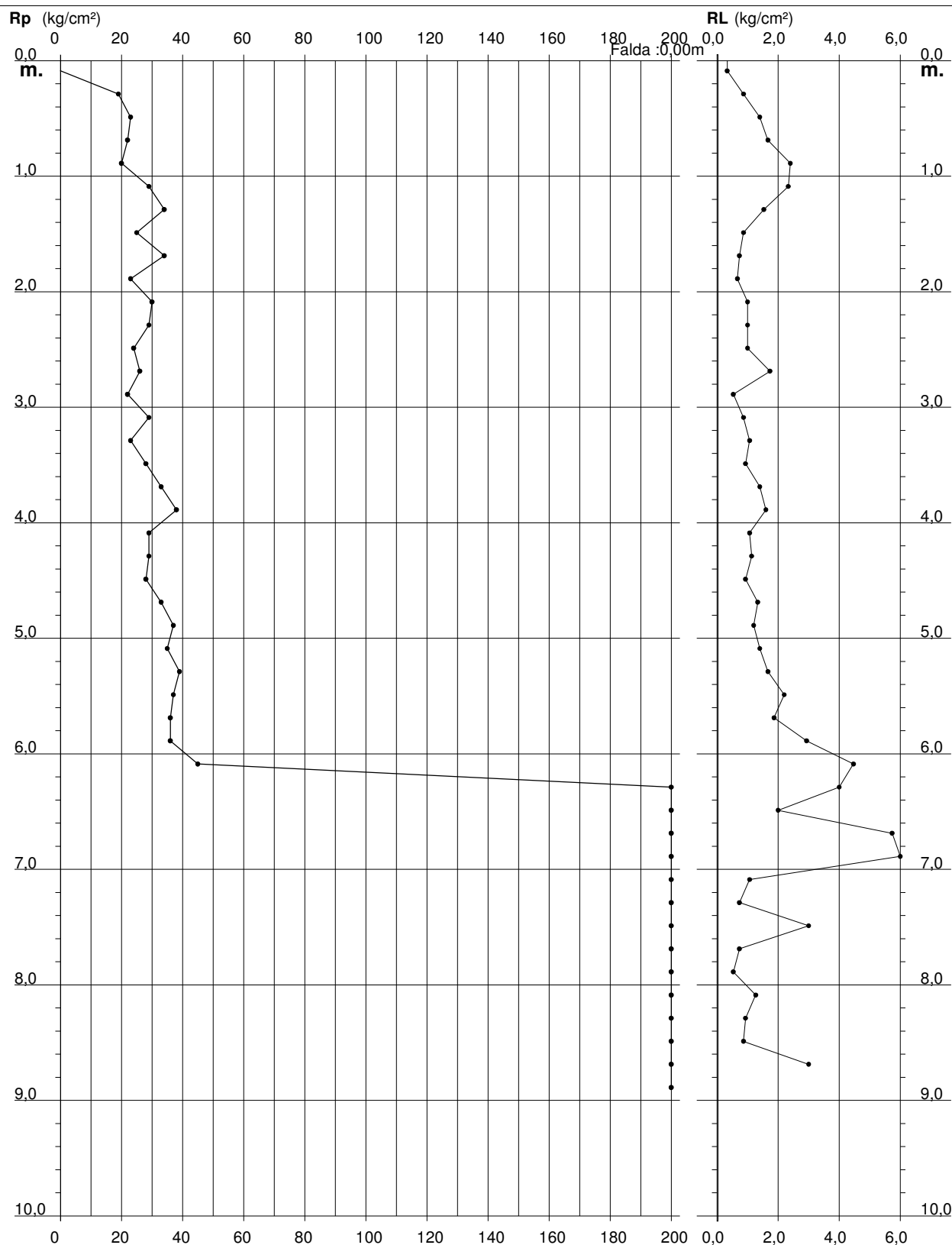
## PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

**CPT 1**

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Saverio Tabanelli  
- lavoro : nuova lottizzazione  
- località : Via Biancanigo, Castel Bolognese (RA)

- data : 27/05/2020  
- quota inizio : Piano Campagna  
- prof. falda : 0,00 m da quota inizio  
- scala vert.: 1 : 50



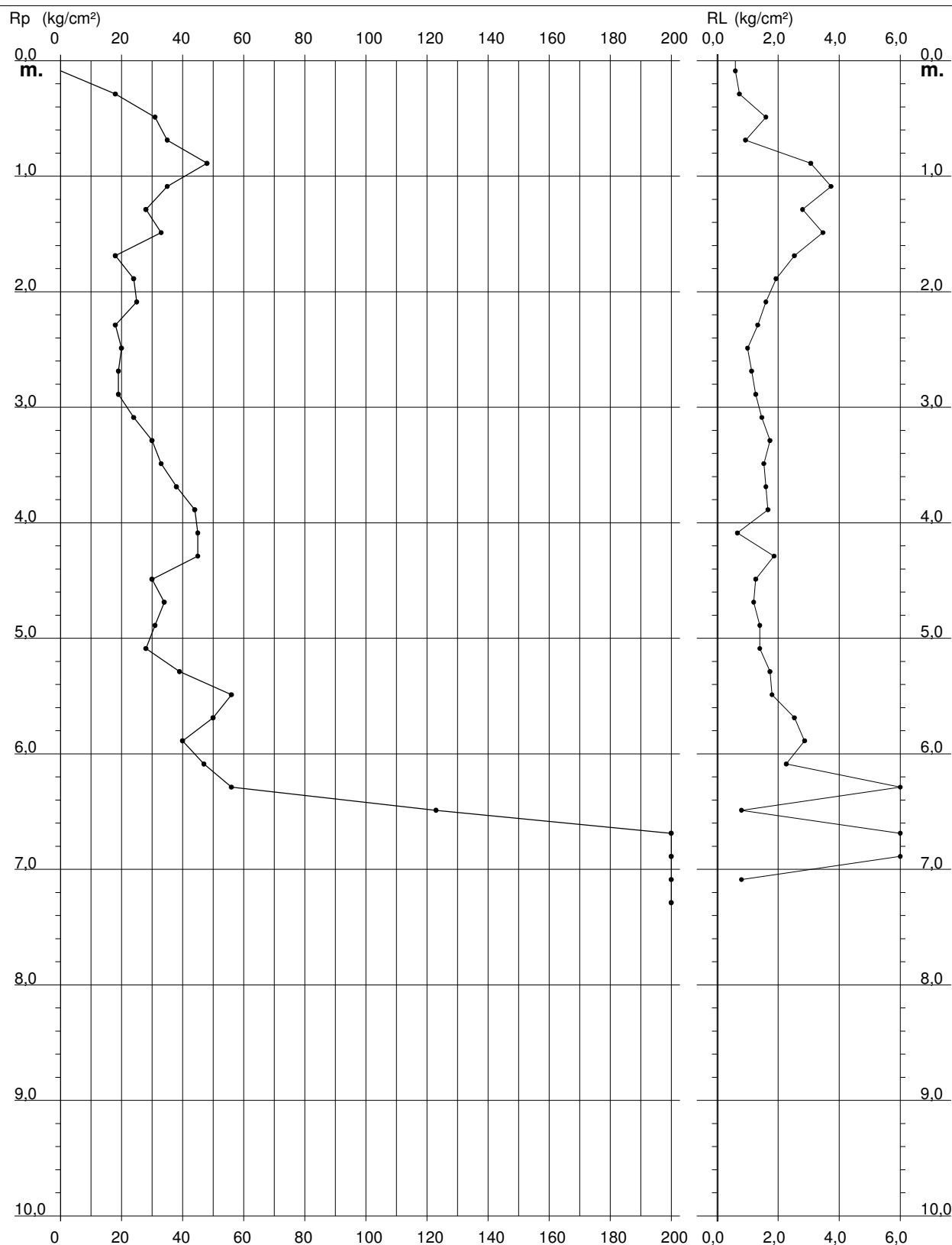
## PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

**CPT 2**

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Saverio Tabanelli  
- lavoro : nuova lottizzazione  
- località : Via Biancanigo, Castel Bolognese (RA)

- data : 27/05/2020  
- quota inizio : Piano Campagna  
- prof. falda : Falda non rilevata  
- scala vert.: 1 : 50



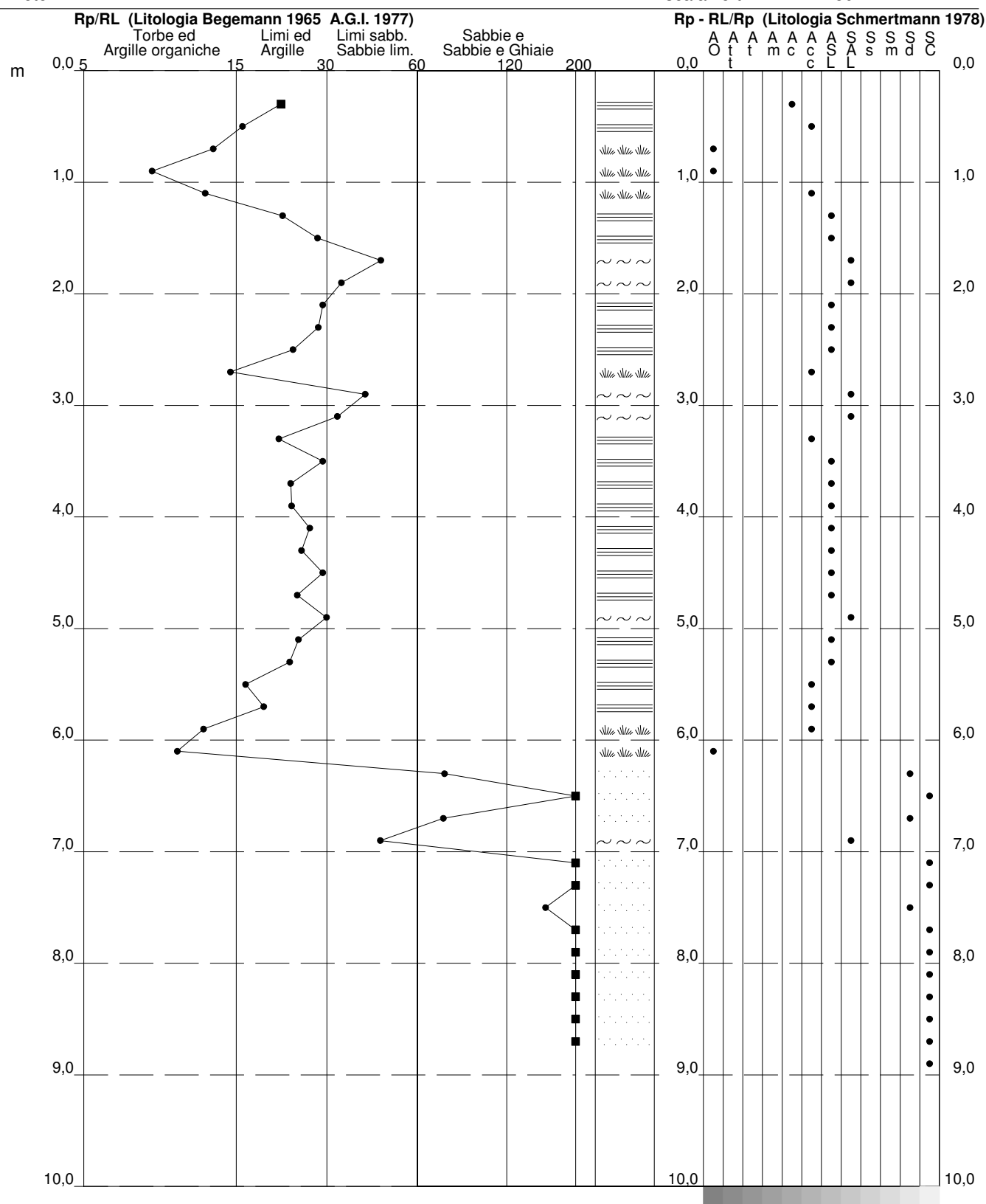
## PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

## CPT 1

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Saverio Tabanelli
- lavoro : nuova lottizzazione
- località : Via Biancanigo, Castel Bolognese (RA)
- note :

- data : 27/05/2020  
- quota inizio : Piano Campagna  
- prof. falda : 0,00 m da quota inizio  
- scala vert.: 1 : 50





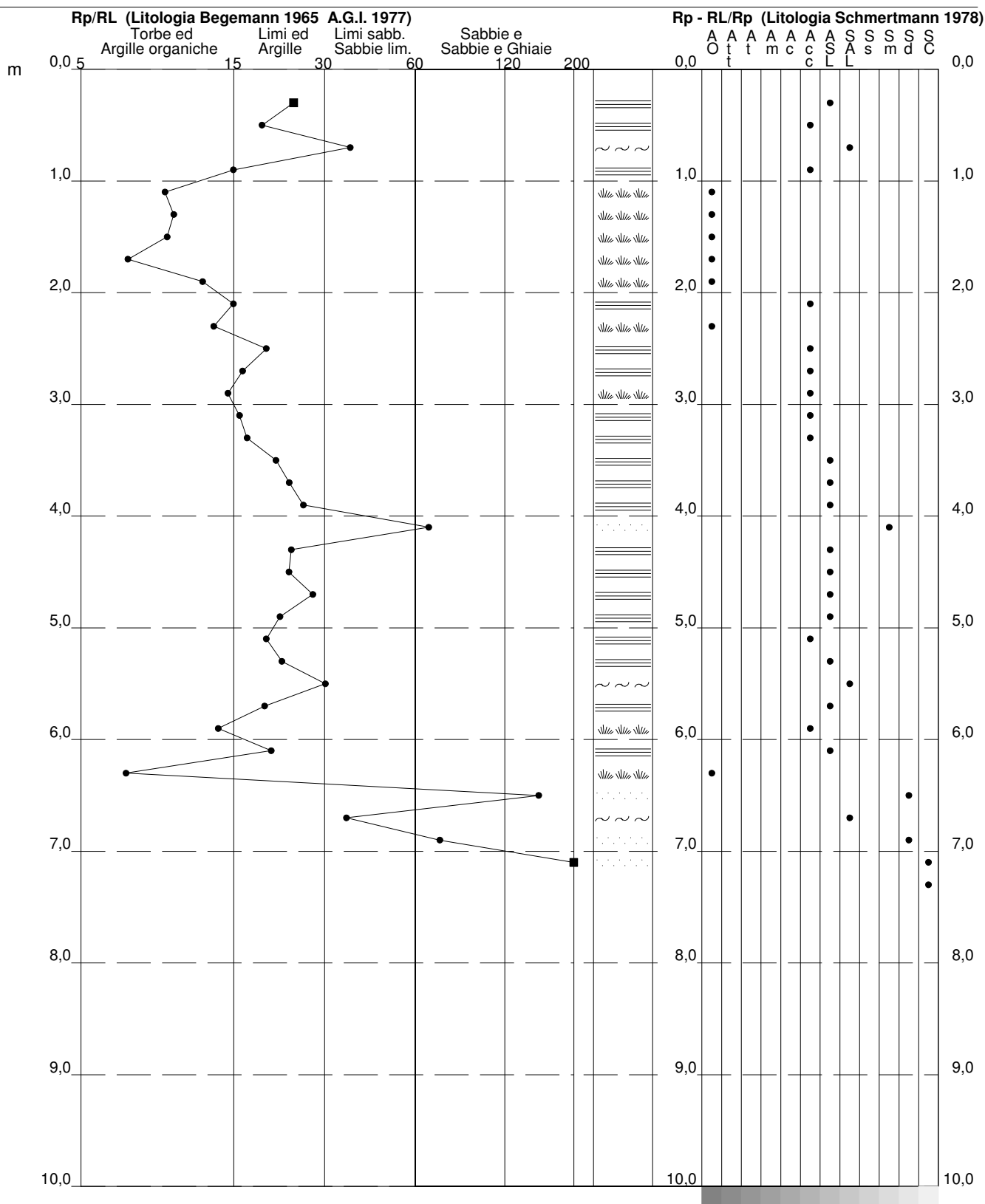
# PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

**CPT 2**

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Saverio Tabanelli  
- lavoro : nuova lottizzazione  
- località : Via Biancanigo, Castel Bolognese (RA)  
- note :

- data : 27/05/2020  
- quota inizio : Piano Campagna  
- prof. falda : Falda non rilevata  
- scala vert.: 1 : 50



## PROVA PENETROMETRICA STATICA TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI

**CPT 1**

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Saverio Tabanelli  
- lavoro : nuova lottizzazione  
- località : Via Biancanigo, Castel Bolognese (RA)  
- note :

- data : 27/05/2020  
- quota inizio : Piano Campagna  
- prof. falda : 0,00 m da quota inizio  
- pagina : 1

NATURA COESIVA											NATURA GRANULARE										
Prof. m	Rp kg/cm²	Rp/Rl (-)	Natura Litol.	Y' t/m³	p'vo kg/cm²	Cu kg/cm²	OCR (-)	Eu50 kg/cm²	Eu25 kg/cm²	Mo kg/cm²	Dr %	ø1s (°)	ø2s (°)	ø3s (°)	ø4s (°)	ødm (°)	ømy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm²	E'25 kg/cm²	Mo kg/cm²
0,20	--	--	???	0,85	0,02	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,40	19	22	2///	0,99	0,04	0,78	99,9	132	198	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,60	23	16	4///	0,94	0,06	0,87	99,9	148	221	69	92	41	42	44	45	43	28	0,230	38	58	69
0,80	22	13	4///	0,93	0,07	0,85	99,9	144	216	66	83	40	41	43	45	42	28	0,201	37	55	66
1,00	20	8	4///	0,93	0,09	0,80	92,9	136	204	60	75	38	40	42	44	40	27	0,173	33	50	60
1,20	29	12	4///	0,96	0,11	0,98	95,0	167	251	87	83	40	41	43	45	41	29	0,199	48	73	87
1,40	34	22	4///	0,98	0,13	1,13	92,8	193	289	102	84	40	41	43	45	41	29	0,204	57	85	102
1,60	25	29	4///	0,94	0,15	0,91	59,6	155	232	75	71	38	40	42	44	39	28	0,161	42	63	75
1,80	34	46	3:::	0,89	0,17	--	--	--	--	--	78	39	41	42	44	40	29	0,185	57	85	102
2,00	23	34	3:::	0,86	0,19	--	--	--	--	--	63	37	39	41	43	38	28	0,138	38	58	69
2,20	30	30	4///	0,96	0,20	1,00	45,7	170	255	90	69	38	40	42	44	39	29	0,157	50	75	90
2,40	29	29	4///	0,96	0,22	0,98	40,0	167	251	87	66	37	39	41	43	38	29	0,147	48	73	87
2,60	24	24	4///	0,94	0,24	0,89	31,9	151	227	72	58	36	38	40	43	37	28	0,124	40	60	72
2,80	26	15	4///	0,95	0,26	0,93	30,6	158	237	78	58	36	38	40	43	37	28	0,126	43	65	78
3,00	22	41	3:::	0,86	0,28	--	--	--	--	--	51	35	37	40	42	36	28	0,107	37	55	66
3,20	29	33	3:::	0,87	0,30	--	--	--	--	--	59	36	38	40	43	37	29	0,128	48	73	87
3,40	23	22	4///	0,94	0,31	0,87	22,3	148	221	69	50	35	37	40	42	35	28	0,103	38	58	69
3,60	28	30	4///	0,96	0,33	0,97	23,7	164	246	84	55	36	38	40	42	36	28	0,117	47	70	84
3,80	33	24	4///	0,97	0,35	1,10	26,0	187	281	99	59	36	38	40	43	37	29	0,128	55	83	99
4,00	38	24	4///	0,99	0,37	1,27	28,9	215	323	114	63	37	39	41	43	37	30	0,138	63	95	114
4,20	29	27	4///	0,96	0,39	0,98	19,8	167	251	87	52	35	38	40	42	35	29	0,110	48	73	87
4,40	29	26	4///	0,96	0,41	0,98	18,7	167	251	87	51	35	37	40	42	35	29	0,107	48	73	87
4,60	28	30	4///	0,96	0,43	0,97	17,2	164	246	84	49	35	37	39	42	35	28	0,101	47	70	84
4,80	33	25	4///	0,97	0,45	1,10	19,2	187	281	99	53	35	38	40	42	35	29	0,113	55	83	99
5,00	37	31	3:::	0,89	0,47	--	--	--	--	--	56	36	38	40	43	36	30	0,121	62	93	111
5,20	35	25	4///	0,98	0,49	1,17	18,7	198	298	105	53	35	38	40	42	35	29	0,113	58	88	105
5,40	39	23	4///	1,00	0,51	1,30	20,4	221	332	117	56	36	38	40	42	36	30	0,120	65	98	117
5,60	37	17	4///	0,99	0,53	1,23	18,2	210	315	111	53	35	38	40	42	35	30	0,113	62	93	111
5,80	36	19	4///	0,99	0,55	1,20	16,8	204	306	108	52	35	37	40	42	35	30	0,108	60	90	108
6,00	36	12	4///	0,99	0,57	1,20	16,0	204	306	108	51	35	37	40	42	34	30	0,106	60	90	108
6,20	45	10	4///	1,00	0,59	1,50	20,3	255	383	135	58	36	38	40	43	36	31	0,124	75	113	135
6,40	299	75	3:::	1,15	0,61	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	44	40	0,258	498	748	897
6,60	470	235	3:::	1,15	0,63	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	40	0,258	783	1175	1410
6,80	425	74	3:::	1,15	0,66	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	40	0,258	708	1063	1275
7,00	357	46	3:::	1,15	0,68	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	44	40	0,258	595	893	1071
7,20	465	436	3:::	1,15	0,70	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	40	0,258	775	1163	1395
7,40	450	614	3:::	1,15	0,72	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	40	0,258	750	1125	1350
7,60	478	159	3:::	1,15	0,75	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	40	0,258	797	1195	1434
7,80	555	757	3:::	1,15	0,77	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	40	0,258	925	1388	1665
8,00	522	979	3:::	1,15	0,79	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	40	0,258	870	1305	1566
8,20	455	359	3:::	1,15	0,82	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	44	40	0,258	758	1138	1365
8,40	523	560	3:::	1,15	0,84	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	40	0,258	872	1308	1569
8,60	555	640	3:::	1,15	0,86	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	40	0,258	925	1388	1665
8,80	620	207	3:::	1,15	0,89	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	40	0,258	1033	1550	1860
9,00	655	--	3:::	1,15	0,91	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	40	0,258	1092	1638	1965

**PROVA PENETROMETRICA STATICA  
TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI****CPT 2**

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Saverio Tabanelli  
- lavoro : nuova lottizzazione  
- località : Via Biancanigo, Castel Bolognese (RA)  
- note :

- data : 27/05/2020  
- quota inizio : Piano Campagna  
- prof. falda : Falda non rilevata  
- pagina : 1

NATURA COESIVA												NATURA GRANULARE											
Prof. m	Rp kg/cm²	Rp/Rl (-)	Natura Litol.	Y' t/m³	p'vo kg/cm²	Cu kg/cm²	OCR (-)	Eu50 kg/cm²	Eu25 kg/cm²	Mo kg/cm²	Dr %	ø1s (°)	ø2s (°)	ø3s (°)	ø4s (°)	ødm (°)	ømy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm²	E'25 kg/cm²	Mo kg/cm²		
0,20	--	--	???	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
0,40	18	25	2:///	1,85	0,07	0,75	99,9	128	191	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
0,60	31	19	4:/:	1,85	0,11	1,03	99,9	176	264	93	85	40	41	43	45	41	29	0,208	52	78	93		
0,80	35	37	3:::	1,85	0,15	--	--	--	--	--	83	40	41	43	45	41	29	0,198	58	88	105		
1,00	48	16	4:/:	1,85	0,19	1,60	93,1	272	408	144	88	40	42	43	45	41	31	0,216	80	120	144		
1,20	35	9	4:/:	1,85	0,22	1,17	50,0	198	298	105	73	38	40	42	44	39	29	0,167	58	88	105		
1,40	28	10	4:/:	1,85	0,26	0,97	32,5	164	246	84	61	37	39	41	43	37	28	0,134	47	70	84		
1,60	33	10	4:/:	1,85	0,30	1,10	32,4	187	281	99	64	37	39	41	43	38	29	0,140	55	83	99		
1,80	18	7	2:///	1,85	0,33	0,75	17,3	128	191	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
2,00	24	12	4:/:	1,85	0,37	0,89	18,8	151	227	72	47	35	37	39	42	35	28	0,097	40	60	72		
2,20	25	16	4:/:	1,85	0,41	0,91	17,1	155	232	75	46	34	37	39	42	34	28	0,095	42	63	75		
2,40	18	13	2:///	1,85	0,44	0,75	12,1	128	191	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
2,60	20	20	4:/:	1,85	0,48	0,80	11,9	136	204	60	35	33	35	38	41	32	27	0,067	33	50	60		
2,80	19	17	2:///	1,85	0,52	0,78	10,4	132	198	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
3,00	19	15	2:///	1,85	0,55	0,78	9,5	133	200	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
3,20	24	16	4:/:	1,85	0,59	0,89	10,4	151	227	72	36	33	36	38	41	32	28	0,070	40	60	72		
3,40	30	17	4:/:	1,85	0,63	1,00	11,2	170	255	90	42	34	36	39	41	33	29	0,084	50	75	90		
3,60	33	22	4:/:	1,85	0,67	1,10	11,8	187	281	99	44	34	37	39	42	33	29	0,089	55	83	99		
3,80	38	24	4:/:	1,85	0,70	1,27	13,1	215	323	114	47	35	37	39	42	34	30	0,097	63	95	114		
4,00	44	26	4:/:	1,85	0,74	1,47	14,8	249	374	132	51	35	37	40	42	34	31	0,107	73	110	132		
4,20	45	67	3:::	1,85	0,78	--	--	--	--	--	51	35	37	40	42	34	31	0,106	75	113	135		
4,40	45	24	4:/:	1,85	0,81	1,50	13,5	255	383	135	50	35	37	40	42	34	31	0,103	75	113	135		
4,60	30	24	4:/:	1,85	0,85	1,00	7,7	207	310	90	35	33	35	38	41	31	29	0,068	50	75	90		
4,80	34	28	4:/:	1,85	0,89	1,13	8,5	211	316	102	38	33	36	38	41	32	29	0,075	57	85	102		
5,00	31	22	4:/:	1,85	0,93	1,03	7,2	230	344	93	34	33	35	38	41	31	29	0,066	52	78	93		
5,20	28	20	4:/:	1,85	0,96	0,97	6,3	251	376	84	29	32	35	37	40	30	28	0,056	47	70	84		
5,40	39	22	4:/:	1,85	1,00	1,30	8,7	237	355	117	40	34	36	39	41	32	30	0,079	65	98	117		
5,60	56	31	3:::	1,85	1,04	--	--	--	--	--	51	35	37	40	42	34	31	0,107	93	140	168		
5,80	50	20	4:/:	1,85	1,07	1,67	10,9	283	425	150	46	35	37	39	42	33	31	0,095	83	125	150		
6,00	40	14	4:/:	1,85	1,11	1,33	7,9	267	401	120	38	33	36	38	41	31	30	0,075	67	100	120		
6,20	47	21	4:/:	1,85	1,15	1,57	9,3	273	410	141	43	34	36	39	41	32	31	0,086	78	118	141		
6,40	56	7	4:/:	1,85	1,18	1,87	11,1	317	476	168	48	35	37	39	42	33	31	0,099	93	140	168		
6,60	123	154	3:::	1,85	1,22	--	--	--	--	--	74	38	40	42	44	37	35	0,172	205	308	369		
6,80	328	36	3:::	1,85	1,26	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	41	40	0,258	547	820	984		
7,00	464	73	3:::	1,85	1,30	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	43	40	0,258	773	1160	1392		
7,20	655	819	3:::	1,85	1,33	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	44	40	0,258	1092	1638	1965		
7,40	777	--	3:::	1,85	1,37	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	44	40	0,258	1295	1943	2331		



**INDAGINE SISMICA mediante la tecnica del rapporto spettrale H/V a  
stazione singola eseguita con tromografo digitale TROMINO-Micromed ed  
elaborazione dei dati mediante software GRILLA-Micromed**

**CANTIERE: via Biancanigo – Castel Bolognese (RA)**

**LAVORO: Nuova lottizzazione**

**COMMITTENTE: dr.geol. Saverio Tabanelli**

*Faenza, Giugno 2020*

*Dr. Geol. Bruno Gardegni*





## INDICE

Ubicazione indagine	3
Indagine geofisica e interpretazione	4
Parametri sismici e spettri di risposta	10
Spettri di risposta	12
Coefficienti di amplificazione sismica	15
Conclusioni	17

**Dr. Geol. Bruno Gardegni**

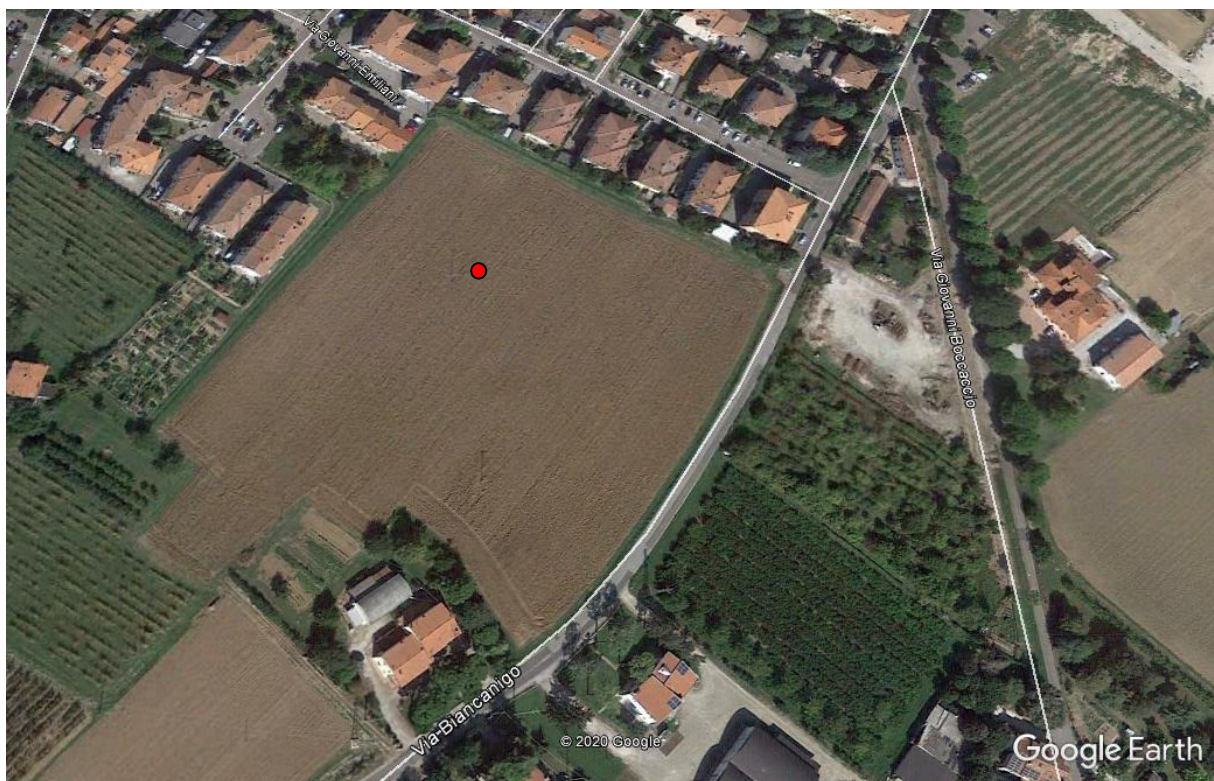


## UBICAZIONE INDAGINE

Scopo della presente relazione è la caratterizzazione sismica di un'area ubicata nel Comune di Castel Bolognese in via Biancanigo dove è prevista la realizzazione di una nuova lottizzazione, pertanto è stata redatta una relazione geologica a cui verrà allegata la presente relazione sismica, inoltre sono state eseguite 5 prove penetrometriche statiche spinte fino alla profondità di circa 6-7 m in corrispondenza del substrato sabbioso-ghiaioso, tali prove sono servite come supporto per l'interpretazione geofisica.

L'indagine è stata eseguita utilizzando un tromografo digitale Tromino-Micromed, lo strumento è stato posizionato tra le prove penetrometriche eseguite.

L'area è inquadrata nella carta topografica 1:25.000 della Regione Emilia-Romagna all'interno del quadrante 239 NO Imola, nel C.T.R. 1:10.000 nella sezione 239060 Castel Bolognese e nel C.T.R. 1:5.000 risulta inquadrato nell'elemento 239062 Castel Bolognese.

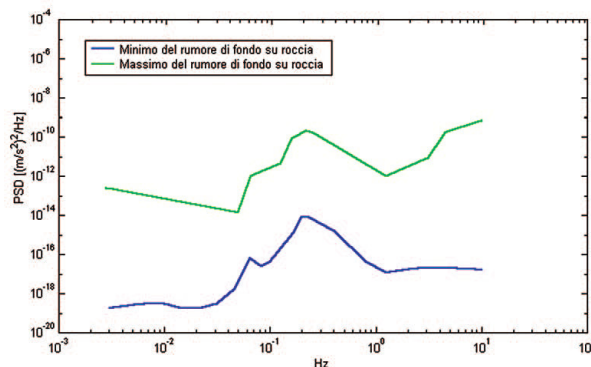


● Ubicazione tromino - ● Prove CPT

## INDAGINE GEOFISICA e INTERPRETAZIONE

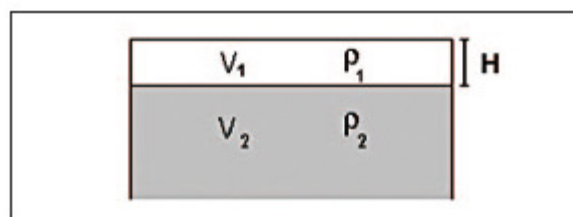
Il rumore sismico ambientale o microtremore è generato da fenomeni atmosferici e attività antropica e riguarda oscillazioni molto piccole ( $10\text{-}15 \text{ m/s}^2$ ) in termini di accelerazione.

Nelle zone dove non è presente una sorgente di rumore locale o il terreno è roccioso o pianeggiante lo spettro in frequenza del rumore di fondo è rappresentato nel grafico sotto ed è costituito da un minimo, la curva blu, e da un massimo, la curva verde (secondo USGS).



Ai fini della caratterizzazione sismica del sottosuolo, l'indagine geofisica con apparecchio tromografico digitale **TROMINO**, avvalendosi del metodo di Nakamura sul rapporto spettrale H/V fornisce una valutazione diretta della  $V_{s30}$  in base all'individuazione delle discontinuità sismiche e della profondità della formazione rocciosa.

Le basi teoriche dell'H/V sono schematizzabili nel modello a seguire attraverso due strati, uno strato-tipo e lo strato bedrock o assimilabile al bedrock, gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità ( $\rho_1$  e  $\rho_2$ ) e velocità delle onde ( $V_1$  e  $V_2$ ).



La frequenza fondamentale di risonanza ( $f_r$ ) dello strato 1 relativa alle onde S è pari a:

$$f_r = V_{s1} / 4H$$

dove  $f$  è la frequenza e  $H$  lo spessore dello strato sismico.

Inoltre, questa tecnica dei rapporti spettrali o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) con apparecchio tromografico **TROMINO** permette anche di misurare la frequenza caratteristica di risonanza del sito, parametro che è utilizzabile in termini di risposta sismica locale (RSL) per progettare edifici non con la stessa frequenza di risonanza del terreno, in modo da evitare l'effetto di doppia risonanza pericoloso per la stabilità degli edifici.

La  $V_{S30}$  viene calcolata o meglio stimata mediante un codice di calcolo apposito attraverso il software **GRILLA**, è necessario conoscere la profondità di un riflettore stratigrafico (prova penetrometrica o sondaggio) e riconoscibile dalla curva H/V.

La tecnica HVSR si basa in parte sulla sismica tradizionale dei microtremori, cioè di oscillazioni molto piccole rispetto al sisma, il metodo di acquisizione dei dati è quindi detto passivo in quanto il rumore non è generato come nelle esplosioni della sismica attiva.

I dati sono stati acquisiti con un frequenza base di 128 Hz e convertiti in file ASCII mediante il software Grilla, il rumore sismico viene registrato nelle sue tre componenti per un intervallo di tempo di 20 o 30 minuti, suddiviso in intervalli della durata di 8 sec.

Successivamente si è operato alla costruzione di un modello teorico HVSR e, tramite un algoritmo, all'adattamento della curva sperimentale e quella teorica.

Le acquisizioni rispettano le indicazioni del processo SESAME 2006.

Lo strumento viene orientato a N oltre al posizionamento orizzontale ottenuto tramite la messa in bolla dello stesso, inoltre la base di appoggio dello strumento, ossia il terreno, deve essere anch'essa pianeggiante e occorre quindi rimuovere lo strato appena superficiale erboso.

Dalla registrazione del rumore sismico si ricavano:

1 - Le curve HVSR ottenute con il software Grilla secondo la procedura base (Castellaro et al. 2005) con i parametri:

- a – larghezza delle finestre d'analisi 20 s
  - b – lisciamiento triangolare con ampiezza 10%
  - c – rimozione automatica delle finestre di disturbo principale
  - d – rimozione manuale delle finestre di disturbo ancora presenti
- 2 – le curve dello spettro di velocità nelle 3 componenti del moto.

Di seguito si riportano i dati relativi all'acquisizione sismica:



Inizio registrazione: 24/06/20 09:00:51

Fine registrazione: 24/06/20 09:20:51

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00".

Analizzato 97% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

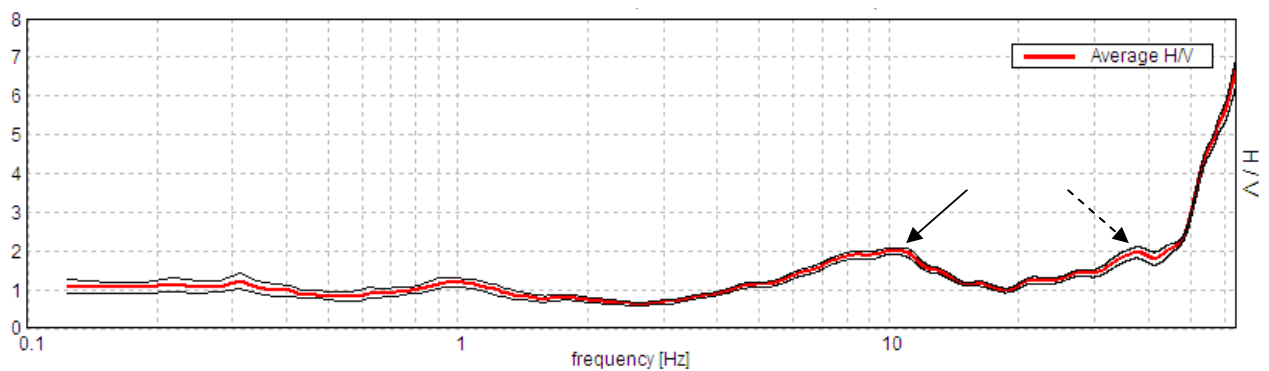
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamiento: Triangular window

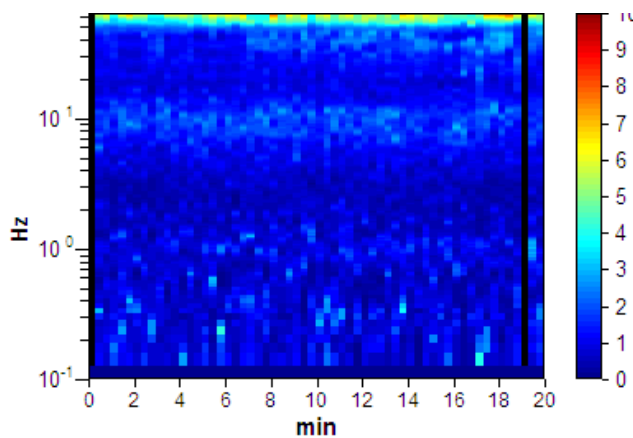
Lisciamiento: 10%

Nel grafico che segue è rappresentata la curva sperimentale H/V frutto dell'elaborazione mediante algoritmo dei microtremori registrato dall'apparecchiatura, in ascissa la frequenza di risonanza del terreno, in ordinata il rapporto H/V:

#### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

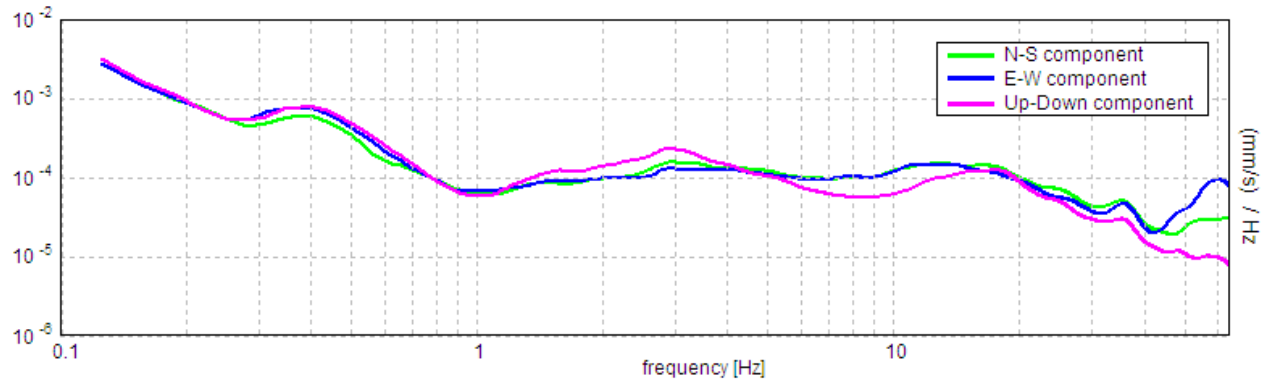


#### H/V TIME HISTORY

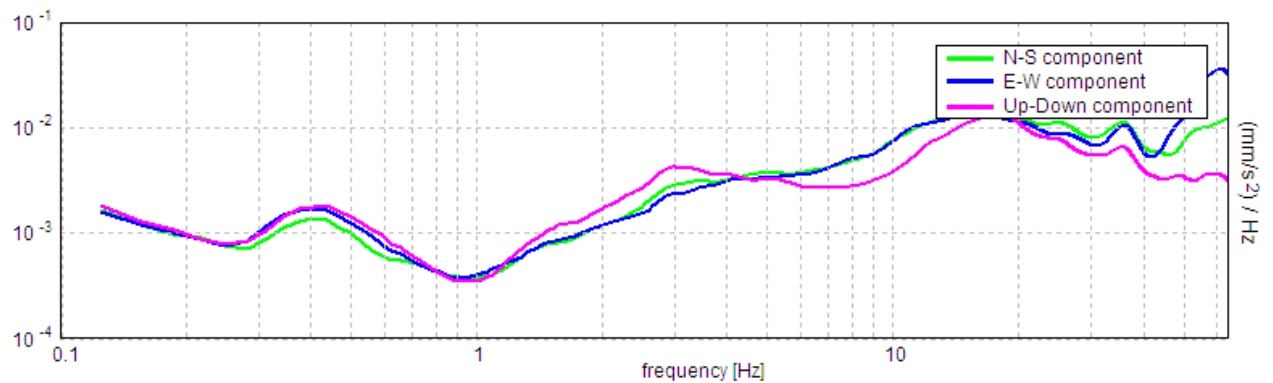


Nei grafici successivi l'andamento della traccia nelle 3 componenti N-S, E-W e verticale:

#### SINGLE COMPONENT SPECTRA (VELOCITA')

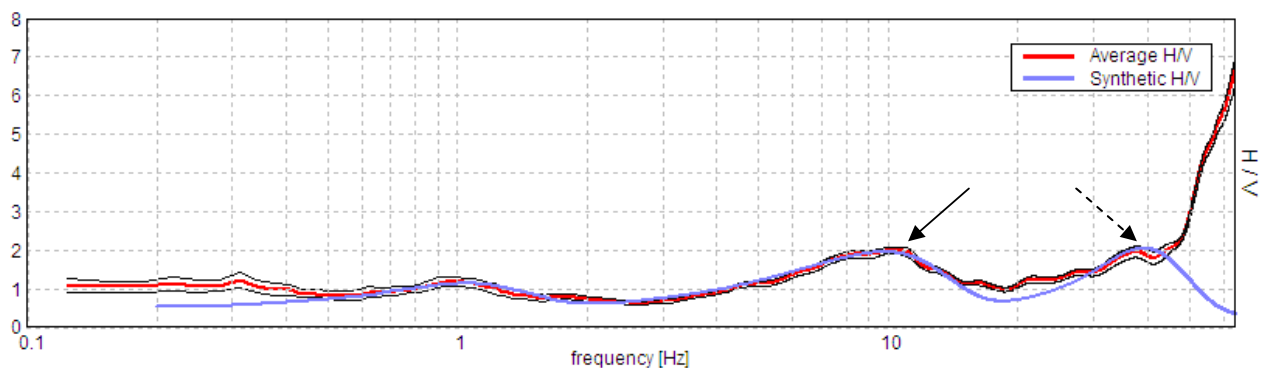


#### SINGLE COMPONENT SPECTRA (ACCELERAZIONE)



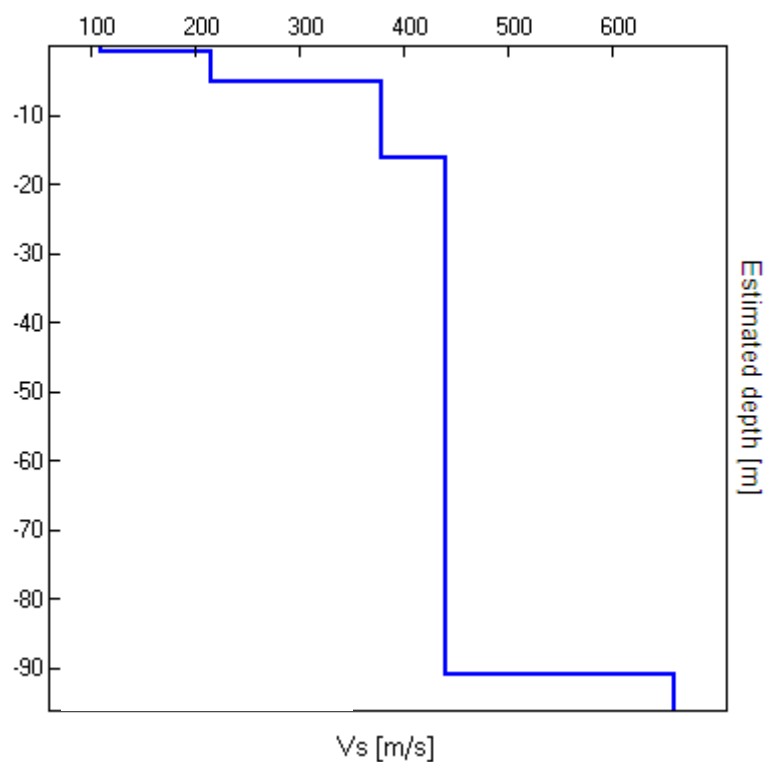
Il grafico sotto rappresenta l'elaborazione della traccia sperimentale da cui si ricava la Vs30 e relativa categoria di suolo, la curva blu è la curva teorica risultato dell'elaborazione, devono essere il più possibile coincidenti;

#### EXPERIMENTAL VS SYNTHETIC H/V



A seguire uno schema dei sismostrati nei quali è stato suddiviso il sottosuolo, ciascuno caratterizzato da uno specifico valore  $V_s$ , e quindi il relativo grafico dell'andamento della  $V_s$  in profondità,.

Litologia indicativa da tabella 1	Profondità totale [m]	Sismostrati [m]	$V_s$ [m/s]
Terreno vegetale	0.70	0.70	110
Limi e argille sab. medie	5.00	4.30	215
Sabbie lim.-argillose, ghiaia	16.00	11.00	380
Limi e argille compatte	91.00	75.00	440
Substrato argilloso non rigido	inf.	inf.	660



Il valore medio risultante dall'elaborazione fornisce la seguente  $V_{s30}$ , valore che non va assunto come dato certo, ma considerando un margine di errore almeno del 20%.

$$V_{s30} = 328 \text{ m/s} \pm 65 \text{ m/s}$$

**Il valore ottenuto classifica il terreno come sito C.**

Trattasi di sabbie e ghiaie mediamente addensate e argille di media consistenza.

Tabella 1. Velocità caratteristiche delle onde S nei vari tipi di suolo [cfr. Borchardt, 1994]

TIPO DI SUOLO	V <sub>s</sub> min [m/s]	V <sub>s</sub> media [m/s]	V <sub>s</sub> max [m/s]
<b>ROCCE MOLTO DURE</b> (es. rocce metamorfiche molto poco fratturate)	1400	1620	-
<b>ROCCE DURE</b> (es. graniti, rocce ignee, conglomerati, arenarie e argilliti, da mediamente a poco fratturati)	700	1050	1400
<b>SUOLI GHIAIOSI e ROCCE DA TENERE A DURE</b> (es. rocce sedimentarie ignee, tenere, arenarie, argilliti, ghiaie e suoli con > 20% di ghiaia)	375	540	700
<b>ARGILLE COMPATTE e SUOLI SABBIOSI</b> (es. sabbie da sciolte a molto compatte, limi e argille sabbiose, argille da medie a compatte e argille limose)	200	290	375
<b>TERRENI TENERI</b> (es. terreni di riempimento sotto falda, argille da tenere a molto tenere).	100	150	200

Nella tabella sotto è illustrata la qualità del segnale acquisito in base al progetto SESAME (Linee guida 2005). Per l'affidabilità della curva HVSR devono essere positivi i primi 3 parametri, mentre per avere un chiaro e pulito segnale del picco massimo devono essere soddisfatti 5 parametri su 6.

Max. H/V at 10.5 ± 0.0 Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).			
Criteria for a reliable HVSR curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	10.5 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	74203.8 > 200	OK	
$s_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $s_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 1026	OK	
Criteria for a clear HVSR peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	51.188 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	6.70 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm s_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.0  < 0.05$	OK	
$s_f < e(f_0)$	$0.0 < 3.19844$	OK	
$s_A(f_0) < q(f_0)$	$0.3702 < 1.58$	OK	

**La frequenza di risonanza caratteristica o di riferimento del terreno è  $F_0 \cong 10.5$  Hz**

**La frequenza di risonanza secondaria del terreno è  $F_0 \cong 38$  Hz**



## PARAMETRI SISMICI da GEOSTRU

Tipo di elaborazione: FONDAZIONI

### Sito in esame: C

Coordinate espresse in ED50:                      Latitudine: 44,313988°                      Longitudine: 11,797122°

Coordinate espresse in WGS84:                      Latitudine: 44.313048°                      Longitudine: 11.796143°

Classe d'uso I: costruzioni con presenza occasionale di persone, edifici agricoli.

**Classe d'uso II: costruzioni con normale affollamento di persone, assenza di funzioni pubbliche e sociali importanti, industrie con attività non pericolose per l'ambiente, ponti, strade e opere infrastrutturali non ricadenti in classe d'uso III e IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza, dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.**

Classe d'uso 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 un loro eventuale collasso.

Classe d'uso IV: costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della Protezione Civile in caso di calamità. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie di collegamento tra capoluoghi di provincia, ponti e reti ferroviarie di importanza critica per le vie di comunicazione, dighe connesse al funzionamento di acquedotti e centrali idroelettriche.

**Siti di riferimento:**

	<b>ID</b>	<b>Latitudine °</b>	<b>Longitudine °</b>	<b>Distanza</b>
Sito 1	17624	44,3220	11,7436	4351,354
Sito 2	17625	44,3230	11,8134	1637,403
Sito 3	17847	44,2730	11,8148	4768,596
Sito 4	17846	44,2720	11,7451	6243,804

Categoria suolo: C

Categoria topografica: T1

Vita nominale opera: 50 anni

Coefficiente Cu: 1,0

**Parametri sismici:**

	<b>P<sub>VR</sub> %</b>	<b>Tr (anni)</b>	<b>ag (g)</b>	<b>Fo (-)</b>	<b>Tc* (s)</b>
Operatività SLO	81	30	0,068	2,398	0,261
Danno SLD	63	50	0,086	2,389	0,269
Salvaguardia vita SLV	10	475	<b>0,206</b>	2,458	0,302
Prevenzione collasso SLC	5	975	0,258	2,517	0,313

P<sub>VR</sub> = probabilità di superamento nel periodo di riferimento V<sub>R</sub> = 35 anni

Tr = periodo di riferimento

ag = accelerazione di gravità

Fo = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orr.

Tc = periodo di inizio del tratto di velocità costante dello spettro di accelerazione orr.

**Coefficienti sismici:**

	<b>Ss (-)</b>	<b>Cc (-)</b>	<b>St (-)</b>	<b>Kh (-)</b>	<b>Kv (-)</b>	<b>Amax (m/s<sup>2</sup>)</b>	<b>Beta (-)</b>
SLO	1,500	1,640	1,000	0,020	0,010	0,995	0,200
SLD	1,500	1,620	1,000	0,026	0,013	1,271	0,200
SLV	<b>1,400</b>	1,560	<b>1,000</b>	0,081	0,040	<b>2,832</b>	0,280
SLC	1,310	1,540	1,000	0,095	0,047	3,311	0,280

Ss = amplificazione stratigrafica

Cc = coeff. funz. categoria

St = amplificazione topografica Amax = acc. max attesa al sito

Kh = coeff. sismico verticale

Kv = coeff. Sismico orizzontale

Beta = coeff. riduzione acc.max

Zona 1 = 0,35g

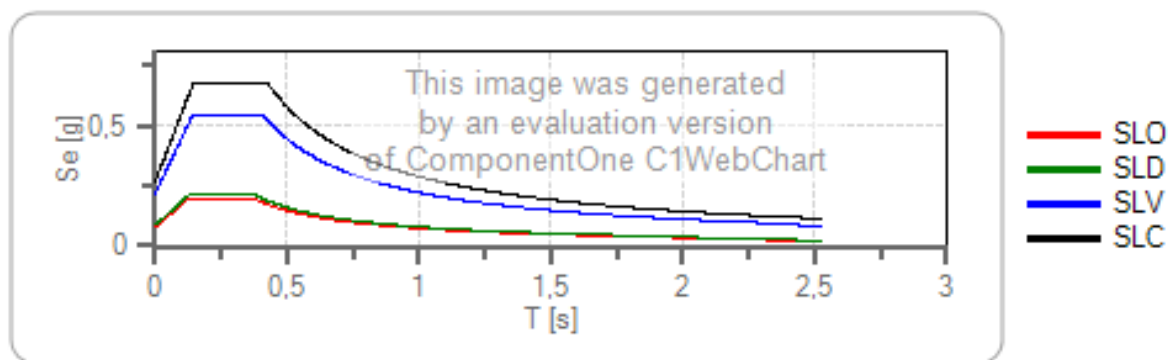
**Zona 2 = 0,25g**

Zona 3 = 0,15g

Zona 4 = 0,05g

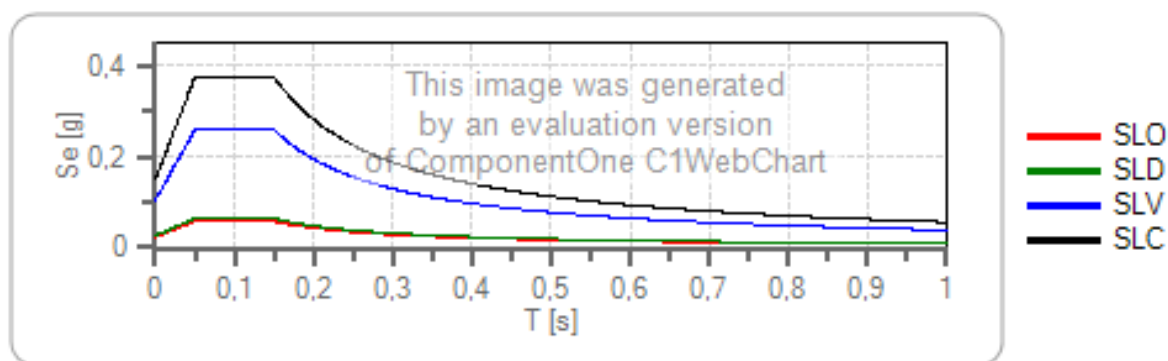
# SPETTRI DI RISPOSTA da GEOSTRU

## Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



	cu	ag	Fo	Tc	Ss	Cc	St	S	q	Tb	Tc	Td
SLO	1,0	0,068	2,398	0,261	1,500	1,640	1,000	1,500	1,000	0,142	0,427	1,871
SLD	1,0	0,086	2,389	0,269	1,500	1,620	1,000	1,500	1,000	0,145	0,436	1,946
SLV	1,0	0,206	2,458	0,302	1,400	1,560	1,000	1,400	1,000	0,157	0,471	2,425
SLC	1,0	0,258	2,517	0,313	1,310	1,540	1,000	1,310	1,000	0,161	0,482	2,631

## Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



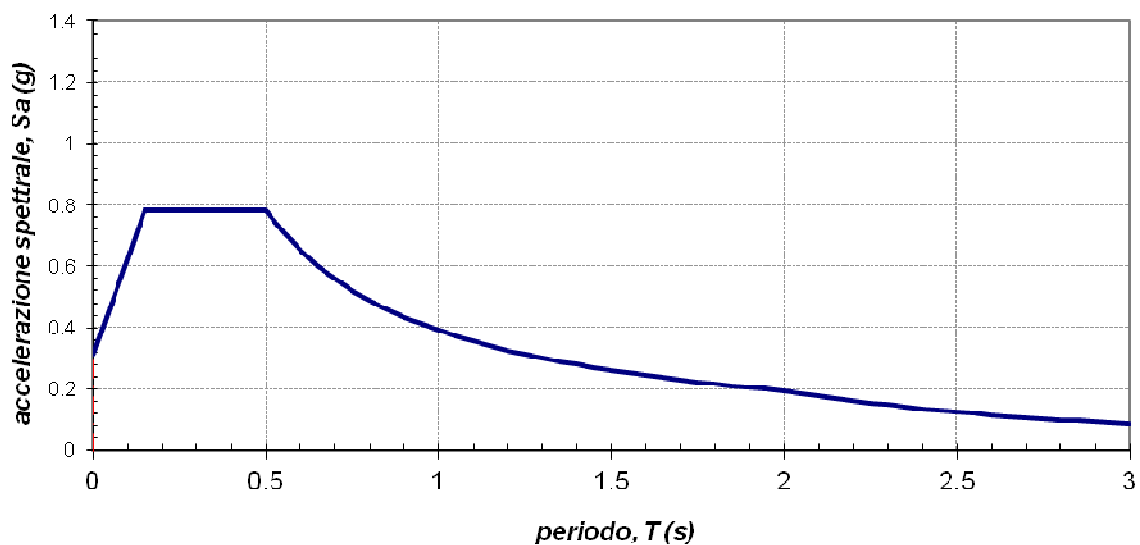
	cu	ag	Fo	Tc	Ss	Cc	St	S	q	Tb	Tc	Td
SLO	1,0	0,068	2,398	0,261	1,000	1,640	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLD	1,0	0,086	2,389	0,269	1,000	1,620	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLV	1,0	0,206	2,458	0,302	1,000	1,560	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLC	1,0	0,258	2,517	0,313	1,000	1,540	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000

### Spettri di progetto per lo stato limite: SLO



	cu	ag	Fo	Tc	Ss	Cc	St	S	q	Tb	Tc	Td
SLO h	1,0	0,068	2,398	0,261	1,500	1,640	1,000	1,500	1,500	0,142	0,427	1,871
SLO v	1,0	0,068	2,398	0,261	1,500	1,640	1,000	1,000	1,500	0,050	0,150	1,000

**Spettro risposta elastico orizzontale su suolo rigido**



Zona 2	Tipo suolo	ag	S	Tb (s)	Tc (s)	Td (s)	piani	T	Sa
<b>Margine B</b>	<b>C</b>	0.25	1.25	0.15	0.5	2	0	0	0,3125

Dallo spettro di risposta normalizzato è possibile ottenere, moltiplicando i valori della tabella 1 per il valore di  $a_{refg}$  di ogni comune, lo spettro di risposta a probabilità uniforme che descrive le caratteristiche del moto sismico atteso per ogni comune dell'Emilia-Romagna.

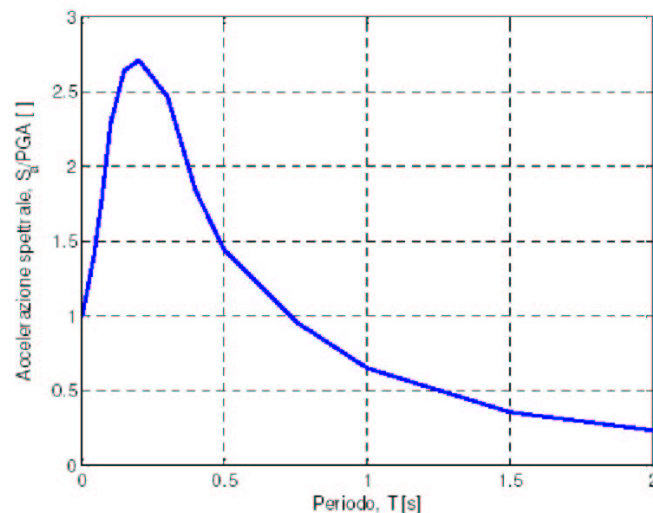


Figura - Spettro di risposta normalizzato (TR = 475 anni = 5% smorzamento) per l'Emilia-Romagna

T(s)	0,00	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
Sa/a <sub>ref</sub>	1,0000	2,2100	2,6080	2,6562	2,4033	1,9394	1,5050	0,9172	0,6359	0,3608	0,2462

Tabella - Valori che definiscono lo spettro normalizzato per l'Emilia-Romagna

#### Valore di $a_{refg}$ per il comune di Castel Bolognese = 0,2050

dove  $a_{refg}$  = accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, cioè per  $T = 0$ , espressa in frazione dell'accelerazione di gravità  $g$  ( $a_{refg}$ )

#### Categorie topografiche del terreno

T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolate con inclinazione media $i < 15^\circ$	St = 1
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	St = 1.2
T3	Rilievi con larghezza in cresta minore che alla base e inclinazione media $15^\circ < i < 30^\circ$	St = 1.2
T4	Rilievi con larghezza in cresta minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	St = 1.4

#### Categorie suolo di fondazione

	Descrizione del profilo stratigrafico	$V_{s30}$ (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.	180 – 360

#### Parametri per il profilo stratigrafico

S = 1,25, sabbie e ghiaie mediamente addensate, argille media consistenza, Tipo C;

#### ELEMENTI di MICROZONAZIONE SISMICA



**Tabella per il calcolo dei coefficienti di amplificazione sismica (DGR n.630 del 29/04/2019)**

**F.A. P.G.A.:** accelerazione di picco orizzontale a periodo  $T=0$  alla superficie del sito.

**F.A. S.I.:** Intensità spettrale di risposta in velocità relativo a tre intervalli.

**F.A. S.A.:** Intensità spettrale di risposta in accelerazione relativo a quattro intervalli.

L'area di intervento è morfologicamente classificabile come Margine appenninico-padano di tipo B

Si considerano i coefficienti di amplificazione sismica relativi alla fascia di velocità relativa a 300 m/s

**MARGINE APPENNINICO-PADANO:** settore di transizione tra la zona collinare (Appennino) e la pianura, o la costa, caratterizzato da terreni alluvionali prevalentemente fini (argille, limi, sabbie) sovrastanti orizzonti grossolani (ghiaie, ghiaie sabbiose, sabbie ghiaiose); il substrato geologico è generalmente costituito da sabbie marine o transizionali pleistoceniche (Sabbie Gialle) o dalla successione pelitica plio-pleistocenica (Argille Azzurre); il tetto del substrato geologico è a profondità indicativamente comprese tra 50 e 100 m;

**MARGINE di tipo B:** caratterizzato da spessore dei terreni superficiali fini o grossolani poco consolidati superiore a 30 m; la successione sottostante è costituita da alternanze di orizzonti grossolani e orizzonti fini;

Vs30	150	200	250	<b>300</b>	350	400
F.A. P.G.A	1.6	1.6	1.6	<b>1.6</b>	1.6	1.5

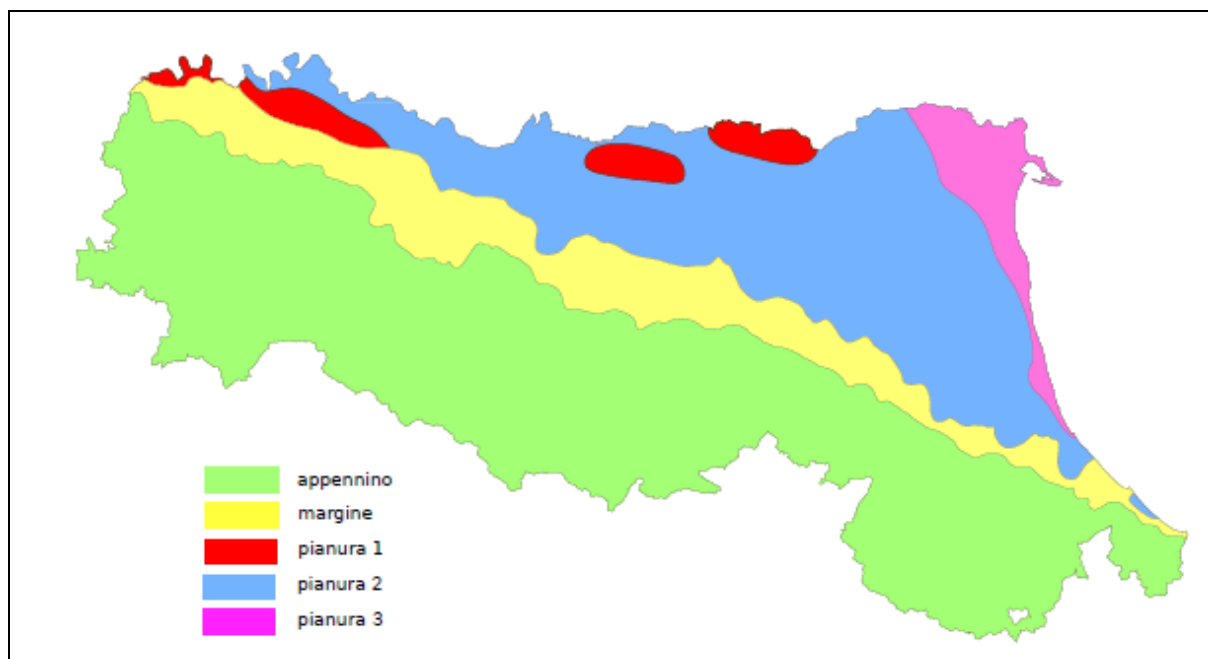
**Fattore di Amplificazione PGA**

Vs30	150	200	250	<b>300</b>	350	400
F.A SI1	1.9	1.9	1.9	<b>1.8</b>	1.7	1.6
F.A SI2	2.9	2.8	2.5	<b>2.3</b>	2.1	2.0
F.A SI3	3.3	3.1	2.7	<b>2.4</b>	2.2	2.0

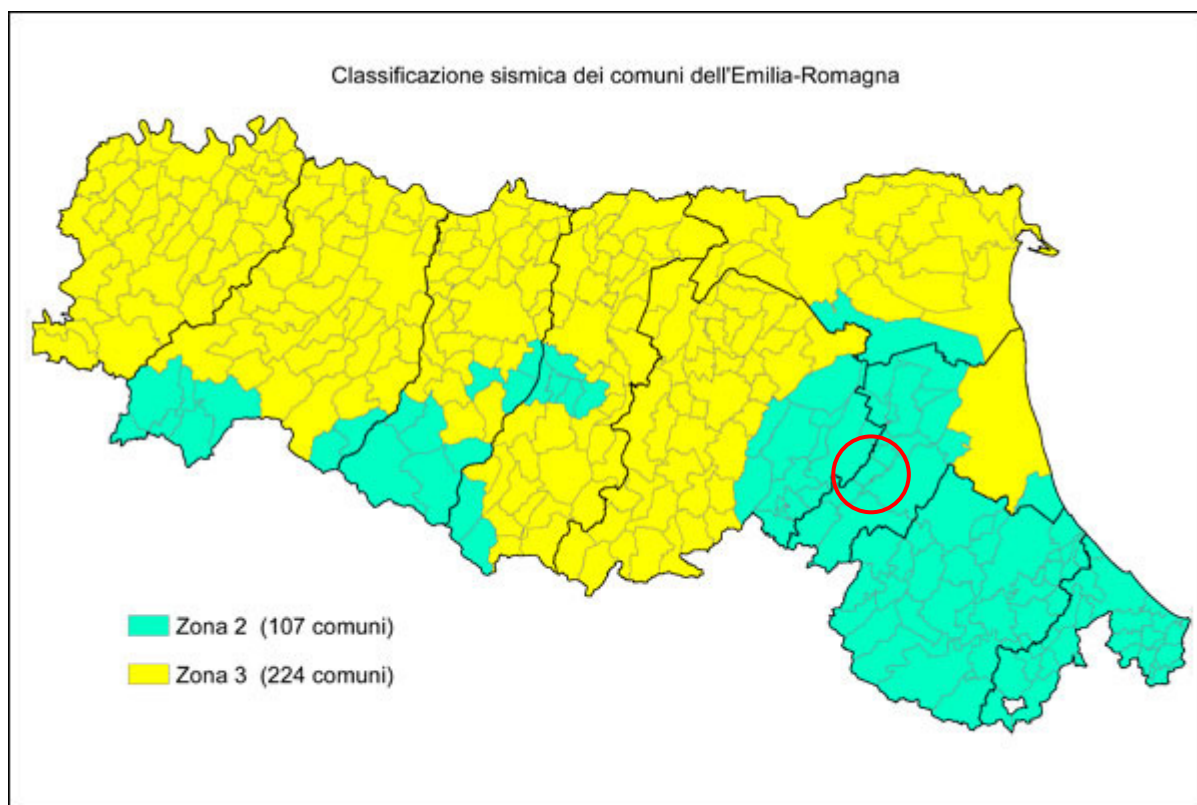
Fattori di Amplificazione **SI1** ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ ), **SI2** ( $0,5s \leq T \leq 1,0s$ ), **SI3** ( $0,5s \leq T \leq 1,5s$ )

Vs30	150	200	250	<b>300</b>	350	400
F.A. SA1	1,8	1,8	1,8	<b>1,7</b>	1,7	1,5
F.A SA2	2,6	2,6	2,3	<b>2,1</b>	1,9	1,7
F.A SA3	3,1	2,9	2,7	<b>2,4</b>	2,3	2,1
F.A SA4	3,0	2,9	2,6	<b>2,3</b>	2,1	1,9

F.A. **SA1** ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ ), **SA2** ( $0,4s \leq T \leq 0,8s$ ), **SA3** ( $0,7s \leq T \leq 1,1s$ ) e **SA4** ( $0,5s \leq T \leq 1,5s$ )



Localizzazione indicativa degli ambienti geomorfologici e litostratigrafici



Nuova classificazione sismica NTC 2018 – Comune di Castel Bolognese

## CONCLUSIONI

- Il terreno indagato è classificabile come sito **C**;
- La velocità stimata è pari a  **$V_{s30} = 328$  m/s**;
- Il manufatto previsto è classificato come classe d'uso **II**;
- La frequenza caratteristica del sito è  **$F_0 \cong 10,5$  Hz**;
- L'accelerazione di gravità del sito è  **$a_g = 0,206$  (SLV)**;
- L'accelerazione massima è  **$A_{max} = 2,832$  (SLV)**;
- L'accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, cioè per  $T = 0$ , espressa in frazione dell'accelerazione di gravità per il comune di Castel Bolognese è  **$g(a_{refg}) = 0,2050$** ;
- La categoria topografica è **T1**;
- L'area ricade in **Zona 2 = 0,25g**;
- L'area è classificabile come **Margine appenninico-padano di tipo B**;
- Si assumono come coefficienti di amplificazione sismica su base regionale quelli relativi alla fascia di velocità pari a 300 m/s, tali coeff. non sono vincolanti ai fini della progettazione:

<b>PGA = 1,6</b>	<b>SA1</b> per l'intervallo $0,1s < T_0 < 0,5s = 1,7$
<b>SI1</b> per l'intervallo $0,1s < T_0 < 0,5s = 1,8$	<b>SA2</b> per l'intervallo $0,4s < T_0 < 0,8s = 2,1$
<b>SI2</b> per l'intervallo $0,5s < T_0 < 1,0s = 2,3$	<b>SA3</b> per l'intervallo $0,7s < T_0 < 1,1s = 2,4$
<b>SI3</b> per l'intervallo $0,5s < T_0 < 1,5s = 2,4$	<b>SA4</b> per l'intervallo $0,5s < T_0 < 1,5s = 2,3$

Faenza, Giugno 2020

Dr. Geol. Bruno Gardegni

