

PROPOSTA DI ACCORDO OPERATIVO
ai sensi dell'art. 4 LR 24/2017

Proposta di Accordo Operativo ex art. 4 LR 24/2017 in attuazione di
porzione di ambito n.12 (Naviglio) del PSC denominato "Lotto 1"

Richiedente:

FEDERIMMOBILIARE SPA
nella persona del suo legale rappresentante

Daniele Peroni

Progettista:

Dott. Geol. Giancarlo Andreatta



INDICE

a. <i>PREMESSA</i>	<i>pag. 3</i>
b. <i>INQUADRAMENTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO</i>	<i>pag. 3</i>
c. <i>INDAGINI "IN SITU" E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE</i>	<i>pag. 6</i>
- <i>Stratigrafia, 6</i>	
- <i>Prove penetrometriche statiche, 8</i>	
d. <i>PROVA GEOFISICA MASW</i>	<i>pag. 9</i>
e. <i>CARATTERISTICHE SISMICHE</i>	<i>pag. 14</i>
- <i>Sorgenti sismogenetiche, 14</i>	
- <i>Microzonazione sismica, 19</i>	
- <i>Modello Shake2000, 25</i>	
f. <i>VALUTAZIONE DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE SISMICA PER LE ANALISI DI SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO E PER LA VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI TOPOGRAFICI (DGR630/2019)</i>	<i>pag. 35</i>
g. <i>EFFETTI DELLA TOPOGRAFIA</i>	<i>pag. 37</i>
h. <i>COMPATIBILITA' SISMICA: POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (DGR Emilia Romagna n° 630/2019)</i>	<i>pag. 39</i>
i. <i>COMPATIBILITA' EDIFICATORIA DELL'INTERVENTO</i>	<i>pag. 43</i>
i. <i>Area - "Via San Andrea": Prescrizioni conclusive</i>	<i>pag. 43</i>

ALLEGATI:

- <i>Planimetria Catastale</i>	<i>scala 1:2.000</i>
- <i>Carta geologica</i>	<i>scala 1:10.000</i>
- <i>Sezione CARG n° 064</i>	
- <i>Carta delle isobate freatiche</i>	<i>scala 1:10.000</i>
- <i>Carta delle isofreatiche</i>	<i>scala 1:10.000</i>
- <i>Sezione geotecnica</i>	<i>scala 1:200/1:1.000</i>
- <i>Planimetria ubicazione prove</i>	<i>scala 1:2.000</i>
- <i>Grafico sondaggio</i>	
- <i>Grafici penetrometrici e correlazioni geotecniche</i>	
- <i>Analisi granulometriche</i>	

a. PREMESSA

Su richiesta della **FEDERIMMOBILIARE** di Faenza (Ra), è stata eseguita un'indagine geologica e caratterizzazione geotecnica del sottosuolo in via San Andrea comune di **Faenza per n° 1 area di espansione sviluppo urbanistico denominata “San Andrea Lotto 1”**. Per questo studio vengono utilizzati anche dati di precedenti analisi di aree adiacenti prendendo in considerazione le caratteristiche geologiche, idrologiche, idrogeologiche, idromorfologiche e geotecniche e le implicazioni sismiche che ne derivano, i cui dati vengono di seguito riportati. Lo studio è stato effettuato in ottemperanza alle normative di legge e/o direttive di interesse ed in particolare:

- D.M. 17/01/2018 “Norme Tecniche per le Costruzioni”
- Del.Reg.1677/2005 indicazioni norme tecniche per le costruzioni in zona sismica
- Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell’art. 16, comma 1, della L.R. 20/2000 “Indirizzi per gli studi di microzonizzazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione urbanistica”
- Delibera di Giunta Regionale n° 630 del 29/04/2019 "Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (art. 22 e 49. L.R. n° 24/201 7)"
- Al Piano Strutturale del Comune di Faenza 2009.
- Studi di microzonazione sismica - approfondimenti di livello 3 (Sangiorgi S. 2015) eseguiti per il Comune di Faenza e certificati dalla Regione Emilia-Romagna

Per la realizzazione dello studio in oggetto si è proceduto alla raccolta e selezione critica di dati bibliografici riguardanti il territorio di interesse ed un adeguato intorno; tali dati sono stati successivamente integrati tramite indagini in situ. Inoltre sono state analizzate le caratteristiche litostratigrafiche e geomeccaniche del sottosuolo del territorio oggetto di studio, in modo da determinare una serie di considerazioni sui possibili rischi geologici dell’area oggetto di inserimento e dei relativi approfondimenti necessari per completare il quadro geologico, geotecnico e idrogeologico.

b. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO

L'area interessata all'edificazione e quella circostante di possibile influenza è interessata esclusivamente da Formazioni sedimentarie oloceniche caratterizzate, sotto l'aspetto litologico-stratigrafico, da terreni della PIANURA ALLUVIONALE - AES8 - SUBSINTEMA

DI RAVENNA che si presentano in superficie di natura argilloso-limoso-sabbiosa, di colore bruno-nocciola. In profondità si riscontra una sostanziale uniformità orizzontale con intercalazioni dei vari tipi litologici argilloso-limoso-sabbiosi e livelli sabbioso-limosi addensati. I terreni della pianura alluvionale sovrastano la Formazione delle Sabbie Gialle Milazziane che ne costituiscono quindi il substrato.

La zona è attualmente COLTIVATA A SEMINATIVO; sul lato Est la zona è completamente antropizzata (presenza di fabbricati artigianali e industriali con relative infrastrutture) e per questo è stata modificata l'originale morfologia dalla costruzione dei piazzali e dei fabbricati. Comunque i fabbricati siti nelle vicinanze non mostrano nessun segno di dissesto strutturale.

Non vi sono differenziazioni granulometriche e la granulometria degli elementi litologici in superficie è omogenea con zone limoso-argillose con piccole concrezioni calcaree denominate "calcinelli". Nel lotto in esame ed in quelli adiacenti di possibile influenza, attualmente non vi sono elementi morfologici ed idromorfologici di differenziazione. Attualmente l'erosione superficiale è praticamente inesistente. Dall'insieme di questi fenomeni ne è derivato un piano leggermente inclinato verso Nord-Est con pendenza molto debole.

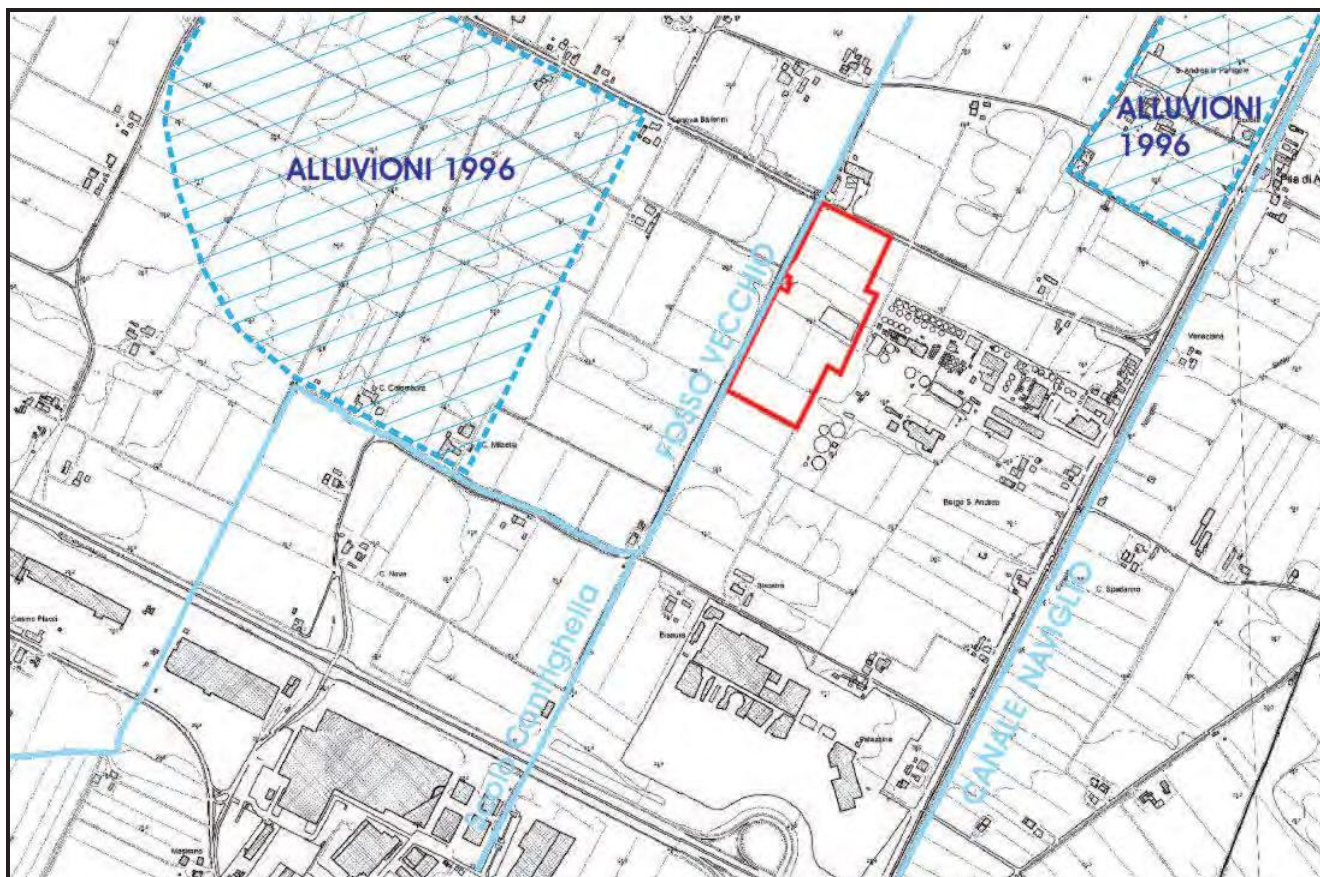
Nella zona non esistono processi degradatori prevalenti correlati alla litologia, alla struttura, all'acclività, all'intensità delle precipitazioni, alle attività antropiche, ecc. Ne consegue pertanto un'area completamente stabile dal punto di vista geostatico.

Attualmente la regimazione delle acque superficiali è garantita da una efficiente rete di fossi di scolo consorziali posti ai lati delle strade principali. Sul lato occidentale è delimitata dal tracciato rettilineo del Fosso Vecchio che poco più a monte presenta la confluenza con lo Scolo Cantrighella. I tratti rettilinei e paralleli verso nord degli scoli idrici principali sono chiaramente artificiali essendo impostati sui cardini del reticolo centuriale di origine romana che ancora oggi contraddistingue estesamente l'assetto agrario e il paesaggio della pianura faentina, fornendo una indiretta testimonianza della buona stabilità geomorfologica attuale della zona.

Va inoltre segnalato che ad Est dell'area in oggetto è presente a circa 500 metri di distanza, il tracciato rettilineo del Canale Naviglio, il cui alveo artificiale pensile, affiancato da modesti argini, è stato realizzato alla fine del '700.

In particolare, per quanto riguarda il rischio di alluvionamento della zona per tracimazione del T.Senio e dei corsi d'acqua minori che si originano sulle prime colline cui Faenza, si constata che il deflusso è da ritenersi adeguatamente governato dalla manutenzione a cui è soggetta la rete di scolo idrico da parte del Consorzio di Bonifica, con il tracciato del

Fosso Vecchio (ex-Cantrigo) importante per la regimazione, il quale defluisce a nord di Bagnacavallo in direzione della costa adriatica. Anche le ultime alluvioni del 1996 non hanno interessato l'area in esame confermando la buona difesa rispetto alle inondazioni e straripamenti (vedi planimetria seguente):



Per quanto riguarda i caratteri idrogeologici sotterranei dell'“**AREA VIA San ANDREA**” coerentemente con l'ambito di pianura alluvionale a ridotto gradiente topografico, è da considerare la presenza di una falda freatica il cui livello di equilibrio varia stagionalmente in relazione alle precipitazioni meteoriche e, localmente, all'azione drenante operata dai fossi di scolo.

In particolare, poiché il primo sottosuolo è caratterizzato da più o meno estesi strati lenticolari e poco permeabili di alluvioni fini che svolgono il livello di questa falda idrica subsuperficiale è soggetto a variazioni laterali connesse alla giacitura e continuità di questi strati (che localmente sono “intersecati” dai fossi di scolo).

Per individuare l'idrologia di profondità nella zona direttamente interessata all'intervento, si è eseguita una serie di misurazioni del livello statico della falda nei pozzi presenti.

Si è quindi ricavata una unica carta della falda idrica dove si riportano le **isofreatiche** e le **isobate della superficie freatica dal p.c.** che viene proposta in allegato. Di seguito si

riportano i dati rilevati nelle misurazioni freaticometriche nel corso delle prove eseguite attualmente:

N° PROVA	Quota Prova dal p.d.c.	Profondità Prova	Livello falda	Quota falda s.l.m.
1	20,30	20 m	2,00	18,30
2	20,60	20 m	2,20	18,40
3	20,40	20 m	2,40	18,00
S1	20,50	15 m	2,20	18,30

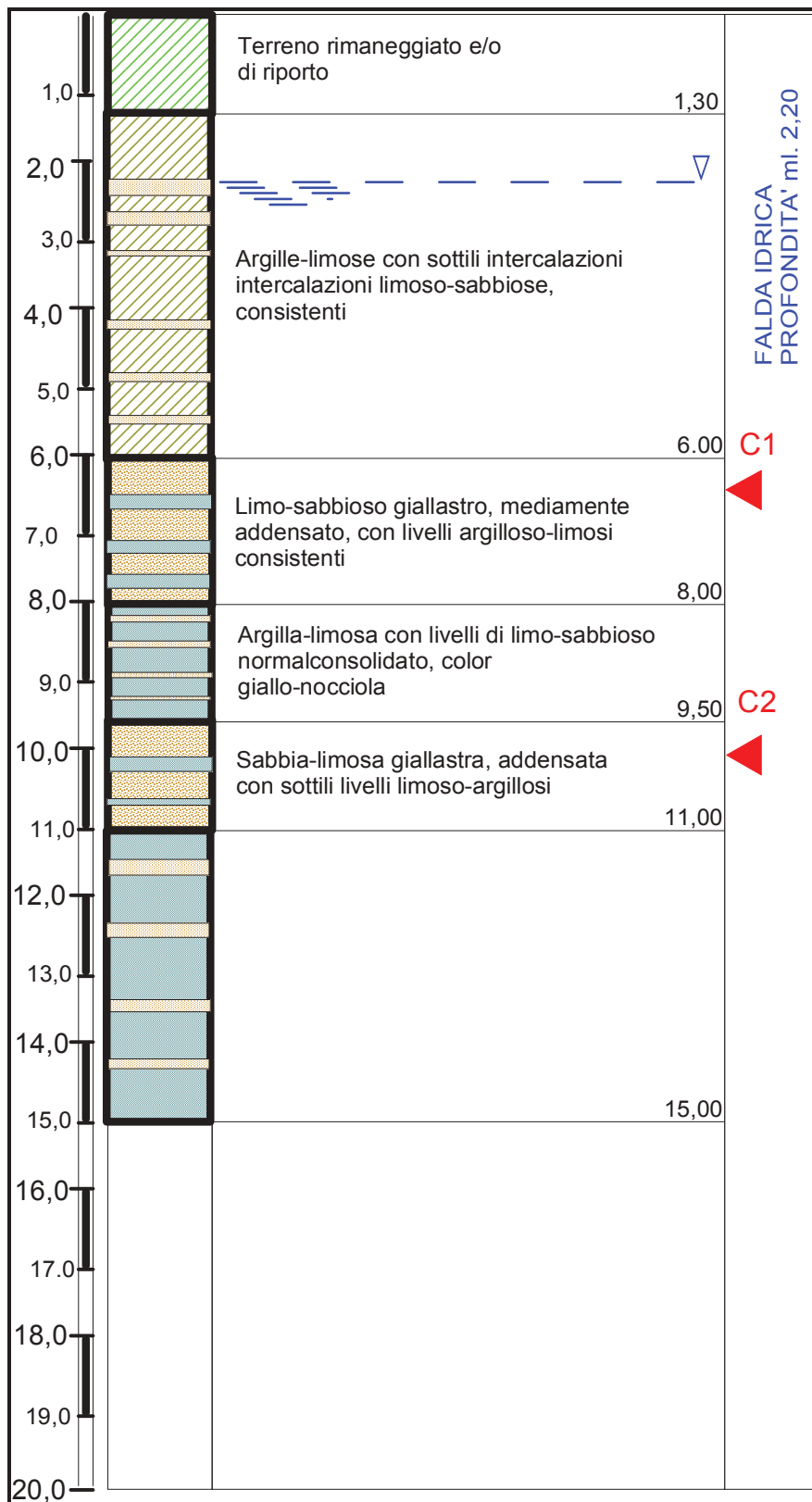
La direzione di flusso della falda idrica riscontrata nell'area in esame risulta verso Nord/Nord-Est.

c. INDAGINI "IN SITU" E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE

Essendo inserita la zona di lottizzazione nella cartografia di zonizzazione del RUE vigente del comune di Faenza come compatibile alla destinazione di espansione, tenuto conto delle conoscenze geotecniche acquisite in zone contermini con le medesime caratteristiche geo-litologiche, sono state eseguite prove "in situ" utili alla caratterizzazione geotecnica dei litotipi.

- Stratigrafia.

E' stato utilizzato un sondaggio con aste elicoidali del diametro di mm. 110 e prelievo di due campioni rimaneggiati. La testa rotante montata su cingolato, consente di raggiungere una coppia massima pari a 350 kgm. La stratigrafia viene riportata qui di seguito ed in allegato e l'ubicazione è indicata in planimetria con un quadrato rosso.



Al termine del sondaggio è stata verificata una presenza di acqua di falda nel foro con quota dal p.c.: **S1 = m. -2,20**.

Considerate le caratteristiche dei terreni e l'eventuale profondità del piano di posa delle fondazioni, si sono prelevati due campioni rimaneggiati di terreno alla profondità di m. 6,50-7,50 (**C1**) e m. 9,50-10,50 (**C2**), eseguendo prove di laboratorio (granulometria) i cui

risultati vengono riassunti qui di seguito, integrati con le proprietà meccaniche ricavate dalle correlazioni penetrometriche:

		C1 (sabbia limosa)	C2 (sabbia)
- Umidità	%	15,64	14,81
- Passante#200	%	38,86	18,97

- Prove penetrometriche statiche con punta meccanica

Al fine di una caratterizzazione geotecnica e litologica dei terreni nell'area di lottizzazione e di accertare la presenza e profondità di falde idriche, sono state effettuate n° 3 prove penetrometriche statiche con punta meccanica tipo "Begemann" e penetrometro da **200 kN**, da spingersi fino a profondità utile per la dissipazione dei futuri carichi.

L'ubicazione delle prove indicata con un cerchietto blu, è riportata in planimetria allegata unitamente ai grafici.

L'uso della **punta elettrica "BEGEMANN"** permette di superare diversi inconvenienti rispetto alla prova dinamica meccanica:

- la lettura manometrica va depurata del peso delle astine interne
- la lettura non viene influenzata dai vari attriti fra le parti esterne delle aste
- La misura avviene nella zona di punta e permette di conoscere il dato meccanico nell'intervallo desiderato

Un'indicazione dei terreni indagati è fornita dal rapporto tra resistenza all'infissione statica della punta (R_p) e la resistenza di attrito laterale locale (R_{al}) che il materiale sviluppa sul manicotto utilizzato con la punta "Begemann" che rileva i dati ogni **cm. 20**.

Terreni rimaneggiati e/o di riporto sono presenti fino a circa m. 1,30-1,40 di profondità cui seguono litotipi in posto, non fratturati e con buone caratteristiche di addensamento. Il sottosuolo risulta costituito in profondità da alternanze di argille-limose consistenti ($R_{pm} = 10-15$ daN/cm²) fino a circa m. 6-7 di profondità, cui seguono sabbie-limose addensate ($R_{pm} = 30-40$ daN/cm²) e argille limoso-sabbiose ($R_{pm} = 15-20$ daN/cm²) con prevalenza delle seconde, con uno spessore di sabbia riscontrato a m. 18-19 di profondità maggiormente addensato ($R_{pm} = 40-100$ daN/cm²).

Al termine delle prove si è riscontrata presenza di acqua nei fori di sondaggio con livello statico posto a m. 2,00-2,40 di profondità. Al fine di evitare cedimenti differenziali elevati occorre quindi innestare le fondazioni entro litotipi alluvionali con caratteristiche geomeccaniche omogenee posti al disotto del terreno rimaneggiato-riporto.

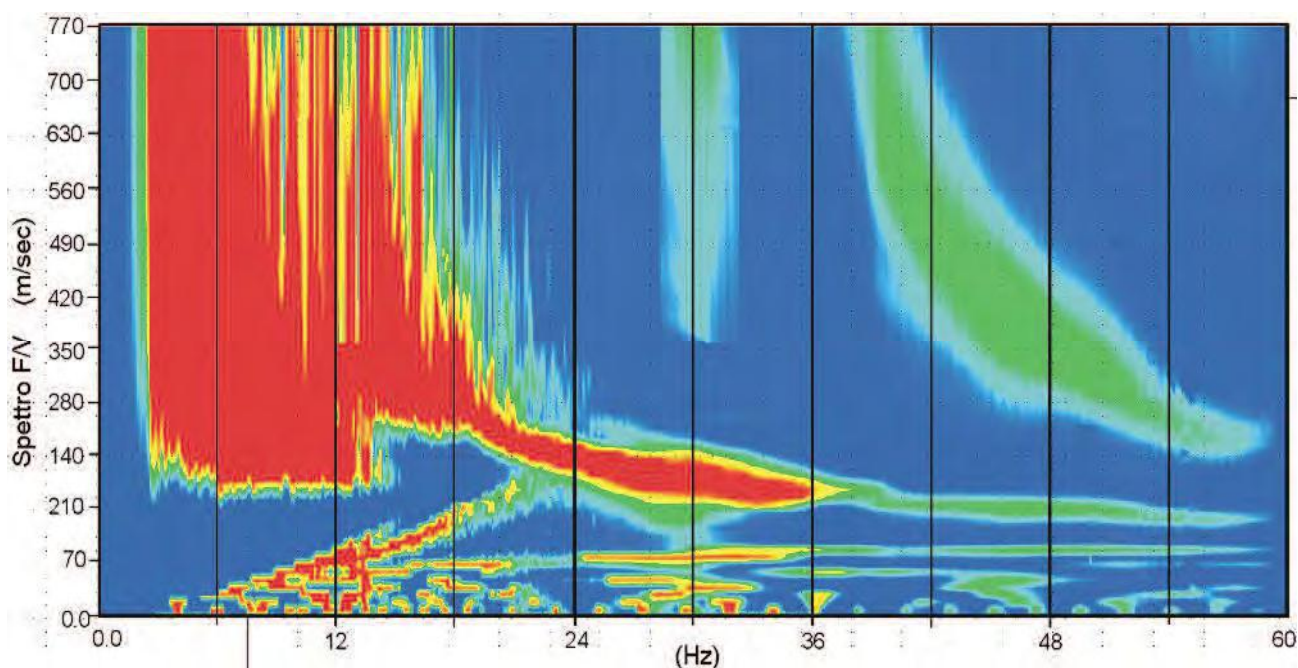
Stratigrafia ricavata da prove "in situ" e dall'esame di prove di archivio CARG (CPTU239070U511 – pozzo per acqua 239070P613 - pozzo per acqua 239070P621):

Spessore ml.	LITOLOGIA	Peso Yt daN/mc	Resistenza alla rottura Rpm daN/cm ²	Coazione non drenata caratteristica Cuk daN/cm ²	Angolo attrito caratteristico gradi
1,30-1,40	Terreno rimaneggiato	-	-	-	-
4,50-5,00	Argilla limosa	1.740- 1.760	10-15	0,50-0,65	16°-18°
5,00-6,00	Sabbia limosa	1.860- 1.880	30-40	0,10-0,15	30°-34°
5,00-6,00	Argilla limoso- sabbiosa	1.760- 1.780	15-20	0,75-0,85	16°-18°
3,00-4,00	Sabbia addensata	1.850- 1900	40-100	0,10-0,15	34°-36°
4,00-5,00	Argilla limosa consistente	1.800- 1.840	20-35	0,90-1,10	12°-14°
2,00-3,00	Sabbia addensata	1.920- 1.950	110-160	0,05-0,10	36°-38°
5,00-6,00	Argilla consistente	1.800- 1820	20-25	0,90-1,00	12°-14°
Fino a m. 36,0	Argilla con sabbia gialla	1.900 1.940	30-35 50-160	1,15-1,30 0,10-0,15	14°-16° 32°-36°

d. PROVA GEOFISICA MASW

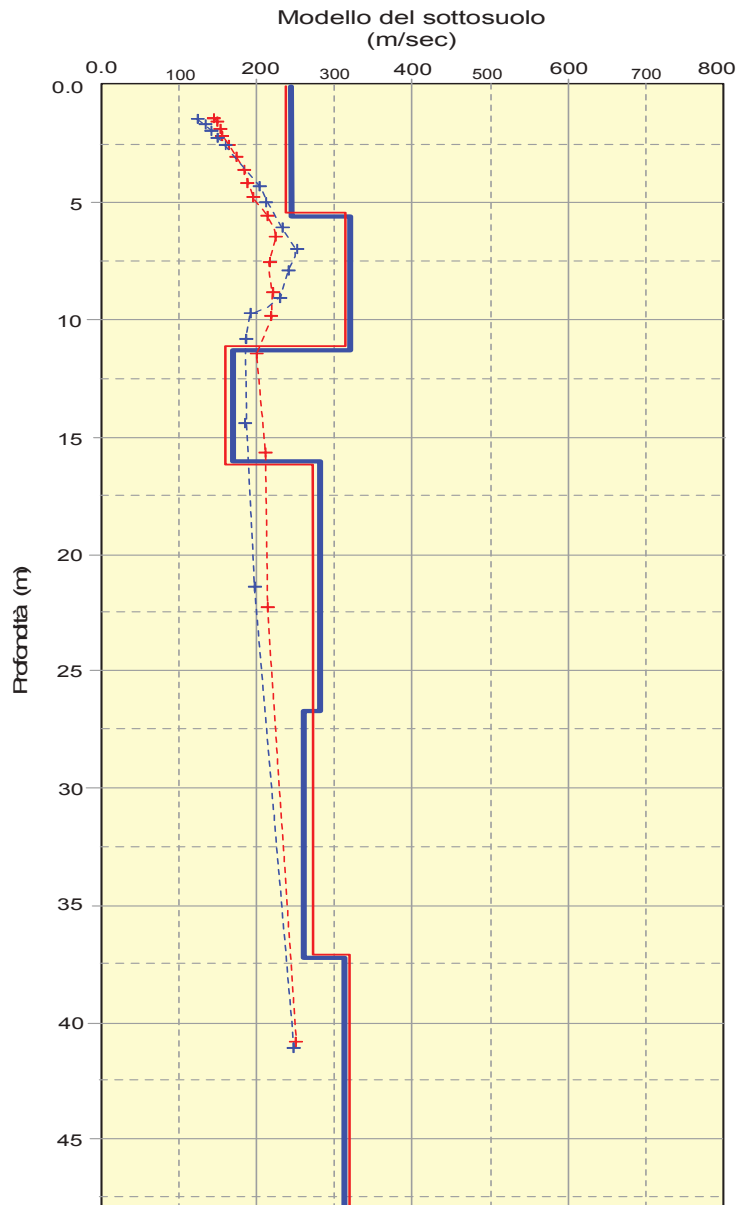
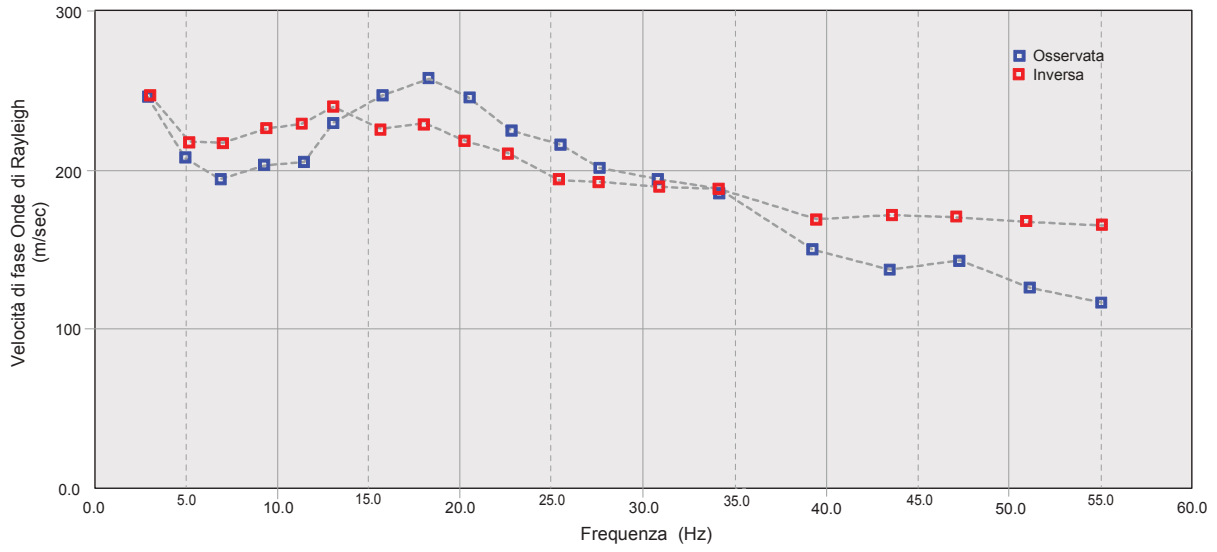
Nell'ambito delle indagini per la caratterizzazione del sottosuolo in via San Andrea di Faenza (Ra), sono state eseguite delle prospezioni geofisiche di tipo sismico utilizzando la tecnica dei microtremiti (ReMi) supportata dalla tecnica dell'analisi delle onde di superficie (MASW). La tecnica MASW è considerata un metodo *attivo*: le onde di superficie sono

prodotte da una sorgente impulsiva disposta a piano campagna e vengono registrate da uno stendimento lineare composto da 24 geofoni (con frequenza naturale 4,5 Hz) posti a distanza intergeofonica pari a 2 metri (lunghezza totale stendimento 48 m). La tecnica ReMi invece è considerata un metodo *passivo*: lo stendimento presenta le stesse caratteristiche geometriche del metodo attivo ma i ricevitori non registrano le onde superficiali prodotte da una sorgente impulsiva, bensì il rumore di fondo (detto anche *microtremori*) prodotto da sorgenti naturali (vento) e antropiche (traffico, attività industriali). Le due tecniche indagano bande spettrali differenti. Il metodo attivo consente di ottenere, in modo ottimale, una curva di dispersione nel range di frequenza compreso tra 10 e 40 Hz fornendo informazioni sulla parte più superficiale di sottosuolo (fino a circa 10-20 m di profondità in funzione della rigidità del suolo). Il metodo passivo consente di determinare una curva di dispersione, in modo ottimale, nella banda di frequenza tra 4 e 20 Hz e fornisce informazioni sugli strati più profondi (generalmente fino a 30-40 m). La combinazione delle due tecniche consente di ottenere uno spettro completo nella banda di frequenza comprese tra 4 e 40 Hz e permette una dettagliata ricostruzione dell'andamento della velocità delle onde di taglio fino a circa 30 m di profondità (sempre in funzione della rigidità degli strati).



La prospezione è stata finalizzata ad ottenere la diagrafia delle velocità sismiche delle onde di taglio per la determinazione del parametro $V_{s_{eq}}$ o $V_{s_{30}}$ (tramite ReMi e Masw) ai sensi delle NTC18. L'ubicazione dell'allineamento geofisico realizzato è riportata in planimetria allegata.

L'indagine ha permesso una stima dell'andamento delle velocità Vs oltre 30 m di profondità e si riportano le immagini relative alla curva di dispersione delle onde di Rayleigh.



CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI (Normative di riferimento: D.M. 14/09/05**- Circolare n°617/2009 -Circ.LL.PP.) - D.M.17/01/18. Committente:****FEDERIMMOBILIARE****CONDIZIONE STRATIGRAFICA.**

Il Decreto Ministeriale 14.09.2005 ed il successivo D.M. 17.01.2018 contengono nuove disposizioni in materia di classificazione sismica e di normativa tecnica.

Il numero delle zone sismiche viene riportato qui di seguito unitamente ai valori di accelerazione orizzontale (ag/g) di ancoraggio dello spettro di risposta elastico:

Zona 2003	Valore di ag	Comune: FAENZA
1	0.35	Zona sismica 2003: 2
2	0.25	1. Accel.max orizz.RER: 0.205
3	0.15	(Indirizzi microzonazione E-R; L.R.2000)
4	0.05	2. Accelerazione orizz.: 0.25

Ai fini della definizione delle azioni sismiche di progetto, vengono definite 5 categorie di profili stratigrafici del suolo di fondazione (le profondità si riferiscono al piano posa delle fondazioni):

Tab. 3.2.II - Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato:

- A** Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/sec eventualmente comprendenti in superficie terreni caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 metri.
- B** Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Velocità Equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
- C** Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a m. 30, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Velocità Equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
- D** Depositati 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 m/s e 180 m/s.
- E** Terreni con caratteristiche e valori di Velocità Equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D con profondità del substrato non superiore a 30 metri

La classificazione del sito si ottiene sulla base dei valori di $V_{s,eq}$ (velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio (in m/s) definita dalla seguente espressione:

$$V_{s,eq} = H / \text{Somma } N-i=1 \text{ } h_i/V_{s,i}$$

dove:

h_i = spessore dello strato i -esimo (m.)

$V_{s,i}$ = velocità delle onde di taglio nello i -esimo strato (m/sec)

N = numero di strati

H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiori a 800 m/s

N.B. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro VS_{30} ottenuto ponendo $H = 30$ m e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a 30 metri di profondità.

Metodo di calcolo delle Vs,eq: PROVA GEOFISICA MASW

Si ottiene la misura diretta delle Vs mediante una prova geofisica MASW-REMI, previa acquisizione con apparecchiatura penetrometrica per gli strati investigati:

LITOTIPO	Spessore strati "hi" (ml.)	Vs' in sito (m/s)	hi/Vs' (Vs mis.) (sec)
h1. Argille limose	5.5	240	0.023
h2. Sabbie	6	315	0.019
h3. Argille	5.5	190	0.029
h4. Sabbie e Argille	230	285	0.807
h5. Sabbie Gialle milazziane	247 ml Prof.Tetto	880	
	substrato con Vs<800 m/s		Somma hi/Vs,i 0.878

$$Vs,eq = 30 / \text{Somma } N-i=1 \text{ hi/Vs,i} = 257.45 \text{ m/sec}$$

dove:

- hi = spessore dello strato i-esimostrati (m.)
 Vs,i = velocità delle onde di taglio nello i-esimo strato (m/sec)
 N = numero di strati
 H = 30 m

Occorre immettere delle informazioni a carattere geologico-stratigrafico:

LITOTIPO	Spessore strati "hi" (ml.)	Fattore geologico	Periodo Olocene - Pleistocene
h1. Argille limose	5.5		O
h2. Sabbie	6	Dove:	O
h3. Argille	5.5	- Depositi recenti e terreni Olocene = O	O
h4. Sabbie e Argille	230	- Terreni del Pleistocene e Terziario = P	O
h5. Sabbie Gialle milazziane	247 ml. Prof.Tetto		P

Metodi di calcolo delle Vs,eq	Vs,eq (m/sec)	Terreno liquefacibile Inserire SI o NO	CATEGORIA SUOLO
Misure in sito con indagini Dirette con MASW-REMI	257.45	NO	C

che viene così definita dal D.M. 17.01.18:

- C** Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a m. 30, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

Ne consegue una velocità delle onde sismiche secondarie Vs30 pari a **m/s 257** che corrisponde ad una **categoria di suolo di fondazione tipo C**.

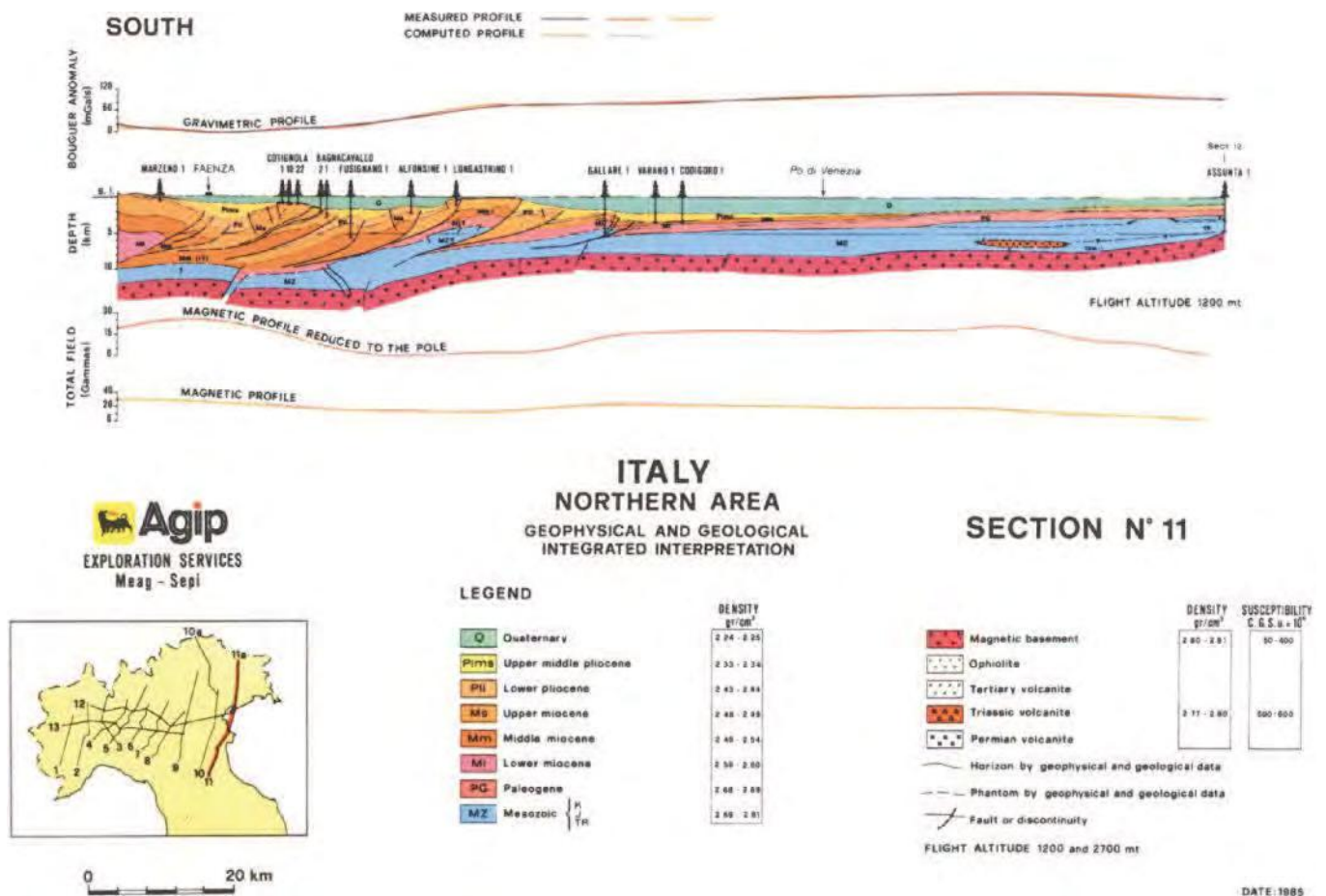
e. CARATTERISTICHE SISMICHE

Negli indirizzi di microzonazione della Regione Emilia-Romagna (anno 2007) per il comune di Faenza viene indicata una accelerazione orizzontale massima di 0,209. Sulla base di quanto sopra, si è reso necessario inserire nello studio geologico-geotecnico a corredo dell'area "via San Andrea", un capitolo che focalizzi lo studio macrosismico della zona interessata all'urbanizzazione.

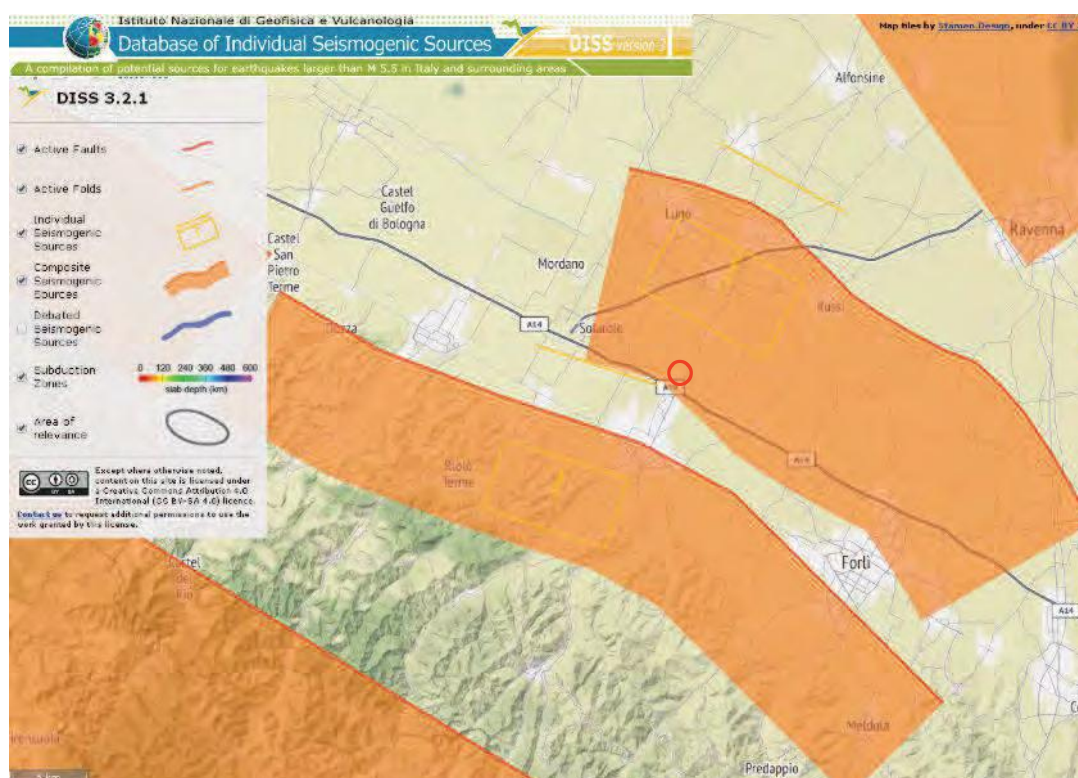
Sorgenti sismogenetiche

La sismicità di un territorio è strettamente connessa al suo contesto tettonico-strutturale e dunque alla presenza di strutture geologicamente "attive".

Si riporta la sezione geologica dell'industria petrolifera AGIP dove la sorgente di Bagnacavallo è interna rispetto al fronte di spinta ferrarese più esterno. I depositi quaternari non sembrano essere coinvolti nella deformazione (da Cassano et al. [1986]).



L'attività sismica che caratterizza la zona d'interesse risulta connessa all'attività orogenetica appenninica e definita nell'ambito di specifiche sorgenti sismogenetiche composite (DISS Working Group, 2015), che derivano dal sistema di faglie del margine avanzato e sepolto dell'arco appenninico.



Il sito in oggetto risulta collocato all'interno della **fascia sismogenica ITCS011 “Ascensione-Armaia”**, che comprende la fascia collinare pedeappenninica storicamente sede di terremoti con magnitudo massima **Mw = 6.0**.

GENERAL INFORMATION

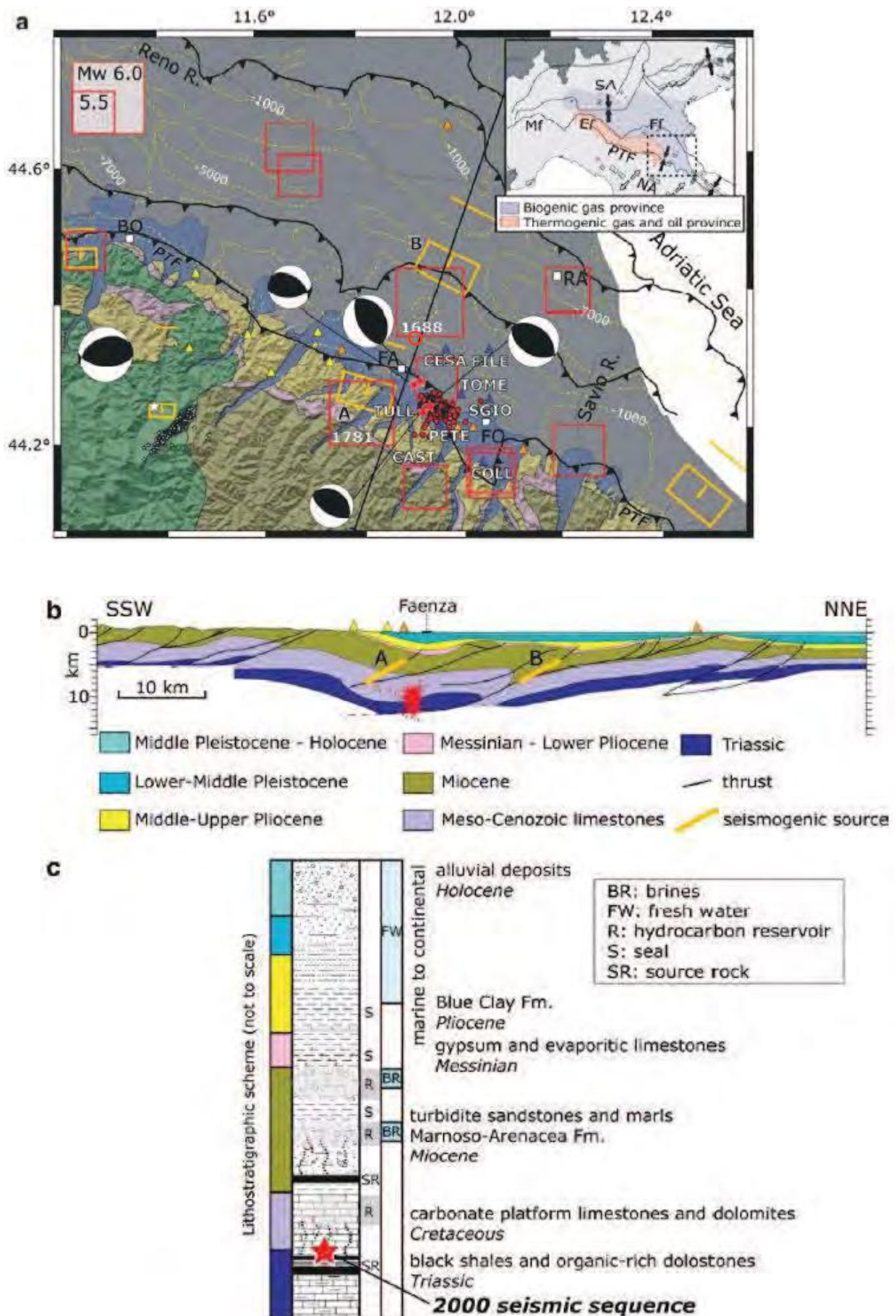
DISS-ID ITCS011 - Ascensione-Armaia

INFORMAZIONI PARAMETRICHE

	PARAMETRO	QUALITÀ	PROVA		
Profondità minima [km]	2.0	LD	Basato su dati geologici di vari Autori.		
Profondità massima [km]	10.0	LD	Basato su dati geologici di vari Autori.		
Strike [gradi] min - max	110-140	LD	Basato su dati geologici di vari Autori.		
Dip [gradi] min - max	25- 45	LD	Basato su dati geologici di vari Autori.		
Rastrello [gradi] min - max	80-100	EJ	Derivato da dati tettonici regionali.		
Velocità di scorrimento [mm / a] min- max	0,15-0,33	LD	Sulla base dei dati geologici di Maesano et al.(2015).		
Magnitudine massima [Mw]	6.0	EJ	Sulla base del più forte terremoto avvenuto nella regione.		

LD = DATI DI LETTERATURA; OD = DATI ORIGINALI; ER = RELAZIONE EMPIRICA; AR = RELAZIONE ANALITICA; EJ = GIUDIZIO ESPERTO;

Mappa sismotettonica della Pianura Padana orientale, che mostra in mappa e in sezione l'ubicazione della sequenza sismica Faenza 2000 (Mmax 4.3) (da Calderoni et al. [2009]).

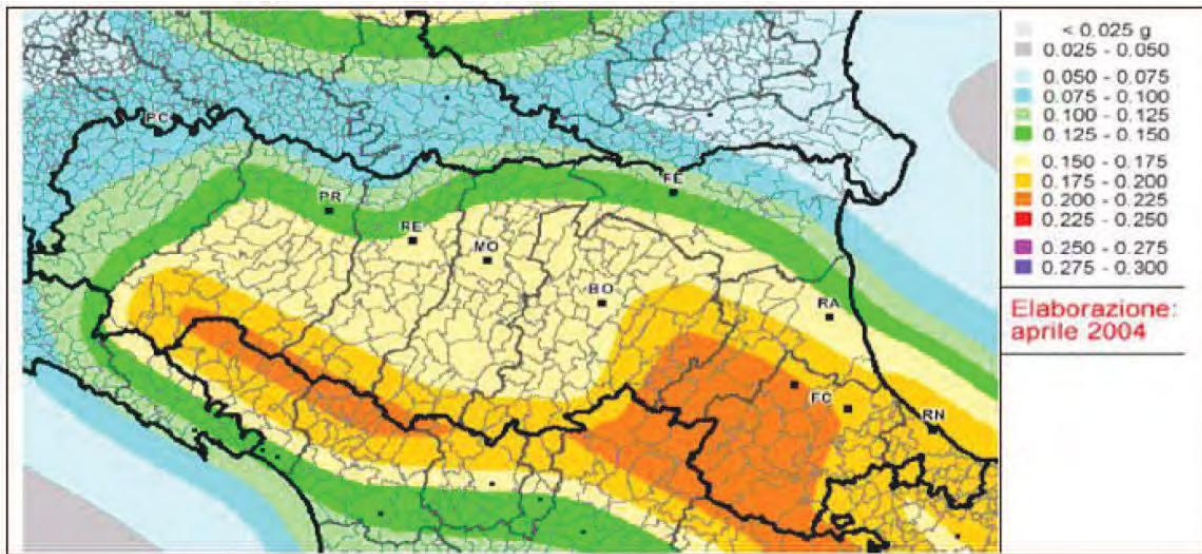


Questa Fonte Composita si trova a cavallo della regione a sinistra della bassa valle del Savio R., tra le città di Ravenna (a nord-est) e Forlì (a sud), formando una parte del fronte di spinta dell'Arco ferrarese. Questo sistema di faglie è l'arco interno tendente a NE nel settore nord-orientale della catena dell'Appennino settentrionale, tra la pedemontana romagnola e la pianura padana. Cataloghi storici e strumentali (Boschi et al., 2000; Gruppo di Lavoro CPTI, 2004; Pondrelli et al., 2006; Guidoboni et al., 2007) mostrano una sismicità intermedia sparsa ($4,5 < M_w < 5,0$) nella regione, con notevole eccezione il terremoto dell'11 aprile 1688 ($M_w 5.9$, Romagna) del pozzo all'interno dell'area, e quello del 725 d.C. ($M_w 5.6$, Classe-Ravenna), a nord-est della regione. Si potrebbe includere anche l'evento del 10 luglio 1570 ($M_w 5.2$, Forlì). Appena a sud-est dell'area si è verificato l'evento dell'11 agosto 1483 ($M_w 5.7$, Romagna Meridionale).

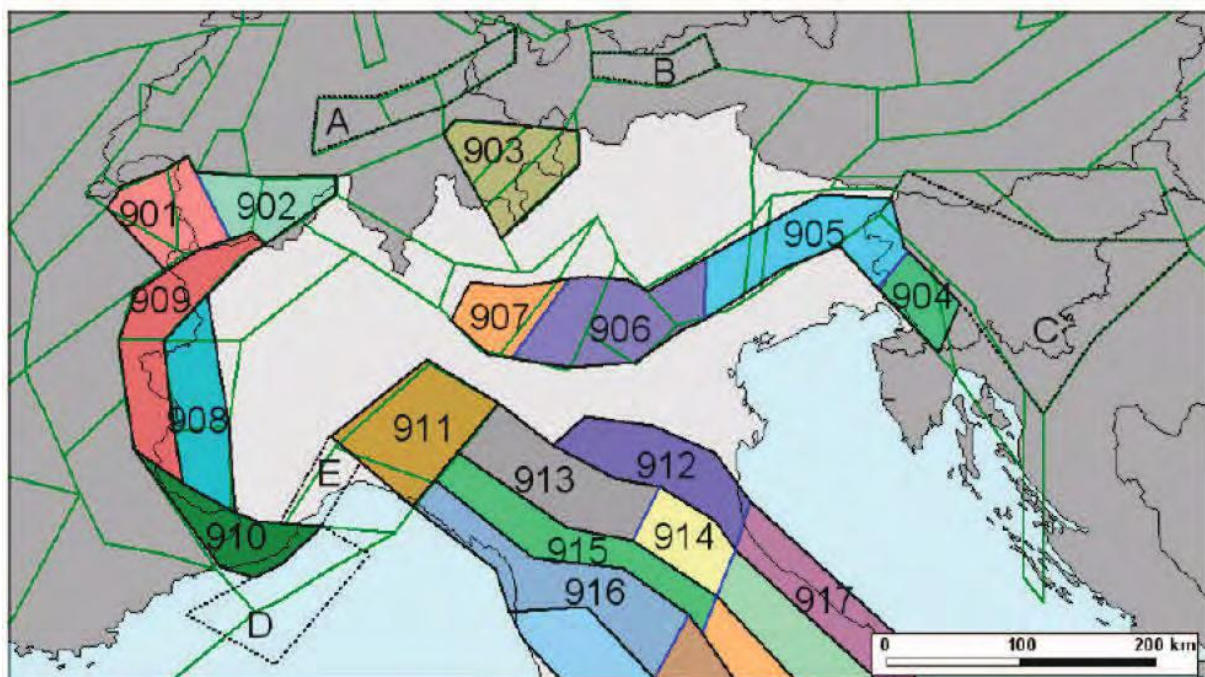
I dati del sottosuolo (Pieri e Groppi, 1981; Cassano et al., 1986) e l'evidenza di una deformazione attiva apparentemente rapida alla superficie descritta da numerosi autori, suggeriscono l'attività tettonica delle anticlinali sepolte nella parte posteriore dell'Arco di Ferrara. Un segmento di questa sorgente è stato associato al terremoto della Romagna del 1688. Rappresenta la pura spinta, desunta dalle osservazioni geologiche. La profondità minima e massima sono state basate su osservazioni geologiche e su considerazioni geometriche riguardanti la geometria della spinta. Lo slittamento è stato calcolato dai dati geologici del sottosuolo. La magnitudo massima si è basata sul più forte terremoto avvenuto nella regione.

Gli indirizzi regionali per gli studi di microzonazione sismica sono stati elaborati sulla scorta degli esiti delle indagini sismiche che la Regione ha effettuato a partire dagli anni '70 del secolo scorso e assumendo come riferimento, per gli studi applicati alla pianificazione territoriale, la pericolosità di base elaborata da INGV (O.P.C.M. 3519/2006). Tali indirizzi forniscono dati fondamentali per la valutazione semplificata dell'amplificazione locale e per valutazioni più approfondite della risposta sismica. Sulla base di questi dati è possibile calcolare, per ogni Comune, gli accelerogrammi e lo spettro di risposta riferito ad un periodo di ritorno di 475 anni e ad uno smorzamento pari al 5%, nonché i valori di PGA normalizzati e riferiti al suolo rigido. Per il Comune di Faenza la PGA di riferimento su suolo rigido attribuita dalla Regione (Allegato A4 D.A.L. 112/2007) risulta **0,205g**. Questo valore unico è calcolato mediando i dati di INGV alla scala nazionale (Gruppo di lavoro MPS04, 2004), sintetizzati nella Mappa di Pericolosità sismica nazionale MPS04 che descrive anch'essa la pericolosità sismica attraverso il parametro dell'accelerazione massima attesa su suolo rigido e pianeggiante, con una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, i cui valori però sono riferiti ad ogni punto di una griglia di

calcolo costruita sul territorio nazionale con una densità di circa un punto ogni 5 km. Tale mappa è diventata riferimento ufficiale per il territorio nazionale con l'O.P.C.M. 3519/2006.



L'attività sismica del territorio in esame risulta connessa all'attività orogenetica appenninica e definita nell'ambito di specifiche zone sismogenetiche, nelle quali gli eventi possono ritenersi circoscritti o definiti in relazione all'assetto tettonico del territorio. Recenti studi hanno messo in luce il legame sismogenetico tra la Pianura Padana e il fronte della catena appenninica. Con riferimento alla zonazione sismogenetica del territorio italiano, denominata ZS9, prodotta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (Gruppo di Lavoro INGV 2004), l'area in esame appartiene alla **zona sismogenetica 914**, per la quale la Tab. 6 del suddetto studio indica un valore di Magnitudo **M_wmax pari a 6,14**.



Microzonazione sismica

Per il Comune di Faenza il contributo è stato destinato all'elaborazione di approfondimenti di "livello 3" (dott. Sangiorgi S. 2015) e a un complessivo aggiornamento del precedente studio di microzonazione del PSC 2009:

- "Microzonazione sismica - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica versione 3.0", redatto dalla Commissione tecnica per la microzonazione sismica (Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2013);
- "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica", approvato dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome e successive modifiche e integrazioni (Gruppo di lavoro MS, 2008; AA.VV., 2011).

Gli studi di microzonazione sismica di "livello 3" relativi al Comune di Faenza sono già stati ultimati e recentemente hanno ottenuto il certificato di conformità dal SGSS regionale. Si precisa che tali studi sono basati sui dati di sottosuolo pregressi e su ulteriori e specifiche indagini geognostiche e geofisiche (campagna misure di microtremore a stazione singola, prove ESAC e "Down-Hole, penetrometrie CPTU, prove di laboratorio su campioni di sedimenti indisturbati prelevati da sondaggio a carotaggio, ecc.), per un totale di 373 indagini, archiviate in apposito database che costituisce l'archivio aggiornato delle indagini per il Comune di Faenza, a cui vanno aggiunti i dati numerici a disposizione relativi alle penetrometrie CPTU eseguite dalla RER nell'ambito del "Progetto Carta Geologica d'Italia".

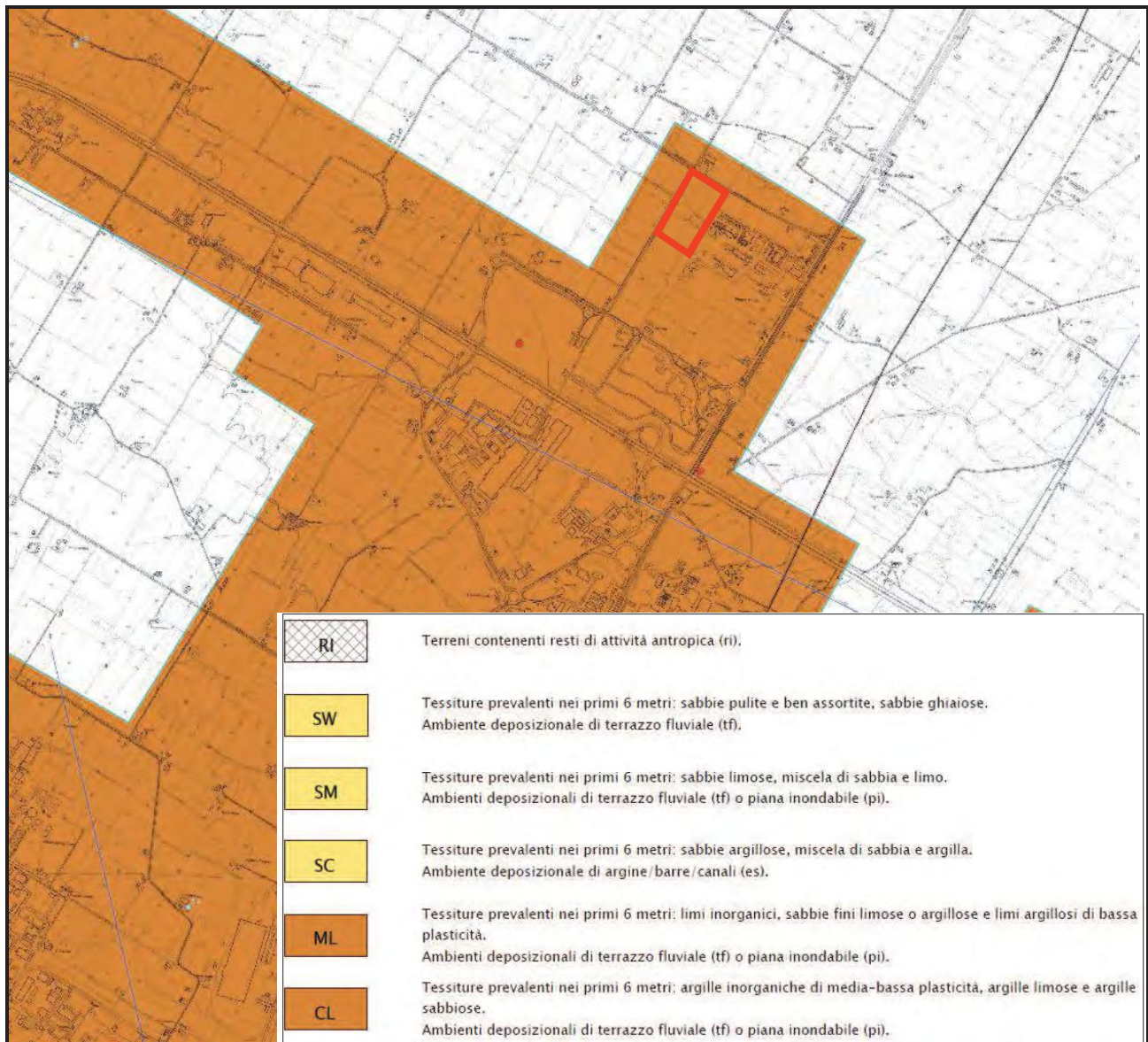
I dati di sottosuolo hanno consentito di espletare importanti approfondimenti relativamente ai seguenti effetti cosismici:

- risposta sismica locale (amplificazione) → attraverso l'elaborazione di modelli numerici monodimensionali di RSL elaborati con il noto software SHAKE 2000;
- verifiche della liquefacibilità dei sedimenti granulari e poco coesivi saturi mediante approcci semplificati da prove penetrometriche CPTU (Idriss & Boulanger, 2008) e prove dinamiche di laboratorio (taglio semplice ciclico).

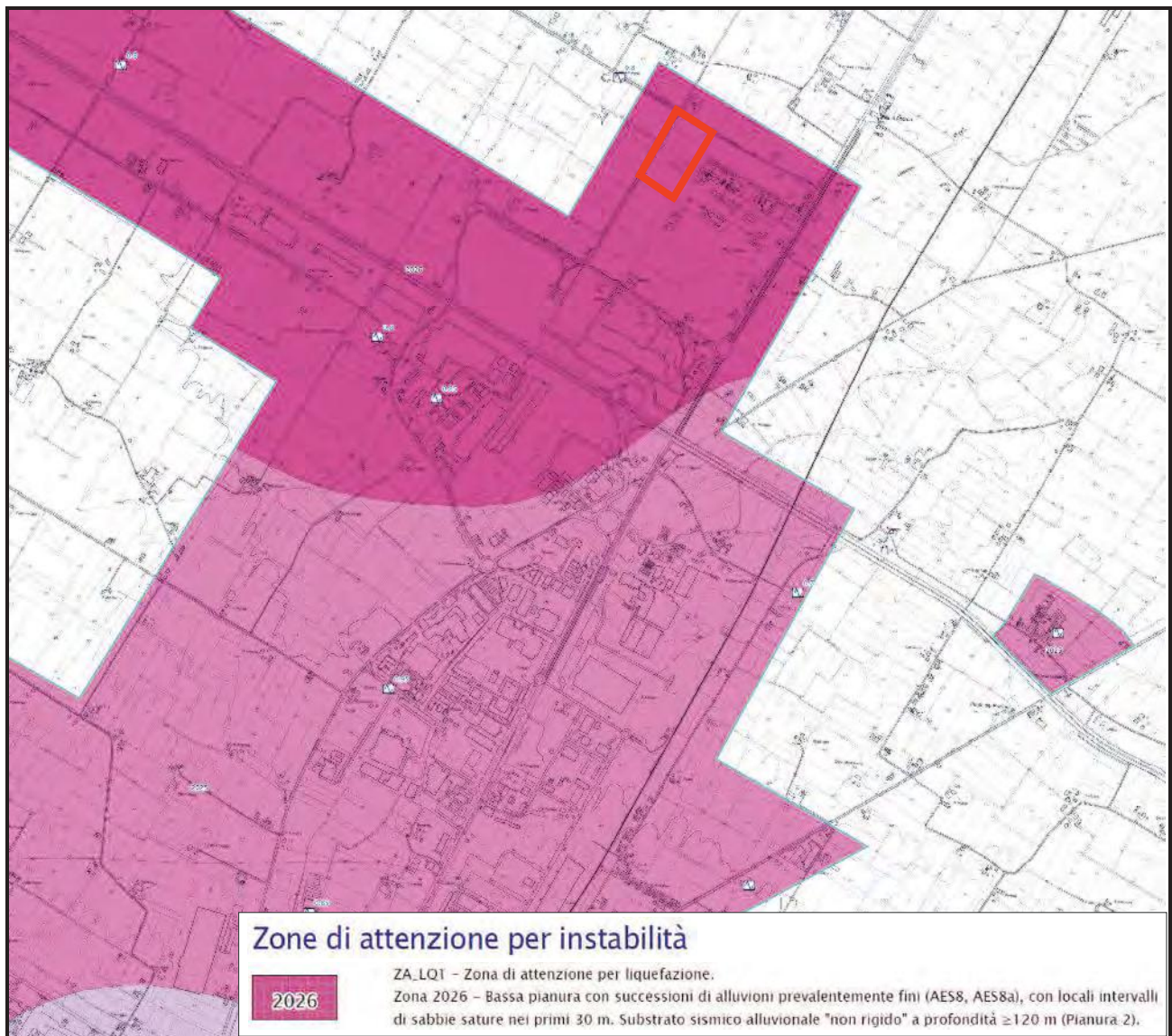
Nell'ambito dello studio di microzonazione sismica per il Comune di Faenza sono stati prodotti i seguenti elaborati cartografici:

- Carta delle indagini
- Carta delle frequenze naturali dei terreni
- Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica – MOPS
- Carta delle velocità delle onde di taglio Vs
- Carta della microzonazione sismica.

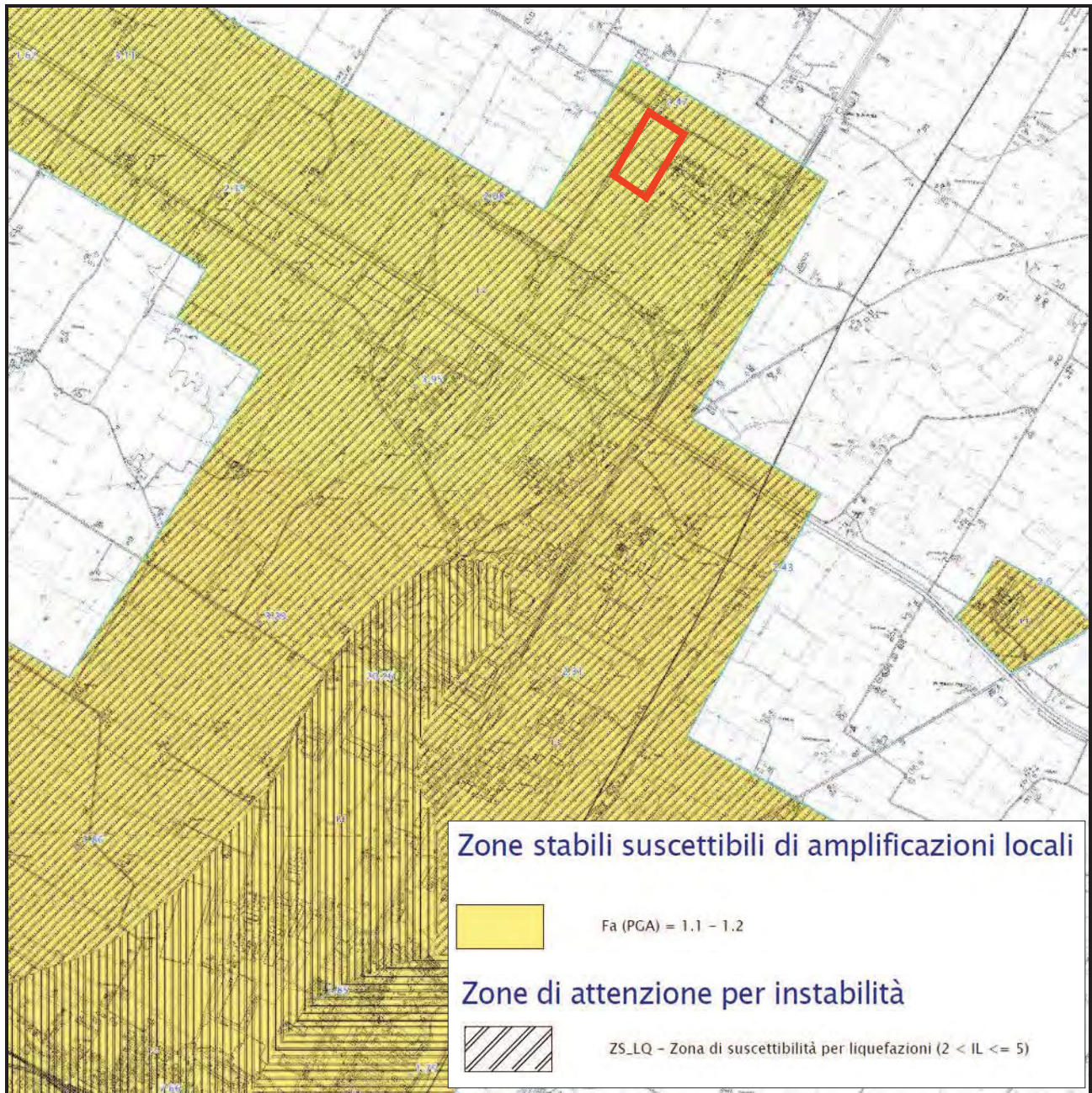
Nelle pagine seguenti è indicata l'ubicazione dell'area di via San Andrea in esame rispetto alle zonizzazioni prodotte nell'ambito degli studi di microzonazione sismica (III livello di approfondimento).



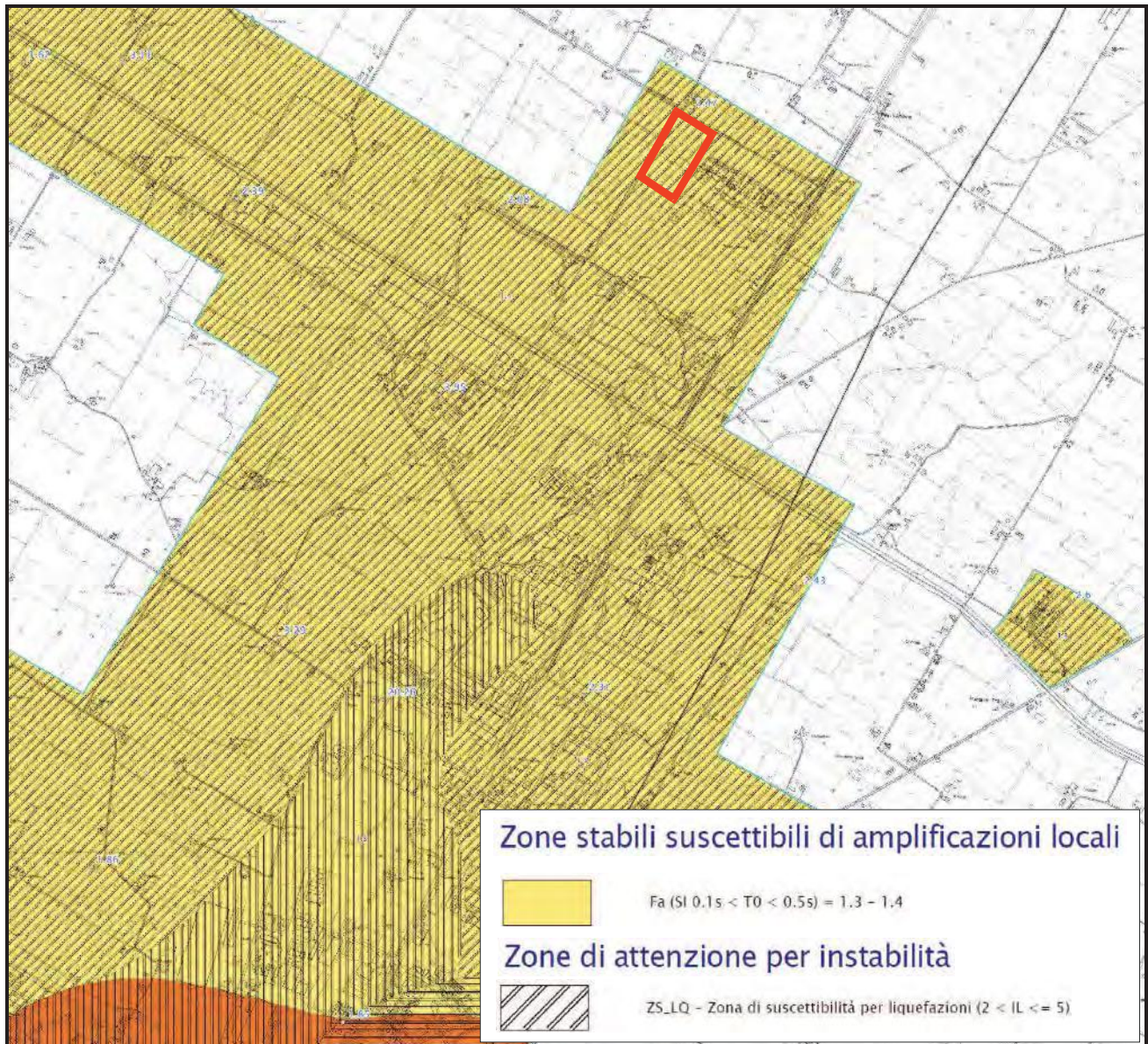
Carta geologico-tecnica del Comune di Faenza (fonte: studio di microzonazione sismica – terzo livello di approfondimento, Sangiorgi S., Righini T., Milioto A., 2015, Tav2d1).



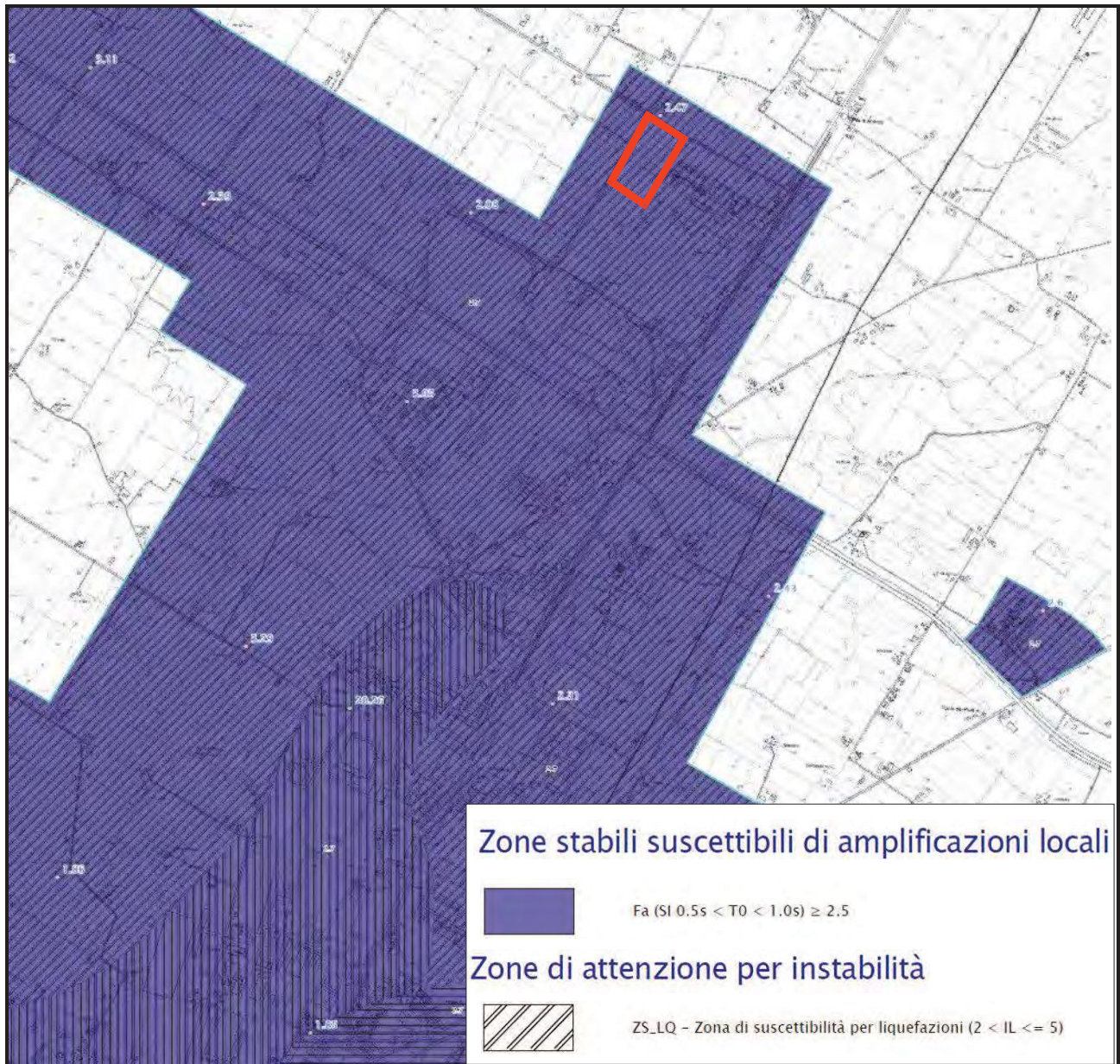
Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica – MOPS del Comune di Faenza (fonte: studio di microzonazione sismica – terzo livello di approfondimento, Sangiorgi S., Righini T., Milioto A., 2015, Tav4_d1_MS_01).



Carta di microzonazione sismica – livello 3 Fa (PGA) del Comune di Faenza (fonte: studio di microzonazione sismica – terzo livello di approfondimento, Sangiorgi S., Righini T., Milioto A., 2015, Tav6_d1_MS_03).



Carta di microzonazione sismica – livello 3 Fa ($SI\ 0.1s < T0 < 0.5s$) del Comune di Faenza (fonte: studio di microzonazione sismica – terzo livello di approfondimento, Sangiorgi S., Righini T., Milioto A., 2015, Tav7_d1_MS_03).



Carta di microzonazione sismica – livello 3 Fa ($SI\ 0.5s < T0 < 1.0s$) del Comune di Faenza (fonte: studio di microzonazione sismica – terzo livello di approfondimento, Sangiorgi S., Righini T., Milioto A., 2015, tav8_d1_MS_03).

Di seguito sono riassunti i **dati di MZS III livello** relativi alla zona in cui ricade l'area "**San Andrea**" in esame:

CLASSIFICAZIONE GEOLOGICO-TECNICA:

CL pi – Tessiture prevalenti nei primi 6 metri: argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille limose e argille sabbiose. Ambienti deposizionali di piana inondabile (pi)..

MICROZONE SISMICHE OMOGENEE (MOPS):

ZA_LQ1 - Zona di attenzione per liquefazione.

Zona 2026 - Bassa pianura con successioni di alluvioni prevalentemente fini (AES8, AES8a), con locali intervalli di sabbie sature nei primi 30 m. Substrato sismico alluvionale "non rigido" a profondità ≥ 120 m (Pianura 2).

PARAMETRI DI MICROZONAZIONE SISMICA:

Vs30: 210-220 m/s (categoria di sottosuolo di fondazione tipo C)

VsH15: < 300 m/s

Frequenze di amplificazione H/V: 0.80÷0.85

Amplificazioni HVSR significative 2.47-2.08 Hz

Amplificazione da abachi:

- Fa (PGA) = 1,2

- Fa (SI1 0.1s <T 0<0.5s) = 1,4

- Fa (SI2 0.5s <T 0<1.0s) = 2.7

Liquefacibilità dei terreni: da verificare.

NOTE:

Gli accelerogrammi utilizzati per le modellazioni numeriche di RSL sono stati scalati tenendo già conto del reticolo INGV. Le verifiche di liquefazione sono state eseguite considerando gli input di scuotimento (Pga) ricavati dalla modellazione numerica di RSL.

MODELLO SHAKE 2000

Zone suscettibili di amplificazioni locali – modelli numerici di amplificazione

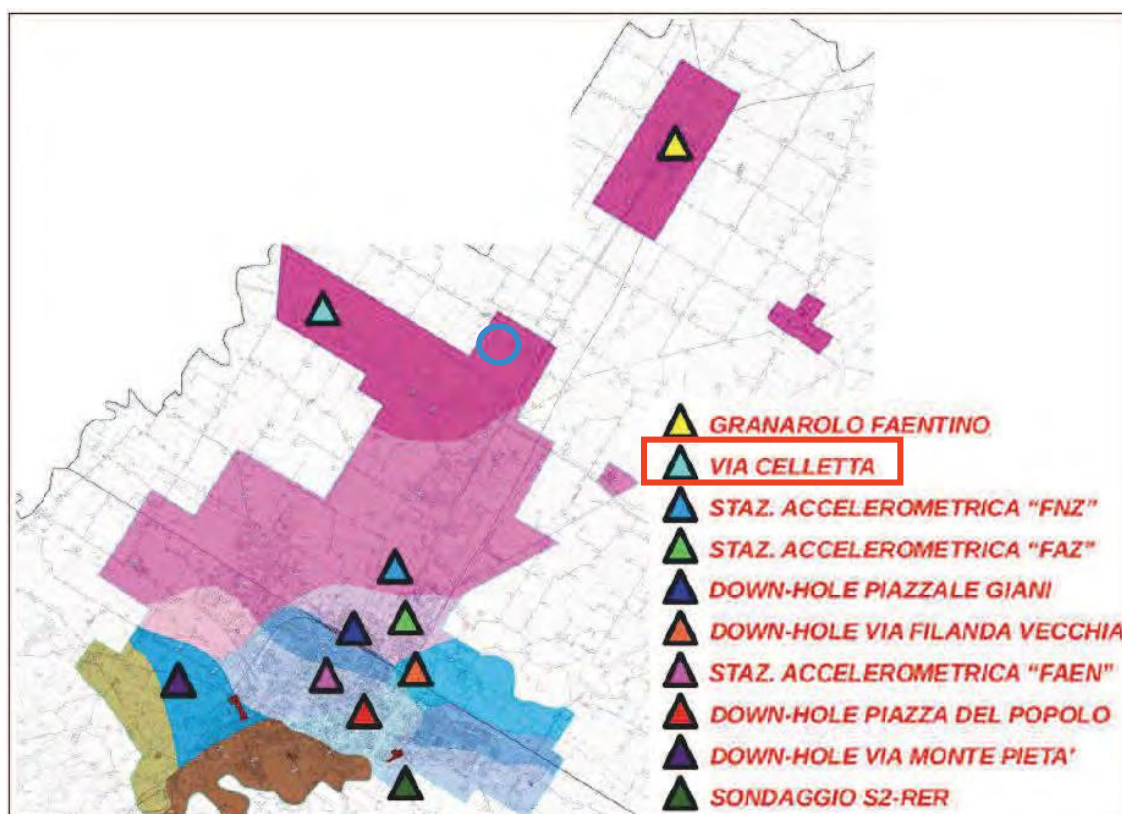
Le informazioni di sottosuolo pregresse e di nuova acquisizione hanno consentito di espletare ulteriori approfondimenti sulla risposta sismica locale (RSL), finalizzata a quantificare anche gli effetti di amplificazione indotti dal sisma. Si è pertanto deciso di

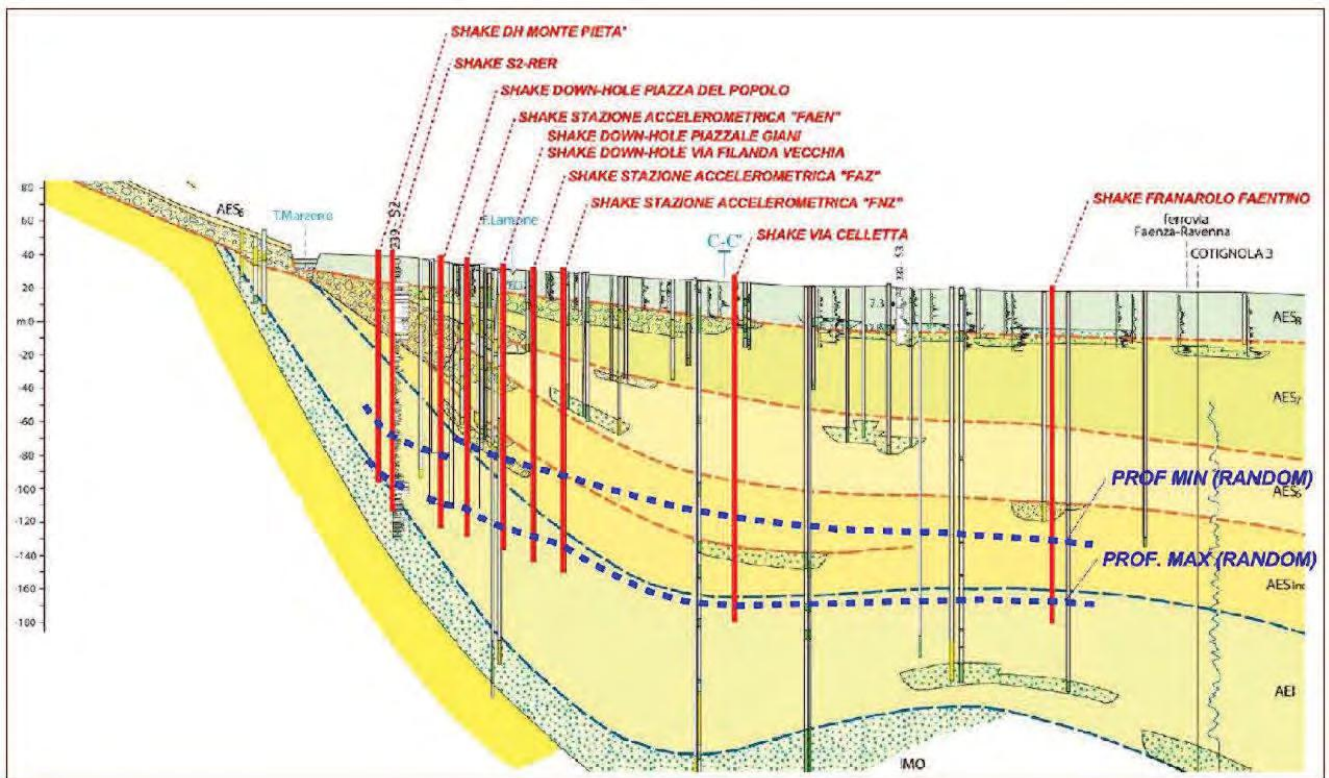
espletare alcune analisi di modellazione numerica della RSL, localizzate in funzione dei punti d'indagine disponibili di maggior importanza (es. sondaggi, prove "Down-Hole", "Coni sismici" ecc.), basate sui dati di sottosuolo e sulle relative interpretazioni. Complessivamente, sono state elaborate 10 analisi numeriche monodimensionali e viene presa in considerazione l'analisi di "VIA CELLETTA" localizzata nella figura sottostante che ha interessato i settori di "Pianura 2" ("bassa" pianura).

Le analisi numeriche di RSL sono state elaborate secondo l'approccio analitico lineare equivalente, utilizzando il noto software SHAKE 2000 (v. 3.2.0). SHAKE 2000 è un programma di calcolo realizzato per verifiche monodimensionali e sviluppato da P.B. Schnabel; J. Lysmer e H.B. Seed dell'Università di Berkeley (USA).

Il software è in grado di eseguire una sequenza di analisi lineari complete, con l'aggiornamento successivo dei parametri di rigidità e smorzamento in funzione delle caratteristiche della colonna litologica. Il processo di analisi che si è seguito può essere così schematizzato:

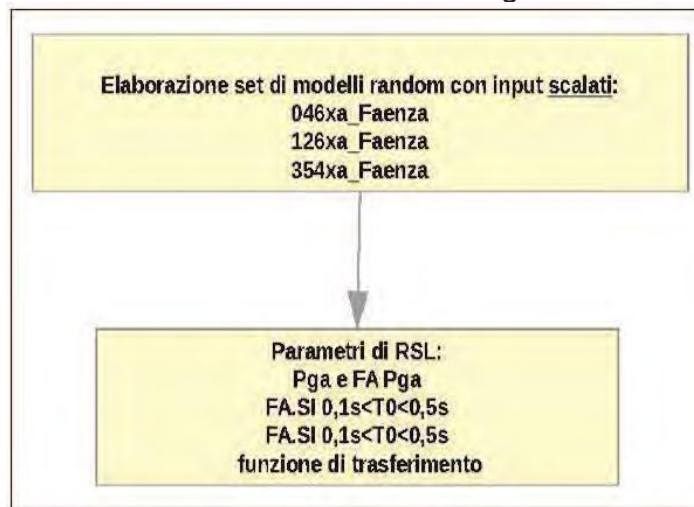
- scelta degli input sismici (accelerogrammi) di riferimento in funzione della pericolosità sismica di base indicata per questo studio di microzonazione sismica;
- definizione del modello sismostratigrafico locale;
- elaborazione degli accelerogrammi di output e degli spettri di risposta richiesti.
-





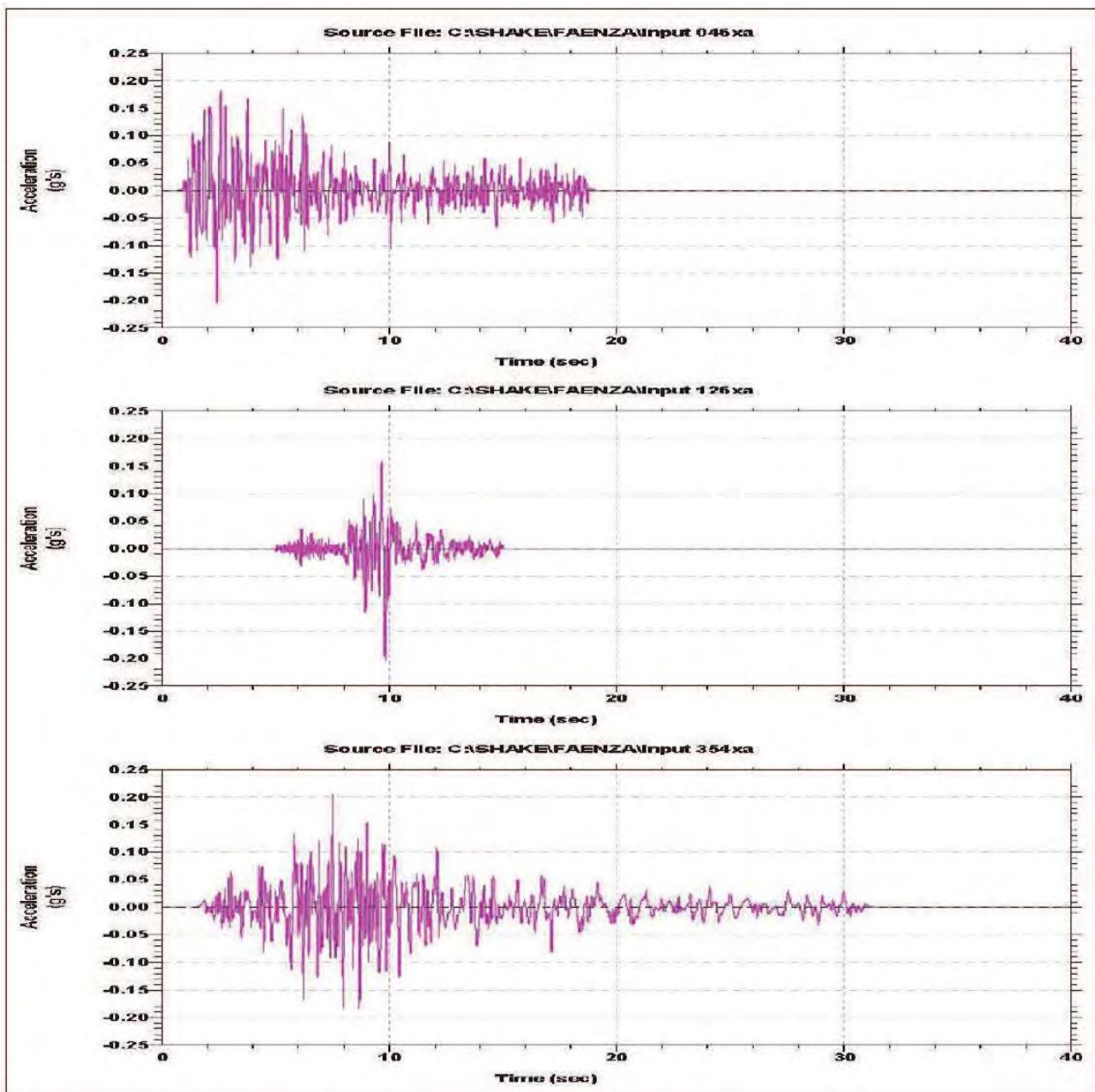
Localizzazione dell'analisi numerica di "VIA CELLETTA" espletata sulla sezione geologica RER n.63. La figura riporta le profondità del pseudo-bedrock considerate per la modellazione.

Diagramma di flusso delle analisi che hanno condotto agli esiti di RSL:



Le elaborazioni numeriche sono state impostate sui tre accelerogrammi di riferimento, forniti dalla Regione Emilia-Romagna, selezionati dalla Banca Dati accelerometrica ISESD attraverso una procedura che valuta la similarità tra la forma spettrale di riferimento e la forma degli spettri di risposta dei segnali. Si tratta di tre differenti tipologie di segnale:

- 1) impulsivo
- 2) con ampio contenuto in frequenze
- 3) con componente predominante alle alte frequenze



La Pga0 di riferimento al suolo rigido indicata nella DAL regionale n.112/2007 è stata confrontata con la Pga0 di riferimento attualmente vigente a scala nazionale, calcolata alla medesima pericolosità di base9 e definita mediante griglia di calcolo INGV costruita per tutto il territorio italiano: ne risulta una buona similarità per tutti i modelli elaborati nel Capoluogo, mentre per i modelli localizzati nel territorio comunale più settentrionale (“Granarolo Faentino” e “via Celletta”) si riscontrano valori lievemente differenti. Per questo motivo si è valutato, con approvazione del SGSS regionale, di utilizzare accelerogrammi di input differentemente scalati e cioè:

- per le simulazioni eseguite nell'area Capoluogo → Pga0 =0,205g

- per le simulazioni eseguite in via Celletta (zona produttiva a nord del Capoluogo) → $P_{ga0} = 0,201g$
- per le simulazioni eseguite nella frazione Granarolo Faentino → $P_{ga0} = 0,193g$

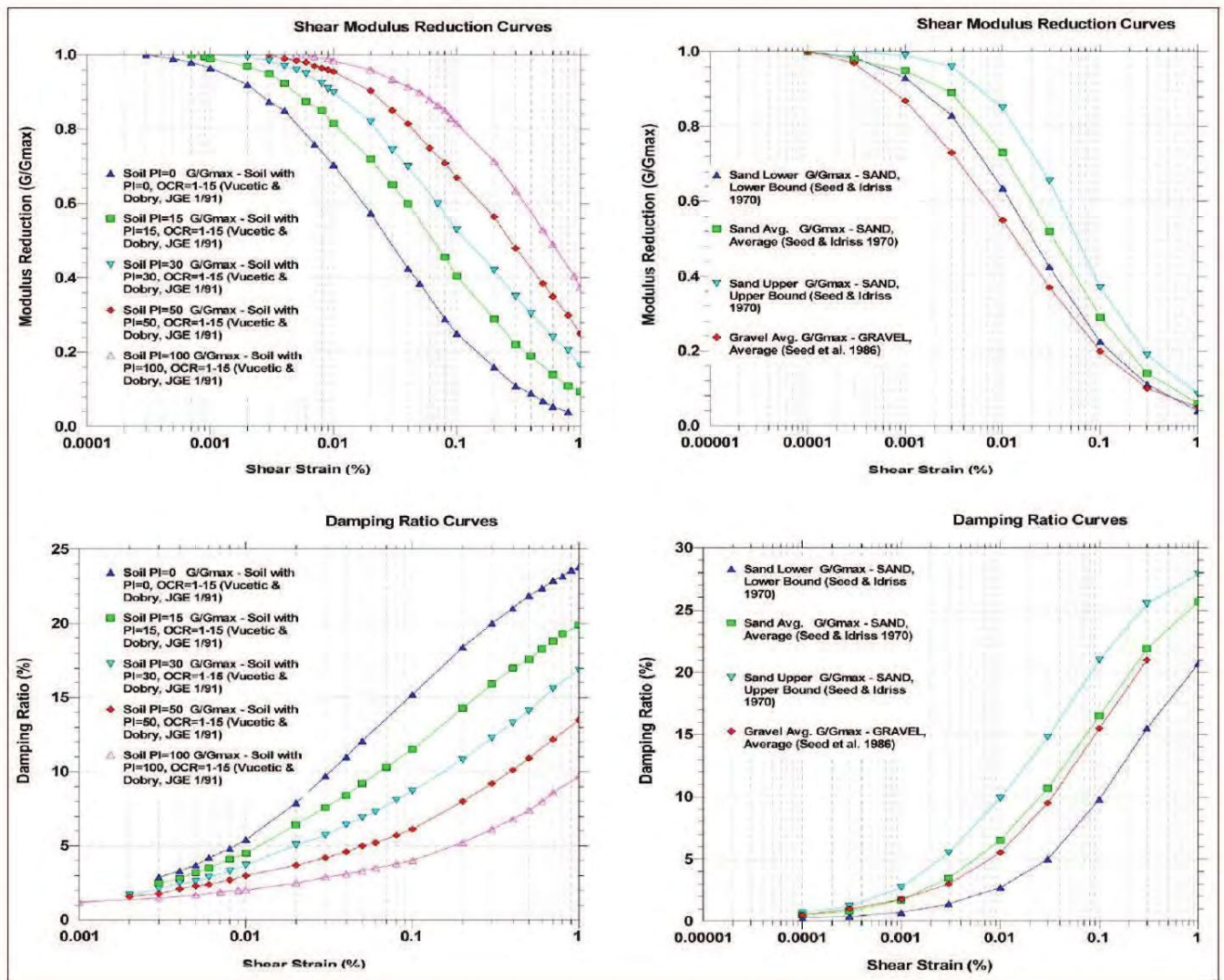
Definiti gli input di scuotimento, il codice di calcolo SHAKE 2000 richiede l'inserimento del modello sismostratigrafico rappresentativo dell'area di studio. In questo senso, è necessario definire:

- numero e spessore degli strati di sottosuolo, profondità del bedrock sismico
- proprietà elastiche per ogni strato (V_s o modulo di taglio massimo G_0)
- leggi di variazione normalizzata di G e rapporti di smorzamento minimo D_0 per ogni strato

Il successivo passo è dunque quello di definire la stratigrafia e i relativi principali parametri sismici. Il supporto conoscitivo, per quanto riguarda il sottosuolo è fornito dagli esiti delle indagini geognostiche e geofisiche eseguite nell'area di studio e dalle ulteriori indagini di repertorio. Occorre precisare che l'attribuzione dei sismostrati meno profondi è basata su valutazioni indirette, desunte dagli esiti penetrometrici e dalle valutazioni dirette ricavate dalle prove di laboratorio su campioni di sedimenti effettuate per questo lavoro (classificazione; limiti di Atterberg; colonna risonante).

Per ogni sismostrato, il codice di elaborazione implementato in SHAKE 2000, richiede l'inserimento delle fondamentali proprietà dinamiche del suolo, rappresentate dal fattore di smorzamento D e dal modulo di rigidezza a taglio G . Mentre i valori di rigidezza iniziale G_0 sono stati determinati sulla base delle indagini geofisiche (stima delle V_s), le caratteristiche di deformazione a taglio e smorzamento dei sedimenti sottoposti a sollecitazioni impulsive devono essere necessariamente determinate da prove di laboratorio. Si sono considerati gli esiti delle curve di decadimento di Seed & Idriss (1970) per sabbie, Vucetic & Dobry (1991) per sedimenti argillosi rispettivamente e ancora di Seed et al. (1986) per le ghiaie.

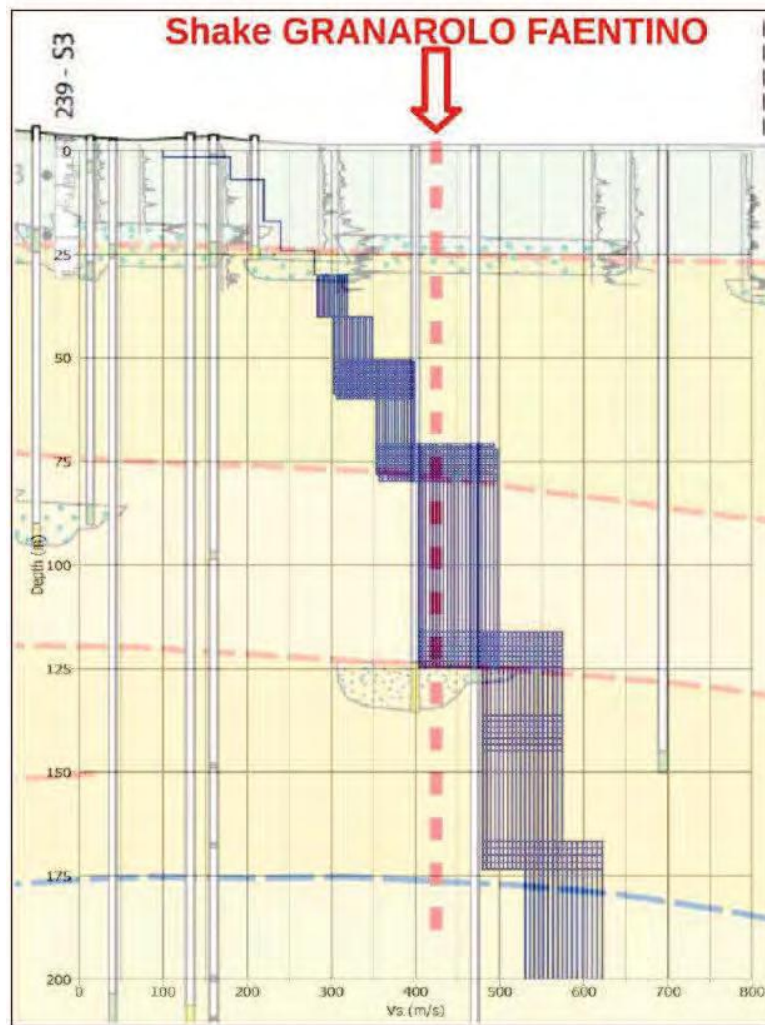
Le simulazioni numeriche della RSL sono state elaborate secondo un approccio per iterazione, in conseguenza della variabilità del modello di sottosuolo, fino a raggiungere una convergenza degli esiti di amplificazione ritenuti il più possibile compatibili con le reali caratteristiche sismostratigrafiche del sito studiato. Inoltre, Tutte le simulazioni hanno preliminarmente considerato un modello di riferimento. È comunque da rimarcare l'ineludibile incertezza che risiede nella definizione e nella esemplificazione dei principali parametri sismostratigrafici del modello di riferimento, rispetto all'effettiva situazione reale, soprattutto per la caratterizzazione degli strati più profondi.



Proprietà dinamiche dei materiali: ulteriori curve di decadimento sperimentali considerate per le analisi numeriche di RSL.

In tal senso, il programma SHAKE 2000 permette di generare casualmente un set di simulazioni numeriche considerando la variabilità del modello sismostratigrafico di riferimento (limite base, limite superiore e spessore degli strati; moduli di taglio; damping; accelerazione di picco; velocità onde sismiche di taglio; ecc.). Occorre rammentare che tale funzionalità di SHAKE 2000 deve essere considerata come un ulteriore strumento analitico per valutare gli effetti di variabilità dei dati di input sui risultati delle analisi di RSL. L'approccio di calcolo utilizzato per questo lavoro ha previsto l'utilizzo della funzione "Stratified/Random Field" implementata nel software. Questo metodo consente di scegliere il numero di modelli random da generare, impostando per ogni intervallo della colonna sismostratigrafica di riferimento i limiti di variabilità dei parametri selezionati. È inoltre possibile vincolare la generazione dei modelli ad una profondità compresa tra i valori minimi e massimi della colonna sismostratigrafica così definita. Ciò detto, l'approccio di

calcolo random è impostato prevedendo 100 modelli sismostratigrafici differenti, con limiti della profondità del pseudobedrock e con velocità delle onde sismiche di taglio V_s (dunque di rigidità) ragionevolmente variabili.



Sovrapposizione tra sezione geologica profonda (sez. RER n. 63) e colonna sismostratigrafica del modello numerico random “Granarolo Faentino” (si riporta la variabilità delle V_s con la profondità).

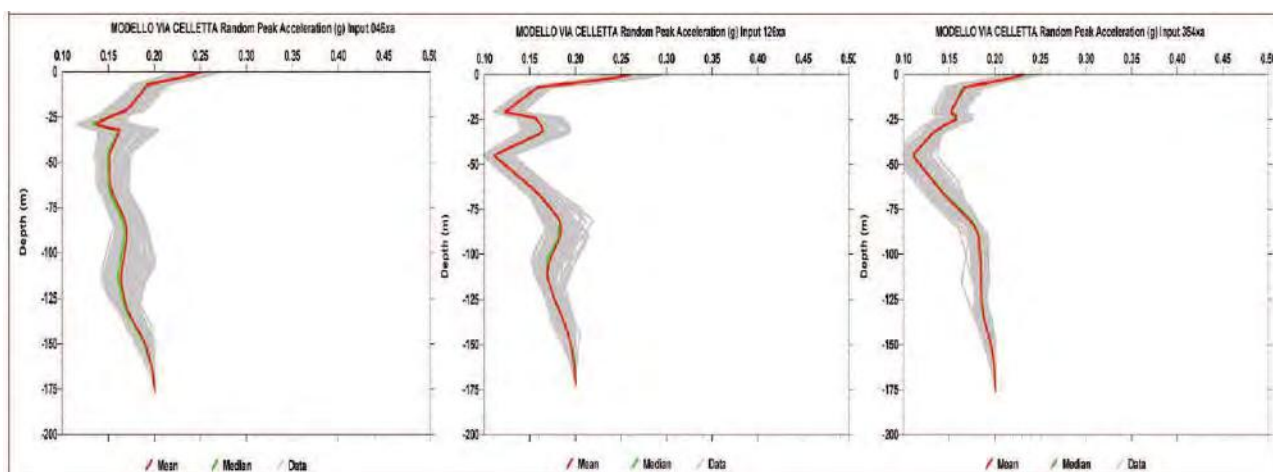
In sintesi, i modelli sismostratigrafici random della “media” e “bassa” pianura (corrispondenti alla zona Celletta di Faenza e Granarolo Faentino) hanno considerato come riflettore sismico predominante (pseudobedrock sismico) un intervallo di sedimenti compresi tra il limite basale AES6 e la base delle sottostanti alluvioni dell'unità AES indistinto. I modelli rappresentativi del contesto di conoide sepolta del Lamone (ove si insedia gran parte dell'insediato storico di Faenza) hanno invece considerato un riflettore sismico predominante impostato tra la base delle alluvioni dell'unità AES indistinto e il tetto del Bedrock marino pleistocenico (“Sabbie Gialle”). In particolare, per i modelli numerici random corrispondenti al sondaggio profondo S2-RER si è considerato come bedrock sismico il tetto di una potente successione ghiaiosa (rilevato a -125 metri), sovrastante il substrato roccioso marino e al quale si è attribuita una V_s variabile da 625 m/s a 725 m/s.

Per quanto riguarda gli esiti di output ricavati dalle modellazioni numeriche, il software SHAKE 2000 consente di valutare i parametri di risposta sismica indicati dalla DAL regionale n. 112/2007. In particolare si sono calcolati:

- A) le accelerazioni di picco al suolo e i valori di F_pg_a
- B) i rapporti spettrali di amplificazione
- C) l'intensità spettrale di Housner e i valori di FA SI(0,1-0,5s) e FA SI(0,5-1,0s)

A) le accelerazioni di picco al suolo e i valori di F_pg_a

Le simulazioni numeriche consentono la valutazione dell'amplificazione locale F_pg_a intesa come rapporto dell'accelerazione massima calcolata nello strato più superficiale o di interesse (in questo caso calcolata al suolo) rispetto all'accelerazione di riferimento al bedrock "rigido". Il software SHAKE 2000 consente di calcolare la variabilità della ag attraverso le colonne sismostratigrafiche random. In questo senso, le schede di sintesi dei modelli numerici random allegate in calce alla Relazione riportano graficamente l'andamento delle accelerazioni orizzontali (media e mediana) per i tre input sismici di riferimento



Distribuzione delle accelerazioni orizzontali di RSL per i tre input sismici di riferimento dei modelli di "via Celletta").

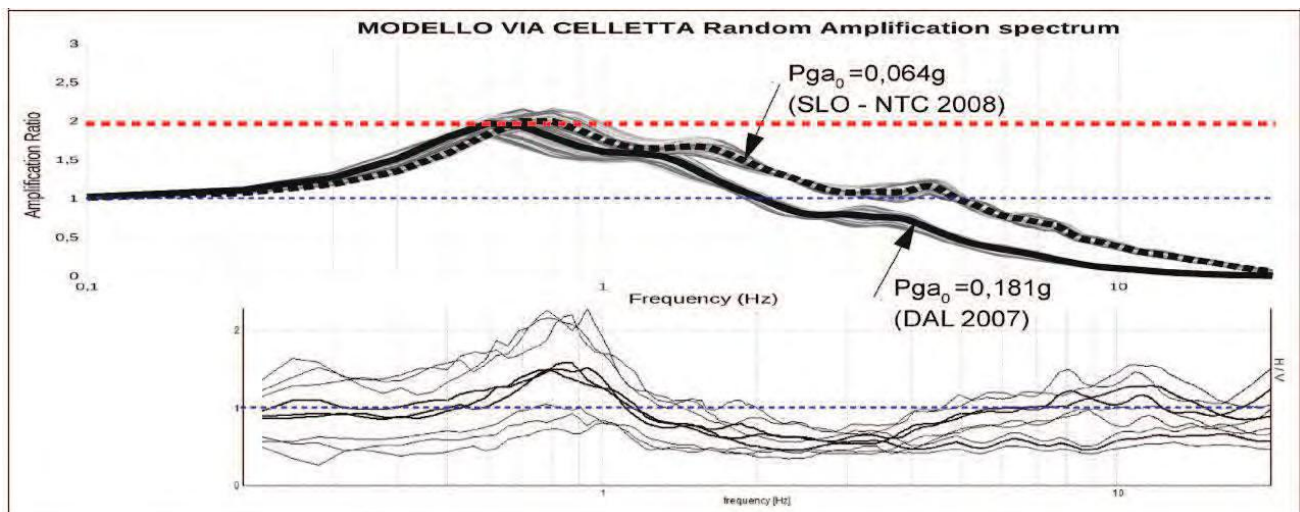
e la tabella con i valori rappresentativi di P_ga e di FA P_ga. Si precisa che, per limitare le eventuali anomalie nella distribuzione degli esiti di amplificazione generate dalle simulazioni random, si è ritenuto più corretto utilizzare il valore di mediana come esito di riferimento per ognuno dei tre input sismici. Il valori di P_ga e FA P_ga al suolo assunti come rappresentativi per la RSL sono infine ricavati come valore medio dei tre esiti di mediana.

B) Rapporti spettrali di amplificazione

La risposta sismica locale deve essere valutata anche in funzione delle amplificazioni del moto di vibrazione in termini di frequenze dell'impulso sismico, considerando i fattori di

smorzamento D e i rapporti tra le impedenze sismiche dei sismostrati. La variazione del fattore di amplificazione con la frequenza definisce la funzione di amplificazione $A(f)$ della colonna sismostratigrafica. Il moto sismico può dunque essere amplificato in corrispondenza di determinate frequenze, corrispondenti alle frequenze naturali di vibrazione della colonna stratigrafica. In questo senso, è molto importante definire la prima frequenza naturale di vibrazione f_0 denominata frequenza fondamentale, in corrispondenza della quale la funzione di amplificazione assume un valore che dovrebbe risultare il massimo.

Le schede di sintesi delle modellazioni di RSL riportano gli spettri di amplificazione generati dalle simulazioni random (set di valori e valore di mediana) per gli input sismici considerati.



Confronto tra funzioni di trasferimento ricavate con differenti livelli energetici di scuotimento sismico e spettri di amplificazione H/V ottenuti dalle registrazioni tomografiche al suolo. Gli esempi si riferiscono ai modelli numerici di “via Celletta” (“bassa” pianura faentina).

Occorre ricordare che la funzione di amplificazione locale non è una proprietà univoca del sito ma è anche dipendente dalle caratteristiche del moto di input (es. ampiezza e contenuto in frequenza, energia, effetti del comportamento non lineare del terreno, ecc.).

Per questo motivo, si sono calcolati anche gli spettri di amplificazione ricavati dagli accelerogrammi scalati a valori energetici molto più bassi, ovvero considerando Pga_0 scalati al livello di pericolosità probabilistica dello “Stato Limite Operativo” (SLO) indicato dalle Norme Tecniche per le Costruzioni vigenti (NTC 2008). Il confronto tra spettri ricavati da differente energia di scuotimento, evidenzia l'influenza della non linearità del comportamento dei sedimenti sulla funzione di amplificazione al crescere dei livelli

energetici del terremoto: in generale, si riscontra uno spostamento verso frequenze minori (periodi maggiori) del picco di amplificazione e una sua progressiva attenuazione. Inoltre, per maggiori livelli energetici del terremoto si hanno effetti di attenuazione dell'amplificazione alle alte frequenze. Si riportano, per alcune simulazioni di RSL, entrambi gli spettri di amplificazione ricavati secondo gli input scalati DAL 112/2007 e SLO-NTC2008. La figura 7.9 confronta anche lo spettro di amplificazione H/V ricavato dalle registrazioni tromografiche effettuate nei rispettivi areali, per meglio evidenziare la migliore correlabilità con gli spettri ricavati da sismi a bassa energia.

Si precisa che la modellazione numerica è stata limitata fino ad un massimo di 20 Hz, limite più utile ai fini ingegneristici per le analisi delle interazioni sottosuolo/strutture.

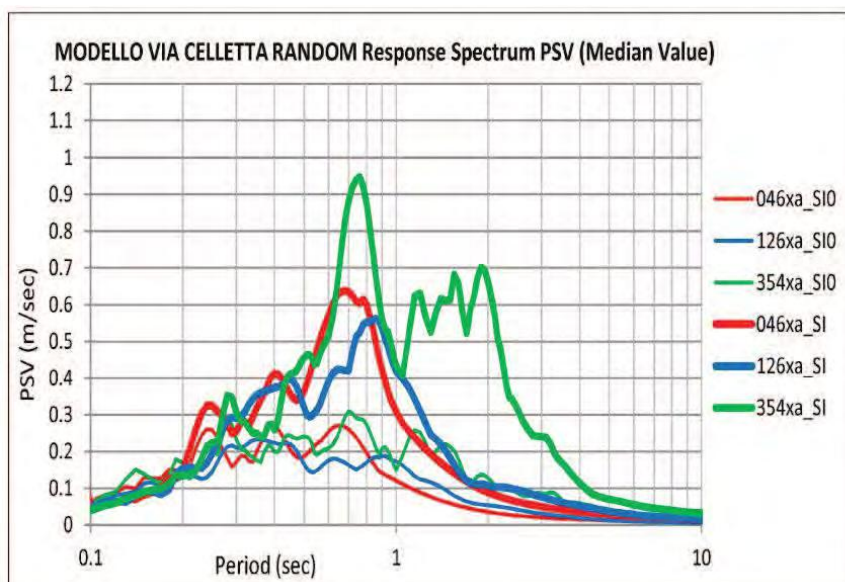
C) Intensità spettrale di Housner

Gli spettri di risposta riflettono solo in maniera indiretta le caratteristiche del moto sismico, essendo queste ultime filtrate attraverso la risposta delle strutture di progetto. Gli spettri di risposta risultano di più significativa utilità ai fini ingegneristici in quanto consentono di rappresentare nella maniera più efficace e utile per l'ingegnere gli effetti delle caratteristiche del moto del terreno sul comportamento delle strutture.

In questo senso, la DAL regionale n.112/2007 richiede la determinazione del fattore di amplificazione FA SI (rapporto di intensità spettrale di Housner) quale ulteriore indicatore della pericolosità sismica. L'intensità di Housner è definita come l'area sottesa dello spettro di risposta di pseudovelocità. Nello specifico, la Deliberazione regionale richiede di quantificare i fattori di amplificazione per i due intervalli di frequenze, rispettivamente da $0.1 < T_0 < 0.5$ s (FA SI_{0,1-0,5s}) e da $0.5 < T_0 < 1$ s (FA SI_{0,5-1,0s}).

Le schede di sintesi delle modellazioni di RSL riportano gli esiti spettrali di PSV (SI) per i tre input sismici di riferimento. Sono riportati graficamente tutti gli esiti dei set di colonne sismostratigrafiche random create dal software SHAKE 2000, il valore di media e il valore di mediana (quest'ultimo assunto come esito di riferimento per ognuno dei tre input sismici). È riportato anche il confronto tra gli spettri PSV al pseudobedrock dei tre input sismici (SI₀) e i rispettivi spettri PSV al suolo (valori di mediana) e gli esiti numerici di FA SI riferiti al suolo (figura 7.10).

In calce alla Relazione, si riportano le schede di sintesi dei 10 modelli numerici random. Le schede riportano, nel dettaglio, anche i dati di input considerati per la generazione dei modelli sismostratigrafici random.



VALORI FA (SI) AL SUOLO
RAPPRESENTATIVI:

DAL 112/2007	T 0.1-0.5	T 0.5-1.0
1-Input_046xa	1.4	2.6
2-Input_046xa	1.5	2.7
3-Input_354xa	1.3	2.8
MEAN	1.4	2.7

Spettri di intensità di Housner riferiti al suolo (SI - valori di mediana) e al pseudobedrock (SIO) ed esiti numerici rappresentativi del FA SI al suolo (modelli numerici di RSL di “via Celletta”).

Vs	MODELLO SHAKE	FA PGA	FA SI 01_05	FA SI 05_1
Vs30=200	Via Celletta	1.2	1.4	2.7
Vs30=200	Granarolo Faentino	1.2	1.4	2.8

f. VALUTAZIONE DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE SISMICA PER LE ANALISI DI SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO E PER LA VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI TOPOGRAFICI (DGR630/2019)

Per calcolare i Fattori di Amplificazione (F.A.) richiesti nell'analisi di secondo livello di approfondimento sono state realizzate indagini geotecniche e geofisiche che hanno permesso di definire lo spessore H del deposito di copertura e la velocità equivalente delle onde di taglio. Per copertura si intende una coltre detritica di origine continentale (alluvionale, eluvio-colluviale, gravitativa, ecc.) o di alterazione presente sulla superficie al tetto del substrato geologico per un intervallo $H > 3$ metri. Quindi H è lo spessore della copertura o profondità del substrato rigido, ovvero del bedrock sismico.

- Spessore del deposito di copertura e profondità del substrato rigido (H)
- Velocità equivalente delle onde di taglio per lo spessore considerato (VsH e Vs30) del deposito di copertura secondo le formule:

$$V_{sH} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N h_i / V_{s_i}}$$

dove:

- N = Numero di strati del profilo sismico corrispondenti alla copertura
- H = spessore totale dei terreni di copertura o profondità del tetto substrato rigido
- h_i = spessore strati (m.) fino al substrato rigido
- V_{s_i} = velocità delle onde di taglio dello strato (m/sec) fino al substrato rigido

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^M h_i / V_{s_i}}$$

dove:

- M = Numero di strati del profilo sismico fino alla profondità di m. 30
- h_i = spessore strati (m.) fino alla profondità di m. 30
- V_{s_i} = velocità delle onde di taglio dello strato (m/sec) fino alla profondità di m. 30

Nel nostro caso si ha:

- Terreni di copertura H = ml. 247.00
- Substrato marino V_s = m/sec 880.00
- V_{s30} = m/sec 257.45
- V_{sH} = m/sec 281.34

CATEGORIA di SUOLO C

Le tabelle per il calcolo dei coefficienti di amplificazione sismica (II° livello di approfondimento) vengono divise a secondo della zona geologica e successione stratigrafica. Poiché siamo in presenza di sedimenti fini limoso-argilloso-sabbiosi fino alla profondità di m. 15-16 cui seguono sedimenti grossolani ghiaioso-sabbiosi presenti con intercalazioni più fini fino a circa m. 240-250 di profondità dove si riscontra il substrato marino delle Sabbie Gialle milazziane (vedi sezione MZS-PSC) l'area in esame viene localizzata nell'ambito:

PIANURA 2: settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di una importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto di impedenza a circa 100 m da p.c. e dal tetto del substrato rigido a circa 150 m da p.c.;

V _{s30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
PGA	1,7	1,7	1,7	1,6	1,5	1,5

Fattore di Amplificazione PGA

V _{s30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SA1	1,8	1,8	1,8	1,7	1,6	1,5
SA2	2,7	2,7	2,4	2,1	1,9	1,8
SA3	3,3	3,2	2,8	2,5	2,3	2,1
SA4	3,3	3,1	2,7	2,4	2,1	1,9

Fattori di Amplificazione **SA1** (0,1s ≤ T ≤ 0,5s), **SA2** (0,4s ≤ T ≤ 0,8s), **SA3** (0,7s ≤ T ≤ 1,1s), **SA4** (0,5s ≤ T ≤ 1,5s)

V _{s30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SI1	2,0	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6
SI2	3,1	3,0	2,7	2,4	2,1	2,0
SI3	3,6	3,3	2,9	2,5	2,2	2,0

Fattori di Amplificazione **SI1** (0,1s ≤ T ≤ 0,5s), **SI2** (0,5s ≤ T ≤ 1,0s), **SI3** (0,5s ≤ T ≤ 1,5s)

Considerando una V_{s30} pari a: 257.45 e uno spessore H = ml. 247.00 si ottengono seguenti F.A.:

- accelerazione di picco orizzontale (PGA)¹:

- intensità spettrale $SA = \int_{T_1}^{T_2} A(T, \zeta) dT$

dove A è lo spettro di risposta in accelerazione, T è il periodo proprio e ζ è lo smorzamento²; sono stati considerati quattro intervalli di periodo proprio T ottenendo quattro valori di intensità spettrale:

- intensità spettrale $SI = \int_{T_1}^{T_2} V(T, \zeta) dT$

dove V è lo spettro di risposta in velocità, T è il periodo proprio e ζ è lo smorzamento³; sono stati considerati tre intervalli di periodo proprio T ottenendo tre valori di intensità spettrale:

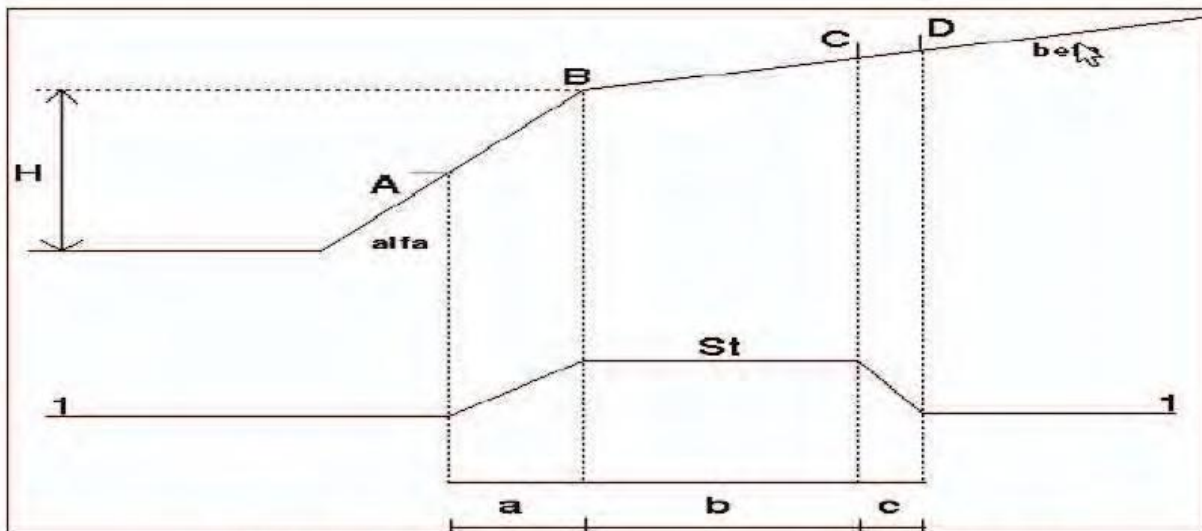
*I fattori di amplificazione SA4 e SI3 sono richiesti per studi in aree di pianura e di costa.

F.A. P.G.A.	1.7
F.A. SA1 0,1s < T < 0,5s	1.8
F.A. SA2 0,4s < T < 0,8s	2.4
F.A. SA3 0,7s < T < 1,1s	2.8
F.A. SA4* 0,5s < T < 1,5s	2.7
F.A. SI1 0,1s < T < 0,5s	1.9
F.A. SI2 0,5s < T < 1,0s	2.7
F.A. SI3* 0,5s < T < 1,5s	2.9

g. EFFETTI DELLA TOPOGRAFIA

Gli effetti topografici possono essere trascurati per pendii con inclinazione media inferiore a 15°. Devono essere calcolati in caso di configurazioni geometriche bidimensionali e tridimensionali (cocuzzolo, cresta, dorsale allungata) di altezza H > 30 metri.

Per pendii con inclinazione maggiore di 15° la risposta sismica locale deve essere moltiplicata per un fattore St (coefficiente di amplificazione topografica) calcolato nel seguente modo:



Angolo alfa = gradi°	0.2	gradiente maggiore
Angolo beta = gradi°	0.4	gradiente minore
Altezza H = ml.	1.00	

Per St si impone comunque un valore compreso tra 1,0 e 1,4:

$$St = 1 + 0,8 \times (\text{alfa} + \text{beta} - 0,40) \text{ sul segmento BC} = 1.0$$

dove:

b = valore minimo tra 20alfa e $(H+10)/4$ = ml.	0.07
alfa = gradiente della parte più ripida	
beta = gradiente della parte meno ripida	
St = 1,0 in A (a = H/3 = 0.33 ml.)	
St = 1,0 in D (c = H/4 = 0.25 ml.)	

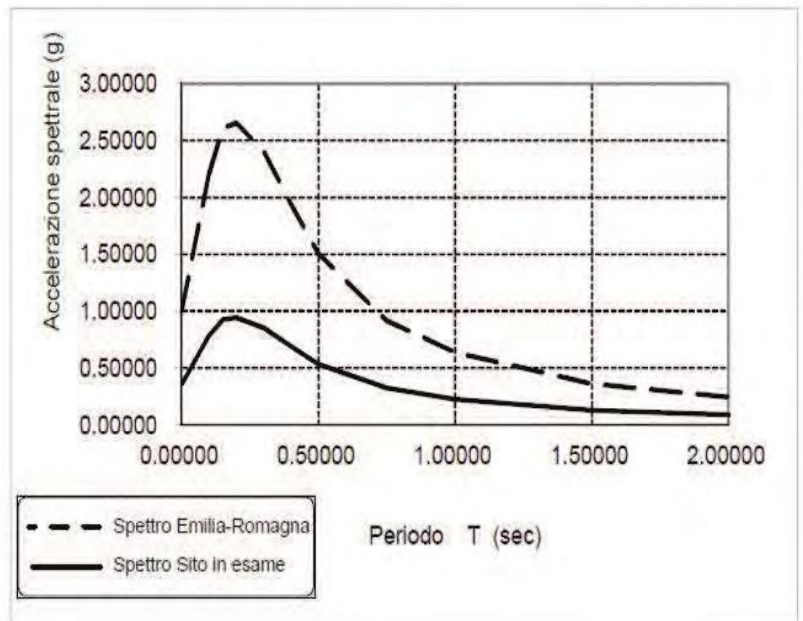
Riassumendo per il territorio preso in esame si ha:

Comune:	FAENZA	
Zona sismica 2003:	2	
Accelerazione max orizz.: Arefg	0.209	(Indirizzi microzonazione E-R; L.R.2015)
Vs30 (m/sec)	257.45	
Categoria di Suolo	C	(D.M. 17.01.2018)
(PGA/PGAo) F.A. P.G.A.	1.7	(da tab. D.GR. Em.Romagna n° 630/2019)
(SA/SAo) F.A. SA1	0,1s<T<0,5s	1.8
(SA/SAo) F.A. SA2	0,4s<T<0,8s	2.4
(SA/SAo) F.A. SA3	0,7s<T<1,1s	2.8
(SA/SAo) F.A. SA4*	0,5s<T<1,5s	2.7
(SI/SIo) F.A. SI1	0,1s<T<0,5s	1.9 (intervalli di periodo per l'intensità di Housner per strutture basse max. 4-5 piani, regolari e rigide)
(SI/SIo) F.A. SI2	0,5s<T<1,0s	2.7 (intervalli di periodo per l'intensità di Housner per strutture più alte e flessibili)
(SI/SIo) F.A. SI3*	0,5s<T<1,5s	2.9
FATTORE St	1	(coefficiente amplificazione topografica)

Per la definizione del moto di riferimento (All. 4) viene riportata la forma dello spettro di risposta normalizzato rappresentativo del moto sismico atteso per un periodo di ritorno di 475 anni (con smorzamento pari al 5%) in Emilia-Romagna.

Dallo spettro di risposta normalizzato è possibile ottenere lo spettro di risposta a probabilità uniforme che descrive le caratteristiche del moto sismico atteso per **FAENZA** e per il sito in esame stimeremo lo spettro di risposta moltiplicando i valori spettro del comune per F.A. stimati in precedenza ottenendo una accelerazione max attesa al suolo di: **A max= g 0.3553**

T (s)	Sa/aref	Sa/PGA
0.00000	1.00000	0.35530
0.10000	2.21000	0.78521
0.15000	2.60800	0.92662
0.20000	2.65620	0.94375
0.30000	2.40330	0.85389
0.40000	1.93940	0.68907
0.50000	1.50500	0.53473
0.75000	0.91720	0.32588
1.00000	0.63590	0.22594
1.50000	0.36080	0.12819
2.00000	0.24620	0.08747



h. COMPATIBILITA' SISMICA: POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (DGR Emilia Romagna n° 630/2019).

Tiene conto anche della magnitudo del terremoto nel rapporto di sforzo ciclico indotto, tramite una modifica della nota espressione di Seed ed Idriss, introducendo un fattore correttivo funzione della Magnitudo (Adottato dal C.N.R. nel 1985).

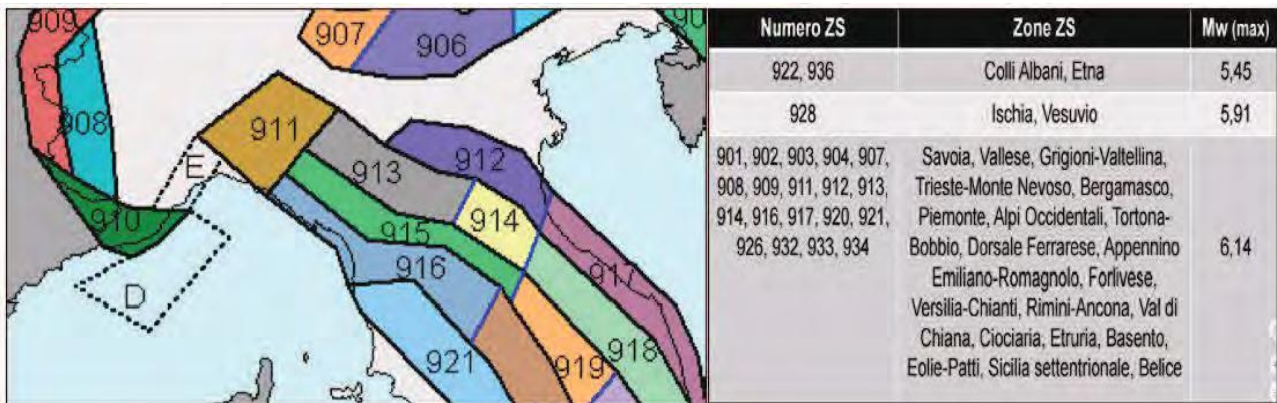
SISMA DI PROGETTO (cenni teorici)

Nella zona si sono verificati numerosi terremoti per un raggio di Km. **20** centrato su **Faenza**. Si apprende di una serie di eventi con intensità massima del **8** ° grado della Scala Mercalli mod. e con ipocentri localizzati a circa Km. **10** di profondità (R = distanza dal fuoco). In prima approssimazione la magnitudo della scala Richter (M) è ricavabile dalle seguenti espressioni:

$$M = 0,6 * I + \log R + 0,4 = 6.20$$

$$M = 0,53 * I + 0,96 = 5.20 \quad \text{Considerando la zona sismogenetica: } Z_s = 912$$

per la verifica assumiamo una magnitudo di riferimento **Mw = 6.14** (INGV Zonazione sismogenetica Z9)



Per la valutazione delle accelerazioni massime riferite al suolo vengono proposte le correlazioni utilizzate da Kawashima (1981). I depositi vengono distinti in base al grado di consolidazione :

- 1) Depositi consolidati
 2) Depositi medio-consolidati
 3) Depositi soffici

Nel nostro caso possiamo considerare : > **Distanza dall'epicentro** 5 Km.
 3) **Depositi soffici**

Si ha quindi : $a_{max} = 402,8 \cdot 10^0 \cdot 0,265M / (dist.epicentro + 30)^{1,218} = cm/secq \ 208.44$

- INDICE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (Metodo Boulanger e Idriss, 2014 - Seed e Idriss, 1983).

Il Decreto Ministeriale 14.09.2005 ed il successivo D.M. 17.01.2018 contengono nuove disposizioni in materia di classificazione sismica e di normativa tecnica.

Il numero delle zone sismiche viene riportato qui di seguito unitamente ai valori di accelerazione orizzontale (ag/g) di ancoraggio dello spettro di risposta elastico:

Zona 2003	Valore di ag	Comune: FAENZA
1	0.35	Zona sismica 2003: 2
2	0.25	1. Accel.max orizz.RER: 0.209
3	0.15	(Rischio Sismico E/R - 2016)
4	0.05	2. Accelerazione orizz.: 0.25

Considerando il fattore di amplificazione F.PGA relativo alla zona in esame del comune di: FAENZA come emerge dagli studi di microzonazione sismica (terzo livello di approfondimento) approvati dalla Regione Emilia-Romagna LR 77/2009 (consultabili all'indirizzo: <http://geo.regione.emilia-romagna.it/schede/pnsrs>), si ha:

$$F_a (PGA) = 1.70$$

$$a_{max} = \text{accelerazione massima al suolo} * F.A. = 355.30$$

da adottare per l'area considerata.

A questo punto si ricava il fattore di resistenza alla liquefazione : **FL liq.=R/L** che deve risultare maggiore di 1,0 onde verificare la non liquefacibilità dello strato considerato.

$$L = a_{max} / g * \sigma_v / \sigma'_v * r_d * r_n$$

$$R = 0,45 * 0,57 * [(16 * (N_2 + DN_f)^{0,5}) / 100 + [(16 * (N_2 + DN_f)^{0,5} / 75)^{14}]$$

Dove :

 rd = coeff. di smorzamento in funzione della profondità = $1-0,015 \cdot z$ rn = coeff. correttivo in funzione della magnitudo = $0,1 \cdot (M-1)$ $N2$ = Rp^2 / Alfa^{**} DNf = "3" per le sabbie poco limose a spigoli vivi

Prova	SCPT	1	Prof.falda idrica ml.		2.00					
Profondità strato (ml)	Sigma v daN/cm ²	Sigma' v daN/cm ²	Rp kg/cm ²	N2	rd	rn	DNf	Possibilità liquefazione	FL liq	
3.4	0.476	0.420	12	14	0.95	0.51	3	IMPOSSIBILE	1.05	
5	0.700	0.580	12	13	0.93	0.51	3	POSSIBILE	0.93	
6.6	0.924	0.740	18	15	0.90	0.51	3	IMPOSSIBILE	1.12	
8.2	1.148	25.000	11	8	0.88	0.51	3	IMPOSSIBILE	18.48	
10	1.400	1.080	26	16	0.85	0.51	3	IMPOSSIBILE	1.34	

Prof. z (ml.)	FL	F(z)	w(z)	IL	da cui deriva il rischio di liquefazione
3.40	1.05	0.009	8.30	0.071	BASSO
5.00	0.93	0.065	7.50	0.490	BASSO
6.60	1.12	0.002	6.70	0.014	BASSO
8.20	18.48	0.000	5.90	0.000	NON LIQUEFACIBILE
10.00	1.34	0.000	5.00	0.000	NON LIQUEFACIBILE

Prova	SCPT	2	Prof.falda idrica ml.		2.20					
Profondità strato (ml)	Sigma v daN/cm ²	Sigma' v daN/cm ²	Rp kg/cm ²	N2	rd	rn	DNf	Possibilità liquefazione	FL liq	
3.4	0.476	0.428	11	13	0.95	0.51	3	IMPOSSIBILE	1.01	
4.2	0.588	0.508	8	12	0.94	0.51	3	POSSIBILE	0.85	
5	0.700	0.588	10	12	0.93	0.51	3	POSSIBILE	0.88	
9	1.260	25.000	33	9	0.87	0.51	3	IMPOSSIBILE	17.52	
9.4	1.316	1.028	18	14	0.86	0.51	3	IMPOSSIBILE	1.00	

Prof. z (ml.)	FL	F(z)	w(z)	IL	da cui deriva il rischio di liquefazione
3.40	1.01	0.017	8.30	0.139	BASSO
4.20	0.85	0.153	7.90	1.207	BASSO
5.00	0.88	0.124	7.50	0.928	BASSO
9.00	17.52	0.000	5.50	0.000	NON LIQUEFACIBILE
9.40	1.00	0.018	5.30	0.095	BASSO

Prova	SCPT	3	Prof.falda idrica ml.		2.40					
Profondità strato (ml)	Sigma v daN/cm ²	Sigma' v daN/cm ²	Rp kg/cm ²	N2	rd	rn	DNf	Possibilità liquefazione	FL liq	
3.6	0.504	0.456	24	20	0.95	0.51	3	IMPOSSIBILE	2.60	
4.8	0.644	0.556	14	14	0.93	0.51	3	IMPOSSIBILE	1.07	
7.4	1.036	0.836	10	12	0.89	0.51	3	POSSIBILE	0.83	
9	1.260	25.000	41	9	0.87	0.51	3	IMPOSSIBILE	17.69	
10	1.400	1.096	18	14	0.85	0.51	3	POSSIBILE	1.00	

Prof. z (ml.)	FL	F(z)	w(z)	IL	da cui deriva il rischio di liquefazione
3.60	2.60	0.000	8.20	0.000	NON LIQUEFACIBILE
4.60	1.07	0.005	7.70	0.041	BASSO
7.40	0.83	0.170	6.30	1.069	BASSO
9.00	17.69	0.000	5.50	0.000	NON LIQUEFACIBILE
10.00	1.00	0.021	5.00	0.107	BASSO

** Per tener conto della **frazione argillosa** Ishihara (1985), elaborando i risultati di prove triassiali cicliche, ha fornito la seguente correlazione (per C>10%) :

$$Rp2 = Rp1 + 26 \text{ Log FC} *$$

Dove : **FC** = peso della frazione argillosa (passante #200) = **16** %
Rp1 = (Nspt*Alfa); dove Alfa è il coeff. usato per la correlazione con Rp = **4**

L'indice del potenziale di liquefazione viene valutato con la relazione: $IL = da\ 0\ a\ 20 - F(z) * w(z) * dz$:
 con: $w(z) = 200/Z_{crit} * (1 - Z/Z_{crit})$ con Z=profondità strato e $Z_{crit} = 20$ metri. La variabile F(z) vale (Sonmez, 2003):
 $F(z) = 0$ per $FL \geq 1.2$ - $F(z) = 2 * 10^{-6} * \exp(-18.427 * FL)$ per $1.2 > FL > 0.95$ - con $FL < 0.95$: $F(z) = 1 - FL$

* FC è il contenuto di fine espresso in %. In assenza di dati specifici per il sito, FC può essere stimato con l'espressione empirica: $FC = 80 * I_c - 137$ in cui I_c è l'indice di classificazione del terreno da prova CPT proposto da Robertson (1990):
 $I_c = \sqrt{(\log F + 1.22)^2 + (\log Q_n - 3.47)^2}$

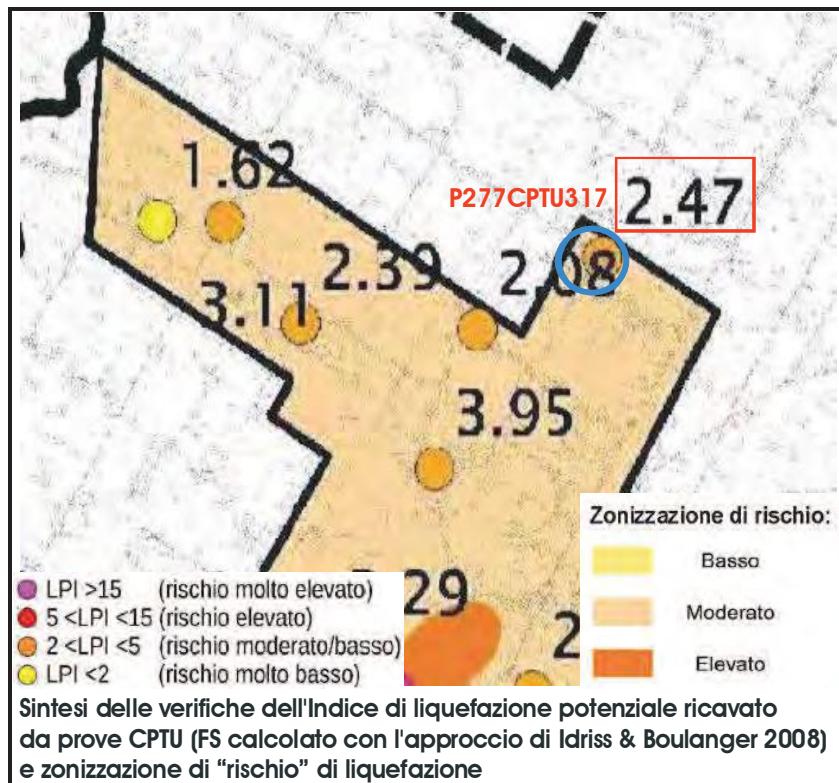
con

$$F = \frac{f_s}{q_c - \sigma_{v0}} * 100 \quad Q_n = \left(\frac{q_c - \sigma_{v0}}{p_a} \right) * \left(\frac{p_a}{\sigma'_{v0}} \right)^m$$

In base al valore stimato dell'indice del potenziale di liquefazione IL si definiscono le seguenti classi di pericolosità (Sonmez, 2003):

$I_L = 0$	Non liquefacibile ($F_L \geq 1.2$)
$0 < I_L \leq 2$	Potenziale basso
$2 < I_L \leq 5$	Potenziale moderato
$5 < I_L \leq 15$	Potenziale alto
$15 < I_L$	Potenziale molto alto

Il deposito alluvionale di pianura analizzato nella sua componente sabbiosa immersa in falda dimostra come il sedimento presenti un **rischio di liquefazione basso**. L'analisi del potenziale di liquefazione degli spessori sabbiosi dell'area "SAN ANDREA" identificati con le prove "in situ" viene confermata anche dal calcolo eseguito nello studio del dott. Sangiorgi (3 livello di approfondimento) e qui di seguito si riporta la sintesi:



i. COMPATIBILITA' EDIFICATORIA DELL'INTERVENTO

Lo studio svolto tramite indagini dirette e da informazioni acquisite per inquadrare il territorio di FAENZA interessato sia dal punto di vista geomorfologico che geotecnico **non ha evidenziato emergenze o caratteristiche geologiche tali da condizionare le scelte urbanistiche future.**

Quindi, al fine di approntare una valutazione sulle classi di edificabilità si può distinguere unicamente: **Zone normalmente edificabili.** Infatti i vari diagrammi penetrometrici analizzati, il sondaggio ed il rilievo geomorfologico eseguito non hanno evidenziato differenza tali da giustificare un ulteriore divisione. Gli orizzonti geotecnici **risultano sufficientemente consistenti ed adatti a sopportare eventuali nuovi carichi derivanti dall'edificazione.**

Essendo in una fase preliminare dove non vengono indicate le ipotesi edificatorie, sulla base dei dati ricavati, onde indicare la portanza dei terreni, si possono utilizzare l'angolo d'attrito e la coesione ricavati dalle correlazioni con le prove penetrometriche e dal campione **C1**, utilizzando i valori meccanici più scadenti e quindi cautelativi. Considerando una profondità del piano di posa ad almeno **m. 1,30-1,50** di profondità dove i terreni risultano essenzialmente argilloso-limosi, per il calcolo della **pressione ultima di rottura "qr"** si impongono condizioni non drenate. Si suppone cioè che la dissipazione delle pressioni interstiziali in fase di consolidamento avvenga con velocità inferiore rispetto a quella di applicazione dei carichi strutturali. In tali condizioni si considera che la sovrappressione interstiziale annulli la componente frizionale della resistenza al taglio (**$\Phi^{\circ} = 0$**) e che il terreno si opponga ai fenomeni di rottura con le sole forze coesive del terreno.

I. Lotto "Via San Andrea": Prescrizioni conclusive

Dalle prove penetrometriche e dalle stratigrafie utilizzate per l'area interessata si è riscontrato nei primi metri di profondità, la presenza depositi alluvionali di pianura dapprima limoso-argillosi normalconsolidati cui seguono litotipi a componente essenzialmente sabbioso-limosa addensata con livelli sottili argilloso-limosi, dotati di buona consistenza fino alla massima profondità investigata pari a m. 20 per cui:

1. Occorre innestare le fondazioni nei litotipi alluvionali omogenei dal punto di vista geomeccanico al fine di evitare cedimenti differenziali elevati, da valutare rispetto al piano posa, al tipo di fondazioni ed alla geometria della stratificazione argilloso-limoso-sabbiosa. Verificare quindi lo spessore e l'uniformità geo-meccanica del terreno limoso-argilloso-sabbioso superficiale riscontrato nei primi metri di profondità eseguendo apposita indagine geotecnica (distinzione tra sovraconsolidato-normalconsolidato).
2. Le fondazioni devono essere innestate entro il substrato intatto, in posto, inalterato, omogeneo e stabile sismicamente; in particolare si dovrà evitare di realizzare fondazioni su o in materiali di riporto o terreni rimaneggiati. Innestando le fondazioni entro i litotipi alluvionali omogenei si può indicativamente adottare un piano di posa posto ad almeno **m. 1,30-1,50** di profondità dove i terreni risultano essenzialmente argilloso-limosi, per il calcolo della **pressione ultima di rottura "qr"** si impongono condizioni non drenate.
3. Come verificato nel corso delle prove utilizzate per l'area interessata, **l'idrologia di profondità** è correlata alle intercalazioni limoso-sabbiose dove è presente un **livello freatico** a **m. 2,00-2,50** dal piano campagna. Questa falda idrica presenta una portata modesta ed una escursione stagionale di m. 1,00-1,50 correlata essenzialmente al periodo di massime precipitazioni.
4. La natura litologica e granulometrica dei litotipi interessati dal bulbo di carico, l'omogeneità e il sufficiente grado di addensamento dei terreni limoso-sabbiosi posti nei primi 20 metri profondità che contiene la falda idrica **esclude la possibilità di liquefazione** in caso di evento sismico.
5. La **caratterizzazione sismica dei terreni alla luce del D.M. 17.01.2018** presenta un coefficiente di amplificazione topografico pari a **st = 1,0** ed una **Vseq = 257 m/sec** da cui si ricava la categoria del suolo di fondazione:
 - C. Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a m. 30, 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**
6. Lo **STUDIO DEGLI EFFETTI DI SITO ATTESI** non evidenzia caratteristiche fisiche dei terreni e/o di addensamento che possano determinare amplificazione considerando l'ottima uniformità litologica e di addensamento riscontrata su tutta l'area in esame.

(vedi planimetria allegata). E' stata verificata l'assenza di **paleomorfologie sepolte (paleovalvei)**, di depositi di palude e/o disomogeneità litostratigrafiche per cui si escludono rischi sismici, geotecnici e/o idrogeologici mediante interazione con le strutture di fondazione e le strutture in elevazione. Avendo riscontrato sull'intera area caratteristiche geotecniche/geomeccaniche omogenee sia in orizzontale che in verticale, si valuta in modo uniforme il comportamento meccanico e sismico dei terreni sottoposti ai carichi strutturali futuri. Per questo motivo non si riporta la carta di zonizzazione geotecnica.

CastelBolognese 03.11.2020

Dott.Geol. Andreatta Giancarlo



Dott. ANDREATTA GIANCARLO
GEOLOGO
CASTELBOLOGNESE (RA)

PLANIMETRIA
CATASTALE

Foglio 15

Scala 1:2.000

LEGENDA:



Area intervento




1
N -22300


1
R=11800


1
Particella: 233

LEGENDA:

Area intervento

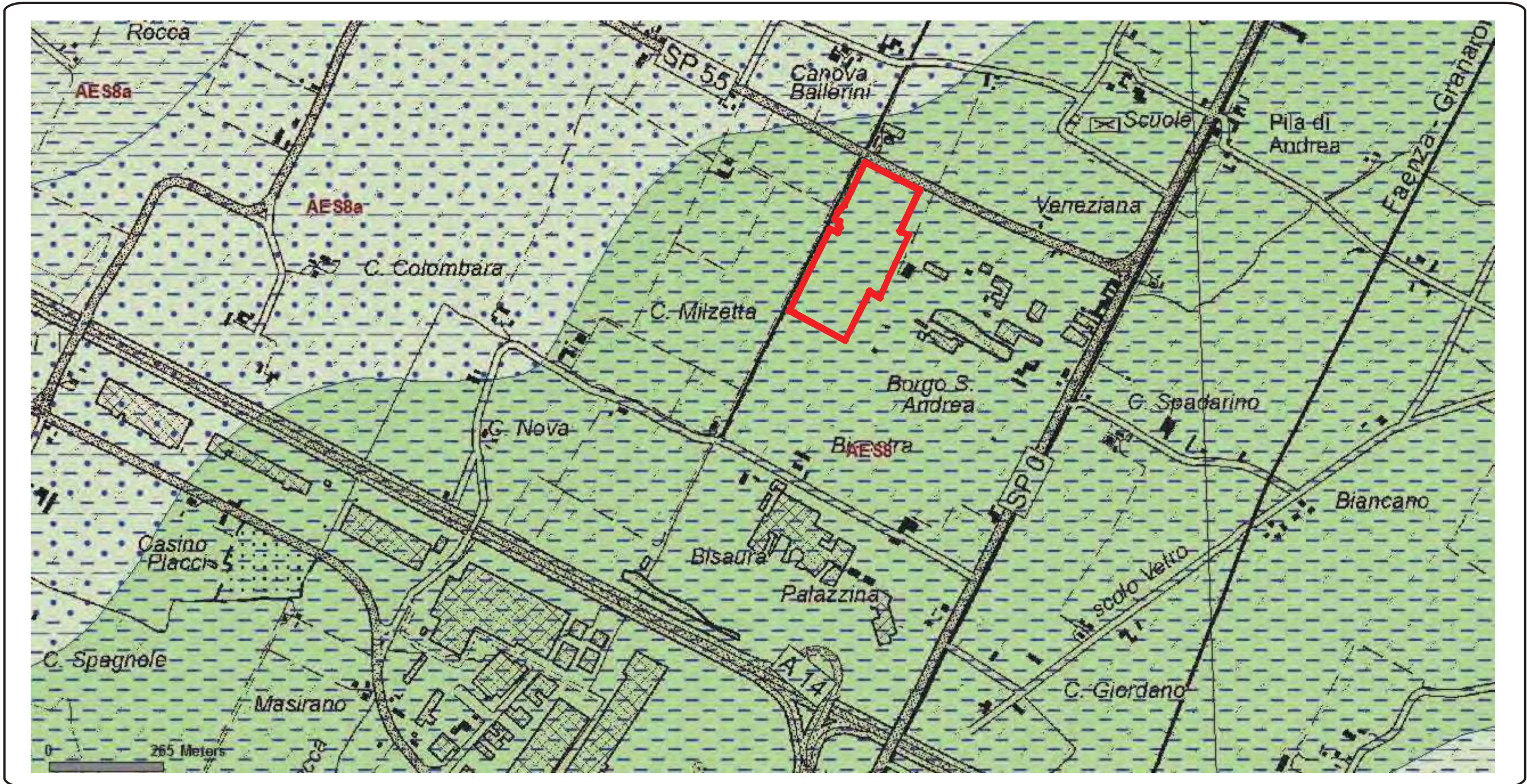
 AES8 - Subsistema di Ravenna
Limo - Piana alluvionale

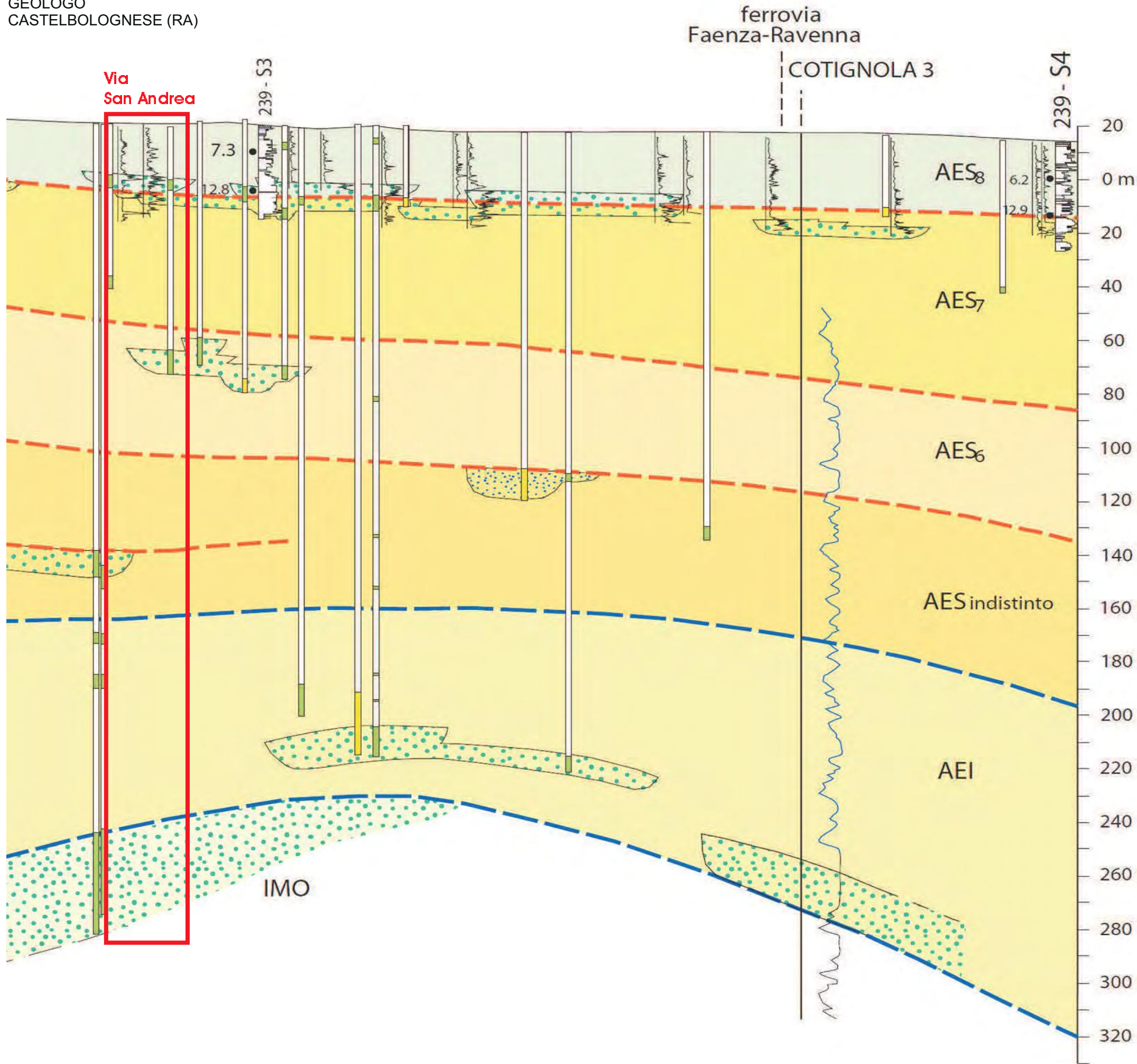
 AES8a - Unità di Modena
Sabbia Limoso Argillosa - Piana alluvionale

 AES8a - Unità di Modena
Argilla Limosa - Piana alluvionale

CARTA
GEOLOGICA
(da CARG E/R)

Scala 1:10.000





- UNITA' STRATIGRAFICHE**
(a - Elementi proiettati lungo la traccia della sezione dai fianchi vallivi)
- AES₈ - Subsistema di Ravenna
 - AES₇ - Subsistema di Villa Verucchio
 - AES₆ - Subsistema di Bazzano
 - AES - Sintema Emiliano Romagnolo Superiore indifferenziato
 - AEI - Sintema Emiliano Romagnolo Inferiore
 - IMO - Sabbie di Imola
 - Substrato marino mio-plio-pleistocenico
 - Area di amalgamazione delle ghiaie (AESindiff.)
- Limite di Subsistema e/o di ciclo trasgressivo-regressivo
- - - Limite di Sintema
- LITOLOGIE DEI PRINCIPALI AMBIENTI DEPOSIZIONALI**
- Ghiaie fluviali
 - Sabbie fluviali
 - Argille organiche palustri (piana alluvionale)
 - Sabbie deltizie e di piattaforma indifferenziate (provenienza mista appenninica e padana)
 - Sabbie fluvio - deltizie e di piattaforma indifferenziate (provenienza padana)
 - Argille di prodelta e piattaforma

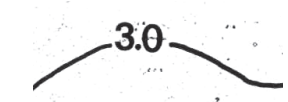
CARTA
IDROGEOLOGICA
ISOBATE DELLA
SUPERFICIE
FREATICA (dal p.c.)

Scala 1:10.000

LEGENDA:



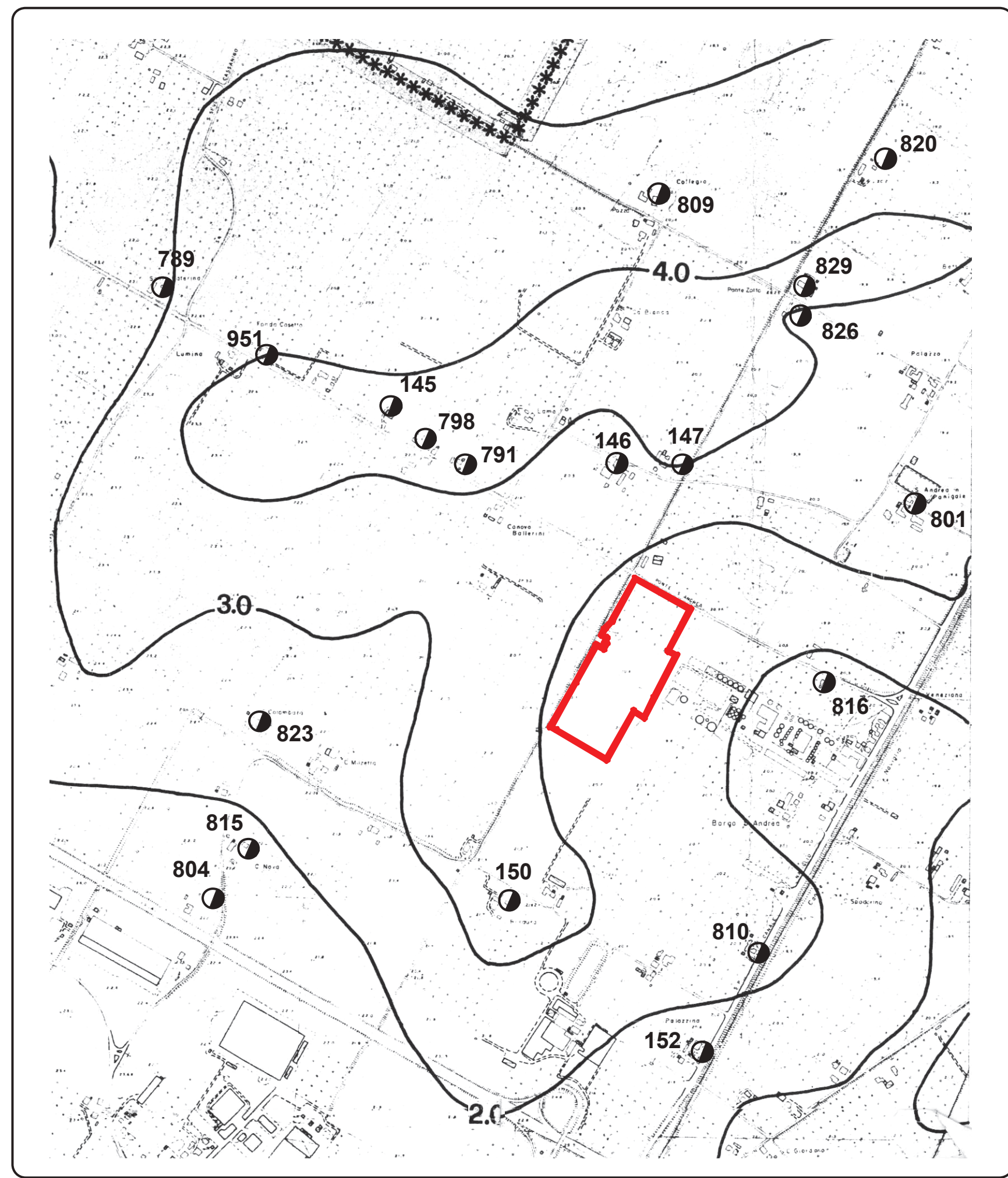
Area intervento



Isobate della falda freatica



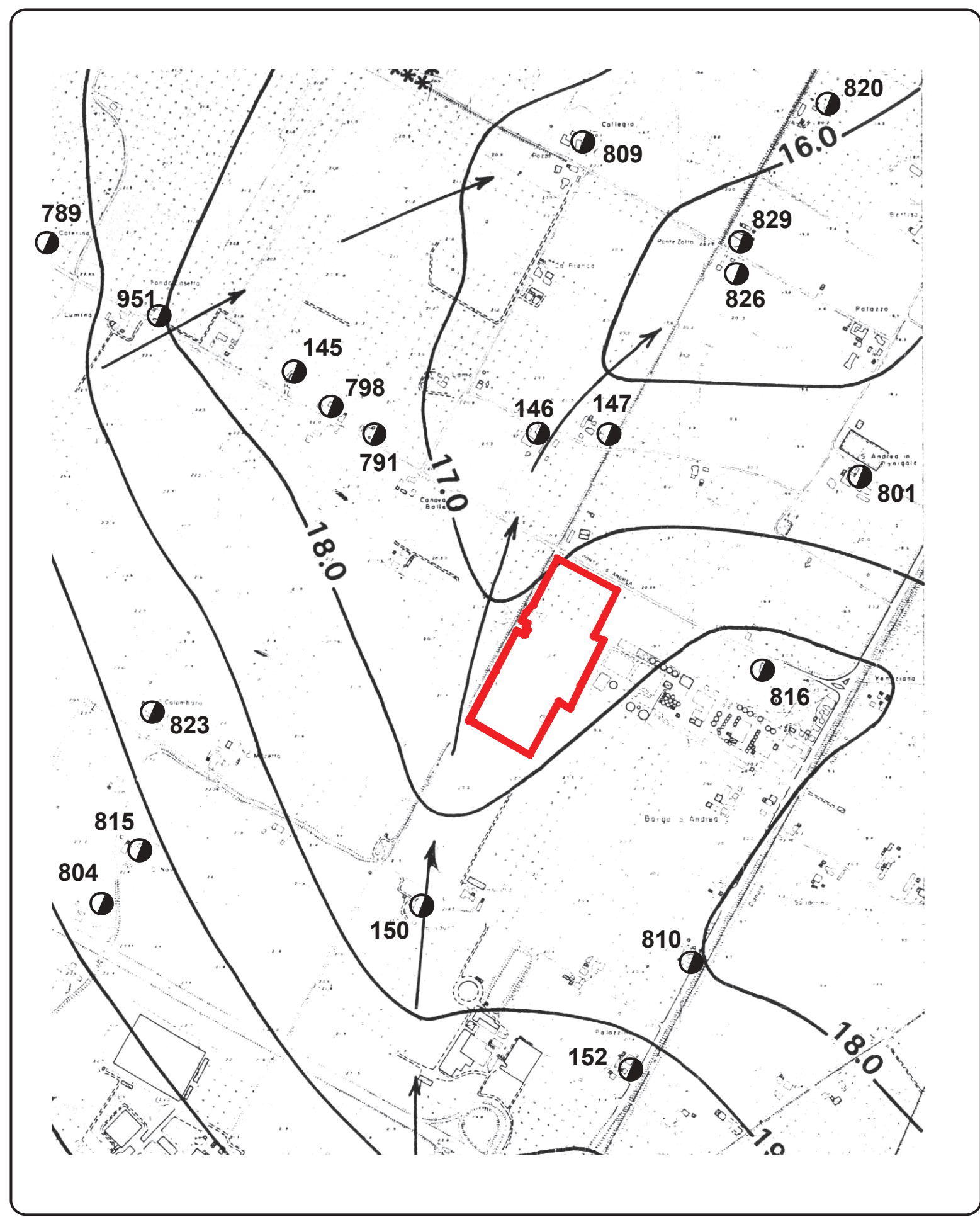
Pozzo oggetto della
misurazione (anno 2001
integrazione anno 2020)



Dott. ANDREATTA GIANCARLO
GEOLOGO
CASTELBOLOGNESE (Ra)

CARTA
IDROGEOLOGICA
ANDAMENTO
ISOFREATICHE

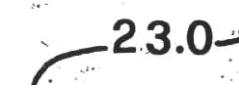
Scala 1:10.000



LEGENDA:



Area d'intervento



Isofreatiche e quota
relativa



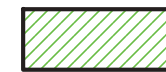
Direzione di flusso



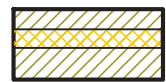
Pozzo oggetto della
misurazione (anno 2001
integrazione anno 2020)

Dott. ANDREATTA GIANCARLO
GEOLOGO
CASTELBOLOGNESE (Ra)

LEGENDA:



Terreno rimaneggiato e/o di riporto

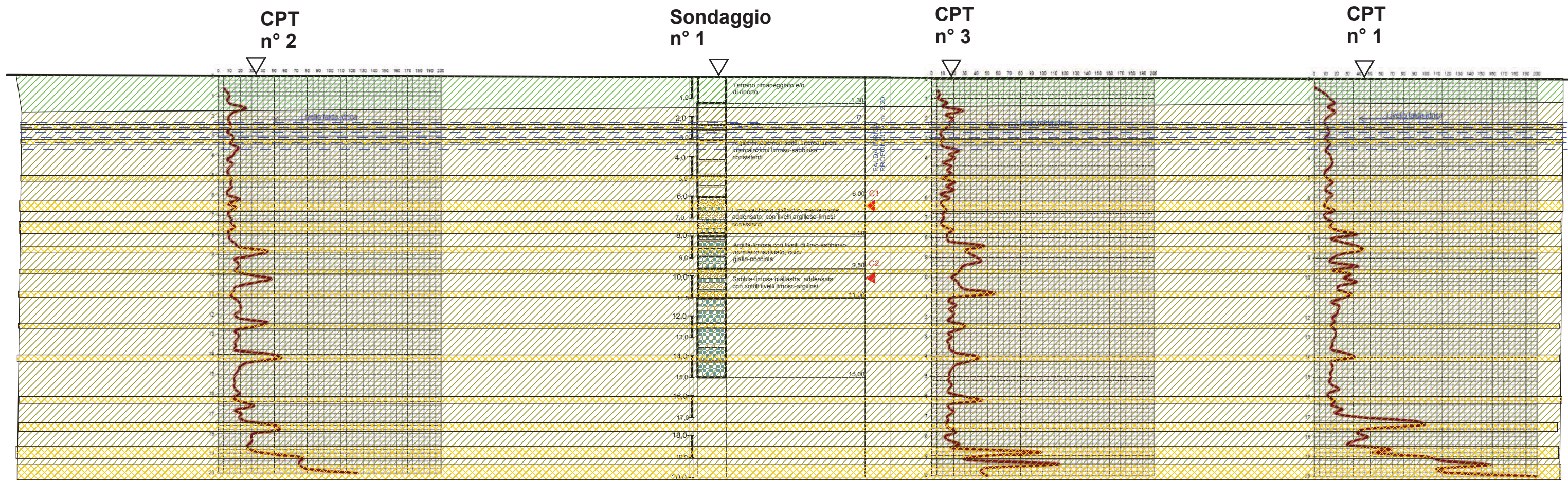


Argilla-limosa con con intercalazioni sabbiose addensate

SEZIONE
GEOTECNICA

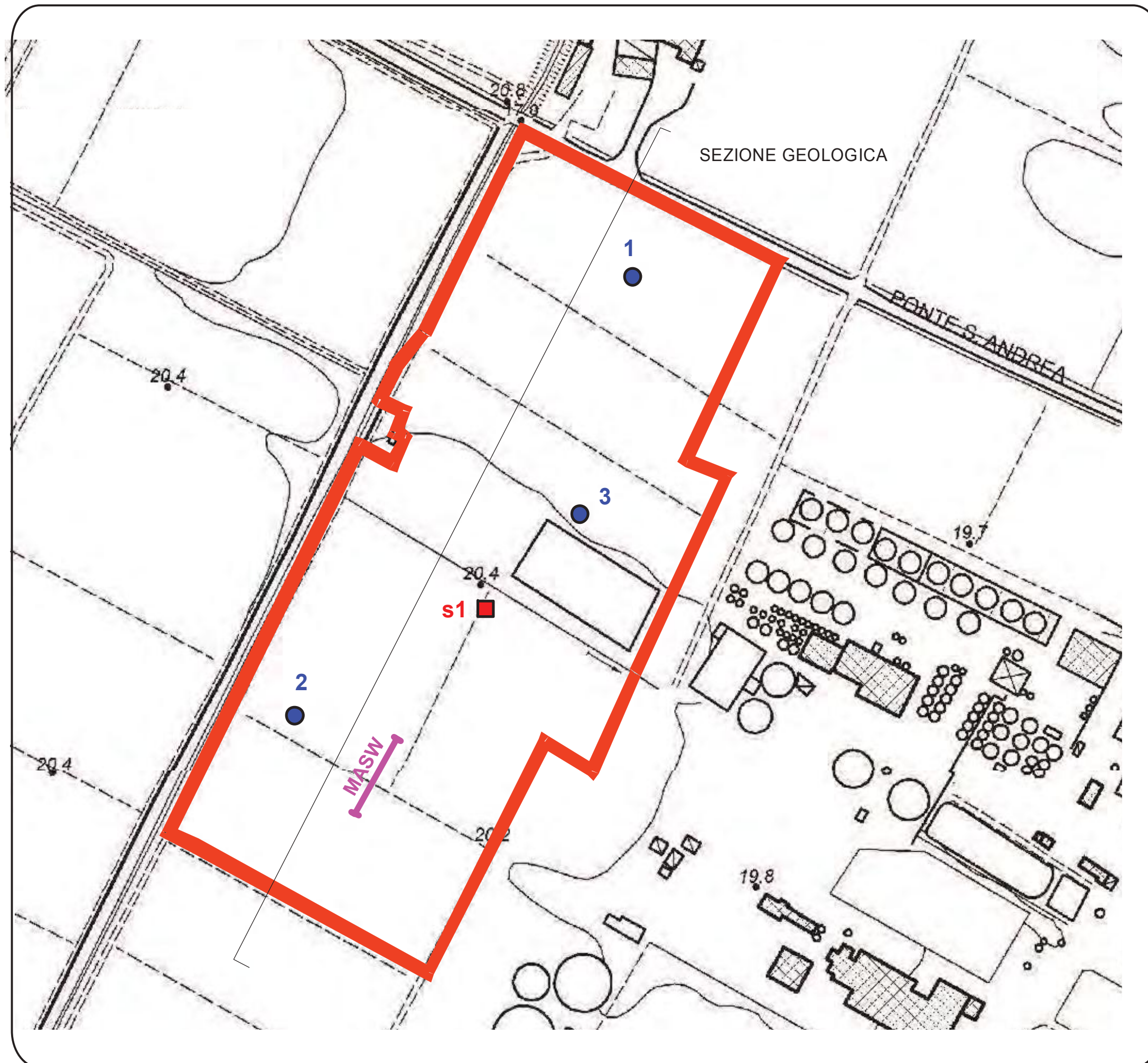
Scala Orizz. 1:1.000
Scala Vert. 1:200

AREA INSERIMENTO IN ESAME







PLANIMETRIA
UBICAZIONE PROVE

scala 1:2.000

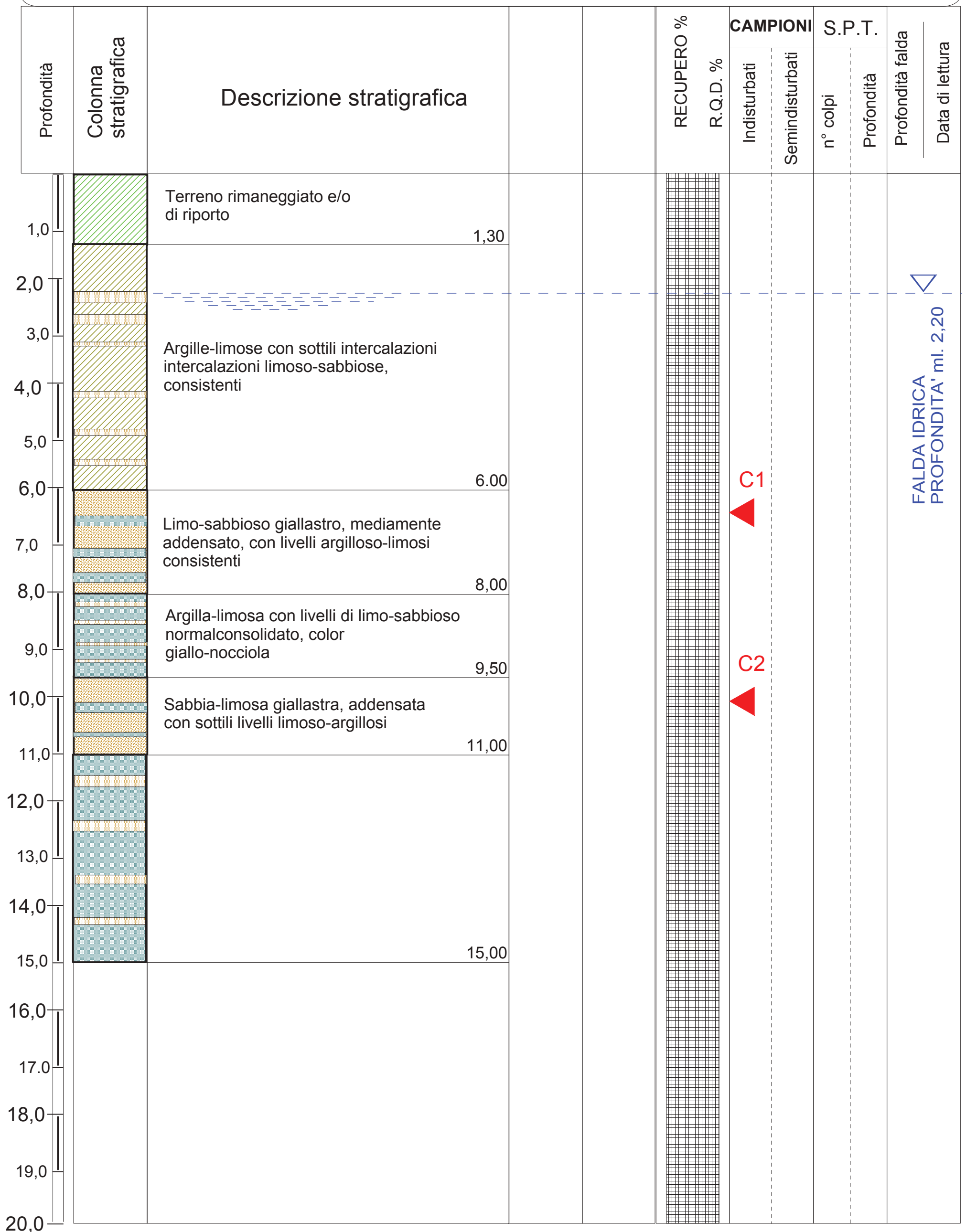


LEGENDA:

-  AREA S. ANDREA in esame
-  1 ● Prove penetrometriche statiche con punta meccanica
-  s1 ■ Sondaggio a carotaggio continuo
-  Prova sismica MASW

Dott. ANDREATTA GIANCARLO
GEOLOGO
CASTELBOLOGNESE (Ra)

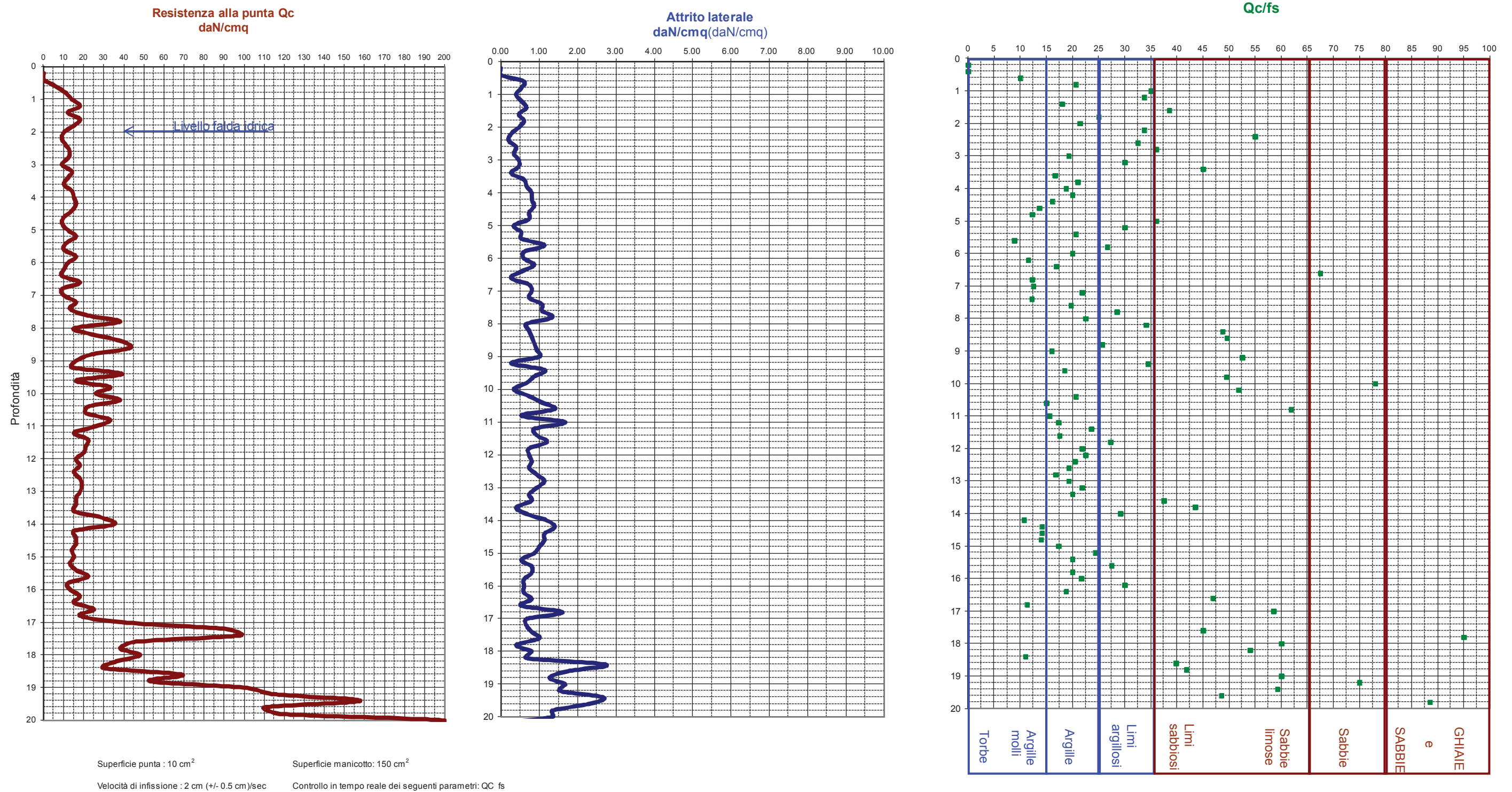
SONDAGGIO n° 1



PROVA penetrometrica statica C.P.T. n° 1

Punta meccanica tipo "Begemann"

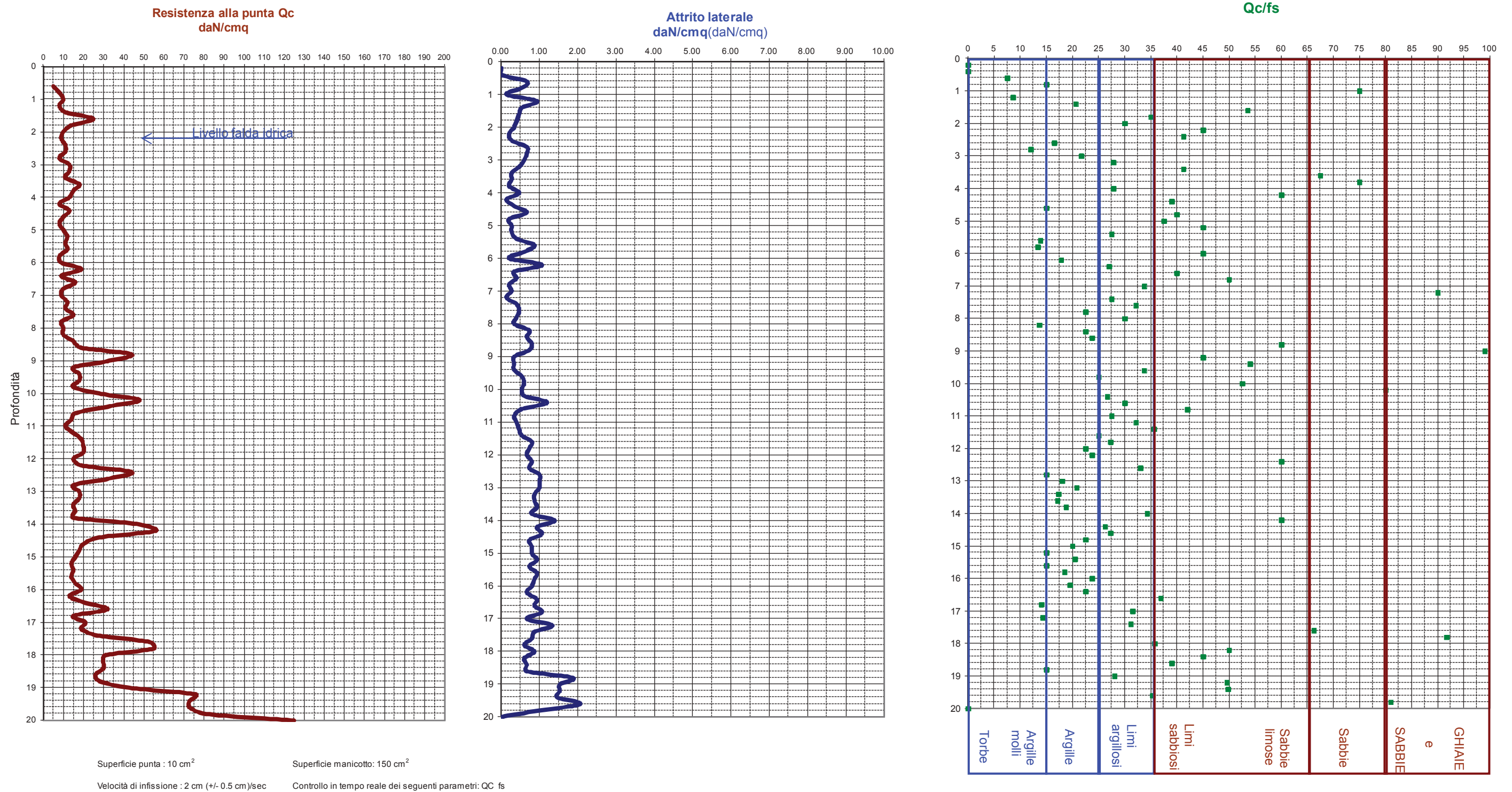
Committente: FEDERIMMOBILIARE
 Località: Via S.Andrea-FAENZA
 Data: 18.08.2020
 Profondità falda dal p.c. prova: **2.00** ml.

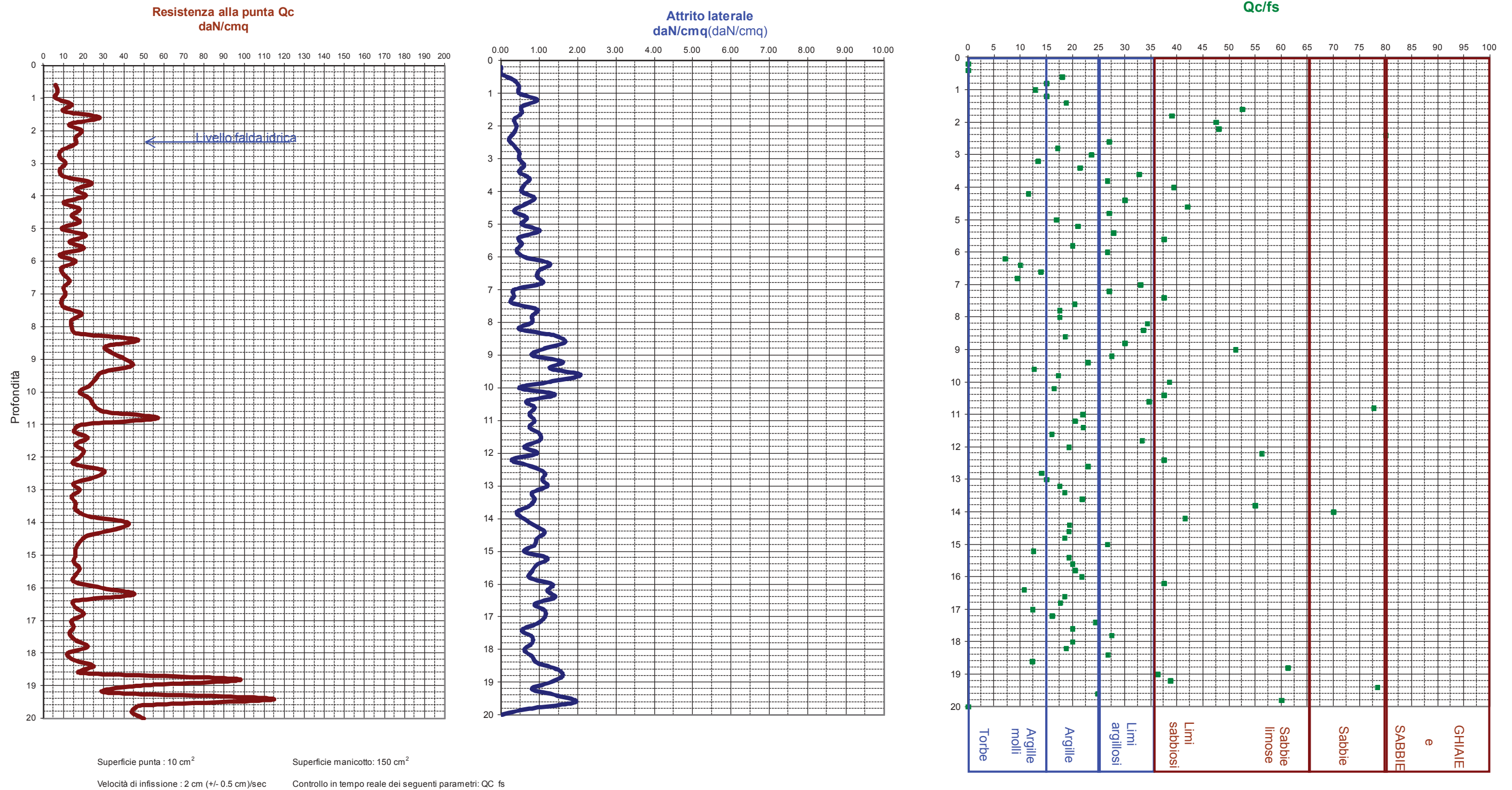


PROVA penetrometrica statica C.P.T. n° 2

Punta meccanica tipo "Begemann"

Committente: FEDERIMMOBILIARE
 Località: Via S.Andrea-FAENZA
 Data: 18.08.2020
 Profondità falda dal p.c. prova: 2.20 ml.





14.4	28	1.067	Argilla limosa e sabbiosa	!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!	Consistente (compatta)	907	0.75	1.4	daN/cmq	8.0
14.6	20	0.733	Argilla limosa e sabbiosa	!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!	Consistente (compatta)	857	0.61	1	daN/cmq	6.0
14.8	18	0.800	Argilla compatta		Consistente (compatta)	841	0.61	0.9	daN/cmq	6.0
15	16	0.800	Argilla compatta		Consistente (compatta)	823	0.57	0.8	daN/cmq	5.0
15.2	14	0.933	Argilla organica	//////////	Consistente (compatta)	803	0.72	0.7	daN/cmq	8.0
15.4	15	0.733	Argilla compatta		Consistente (compatta)	814	0.53	0.75	daN/cmq	4.5
15.6	14	0.933	Argilla organica	//////////	Consistente (compatta)	803	0.72	0.7	daN/cmq	8.0
15.8	16	0.867	Argilla compatta		Consistente (compatta)	823	0.57	0.8	daN/cmq	5.0
16	19	0.800	Argilla limosa e sabbiosa	!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!	Consistente (compatta)	849	0.57	0.95	daN/cmq	5.0
16.2	13	0.667	Argilla compatta		Mediamente consistente	792	0.5	0.65	daN/cmq	4.0
16.4	21	0.933	Argilla compatta		Consistente (compatta)	864	0.68	1.05	daN/cmq	8.0
16.6	32	0.867	SABBIA e LIMO ARGILLOSO	::==::==::==::	MEDIAMENTE ADDENSATA	700	36	% 32	°	3.5
16.8	15	1.067	Argilla organica	//////////	Consistente (compatta)	814	0.75	0.75	daN/cmq	8.0
17	21	0.667	Argilla limosa e sabbiosa	!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!	Consistente (compatta)	864	0.61	1.05	daN/cmq	6.0
17.2	19	1.333	Argilla molto compatta		Consistente (compatta)	849	0.57	0.95	daN/cmq	5.0
17.4	27	0.867	Argilla limosa e sabbiosa	!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!	Consistente (compatta)	901	0.75	1.35	daN/cmq	8.0
17.6	53	0.800	SABBIA	..o.o.o.o.o.o.o.o.o.o	MEDIAMENTE ADDENSATA	800	43	% 33	°	4.5
17.8	55	0.600	SABBIA	..o.o.o.o.o.o.o.o.o.o	MEDIAMENTE ADDENSATA	800	45	% 34	°	5.0
18	31	0.867	SABBIA e LIMO ARGILLOSO	::==::==::==::	MEDIAMENTE ADDENSATA	700	36	% 32	°	3.5
18.2	30	0.600	SABBIA e LIMO ARGILLOSO	::==::==::~::~	POCO ADDENSATA	650	35	% 32	°	3.0
18.4	30	0.667	SABBIA e LIMO ARGILLOSO	::==::~::~	POCO ADDENSATA	650	35	% 32	°	3.0
18.6	26	0.667	SABBIA e LIMO ARGILLOSO	::==::~::~	POCO ADDENSATA	650	31	% 32	°	2.6
18.8	28	1.867	Argilla molto compatta		Consistente (compatta)	907	0.75	1.4	daN/cmq	8.0
19	43	1.533	Argilla limosa e sabbiosa	!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!	Molto consistente	971	0.91	2.15	daN/cmq	11.0
19.2	76	1.533	SABBIA e LIMO	..o.o.o.o.o.o.o.o.o.o	MEDIAMENTE ADDENSATA	800	50	% 34	°	5.5
19.4	73	1.467	SABBIA e LIMO	..o.o.o.o.o.o.o.o.o.o	MEDIAMENTE ADDENSATA	800	48	% 34	°	5.5
19.6	73	2.067	SABBIA e LIMO	..o.o.o.o.o.o.o.o.o.o	MEDIAMENTE ADDENSATA	800	48	% 34	°	5.5
19.8	81	1.000	SABBIA	..o.o.o.o.o.o.o.o.o.o	MEDIAMENTE ADDENSATA	850	57	% 35	°	6.5

14.4	22	1.133	Argilla molto compatta		Consistente (compatta)	871	0.64	1.1	daN/cmq	7.0
14.6	18	0.933	Argilla compatta		Consistente (compatta)	841	0.61	0.9	daN/cmq	6.0
14.8	16	0.867	Argilla compatta		Consistente (compatta)	823	0.57	0.8	daN/cmq	5.0
15	16	0.600	Argilla limosa e sabbiosa	!!!!!!	Mediamente consistente	823	0.5	0.8	daN/cmq	4.0
15.2	15	1.200	Argilla organica	////////	Consistente (compatta)	814	0.75	0.75	daN/cmq	8.0
15.4	18	0.933	Argilla compatta		Consistente (compatta)	841	0.61	0.9	daN/cmq	6.0
15.6	16	0.800	Argilla compatta		Consistente (compatta)	823	0.57	0.8	daN/cmq	5.0
15.8	15	0.733	Argilla compatta		Consistente (compatta)	814	0.53	0.75	daN/cmq	4.5
16	29	1.333	Argilla limosa e sabbiosa	!!!!!!	Molto consistente	912	0.77	1.45	daN/cmq	9.0
16.2	45	1.200	SABBIA e LIMO ARGILLOSO	::::=::: :::=	MEDIAMENTE ADDENSATA	800	43	% 33	°	4.5
16.4	15	1.400	Argilla organica	////////	Consistente (compatta)	814	0.75	0.75	daN/cmq	8.0
16.6	16	0.867	Argilla compatta		Consistente (compatta)	823	0.57	0.8	daN/cmq	5.0
16.8	20	1.133	Argilla molto compatta		Consistente (compatta)	857	0.61	1	daN/cmq	6.0
17	14	1.133	Argilla organica	////////	Consistente (compatta)	803	0.72	0.7	daN/cmq	8.0
17.2	15	0.933	Argilla compatta		Consistente (compatta)	814	0.53	0.75	daN/cmq	4.5
17.4	13	0.533	Argilla compatta		Mediamente consistente	792	0.5	0.65	daN/cmq	4.0
17.6	16	0.800	Argilla compatta		Consistente (compatta)	823	0.57	0.8	daN/cmq	5.0
17.8	22	0.800	Argilla limosa e sabbiosa	!!!!!!	Consistente (compatta)	871	0.64	1.1	daN/cmq	7.0
18	12	0.600	Argilla compatta		Mediamente consistente	780	0.43	0.6	daN/cmq	3.5
18.2	15	0.800	Argilla compatta		Consistente (compatta)	814	0.53	0.75	daN/cmq	4.5
18.4	25	0.933	Argilla limosa e sabbiosa	!!!!!!	Consistente (compatta)	890	0.68	1.25	daN/cmq	8.0
18.6	18	1.467	Argilla organica	////////	Molto consistente	841	0.81	0.9	daN/cmq	9.0
18.8	98	1.600	SABBIA	:::°°°°°°°°°°	MEDIAMENTE ADDENSATA	850	61	% 36	°	7.5
19	46	1.267	SABBIA e LIMO ARGILLOSO	:::°°°°°°°°°°	MEDIAMENTE ADDENSATA	800	43	% 33	°	4.5
19.2	31	0.800	SABBIA e LIMO ARGILLOSO	:::°°°°°°°°°°	MEDIAMENTE ADDENSATA	700	36	% 32	°	3.5
19.4	115	1.467	SABBIA Densa o COMPATTA	:::°°°°°°°°°°	MEDIAMENTE ADDENSATA	850	59	% 35	°	7.0
19.6	48	1.933	Argilla limosa e sabbiosa	!!!!!!	Molto consistente	987	0.96	2.4	daN/cmq	12.0
19.8	44	0.733	SABBIA	:::°°°°°°°°°°	MEDIAMENTE ADDENSATA	750	39	% 33	°	4.0

LABORATORIO GEOTECNICO : analisi granulometrica

Committente :	FEDERIMMOBILIARE	Campione:	LIMO SABBIOSO
Località :	via San Andrea - FAENZA	Profondità prelievo :	6.50-7.50 ml.
Data :	16.10.2020	Cont. acqua nat. Wn:	15.64 %
Sondaggio N° :	1	Peso camp. secco :	g

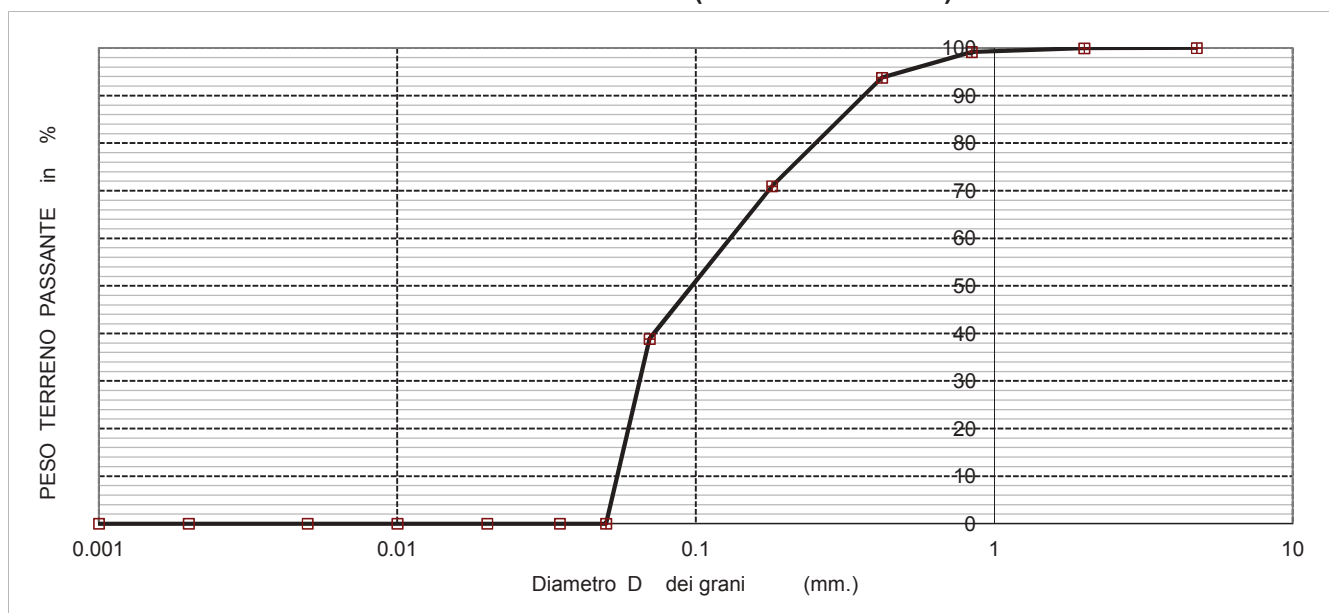
N° setaccio	Apertura Diam. mm.	Peso del setaccio g	Setaccio + terreno g	Peso terr. trattenuto g	Terreno trattenuto %	% progressiva trattenuta	% terreno più fine
4	4.760	80.00	80.00	0.00	0.00	0.00	100.00
10	2.000	80.00	80.11	0.11	0.04	0.04	99.96
20	0.840	80.00	82.09	2.09	0.78	0.82	99.18
40	0.420	80.00	94.58	14.58	5.42	6.24	93.76
80	0.180	80.00	141.32	61.32	22.80	29.03	70.97
200	0.070	80.00	166.37	86.37	32.11	61.14	38.86
Fondo		80.00	184.52	104.52	38.86	100.00	0.00

268.99

Analisi granulometrica per sedimentazione (aerometria) del passante # 200 : % = 38.86

Diametro in mm.	0.0500	0.0350	0.0200	0.0100	0.0050	0.0020	0.0010
Passante %							

DIAGRAMMA GRANULOMETRICO (NORMA UNI-CNR).



con : **D60** = diametro corrispondente al 60% di passante = mm. **0.1200**

D30 = diametro corrispondente al 30% di passante = mm. **0.0780**

D10 = diametro corrispondente al 10% di passante = mm. **0.07**

si ottiene : 1. **COEFFICIENTE di UNIFORMITA'** $C_u = D_{60}/D_{10} =$ **1.71**

2. **COEFFICIENTE di CURVATURA** $C_c = D_{30}^2 / (D_{10} * D_{60}) =$ **0.72**

SIAMO QUINDI IN PRESENZA DI UN MATERIALE LIMOSO-ARGILLOSO (passante al #200>35%)
UNIFORME CON PRESENZA DI MATERIALE FINE (MAL CLASSATO).

LABORATORIO GEOTECNICO : analisi granulometrica

Committente :	FEDERIMMOBILIARE	Campione:	SABBIA LIMOSA
Località :	via San Andrea - FAENZA	Profondità prelievo :	9.50-10.50 ml.
Data :	16.10.2020	Cont. acqua nat. Wn:	14.81 %
Sondaggio N° :	1	Peso camp. secco :	g

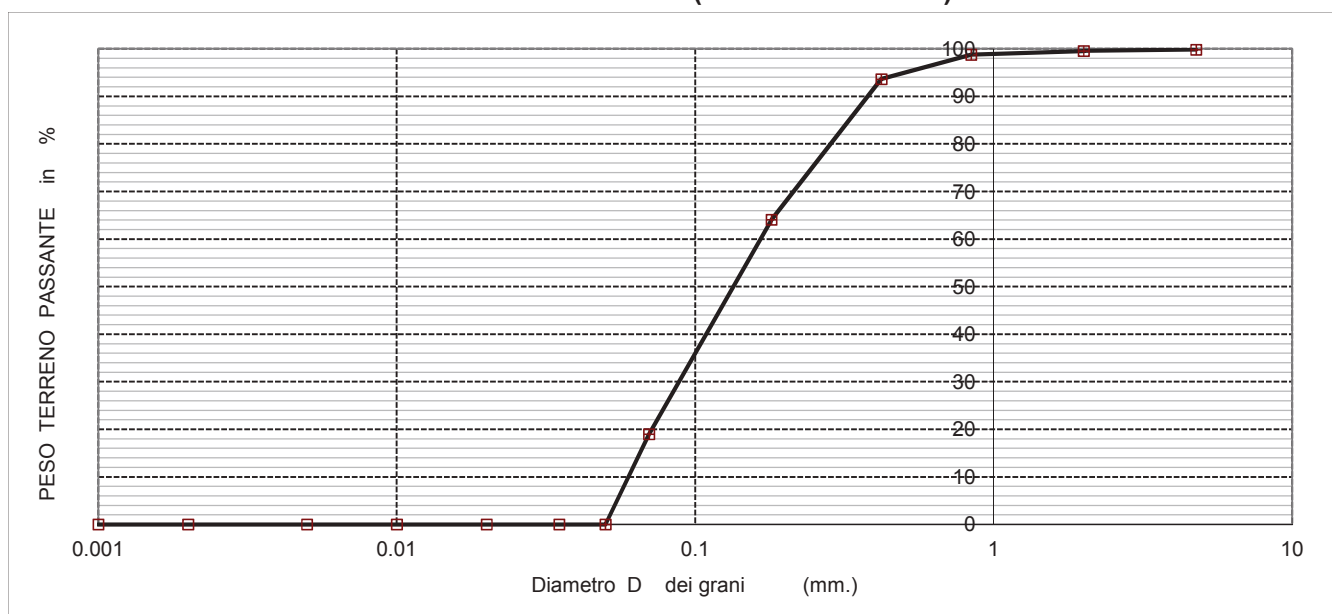
N° setaccio	Apertura Diam. mm.	Peso del setaccio g	Setaccio + terreno g	Peso terr. trattenuto g	Terreno trattenuto %	% progressiva trattenuta	% terreno più fine
4	4.760	80.00	80.24	0.24	0.18	0.18	99.82
10	2.000	80.00	80.39	0.39	0.29	0.46	99.54
20	0.840	80.00	81.05	1.05	0.77	1.23	98.77
40	0.420	80.00	87.02	7.02	5.13	6.36	93.64
80	0.180	80.00	120.41	40.41	29.56	35.92	64.08
200	0.070	80.00	141.67	61.67	45.11	81.03	18.97
Fondo		80.00	105.94	25.94	18.97	100.00	0.00

136.72

Analisi granulometrica per sedimentazione (aerometria) del passante # 200 : % = 18.97

Diametro in mm.	0.0500	0.0350	0.0200	0.0100	0.0050	0.0020	0.0010
Passante %							

DIAGRAMMA GRANULOMETRICO (NORMA UNI-CNR).



con : **D60** = diametro corrispondente al 60% di passante = mm. **0.1220**

D30 = diametro corrispondente al 30% di passante = mm. **0.0950**

D10 = diametro corrispondente al 10% di passante = mm. **0.081**

si ottiene : 1. **COEFFICIENTE di UNIFORMITA'** $C_u = D_{60}/D_{10} =$ **1.51**

2. **COEFFICIENTE di CURVATURA** $C_c = D_{30}^2 / (D_{10} * D_{60}) =$ **0.91**

SIAMO QUINDI IN PRESENZA DI UN MATERIALE GRANULARE (passante al #200 $\leq 35\%$)

UNIFORME CON PRESENZA DI MATERIALE FINE (MAL CLASSATO).