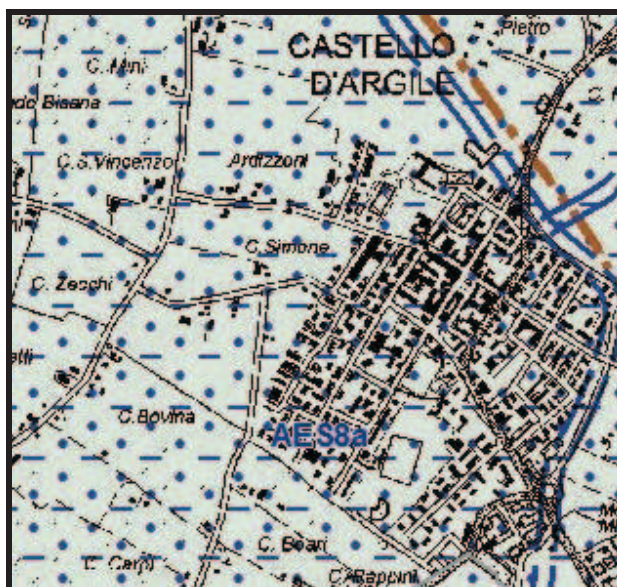


RELAZIONE GEOLOGICA

**OGGETTO: RELAZIONE GEOLOGICA E
CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL
SOTTOSUOLO ESEGUITA IN VIA
ZAMBECCARI COMUNE DI CASTELLO
D'ARGILE PER LE CARATTERISTICHE
SISMICHE E DI EDIFICABILITA' DI UN'AREA.**

**COMMITTENTE : COCCHI DEANNA e FERRARI GIANCARLO
Via Zambeccari, 26
CASTELLO D'ARGILE (Bo)**



ANDREATTA Dr. GIANCARLO

Studio di Geologia Tecnica

Via XXV Aprile, 140

CASTELBOLOGNESE (RA)

Tel. 0546/656362-333/2209149

INDICE

<i>a. PREMESSA</i>	<i>pag. 3</i>
<i>b. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E TETTONICO</i>	<i>pag. 4</i>
<i>c. IDROGEOLOGIA DELL'AREA</i>	<i>pag. 5</i>
<i>d. INDAGINI "IN SITU" E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE</i>	<i>pag. 6</i>
- Prove penetrometriche statiche	
-Prove penetrometriche dinamiche	
<i>e. PROVA GEOFISICA MASW+HVSr</i>	<i>pag. 9</i>
- Classificazione dei terreni	
<i>f. CARATTERISTICHE SISMICHE</i>	<i>pag. 17</i>
- Sorgenti sismogenetiche	
<i>g. VALUTAZIONE DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE SISMICA PER LE ANALISI DI APPROFONDIMENTO E PER LA VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI TOPOGRAFICI (630/2019 - 476/2021 – 564/2021)</i>	<i>pag. 19</i>
<i>h. EFFETTI DELLA TOPOGRAFIA E DATI SIMICI DI RIFERIMENTO</i>	<i>pag. 21</i>
<i>i. COMPATIBILITA' SISMICA: POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (DGR Emilia Romagna n° 630/209 - 476/2021 – 564/2021)</i>	<i>pag. 23</i>
<i>l. COMPATIBILITA' EDIFICATORIA DELL'INTERVENTO</i>	<i>pag. 26</i>
<i>m. Area - "Via Zambeccari": Prescrizioni conclusive</i>	<i>pag. 32</i>

ALLEGATI:

-Grafici HVSr	
- Caratterizzazione sismica dei terreni	
- Potenziale di liquefazione	
- Cedimenti post-sismici	
- Sezione CARG n° 065	
- Planimetria valori ASI	
- Carta geologica	<i>scala 1:5.000</i>
- Sezione geotecnica	<i>scala 1:100</i>
- Planimetria ubicazione prove	<i>scala 1:1.000</i>
- Grafici penetrometrici e correlazioni geotecniche	

a. PREMESSA

Su richiesta dei sig.ri **Cocchi Deanna e Ferrarari Giancarlo** via **Zambeccari n° 26** comune di **Castello d'Argile (Bo)**, è stata eseguita un'indagine geologica e caratterizzazione geotecnica del sottosuolo in via Zambeccari comune di **Fusignano** per **n° 1 area di espansione urbanistica dove è prevista la realizzazione di un edificio abitativo.**

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 DGR n° 630-2019 "Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica" e successivi aggiornamenti n° 476 del 12/04/2021 e n° 564 del 26/04/2021
- Al Piano Strutturale del Comune di Castello d'Argile 2007.
- Studi di microzonazione sismica - approfondimenti di livello 3 (Dott. Geologo Samuel Sangiorgi 2018) eseguiti per il Comune di Castello d'Argile 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 edificazione e dei relativi approfondimenti necessari per completare il quadro geologico, geotecnico, idrogeologico e sismico.

b. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E TETTONICO

Le caratteristiche fisiche generali, la composizione litologica, l'assetto strutturale, il grado di stabilità attuali di un territorio sono la risultante e la sintesi della sua evoluzione geologica. Per una migliore comprensione della geologia del territorio in esame, risulta utile avere un quadro, sia pure schematico e riassuntivo, dei lineamenti e della storia geologica della più ampia unità regionale di cui l'area in esame è parte. Il territorio del Comune di Castello d'Argile è inserito nel vasto bacino sedimentario della Valle Padana e più precisamente nel lembo sud-centrale della stessa, delimitato a Nord dal corso del Po e a Sud dalle propaggini collinare dell'Appennino Romagnolo. La storia geologica di questa pianura, la sua genesi e le sue vicissitudini evolutive possono essere ricondotte, nel loro insieme, ad un lento e progressivo ricoprimento del settore meridionale della fossa occupata dall'alto Adriatico già a partire dalla fase centrale della orogenesi alpina, da un lato, e di quella appenninica, dall'altro, cioè nell'oligocene, come confermano le risultanze della perforazioni condotte nell'area per ricerche di idrocarburi.

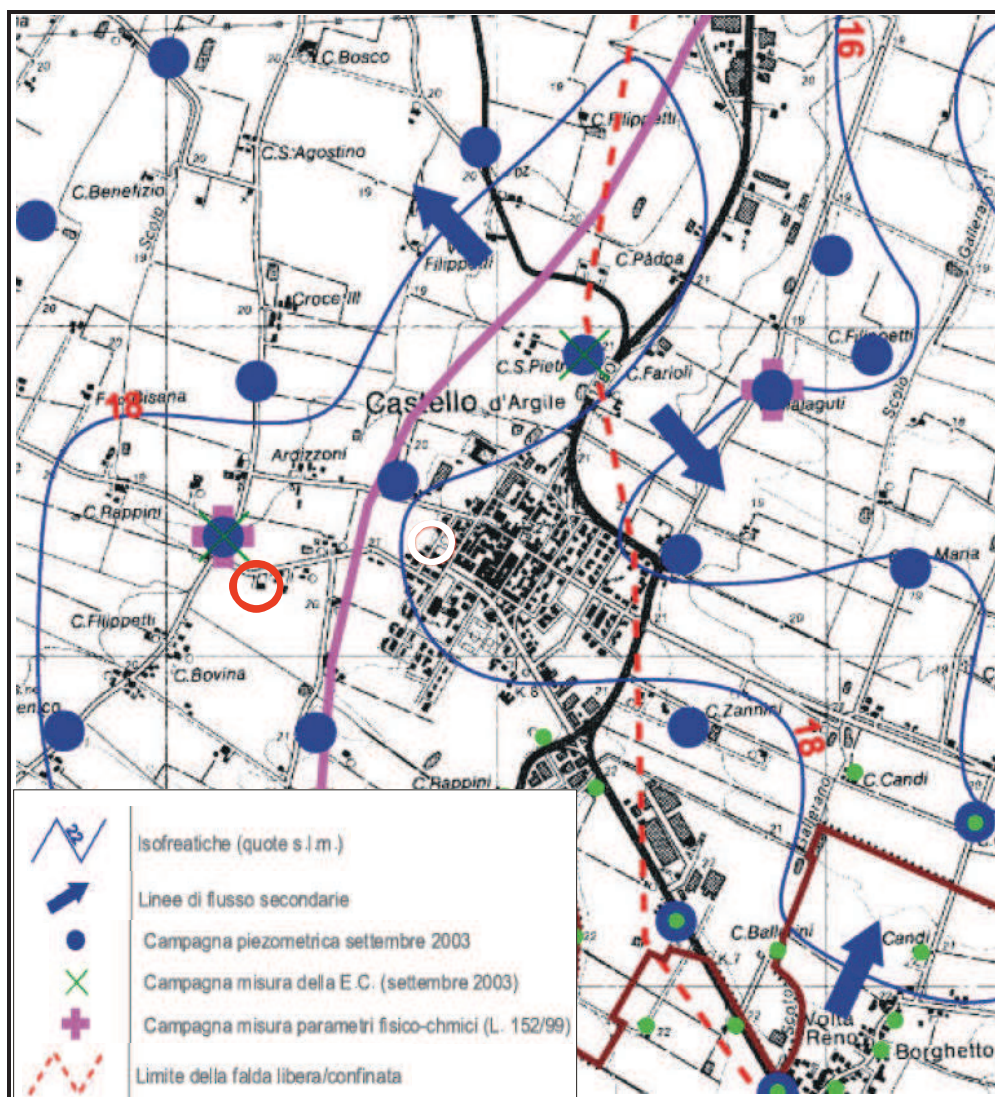
L'attuale assetto geologico è la risultante di un complesso avvicendamento di fasi erosive in alternanza a fasi prevalentemente sedimentarie, sia in senso verticale sia in senso orizzontale, in relazione al perdurare di una dinamica di abbassamenti del substrato, di fenomeni di subsidenza del materasso alluvionale che si stava formando, con conseguenti arresti della regressione marina o addirittura episodi di ingressione e formazione di fasi lagunari lungo la fascia preappenninica. Solo nel Quaternario più recente l'assetto tettonico manifesta una sorta di equilibrio raggiunto e, alla prevalente tendenza alla subsidenza e deposizione prevalentemente marina, subentra un periodo di più estesi fenomeni sedimentari fluviali, ai quali è concomitante il progressivo ritiro del mare verso la configurazione dell'attuale costa. Il quaternario è contraddistinto da una fase deposizionale marina iniziale (Pleistocene) e una fase deposizionale continentale (Olocene) che prosegue anche attualmente. La stratigrafia pleistocenica presenta frequenti variazioni litologiche. Le sabbie si intercalano a sedimenti più fini limoso sabbiosi o limoso argillosi, e nelle parti sommitali si fanno sempre più frequenti litotipi di ambiente lagunare salmastro.

La stratigrafia olocenica è dominata dalla più recente regressione marina in concomitanza con le grandi glaciazioni intervallate da lunghi periodi di clima più mite

durante i quali prevale l'azione di trasporto dei numerosi corsi d'acqua e in questo caso il Fiume Reno che scorre in zona Ovest.

c. IDROGEOLOGIA DELL'AREA

Per quanto riguarda le caratteristiche edificatorie la profondità della falda freatica superficiale è fondamentale per prevenire eventuali interferenze con le strutture in progetto, per stabilire l'influenza sui parametri del carico limite ed infine per conoscere la sua influenza sulla risposta sismica del terreno in caso di terremoto. Al fine di caratterizzare la falda freatica della zona oggetto di indagine, si è fatto riferimento allo studio freatimetrico realizzato dalla relazione geologica allegata al PSC Associato Reno Galliera – Terre di Pianura con indicata in rosso l'area in esame:



Il livello piezometrico, come risulta nella tavola idrogeologica soprariportata, è di poco inferiore ai 18 metri slm, e la soggiacenza apparente (dislivello tra quota del p.c. e quota media piezometrica della falda) è dunque stimata pari a circa 2,50-3,00 metri. La vulnerabilità della falda è in genere bassa al suolo ed anche a profondità maggiori, l'acquifero è costituito da limi a scheletro sabbioso a bassa trasmissività, e da lenti e lingue di modesto spessore di sabbie. Il primo acquifero locale sfruttato è posto dopo i 25 metri di profondità.

Sono state eseguite opportune verifiche in campagna che hanno confermato i caratteri idrogeologici del territorio emersi dal precedente studio.

Nella zona di edificazione investigata, attualmente la falda idrica presenta una direzione di flusso verso NO e SE con livelli di soggiacenza dal piano campagna compresi tra -2.4 m e -2.5 m. I livelli della falda freatica misurati all'interno dei fori penetrometrici dove sono state immerse delle canne piezometriche, hanno evidenziato i seguenti livelli:

N. prova penetrometrica	Livello acqua (m da p.c.)	Data di misura
CPT n. 1	2.4	16-02-2022
DPL n. 1	2.5	16-02-2022
DPL n. 2	2.5	16-02-2022

Dai dati dei livelli della prima falda idrica si evidenzia che in un periodo di minimo idrogeologico la falda idrica presenta un livello medio compreso tra 2.0 m e 2.5 m dal piano di campagna. Durante altre campagne di misure freatiche realizzate in occasione della Variante al RUE-PSC, per la zona in esame sono state osservate variazioni dell'ordine di 0,50 m dei livelli di falda., con escursione massima attorno ad 1,00 m.

d. INDAGINI "IN SITU" E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE

Essendo inserita la zona di edificazione nella cartografia di zonizzazione del POC 2021 del comune di Castello d'Argile 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 interessati dalla edificazione del unico fabbricato previsto per l'area.

- Prova penetrometrica statica con punta meccanica

Al fine di una caratterizzazione geotecnica e litologica dei terreni nell'area di edificazione e di accertare la presenza e profondità di falde idriche, è stata effettuata **n° 1** prova penetrometrica statica con punta meccanica tipo "Begemann" e penetrometro da **200 kN**, da spingersi fino a profondità utile per la dissipazione dei futuri carichi. L'ubicazione della prova 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 leggera:

- 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 con la punta "Begemann" che rileva i dati ogni **cm. 20**.

Prove penetrometriche dinamiche leggere

Al fine di completare l'indagine geotecnica sono state realizzate **n° 2 prove penetrometriche dinamiche leggere**. Le quote sono riferite al piano di campagna attuale e l'ubicazione delle prove viene riportata in cartografia allegata ed indicata con un cerchietto rosso. Le caratteristiche della strumentazione utilizzata per la presente indagine sono riportate qui di seguito:

- *Penetrometro dinamico leggero DPL30*
- *Peso del maglio 30 daN di*
- *Altezza di caduta del maglio cm. 20*
- *Peso delle aste di Kg 3,0*

I dati, rappresentati come numero di colpi necessari per determinare una penetrazione di **cm. 10**, vengono riportati in allegato. Dalla resistenza alla punta riscontrata nelle prove, applicando la nota "formula degli Olandesi" :

$$Q_d = \frac{M^2 * H}{e * (P + M) * A}$$

dove :

- **M** = massa del maglio
- **H** = altezza di caduta del maglio
- **P** = peso delle aste
- **e** = penetrazione della punta per un colpo di maglio cadente da altezza H
- **A** = sezione della punta (cmq. 10).

si ottiene la resistenza dinamica in daN/cm². Si sono diagrammati i valori dei carichi dinamici corretti con **coefficiente di sicurezza 20** da cui si ottiene il carico ammissibile.

L'esame dei grafici evidenzia, dopo un primo spessore di terreno intensamente rimaneggiato pari a circa m. 0,50-0,70, intercalazioni argillose e sabbioso-limose dapprima leggermente sovraconsolidati (Rpm = 9-11 daN/cm²) fino a circa m. 2,00 di profondità quindi normalconsolidate, dotati di una resistenza alla compressione bassa (Rpm = 5-8 daN/cm²) fino a circa m. 6,00-6,50 di profondità dove viene riscontrato un cambio litologico e di addensamento con terreni a componente maggiormente limoso-argilloso-sabbiosa consistente (Rpm = 15-22 daN/cm²) cui seguono limi argillosi consistenti (Rpm = 10-12) situazione stratigrafica che garantisce l'edificazione senza particolari prescrizioni.

La presenza di falda idrica è stata riscontrata alla profondità di **m. 2,40-2,50** dal piano campagna attuale con escursione stagionale, da informazioni assunte, di m. 0,50-1,00.

Stratigrafia ricavata dalle prove "in situ" correlata con prove penetrometriche profonde eseguite dalla regione Emilia-Romagna progetto CARG e le prove utilizzate per la caratterizzazione geotecnica eseguita per il PSC del comune di Castello d'Argile (prova penetrometrica con piezocono CPTU202120U504 - prova penetrometrica con punta meccanica CPT202120C018 - prova penetrometrica con punta meccanica CPT202120C018 - prova CPTU036 - sondaggio a carotaggio continuo 202120P507):

Spessore ml.	LITOLOGIA	Peso Yt daN/mc	Resistenza alla rottura Rpm daN/cm ²	Coesione non drenata caratteristica C _{uk} daN/cm ²	Angolo attrito caratteristico gradi	Modulo Edometrico daN/m ²	Modulo di Winkler daN/cm ²
0,50-0,70	Terreno rimaneggiato	-	-	-			
1,00-1,50	Argilla limosa consistente	1.740- 1.750	9-11	0,45-0,50	14°-16°	60-64	3-4
4,00-4,50	Argille intercalate a (limi sabbiosi)	1.690- 1.700 (1.720- 1.740)	4-6 (7-9)	0,25-0,30 (0,04-0,08)	6°-8° (21°-23°)	30-35 (70-80)	1-2 (3-4)
3,00-3,50	Argille limose consistenti	1.800- 1.820	15-22	0,75-0,95	13°-15°	80-90	5-6
12,0-13,0	Argille	1.740- 1.760	12-18	0,60-0,70	11°-13°	65-70	4-5
5,00-6,00	Sabbia limosa	1.800- 1.840	70-90	0,10-0,15	22°-24°	130-170	8-9
fino a m. 35	Argilla	1.800- 1.830	15-20	0,75-0,95	12°-14°	80-90	5-6

e. PROVA GEOFISICA MASW+HVSR

Nell'ambito dell'area situata in via Zambeccari nel comune di Castello d'Argile, è stato eseguito un rilievo sismico mediante la tecnica dell'analisi delle onde di superficie (MASW) con integrazione ed elaborazione congiunta della tecnica sismica a microtremori rifratti (HVSR), denominato MASW_1 e MASW_2. La prospezione sismica integrata MASW-HVSR è stata finalizzata a ottenere la diagrafia delle velocità sismiche delle onde di taglio per la determinazione del parametro V_{seq} o

Vs30 ai sensi delle NTC18. L'acquisizione dei dati è stata effettuata nel giorno 16 febbraio 2022.

L'ubicazione dell'indagine geofisica realizzata è riportata in planimetria allegata. Segue una breve descrizione dei metodi geofisici utilizzati e delle modalità esecutive delle prospezioni geofisiche effettuate.

CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI TERRENI

Facendo riferimento alla nuova normativa tecnica in materia di progettazione antisismica (NTC2018), la caratterizzazione geotecnica dei terreni dal punto di vista sismico richiede come elemento indispensabile la conoscenza del profilo delle velocità delle onde di taglio Vs degli strati del terreno presenti nel sito di studio.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, Vseq (in m/s), definita dall'espressione:

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

con:

h_i spessore dell'*i*-esimo strato;

$V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell'*i*-esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio Vseq è definita dal parametro Vs30, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

La normativa, sulla base del suddetto profilo, fornisce una classificazione dei suoli suddivisa nelle tipologie A, B, C, D ed E (rif. Tab. 3.2.II delle NTC2018):

A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m

B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s

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

D - 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 e 180 m/s

E - Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m

MASW è l'acronimo di Multi-channel Analysis of Surface Waves (Analisi Multi-canale di Onde di Superficie). Ciò indica che il fenomeno che si analizza è la propagazione delle onde di superficie. Più specificatamente si analizza la dispersione delle onde di superficie (cioè il fatto che frequenze diverse - ovvero lunghezze d'onda diverse - viaggiano a velocità diversa). In sostanza le varie componenti (frequenze) del segnale sismico che si propaga viaggiano ad una velocità che dipende dalle caratteristiche del mezzo.

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 verticali con frequenza naturale 4,5 Hz.

La tecnica HVSR (microtremori rifratti) invece è considerata un metodo passivo: la stazione singola non registra 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).

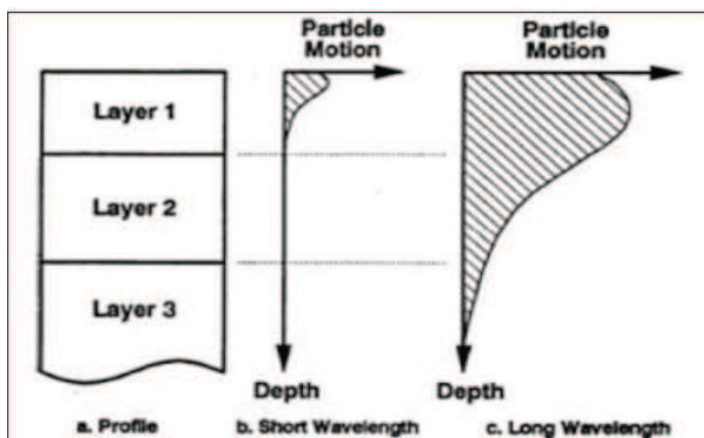
Il metodo passivo consente di determinare una curva di dispersione, in modo ottimale, nella banda di frequenza tra 4 e 20 Hz e fornisce informazioni sugli strati più profondi (generalmente fino a 30-50 m).

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).

Nell'approccio teorico di questi metodi di analisi si utilizzano le onde superficiali di Rayleigh per la determinazione dei parametri di comportamento meccanico dei terreni a bassi livelli di deformazione, modulo di taglio e coefficiente di smorzamento, e si basa sulle proprietà dispersive che queste onde subiscono durante l'attraversamento di tali terreni.

Le onde di Rayleigh costituiscono un particolare tipo di onde superficiali che si trasmettono sulle superficie libera di un mezzo isotropo e omogeneo, e sono il risultato dell'interferenza tra onde di pressione P e di taglio S. In un mezzo stratificato queste onde sono di tipo dispersivo e vengono definite di pseudo-Rayleigh o di superficie. La dispersione è una deformazione di un treno d'onde dovuta ad una variazione di propagazione di velocità con la frequenza, le componenti a frequenza minore penetrano più in profondità rispetto a quelle a frequenza maggiore.

Le lunghezze d'onda più ampie (ovvero le frequenze più basse) sono influenzate dalla parte più profonda, mentre le piccole lunghezze d'onda (le frequenze più alte) dipendono dalle caratteristiche della parte più superficiale:



Poiché tipicamente la velocità delle onde sismiche aumenta con la profondità, ciò si rifletterà nel fatto che le frequenze più basse (delle onde di superficie) viaggeranno

ad una velocità maggiore rispetto le frequenze più alte. La profondità Z è calcolata attraverso la lunghezza d'onda massima:

$$Z = \lambda_{\max}/2$$

dove:

$\lambda_{\max} = V/f$, V è la velocità di fase (m/s) e f è la frequenza (hz)

L'indagine sismica è stata eseguita utilizzando, sia per il MASW uno stendimento sismico composto da 24 geofoni verticali con frequenza naturale di 4,5 Hz posizionati sul terreno ad intervalli regolari di 1 metro, per una lunghezza complessiva dello stendimento pari a 24 metri.

I dati sono stati registrati mediante un sismografo Geometrics GEODE a 24 canali con filtri disinseriti utilizzando i seguenti parametri:

- MASW - Velocità di campionamento (sample rate) di 0.102 millisecondi e lunghezza delle acquisizioni di 2 secondi; registrazione di un file composto dalla somma di tre energizzazioni (aumento del rapporto segnale/rumore) in offset di 1 m;
- HVSr - Velocità di campionamento (sample rate) di 2 millisecondi e lunghezza delle acquisizioni di 20 secondi; registrazione di 20 minuti per un ampio campionamento dei microtremiti ambientali.

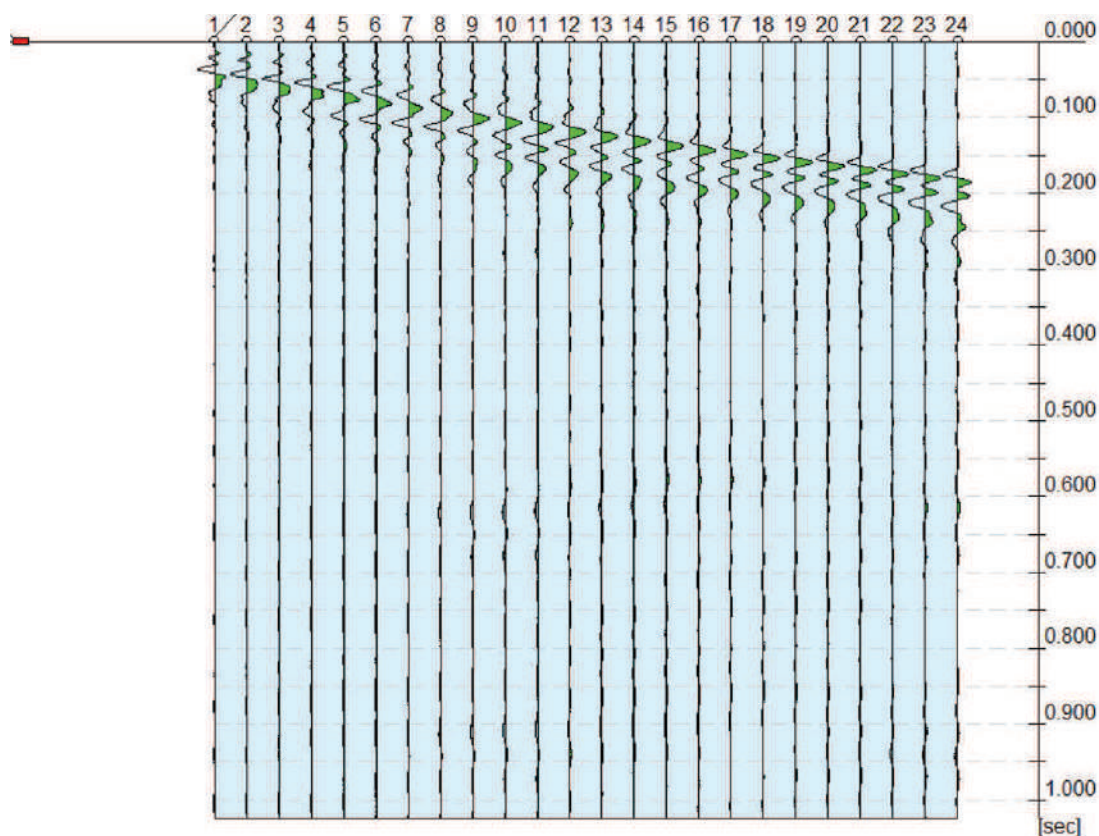
L'elaborazione congiunta dei dati sismici è avvenuta tramite software dedicato che è in grado di analizzare le onde di superficie sia attive che passive. Il software permette di caricare contemporaneamente tutte le registrazioni e analizzarle attraverso le seguenti principali funzioni:

1. Gestione della geometria di acquisizione
2. Riduzione del disturbo;
3. Controllo del range delle frequenze con l'analisi dello spettro dell'ampiezza;
4. Calcolo dello spettro di dispersione nel dominio F-K, F-V o F-P con il metodo FK ad alta risoluzione;
5. Picking della curva di dispersione interattivo sullo spettro;
6. Modello iniziale costruito automaticamente;
7. Inversione della curva di dispersione tramite algoritmo genetico (GA);
8. Calcolo del parametro V_{s30}/V_{seq}
9. Visualizzazione simultanea delle curve di dispersione e di velocità V_s ;
10. Esportazione dei profili V_s

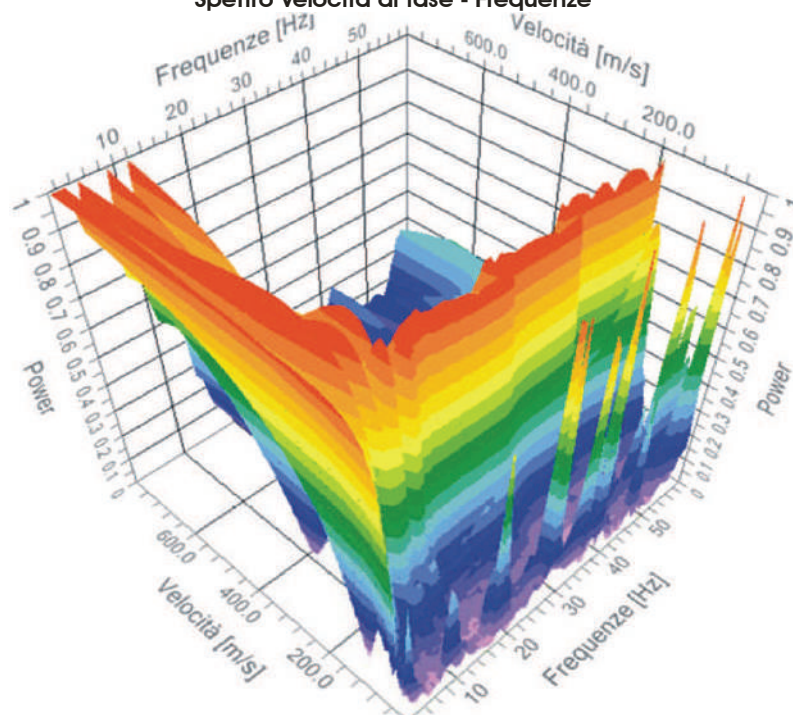
L'inversione finale dei dati restituisce un grafico che riporta la curva di dispersione con un'immagine che mostra i valori di lettura delle frequenza/velocità.

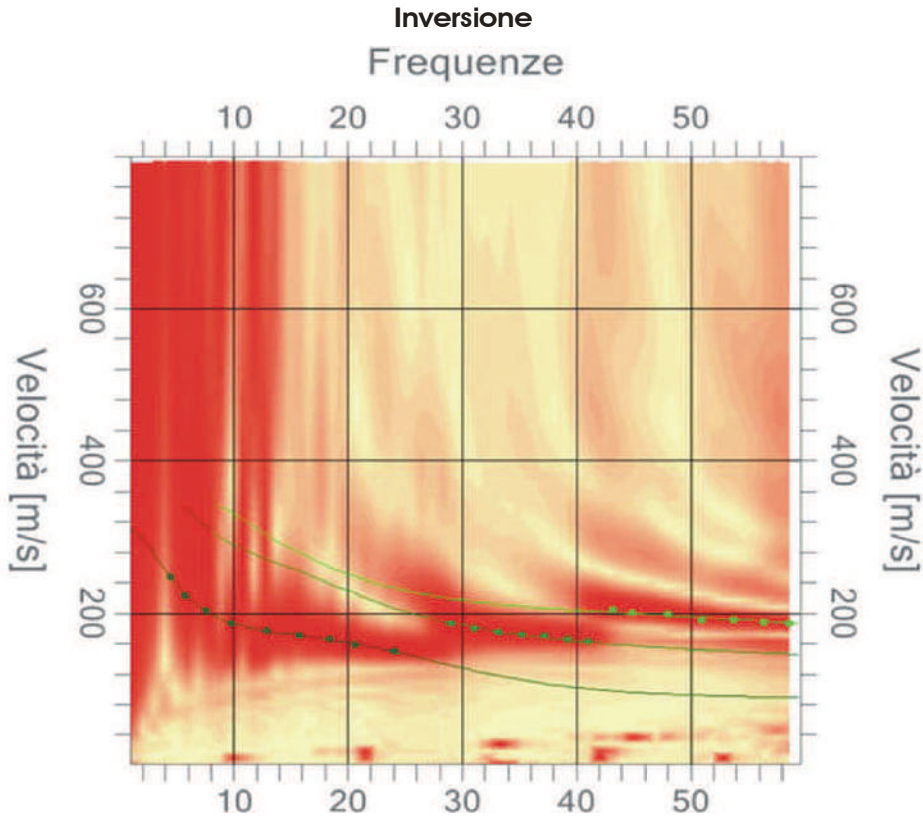
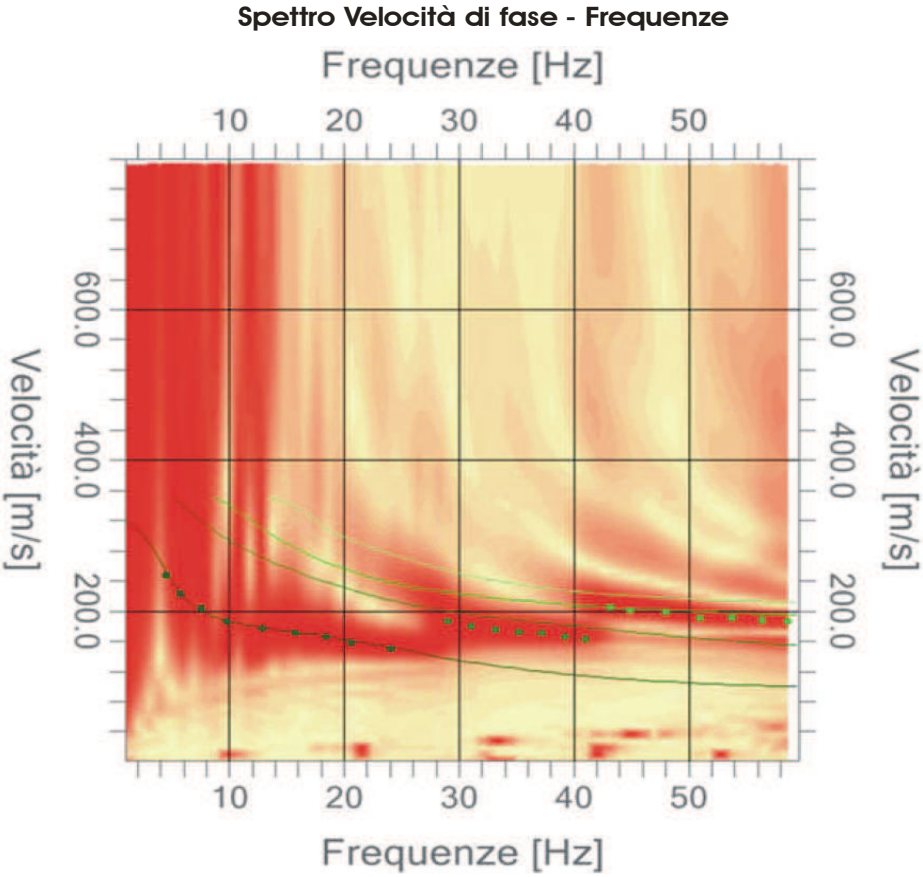
Il profilo verticale delle velocità delle onde di taglio di MASW_1, con l'indicazione del parametro V_{s30} calcolato è risultato essere di **196 m/s**. Il valore rientra nella tipologia:

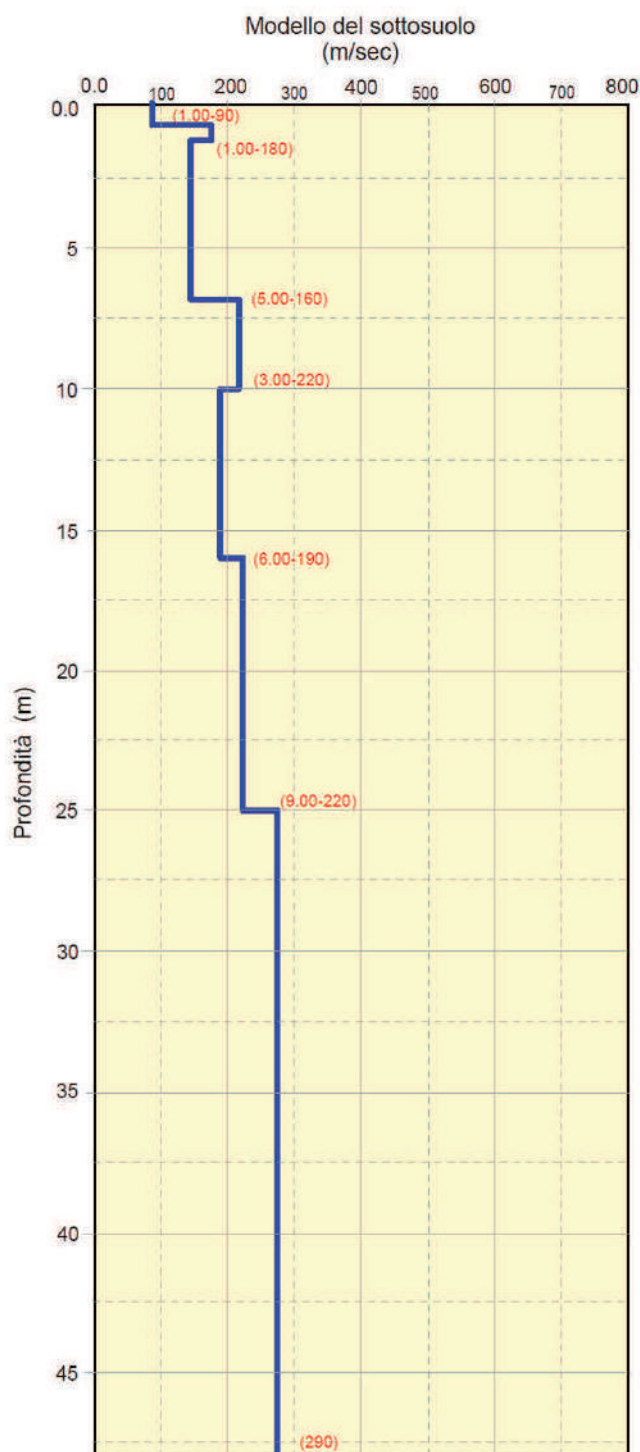
C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s



Spettro Velocità di fase - Frequenze







Metodi di calcolo delle Vs,eq	Vs,eq (m/sec)	Terreno liquefacibile	CATEGORIA SUOLO
Misure in sito con indagini Dirette con MASW+HVSr	196.11	Inserire SI o NO 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.*

f. CARATTERISTICHE SISMICHE

Negli indirizzi di microzonazione della Regione Emilia-Romagna (anno 2018) per il comune di Castello d'Argile viene indicata una accelerazione orizzontale massima di 0,159. Sulla base di quanto sopra, si è reso necessario inserire nello studio geologico-geotecnico a corredo dell'area "via Zambecari", un capitolo che focalizzi lo studio macrosismico della zona interessata all'urbanizzazione.

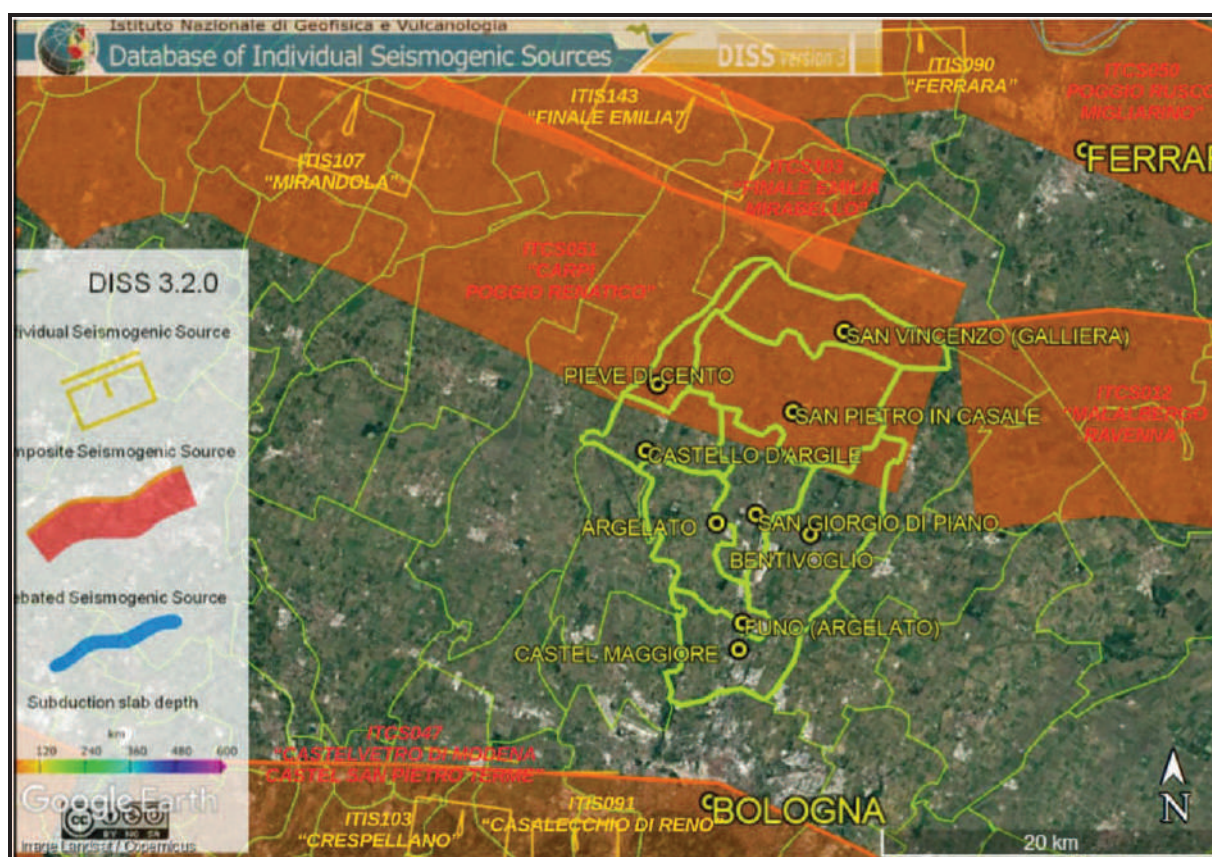
Sorgenti sismogenetiche

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

Secondo la Zonazione sismogenetica del Territorio Italiano - ZS9, prodotta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) nel 2004 (Meletti e Valensise, 2004), che rappresenta il riferimento per le valutazioni di pericolosità sismica nel territorio nazionale, l'area in esame ricade nella Zona 912, caratterizzata da un valore di **Mwmax = 6,14**. La zona sismogenica 912 rappresenta il settore più avanzato dell'arco appenninico settentrionale sepolto dalle alluvioni, che si spinge fino al Po, ed è caratterizzato prevalentemente da meccanismi di fagliazione inversa (Meletti & Valensise, 2004).

Più nel dettaglio, dalla banca dati DISS v.3.2 (figura seguente) si evince che per il comune di Castello d'Argile la più vicina sorgente individuale finora nota è la ITIS143 "Finale Emilia", quest'ultima compresa nella più avanzata zona sismogenica composita denominata ITCS103 "Finale Emilia – Mirabello". Questa sorgente individuale è stata classificata per la prima volta dopo il terremoto emiliano del 20 maggio 2012 e ad essa viene associata una magnitudo massima pari a $M_w = 6,1$.

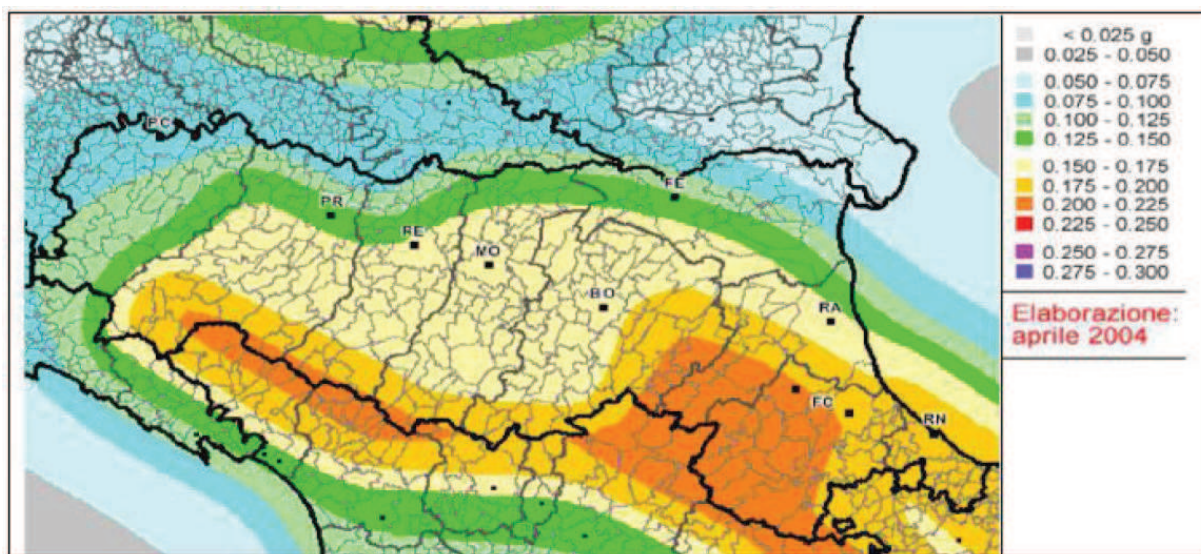
In sintesi, la sismicità locale del territorio interessato è da attribuirsi prevalentemente all'attività tettonica compressiva nelle "Pieghe Ferraresi" (Pieri & Groppi, 1981): questo sistema di pieghe-faglie ha dato origine alle due principali dorsali sepolte ("interne" ed "esterne") che descrivono un arco vergente verso nord, esteso tra Reggio Emilia e la costa adriatica e che si spinge fino ed oltre il Po ferrarese (Bigi et al., 1990). Queste dorsali sepolte, sono il risultato dell'attività di faglie inverse (thrust) la cui attività è iniziata nel Pliocene mediosuperiore, con vergenza settentrionale e piano di scorrimento immergente verso sud. Di attivazione più recente sono invece le strutture retrovergenti con piano di scorrimento immergente verso nord (backthrust) che interessano soprattutto gli orizzonti più superficiali (Martelli, 2014).



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 Castello d'Argile la PGA di riferimento su suolo rigido attribuita dalla Regione risulta **0,159g**. 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.

g. VALUTAZIONE DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE SISMICA PER LE ANALISI DI APPROFONDIMENTO E VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI TOPOGRAFICI (DGR630/2019-DGR476/2021-DGR564/2021)

Per calcolare i Fattori di Amplificazione (F.A.) richiesti nell'analisi 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 (V_sH e V_{s30}) 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. 344.00
 Substrato marino V_s = m/sec 810.00
 V_{s30} = m/sec 196
 V_{sH} = m/sec 303

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 con sedimenti limoso-sabbiosi e argilloso-limosi presenti con intercalazioni più fini fino a circa m. 340-350 di profondità dove si riscontra il substrato marino delle Argille sabbiose pleistoceniche (vedi sezione CARG065) l'area in esame viene localizzata nell'ambito:

PIANURA 3: settore di pianura caratterizzato da elevati spessori di sedimenti prevalentemente fini e poco consolidati, alternanze di limi, argille e sabbie di ambiente alluvionale e transizionale, con substrato rigido a profondità non inferiore a 300 m da p.c.;

V _{s30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
PGA	1,3	1,3	1,3			

Fattore di Amplificazione **PGA**

V_{s30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SA1	1,3	1,3	1,3			
SA2	2,1	2,1	2,0			
SA3	2,5	2,5	2,4			
SA4	2,4	2,4	2,3			

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

V_{s30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SI1	1,5	1,5	1,5			
SI2	2,3	2,3	2,2			
SI3	2,6	2,6	2,4			

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

Considerando una V_{s30} pari a: 196.11 e uno spessore $H = ml.$ 344.00 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.	1.3
F.A. SA1 $0,1s < T < 0,5s$	1.3
F.A. SA2 $0,4s < T < 0,8s$	2.1
F.A. SA3 $0,7s < T < 1,1s$	2.5
F.A. SA4* $0,5s < T < 1,5s$	2.4
F.A. SI1 $0,1s < T < 0,5s$	1.5
F.A. SI2 $0,5s < T < 1,0s$	2.3
F.A. SI3* $0,5s < T < 1,5s$	2.6

h. EFFETTI DELLA TOPOGRAFIA E DATI SISMICI DI RIFERIMENTO

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 la zona subpianeggiante in esame con inclinazione inferiori a 15° la risposta sismica locale deve essere moltiplicata per un fattore $St = 1,0$ (coefficiente di amplificazione topografica).

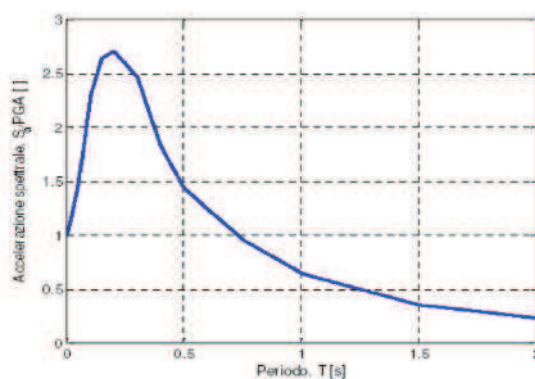
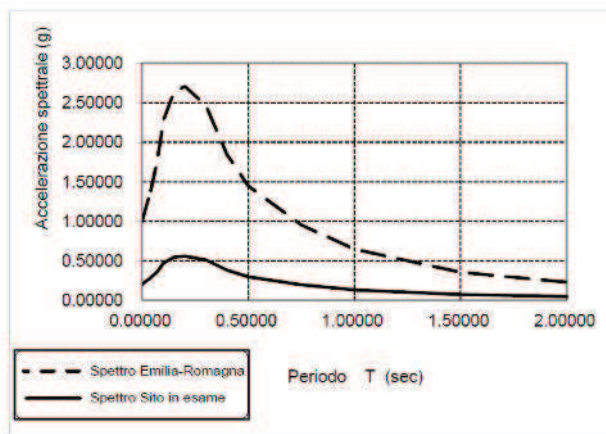
Riassumendo per il territorio preso in esame si ha:

Comune:			CASTELLO D'ARGILE	
Zona sismica 2003:			3	
Accelerazione max orizz.: Arefg			0.159	(Indirizzi microzonazione E-R; L.R.2015)
Vs30 (m/sec)			196.11	
Categoria di Suolo			C	(D.M. 17.01.2018)
(PGA/PGA ₀)	F.A. P.G.A.		1.3	(da tab. D.GR. Em.Romagna n° 476-564/2021)
(SA/SA ₀)	F.A. SA1	0,1s<T<0,5s	1.3	
(SA/SA ₀)	F.A. SA2	0,4s<T<0,8s	2.1	
(SA/SA ₀)	F.A. SA3	0,7s<T<1,1s	2.5	
(SA/SA ₀)	F.A. SA4*	0,5s<T<1,5s	2.4	
(SI/SI ₀)	F.A. SI1	0,1s<T<0,5s	1.5	(intervalli di periodo per l'intensità di Housner per strutture basse max. 4-5 piani, regolari e rigide)
(SI/SI ₀)	F.A. SI2	0,5s<T<1,0s	2.3	(intervalli di periodo per l'intensità di Housner per strutture più alte e flessibili)
(SI/SI ₀)	F.A. SI3*	0,5s<T<1,5s	2.6	
HSM (0.1-0.5) = cm/sec²			455.94	(da tab. D.GR. Em.Romagna n° 476-564/2021)
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 **CASTELLO D'ARGILE** 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 0.2067**

T (s)	Sa/aref	Sa/PGA
0.00000	1.00000	0.20670
0.04000	1.38865	0.28703
0.07000	1.75927	0.36364
0.10000	2.28349	0.47200
0.15000	2.63726	0.54512
0.20000	2.70745	0.55963
0.30000	2.46642	0.50981
0.40000	1.84047	0.38043
0.50000	1.44476	0.29863
0.75000	0.95494	0.19739
1.00000	0.64546	0.13342
1.50000	0.35479	0.07334
2.00000	0.23070	0.04769



T (s)	Sa/aref
0.00000	1.00000
0.04000	1.38865
0.07000	1.75927
0.10000	2.28349
0.15000	2.63726
0.20000	2.70745
0.30000	2.46642
0.40000	1.84047
0.50000	1.44476
0.75000	0.95494
1.00000	0.64546
1.50000	0.35479
2.00000	0.23070

Figura 1 - Spettro di risposta normalizzato ($T_R = 475$ anni, smorzamento = 5%) per l'Emilia Romagna

i. 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 **Castell Argile**. Si apprende di una serie di eventi con intensità massima della Scala Mercalli mod. e con ipocentri localizzati a circa Km. **7** ° grado **10** di profondità (R = distanza dal fuoco). In prima approssimazione la magnitudo della scala Richter (M) è ricavabile dalle seguenti espressioni :

$$M = 0,6 * I + \log R + 0,4 = 5.60$$

$$M = 0,53 * I + 0,96 = 4.67$$

Considerando la zona sismogenetica: Zs = **914**

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

	Numero ZS	Zone ZS	Mw (max)
	922, 936	Colli Albani, Etna	5,45
	928	Ischia, Vesuvio	5,91
	901, 902, 903, 904, 907, 908, 909, 911, 912, 913, 914, 916, 917, 920, 921, 926, 932, 933, 934	Savoia, Vallese, Grigioni-Valltellina, Trieste-Monte Nevoso, Bergamasco, Piemonte, Alpi Occidentali, Tortona-Bobbio, Dorsale Ferrarese, Appennino Emiliano-Romagnolo, Forlivese, Versilia-Chianti, Rimini-Ancona, Val di Chiana, Ciociaria, Etruria, Basento, Eolie-Patti, Sicilia settentrionale, Belice	6,14

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 : **> 3** **Distanza dall'epicentro 14 Km.**
) Depositi soffici

Si ha quindi : $a_{max} = 402,8 * 10^{-0,265M} / (dist.epicentro + 30)^{1,218} = cm/secq \ 159.82$

- 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: CASTELLO D'ARGILE
1	0.35	Zona sismica 2003: 3
2	0.25	1. Accel.max orizz.RER: 0.159
3	0.15	(Rischio Sismico E/R - 2016)
4	0.05	2. Accelerazione orizz.: 0.15

Considerando il fattore di amplificazione F.PGA relativo alla zona in esame del comune di: CASTELLO D'ARGILE 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:

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



Fa (PGA) = 1,7 - 1,8

Zone di attenzione di instabilità (Livello 2)



ZA_LQ - Zona di attenzione per liquefazioni

Fa (PGA) = **1.70**a max = accelerazione massima al suolo * F.A. = **270.30**

da adottare per l'area considerata.

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



A questo punto si ricava il fattore di resistenza alla liquefazione:

FL liq=CRR/CSR che deve

risultare maggiore di 1,0 onde verificare la non liquefacibilità dello strato considerato.

CSR = a max/g*sigma v/sigma' v * rd * rn

CRR = $0,45 \cdot 0,57 \cdot [(16 \cdot (N1 + DNf)^{0,5}) / 100 + [(16 \cdot (N1 + DNf)^{0,5} / 75)^{14}]$

Dove:

rd = coeff. di smorzamento in funzione della profondità = $1 - 0,015 \cdot z$ rn = coeff. correttivo in funzione della magnitudo = $0,1 \cdot (M - 1)$ N1 = $(1,7 / (\sigma' v + 0,7)) \cdot N_{spt}$

DNf = "5" per le sabbie limose a spigoli vivi

Prova **SCPT** **1** Prof.falda idrica ml. **2.80**

Profondità strato (ml)	Sigma v daN/cm ²	Sigma' v daN/cm ²	Rp kg/cm ²	N1	rd	rn	DNf	Possibilità liquefazione	FL liq
2.6	0.364	0.364	7	4	0.96	0.51	5	POSSIBILE	0.89
2.8	0.392	0.392	5	3	0.96	0.51	5	POSSIBILE	0.83
3.6	0.504	0.472	4	2	0.95	0.51	5	POSSIBILE	0.76
5.2	0.728	0.632	4	2	0.92	0.51	5	POSSIBILE	0.71
12.4	1.736	1.352	10	3	0.81	0.51	5	POSSIBILE	0.77

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

$$Rp2 = Rp1 + 26 \log FC *$$

Dove: **FC** = peso della frazione argillosa (passante #200) = **10** %**Rp1** = (Nspt*Alfa); dove Alfa è il coeff. usato per la correlazione con Rp pari a 3-4= **4**

Vengono qui riassunti i risultati del potenziale di liquefazione per la prova CPT realizzata sull'area:

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/Zcrit x (1-Z/Zcrit) con Z=profondità strato e Zcrit=20 metri. La variabile F(z) vale (Sonmez, 2003):

F(z)=0 per FL>=1.2 - F(z)=2 x 10⁻⁶ x exp(-18.427xFL) per 1.2>FL>=0.95 - con FL<0.95: F(z)= 1-FL

Prof. z (ml.)	FL	F(z)	w(z)	IL	da cui deriva il rischio di liquefazione
2.60	0.89	0.307	8.70	2.7	MODERATO
2.80	0.83	0.366	8.60	3.1	MODERATO
3.60	0.76	0.445	8.20	3.6	MODERATO
5.20	0.71	0.494	7.40	3.7	MODERATO
12.40	0.77	0.427	3.80	1.6	BASSO






(Microzonazione Sismica Regione Emilia-Romagna DGR 630/2019)

* FC è il contenuto di fine espresso in %. In assenza di dati specifici per il sito, FC può essere stimato con l'espressione empirica: $FC = 80 \cdot I_c - 137$ in cui I_c è l'indice di classificazione del terreno da prova CPT proposto da Robertson (1990):

$$\text{con } F = \frac{f_s}{q_c - \sigma_{v0}} \cdot 100 \quad I_L = \sqrt{(\log F + 1.22)^2 + (\log Q_n - 3.47)^2}$$

$$Q_n = \left(\frac{q_c - \sigma_{v0}}{p_a} \right) \cdot \left(\frac{p_a}{\sigma'_{v0}} \right)^m$$

In base al valore stimato dell'indice del potenziale di liquefazione I_L 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 **indice di liquefazione = 1.6-2,7** a cui corrisponde un **rischio di liquefazione da MODERATO a BASSO**.

CEDIMENTI POST-SISMICI

In condizioni di sisma vi possono essere effetti di “riordino” dei sedimenti, con possibilità di cedimenti significativi e che possono coinvolgere sia i depositi granulari poco addensati e recenti (olocenici), sia i sedimenti fini poco coesivi. Nell'ultimo decennio sono state elaborate procedure di stima delle potenziali deformazioni postsisma anche nei sedimenti fini (limi e argille a comportamento “non drenato”), provocate da perdite di resistenza. Quest'ultimo fenomeno è noto con il termine “cyclic softening” (Idriss & Boulanger, 2004-2007). Per la stima dei cedimenti post sisma, si è proceduto alla verifica basata sulla classificazione di comportamento di tutti i terreni proposta da Robertson (1990; 2009).

L'approccio si basa sulla valutazione delle deformazioni volumetriche post-cicliche e calcola i cedimenti sulla base dell'entità della densità relativa D_r desunta dalle resistenze di punta (q_{c1N})_{cs}. I risultati cumulativi dei cedimenti indotti da sisma sono stati calcolati e vengono proposti in allegato: in sintesi, si sono ottenuti valori di cedimento pari:

Cedimento totale terreni coesivi cm. 3.70

Cedimento totale terreni granulari cm. 2.10

I. COMPATIBILITA' EDIFICATORIA DELL'INTERVENTO

Lo studio svolto tramite indagini dirette e da informazioni acquisite per inquadrare il territorio di CASTELLO D'ARGILE 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 geofisico 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 che comunque presenta una ipotesi edificatoria (fabbricato a uso residenziale), 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 utilizzando i valori meccanici più scadenti e quindi cautelativi. Considerando una profondità del piano di posa ad almeno **m. 0,50-0,70** di profondità dove i terreni risultano essenzialmente argilloso-limoso-sabbiosi, 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 (**$\Phi^0 = 0$**) e che il terreno si opponga ai fenomeni di rottura con le sole forze coesive del terreno.

m. Zona di costruzione "Via Zambeccari": 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-sabbioso-argillosi normalconsolidati cui seguono litotipi a componente essenzialmente argilloso-limosa addensata con livelli argillosi profondi, dotati di buona consistenza fino alla massima profondità investigata pari a m. 15 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 limoso-argilloso-sabbiosa. E' stato verificato lo spessore e l'uniformità geo-meccanica del terreno argilloso-limoso-sabbioso superficiale riscontrato nei primi metri di profondità con apposita indagine geologico-geotecnica (distinzione tra sovraconsolidato-normalconsolidato).
2. Le fondazioni devono essere innestate entro il litotipo integro, 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. 0,50-0,70** di profondità dove i terreni risultano essenzialmente argilloso-limoso-sabbiosi, 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** attualmente posto **m. 2,40-2,50** dal piano campagna. Questa falda idrica presenta una portata modesta ed una escursione stagionale di m. 0,50-1,00 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 15 metri profondità che contiene la falda idrica presenta un rischio alla liquefazione **da MODERATO a BASSO**. Si può affermare che la zona indagata destinata all'edificazione in caso di scossa sismica è da ritenersi **esente da penalizzazione dovuta alla liquefazione del terreno** e quindi non implica interventi di mitigazione del fenomeno.
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 un profilo verticale delle velocità delle onde di taglio di MASW_1 Vs30 calcolato risultato essere di **196 m/s.** 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 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*

6. Lo **STUDIO DEGLI EFFETTI DI SITO ATTESI** ha evidenziato le caratteristiche fisiche dei terreni e/o di addensamento che determinano amplificazione, riscontrando comunque l'uniformità litologica e di addensamento su tutta l'area in esame. E' stata verificata l'assenza di **paleomorfologie sepolte (paleoalvei)**, 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.

Considerando le valutazioni geologico-geotecniche e sismiche dei terreni in esame si esprime **parere favorevole** in merito all'uso in progetto di futura edificazione.

CastelBolognese 18.02.2022

Dott.Geol. Andreatta Giancarlo



CASTELLO ARGILE - VIA ZAMBECCARI HVSR1, FERRARI FABBRICATO

Strumento: TRZ-0033/01-09

Inizio registrazione: 16/02/22 10:18:43 Fine registrazione: 16/02/22 10:38:43

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00".

Analizzato 90% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

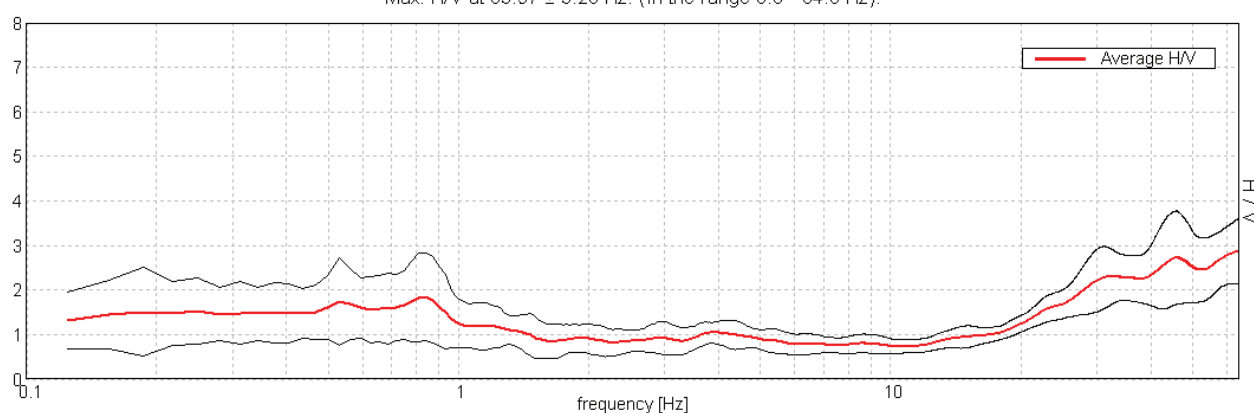
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

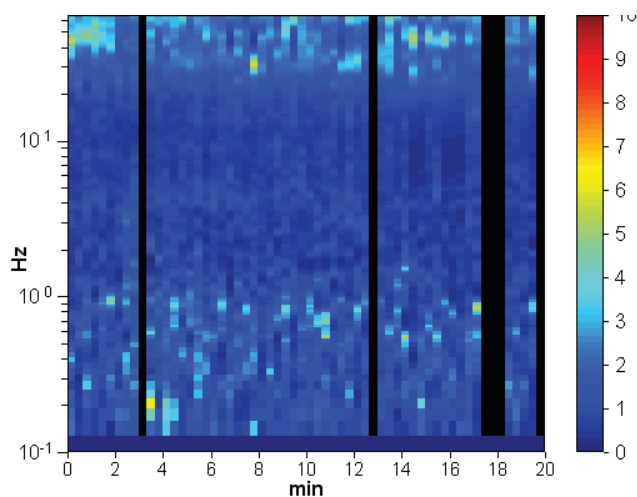
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

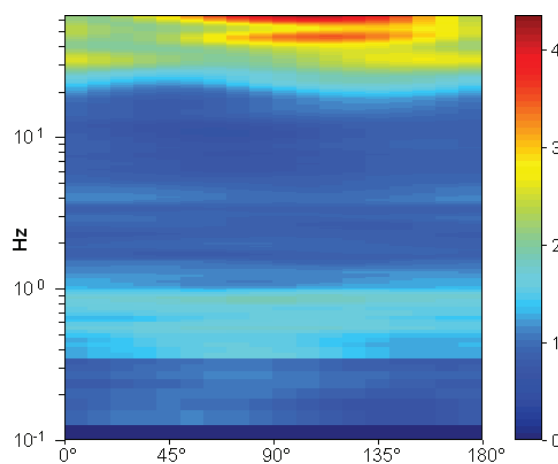
Max. H/V at 63.97 ± 3.28 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



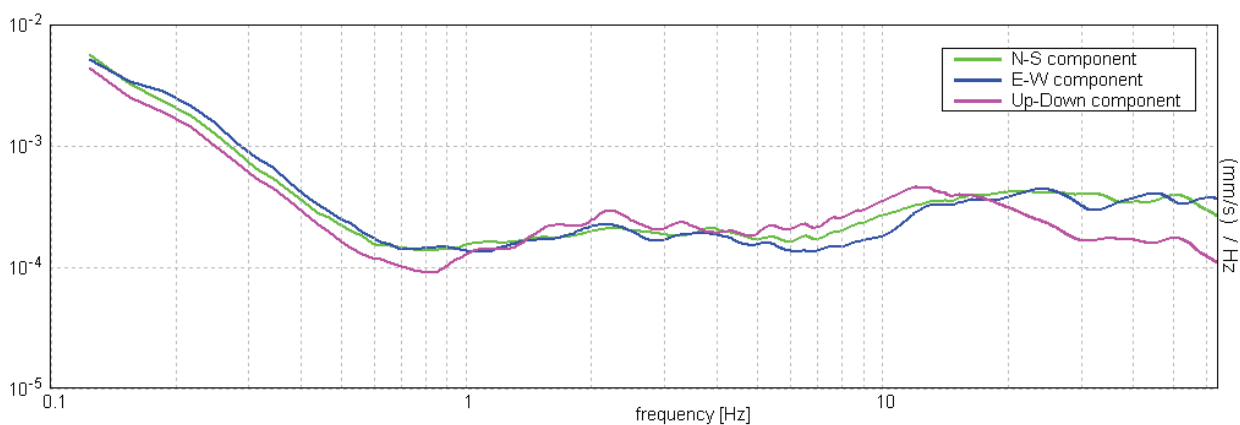
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V

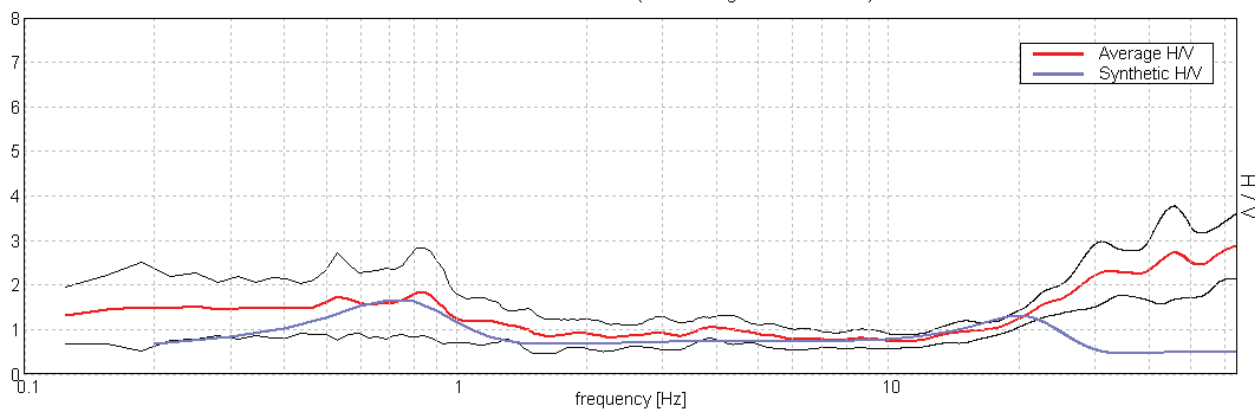


SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



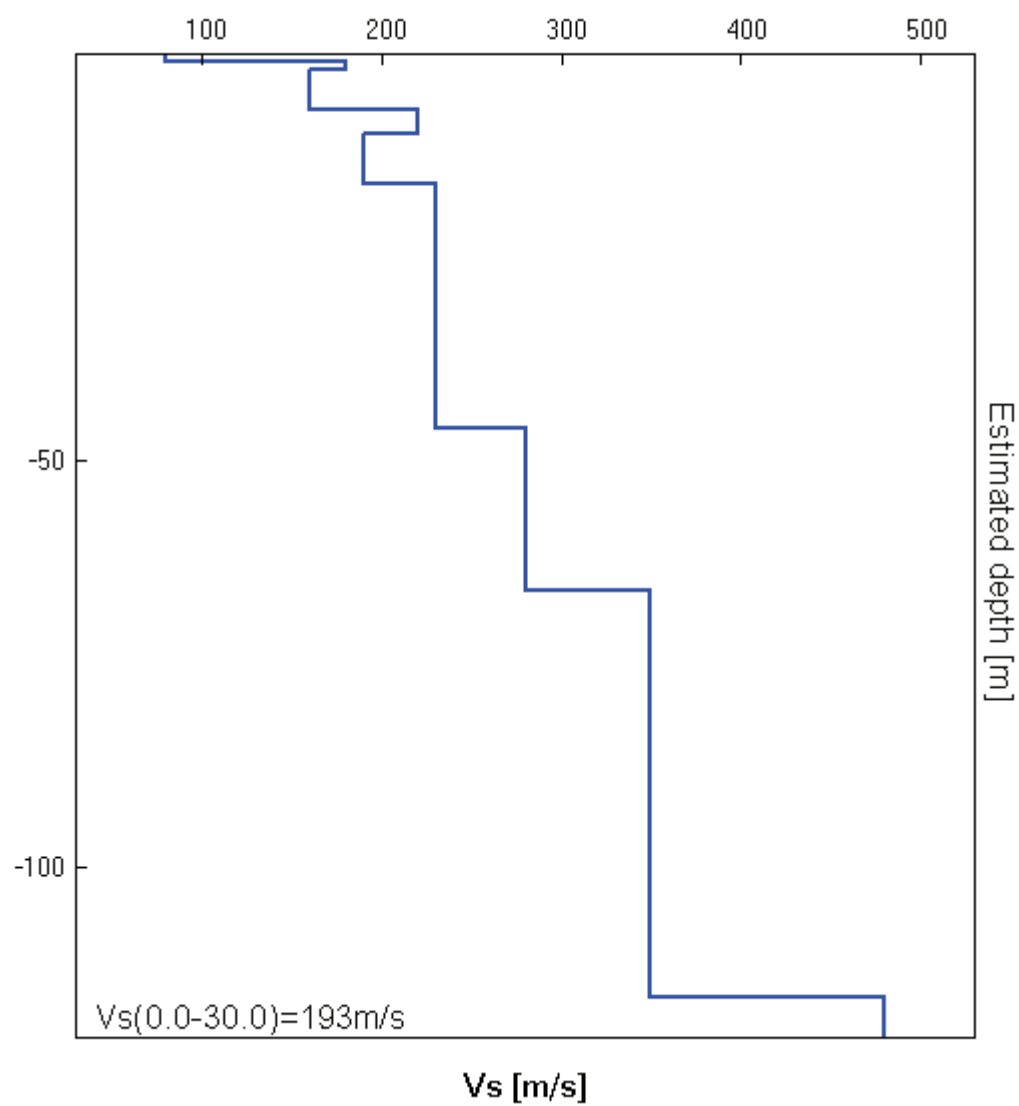
H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Max. H/V at 63.97 ± 3.28 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
1.00	1.00	80	0.25
2.00	1.00	180	0.30
7.00	5.00	160	0.30
10.00	3.00	220	0.30
16.00	6.00	190	0.30
46.00	30.00	230	0.30
66.00	20.00	280	0.30
116.00	50.00	350	0.35
inf.	inf.	480	0.35

$V_s(0.0-30.0)=193\text{m/s}$



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente**].

Picco H/V a 63.97 ± 3.28 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$63.97 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$69086.3 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 1026	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	21.75 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	$2.88 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.0253 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$1.6186 < 3.19844$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.3685 < 1.58$	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

CASTELLO ARGILE - VIA ZAMBECCARI HVSR 2, FERRARI FABBRICATO

Strumento: TRZ-0033/01-09

Inizio registrazione: 16/02/22 10:58:25 Fine registrazione: 16/02/22 11:18:25

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00".

Analizzato 83% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

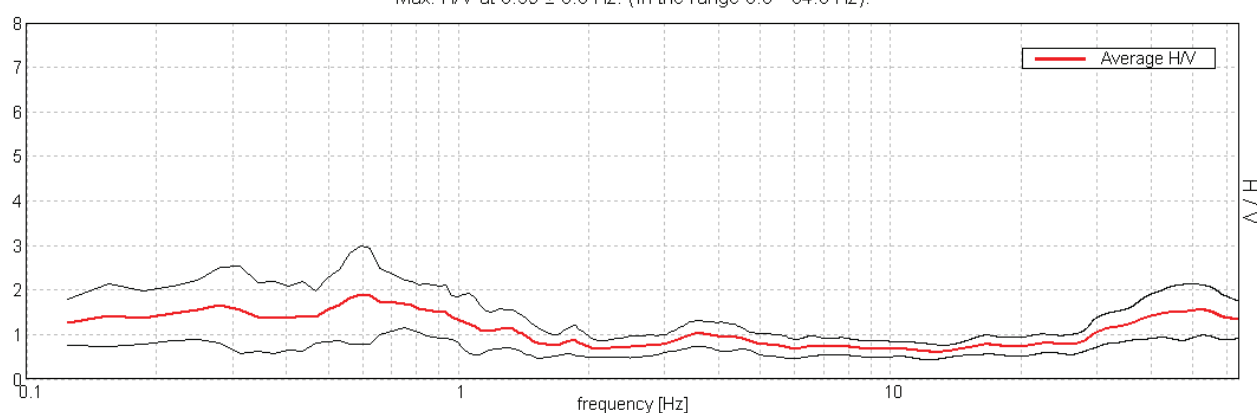
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

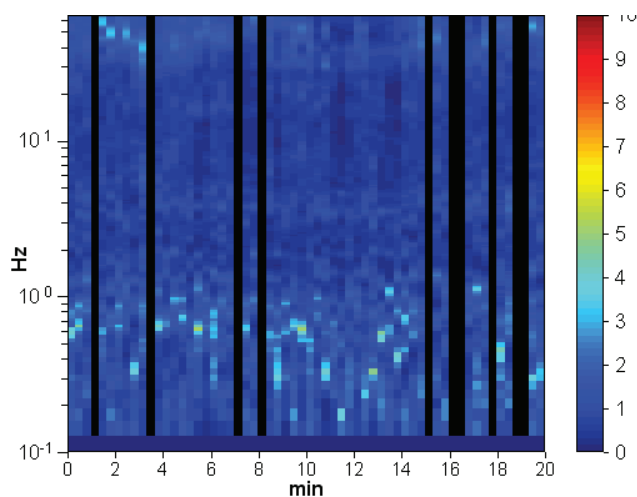
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

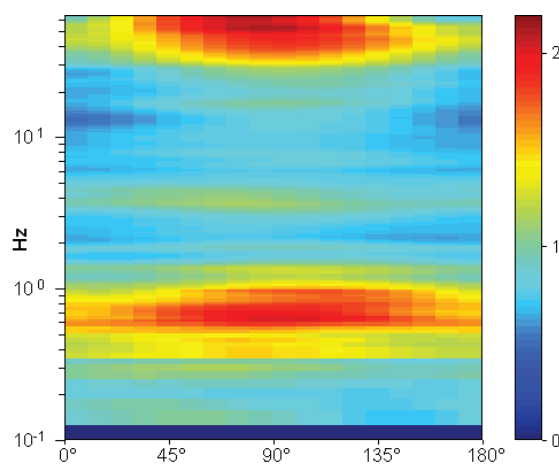
Max. H/V at 0.59 ± 0.0 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



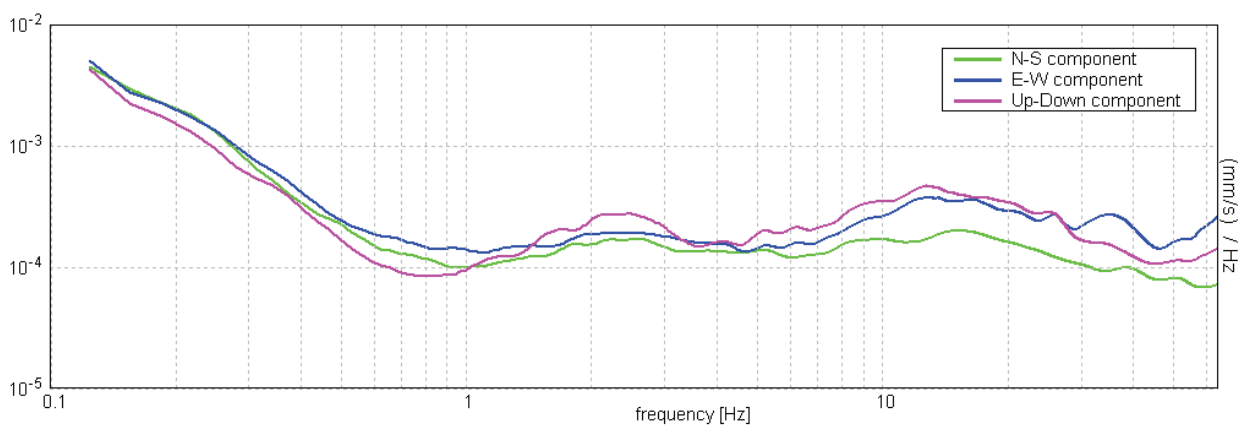
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V

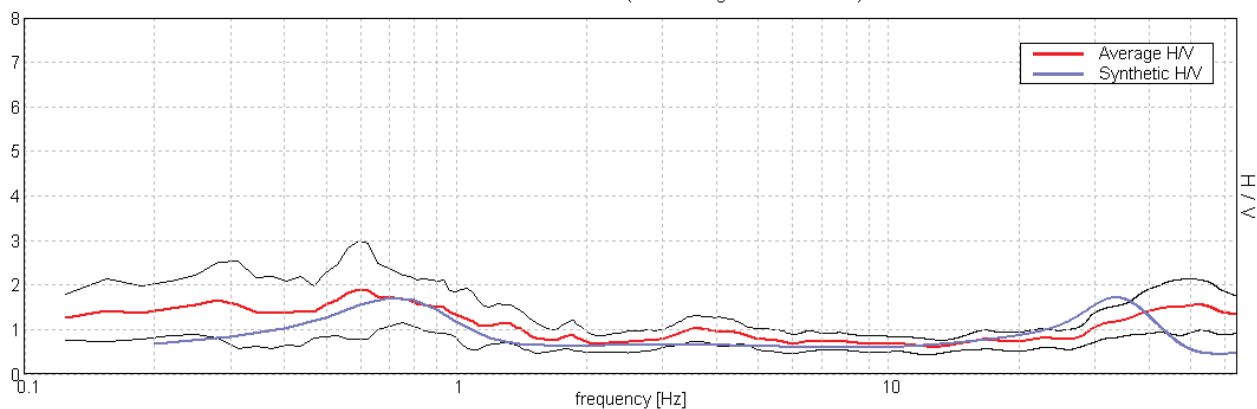


SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



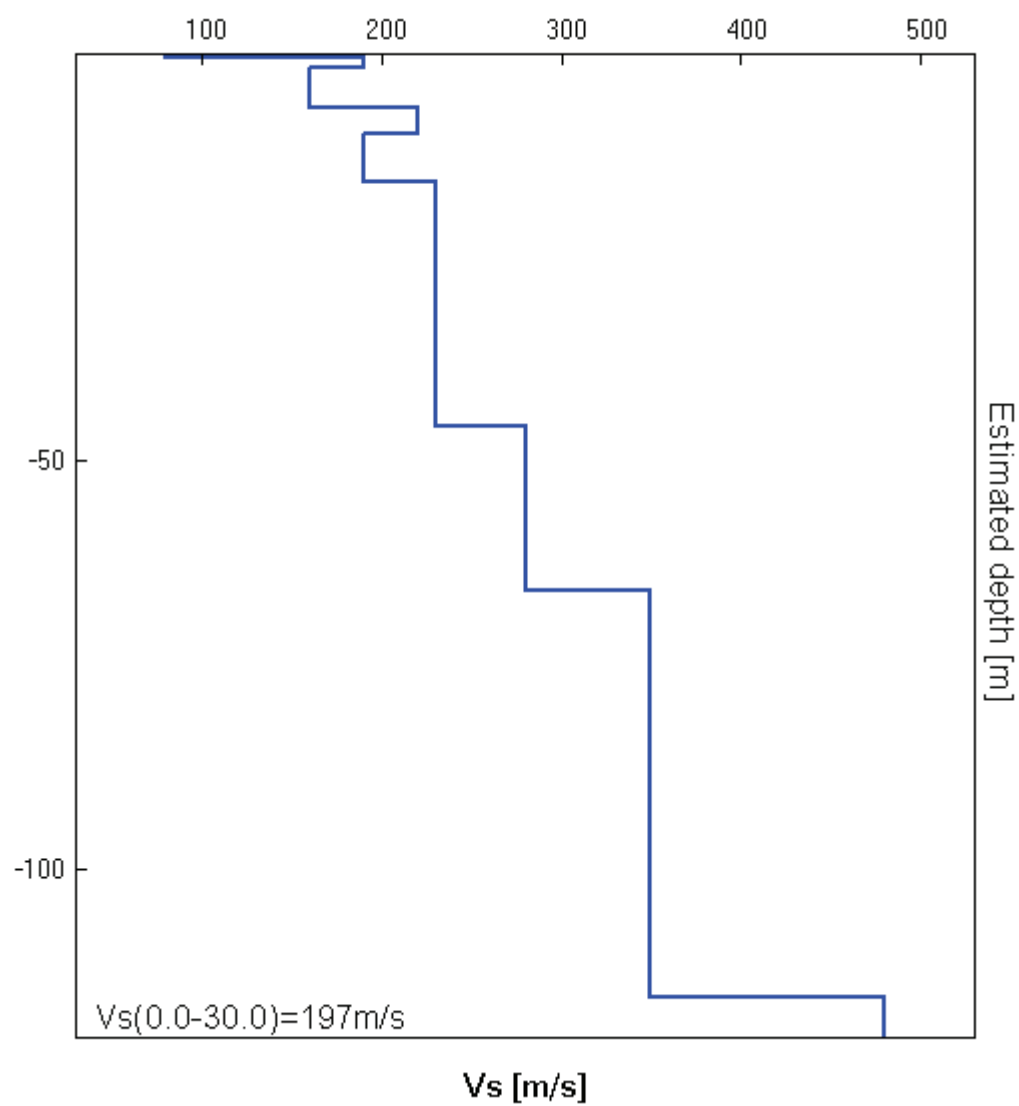
H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Max. H/V at 0.59 ± 0.0 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
0.60	0.60	80	0.25
1.80	1.20	190	0.30
6.80	5.00	160	0.30
9.80	3.00	220	0.30
15.80	6.00	190	0.35
45.80	30.00	230	0.30
65.80	20.00	280	0.30
115.80	50.00	350	0.35
inf.	inf.	480	0.35

$V_s(0.0-30.0)=197\text{m/s}$



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente**].

Picco H/V a 0.59 ± 0.0 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.59 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$593.8 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 30	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.469 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$1.89 > 2$		NO
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00235 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.0014 < 0.08906$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.5439 < 2.0$	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

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:****FERRARI****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: CASTELLO D'ARGILE
1	0.35	1. Accel.max orizz.RER: 0.159
2	0.25	(Rischio Sismico E/R - 2018)
3	0.15	Zona sismica 2005: 3
4	0.05	2. Accelerazione orizz.: 0.15

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 di 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 Vs,eq (velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio (in m/s) definita dalla seguente espressione:

$$V_{s,eq} = H / \sum_{i=1}^N h_i/V_{s,i}$$

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 = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs 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 Vs,eq è definita dal parametro VS30 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+HVSR**

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

LITOTIPO	Spessore strati "hi" (ml.)	Vs' in sito (m/s)	hi/Vs' (Vs mis.) (sec)
h1. Argille L-S	6	170	0.035
h2. Sabbie limose	18	200	0.090
h3. Argille	20	280	0.071
h4. Limi e argille sabbiose	300	320	0.938
h5. Argille grigie	344 ml Profondità substrato con Vs>800 m/s	810	
		Somma hi/Vs,i	1.134

$$Vs,eq = 30 / \text{Somma } N-i=1 \text{ hi/Vs,i} = 196.11 \text{ m/sec}$$

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 L-S	6		O
h2. Sabbie limose	18	Dove:	O
h3. Argille	20	- Depositi recenti e terreni Olocene-Pleist. = O	O
h4. Limi e argille sabbiose	300	- Terreni del Terziario (substrato) = P	O
h5. Argille grigie	substrato		P

Metodi di calcolo delle Vs,eq	Vs,eq (m/sec)	Terreno liquefacibile	CATEGORIA SUOLO
Misure in sito con indagini Dirette con MASW+HVSR	196.11	Inserire SI o NO 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.

VALUTAZIONE DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE SISMICA PER LE ANALISI DI SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO E PER LA VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI TOPOGRAFICI (L.R.20/2000 - Agg. DGR2193/2015 - DGR630/2019 - DGR476_564/2021)

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 onda 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 (V_{sH} e V_{s30}) del deposito di copertura secondo le formule:

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

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_{si} = velocità delle onde di taglio dello strato (m/sec) fino al substrato rigido

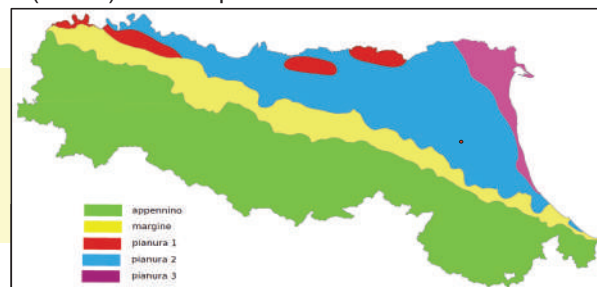
$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^M h_i / V_{si}}$$

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_{si} = 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.	344.00
Substrato marino V_s =	m/sec	810.00
V_{s30} =	m/sec	196.11
V_{sH} =	m/sec	303.29
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. 40-50 cui seguono sedimenti sabbioso-argillosi presenti con intercalazioni più fini fino a circa m. 300-400 di profondità dove si riscontra il substrato marino delle Argille grigie pleistoceniche (vedi sezione CARG) l'area in esame viene localizzata nell'ambito: **A2.1.2 - PIANURA PADANA E COSTA ADRIATICA**

Per la pianura e la costa sono stati individuati diversi ambienti caratterizzati da differenti caratteristiche litostratigrafiche, in particolare da diversa profondità dell'orizzonte che costituisce il substrato rigido, che in pianura non sempre coincide con l'orizzonte caratterizzato da $V_s \geq 800$ m/s.

PIANURA 3: settore di pianura caratterizzato da elevati spessori di sedimenti prevalentemente fini e poco consolidati, alternanze di limi, argille e sabbie di ambiente alluvionale e transizionale, con substrato rigido a profondità non inferiore a 300 m da p.c.:

V_{s30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
PGA	1,3	1,3	1,3			

Fattore di Amplificazione **PGA**

V_{s30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SA1	1,3	1,3	1,3			
SA2	2,1	2,1	2,0			
SA3	2,5	2,5	2,4			
SA4	2,4	2,4	2,3			

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

V _{S30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SI1	1,5	1,5	1,5			
SI2	2,3	2,3	2,2			
SI3	2,6	2,6	2,4			

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

Considerando una Vs30 pari a: 196.11 e uno spessore H = ml. 344.00 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:

F.A. P.G.A.	1.3
F.A. SA1 0,1s<T<0,5s	1.3
F.A. SA2 0,4s<T<0,8s	2.1
F.A. SA3 0,7s<T<1,1s	2.5
F.A. SA4* 0,5s<T<1,5s	2.4
F.A. SI1 0,1s<T<0,5s	1.5
F.A. SI2 0,5s<T<1,0s	2.3
F.A. SI3* 0,5s<T<1,5s	2.6

- 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:

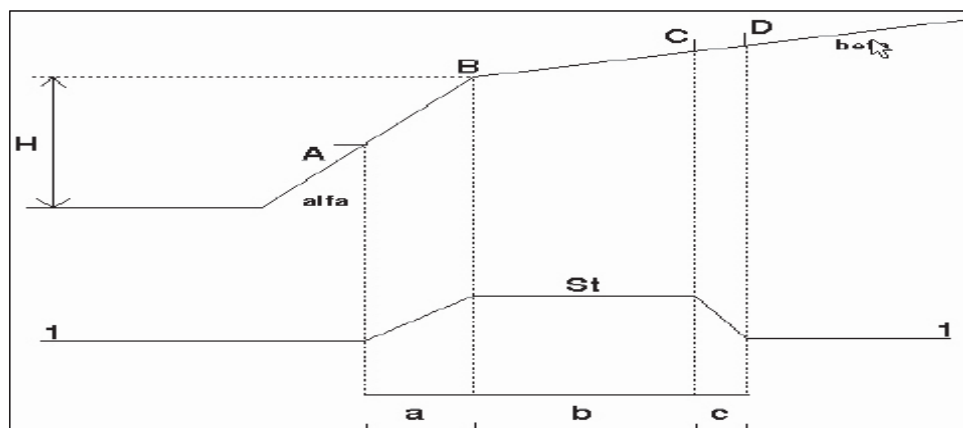
*I fattori di amplificazione SA4 e SI3 sono richiesti per studi in aree di pianura e di costa.

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° **0.5** gradiente maggiore
 Angolo beta = gradi° **0.6** 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 x (alfa + beta - 0,40) sul segmento BC = 1.0

dove:

b = valore minimo tra 20alfa e (H+10)/4 = ml. 0.17

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.)

La DGR 630/2019 richiede inoltre il calcolo del parametro H_{SM} che esprime lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto (accelerazione in cm/sec²) ed è dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASIUHS), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato per l'intervallo di periodi 0,1s ≤ T ≤ 0,5s, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0,4s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione (FA) calcolato per lo stesso intervallo di periodo:

$$H_{SM} = \frac{ASI_{UHS}}{\Delta T} \times FA$$

I valori di ASI_{UHS}/T, calcolati per ogni punto della griglia INGV, sono riportati in un file all_4_coord.kmz (cartella Allegato_4.zip) disponibile nella pagina web dedicata agli indirizzi per gli studi di microzonazione sismica a cura del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli dell'Emilia Romagna. Per il sito in esame si ottiene, attraverso un'interpolazione lineare dei dati, un valore di: ASI_{UHS}/DT = **350.72** cm/sec²
 per cui essendo: F.A. SA1 (0,1-0,5) = 1.30 si ottiene: HSM (0.1-0.5) = cm/sec² 455.94

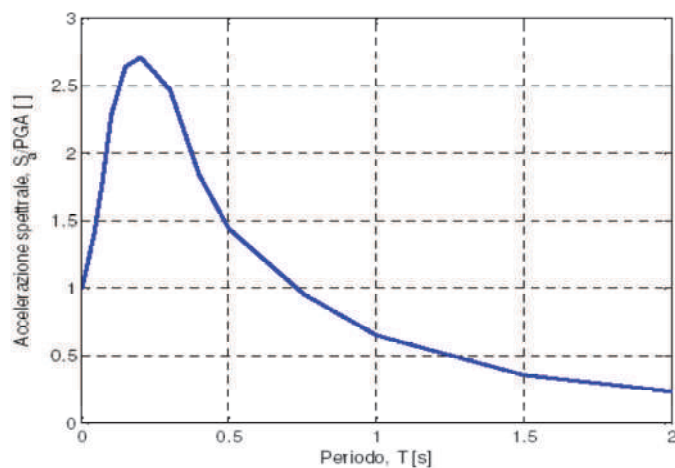
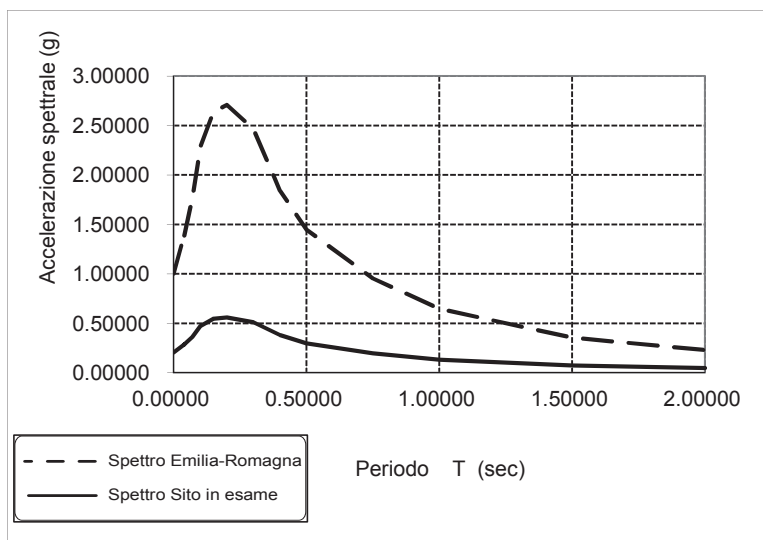
Riassumendo per il territorio preso in esame si ha:

Comune:			CASTELLO D'ARGILE	
Zona sismica 2003:			3	
Accelerazione max orizz.: Arefg			0.159	(Indirizzi microzonazione E-R; L.R.2015)
Vs30 (m/sec)			196.11	
Categoria di Suolo			C	(D.M. 17.01.2018)
(PGA/PGAo)	F.A. P.G.A.		1.3	(da tab. D.GR. Em.Romagna n° 476-564/2021)
(SA/SAo)	F.A. SA1	0,1s<T<0,5s	1.3	
(SA/SAo)	F.A. SA2	0,4s<T<0,8s	2.1	
(SA/SAo)	F.A. SA3	0,7s<T<1,1s	2.5	
(SA/SAo)	F.A. SA4*	0,5s<T<1,5s	2.4	
(SI/Slo)	F.A. SI1	0,1s<T<0,5s	1.5	(intervalli di periodo per l'intensità di Housner per strutture basse max. 4-5 piani, regolari e rigide)
(SI/Slo)	F.A. SI2	0,5s<T<1,0s	2.3	(intervalli di periodo per l'intensità di Housner per strutture più alte e flessibili)
(SI/Slo)	F.A. SI3*	0,5s<T<1,5s	2.6	
HSM (0.1-0.5) = cm/sec²			455.94	(da tab. D.GR. Em.Romagna n° 476-564/2021)
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 **CASTELLO D'ARGILE** 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 0.2067**

T (s)	Sa/aref	Sa/PGA
0.00000	1.00000	0.20670
0.04000	1.38865	0.28703
0.07000	1.75927	0.36364
0.10000	2.28349	0.47200
0.15000	2.63726	0.54512
0.20000	2.70745	0.55963
0.30000	2.46642	0.50981
0.40000	1.84047	0.38043
0.50000	1.44476	0.29863
0.75000	0.95494	0.19739
1.00000	0.64546	0.13342
1.50000	0.35479	0.07334
2.00000	0.23070	0.04769



T (s)	Sa/a _{ref}
0.00000	1.00000
0.04000	1.38865
0.07000	1.75927
0.10000	2.28349
0.15000	2.63726
0.20000	2.70745
0.30000	2.46642
0.40000	1.84047
0.50000	1.44476
0.75000	0.95494
1.00000	0.64546
1.50000	0.35479
2.00000	0.23070

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

- POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (DGR Emilia Romagna n° 630/2019 - DM 17.01.2018).

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)

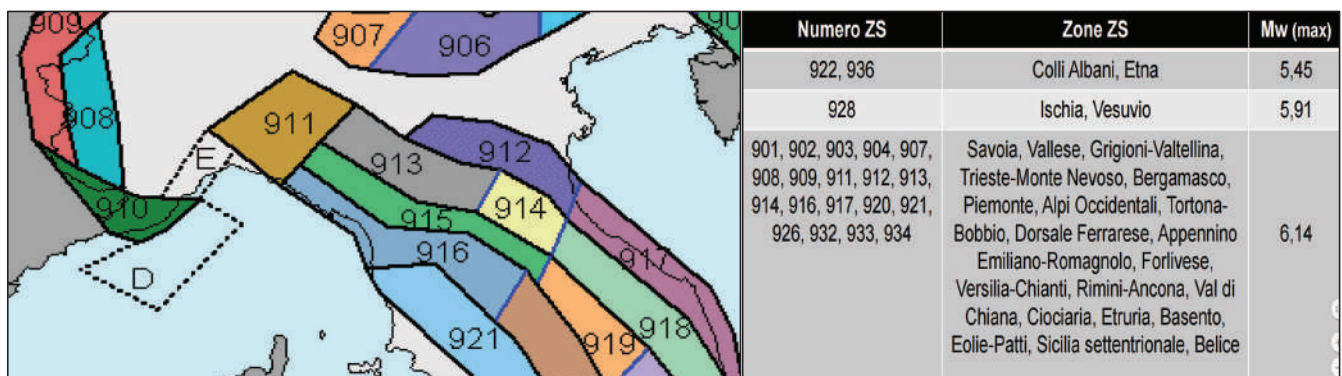
Nella zona si sono verificati numerosi terremoti per un raggio di Km. **20** centrato su **Castell Argile**. Si apprende di una serie di eventi con intensità massima del **7** ° grado della Scala Mercalli mod. e con ipocentri localizzati a circa Km. **10** di profondità (R = distanza dal fuoco). In prima approssimazione la magnitudo della scala Richter (M) è ricavabile dalle seguenti espressioni :

$$M = 0,6 * I + \log R + 0,4 = 5.60$$

$$M = 0,53 * I + 0,96 = 4.67$$

Considerando la zona sismogenetica: Zs = **914**

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 14 Km.**
3) Depositi soffici

Si ha quindi : $a_{max} = 402,8 * 10^{-0,265M} / (dist.epicentro + 30)^{1,218} = cm/sec^2 \ 159.82$

- 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: CASTELLO D'ARGILE
1	0.35	Zona sismica 2003: 3
2	0.25	1. Accel.max orizz.RER: 0.159
3	0.15	(Rischio Sismico E/R - 2016)
4	0.05	2. Accelerazione orizz.: 0.15

Considerando il fattore di amplificazione F.PGA relativo alla zona in esame del comune di: CASTELLO D'ARGILE 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:

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



Fa (PGA) = 1.7 - 1.8

Zone di attenzione di instabilità (Livello 2)



ZA_LQ - Zona di attenzione per liquefazioni

Fa (PGA) = **1.70**

a max = accelerazione massima al suolo * F.A. = **270.30**

da adottare per l'area considerata.

A questo punto si ricava il fattore di resistenza alla liquefazione :

risultare maggiore di 1,0 onde verificare la non liquefacibilità dello strato considerato.

CSR = a max/g*sigma v/sigma' v * rd * rn

CRR = $0,45 \cdot 0,57 \cdot [(16 \cdot (N1 + DNf)^{0,5}) / 100 + [(16 \cdot (N1 + DNf)^{0,5} / 75)^{14}]$

Dove :

rd = coeff. di smorzamento in funzione della profondità = $1 - 0,015 \cdot z$

rn = coeff. correttivo in funzione della magnitudo = $0,1 \cdot (M - 1)$

N1 = $(1,7 / (\sigma' v + 0,7)) \cdot N_{spt}$

DNf = "5" per le sabbie limose a spigoli vivi

Prova **SCPT** **1** Prof.falda idrica ml. **2.80**

Profondità strato (ml)	Sigma v daN/cm ²	Sigma' v daN/cm ²	Rp kg/cm ²	N1	rd	rn	DNf	Possibilità liquefazione	FL liq
2.6	0.364	0.364	7	4	0.96	0.51	5	POSSIBILE	0.89
2.8	0.392	0.392	5	3	0.96	0.51	5	POSSIBILE	0.83
3.6	0.504	0.472	4	2	0.95	0.51	5	POSSIBILE	0.76
5.2	0.728	0.632	4	2	0.92	0.51	5	POSSIBILE	0.71
12.4	1.736	1.352	10	3	0.81	0.51	5	POSSIBILE	0.77

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

$$Rp2 = Rp1 + 26 \log FC *$$

Dove : **FC** = peso della frazione argillosa (passante #200) = **10** %

Rp1 = (Nspt*Alfa); dove Alfa è il coeff. usato per la correlazione con Rp pari a 3-4= **4**

L'indice del potenziale di liquefazione viene valutato con la relazione: IL = da 0 a 20 - F(z) * w(z) * dz:

con: $w(z) = 200 / Z_{crit} \times (1 - Z / Z_{crit})$ con Z=profondità strato e $Z_{crit}=20$ metri. La variabile F(z) vale (Sonmez, 2003):

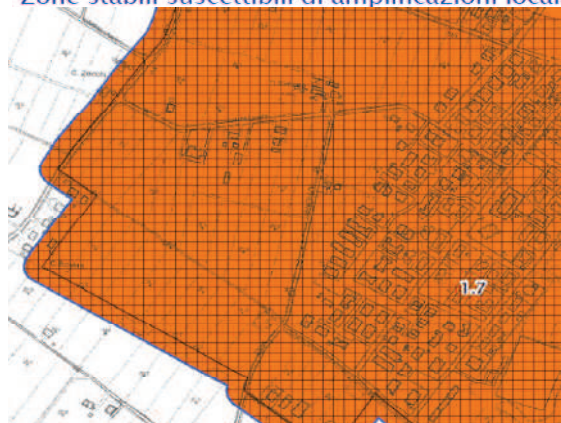
$F(z)=0$ per $FL \geq 1.2$ - $F(z) = 2 \times 10^{-6} \times \exp(-18.427 \times FL)$ per $1.2 > FL \geq 0.95$ - con $FL < 0.95$: $F(z) = 1 - FL$

Prof. z (ml.)	FL	F(z)	w(z)	IL	da cui deriva il rischio di liquefazione
2.60	0.89	0.307	8.70	2.7	MODERATO
2.80	0.83	0.366	8.60	3.1	MODERATO
3.60	0.76	0.445	8.20	3.6	MODERATO
5.20	0.71	0.494	7.40	3.7	MODERATO
12.40	0.77	0.427	3.80	1.6	BASSO

(Microzonazione Sismica Regione Emilia-Romagna DGR 630/2019)

* FC è il contenuto di fine espresso in %. In assenza di dati specifici per il sito, FC può essere stimato con l'espressione empirica: $FC = 80 \cdot I_c - 137$ in cui I_c è l'indice di classificazione del terreno da prova CPT proposto da Robertson (1990):

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



FL liq=CRR/CSR che deve

$$I_c = \sqrt{(\log F + 1.22)^2 + (\log Q_n - 3.47)^2}$$

$$F = \frac{f_s}{q_c - \sigma_{v0}} \cdot 100$$

$$Q_n = \left(\frac{q_c - \sigma_{v0}}{p_a} \right) \cdot \left(\frac{p_a}{\sigma'_{v0}} \right)^m$$

In base al valore stimato dell'indice del potenziale di liquefazione I_L 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	

MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI - DECRETO 17 gennaio 2018.

Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni».

7.11.3.4 STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE

7.11.3.4.1 Generalità

Il sito presso il quale è ubicato il manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione.

In assenza di interventi di miglioramento del terreno, l'impiego di fondazioni profonde richiede comunque la valutazione della riduzione della capacità portante e degli incrementi delle sollecitazioni indotti nei pali.

7.11.3.4.2 Esclusione della verifica a liquefazione

La verifica a liquefazione **può essere omessa** quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

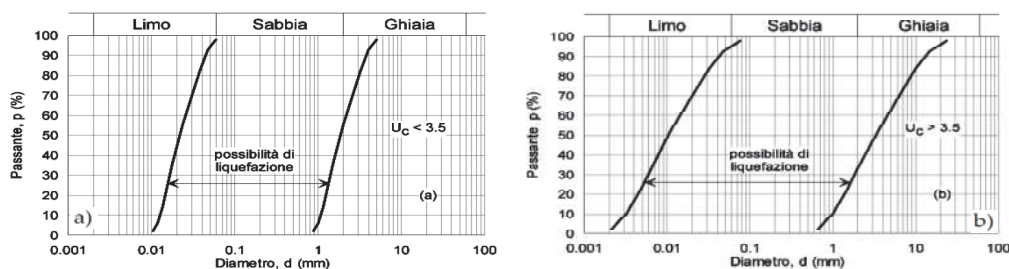


Fig. 7.11.1 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione

Quando la condizione 1 non risulti soddisfatta, le indagini geotecniche devono essere finalizzate almeno alla determinazione dei parametri necessari per la verifica delle condizioni 2, 3 e 4.

7.11.3.4.3 Metodi di analisi

Quando nessuna delle condizioni del § 7.11.3.4.2 risulti soddisfatta e il terreno di fondazione comprenda strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, occorre valutare il coefficiente di sicurezza alla liquefazione alle profondità in cui sono presenti i terreni potenzialmente liquefacibili.

Salvo utilizzare procedure di analisi avanzate, la verifica può essere effettuata con metodologie di tipo storico-empirico in cui il **coefficiente di sicurezza** viene definito dal rapporto tra la resistenza disponibile alla liquefazione e la sollecitazione indotta dal terremoto di progetto. La resistenza alla liquefazione può essere valutata sulla base dei risultati di prove in sito o di prove cicliche di laboratorio. La sollecitazione indotta dall'azione sismica è stimata attraverso la conoscenza dell'accelerazione massima attesa alla profondità di interesse.

L'adeguatezza del margine di sicurezza nei confronti della liquefazione deve essere valutata e motivata dal progettista.

- CEDIMENTI POST-SISMICI (DGR Emilia Romagna n° 630/2019): FERRARI.

Nel caso che i terreni risultino liquefacibili o suscettibili di significativi incrementi delle pressioni interstiziali durante l'evento sismico di riferimento devono esserne valutati gli effetti in termini di cedimenti permanenti post-sismici seguendo le indicazioni del paragrafo B).

Il cedimento permanente indotto dall'azione sismica in corrispondenza di una verticale di esplorazione si ottiene dalla somma dei contributi al cedimento stimati per i diversi strati del sottosuolo, fino alla quale tali contributi non sono più significativi. Il cedimento permanente post-sismico può dunque essere stimato con l'equazione

$$s = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{vi} \cdot \Delta z_i$$

in cui ε_{vi} è la deformazione volumetrica dello strato i-esimo
 Δz_i il suo spessore

I cedimenti conseguenti a liquefazione di terreni granulari saturi hanno luogo immediatamente dopo il terremoto o comunque in un tempo non superiore a un giorno, i cedimenti per densificazione di terreni granulari insaturi avvengono durante lo scuotimento sismico, mentre i cedimenti per consolidazione di terreni coesivi soffici possono richiedere tempi anche molto lunghi in funzione delle condizioni stratigrafiche e geotecniche.

- Calcolo cedimenti postsismici terreni granulari.

La deformazione volumetrica (e verticale) E_v nei terreni granulari saturi può essere stimata da prove CPT in funzione della resistenza di punta correlato con indice di compressione da prove edometriche:.

Spessore strato granulare (CPT n° 1) H = cm. 60

Prof. da ml. 2.40 5.00
a ml. 2.80 5.20

$ru = Du/s'vo = 0.30$ - rapporto di pressione interstiziale durante il terremoto di riferimento ($\geq 0,3$)

$C_c = 0.70$ - Indice di compressione da prove edometriche

$Cr = C_c * 0,225 = 0.1575$ - Indice di riconsolidazione postciclica

$eo = \% 0.70$ - Indice dei vuoti iniziale (sabbia sciolta 0,85 - densa 0,42)

$\text{Alfa} = 1.50$ - Costante sperimentale compresa tra 1,00 e 1,50

$E_v = \text{alfa} * Cr / (1 + eo * \log(1/(1 - Do/s'vo))) = 0.0215$ - deformazione volumetrica postciclica

Cedimenti strato DH = $E_v * H = \text{cm. } 1.29$

Spessore strato granulare (CPT n° 1) H = cm. 40

Prof. da ml. 14.40 0.00
a ml. 14.80 0.00

$ru = Du/s'vo = 0.34$ - rapporto di pressione interstiziale durante il terremoto di riferimento ($\geq 0,3$)

$C_c = 0.60$ - Indice di compressione da prove edometriche

$Cr = C_c * 0,225 = 0.1350$ - Indice di riconsolidazione postciclica

$eo = \% 0.80$ - Indice dei vuoti iniziale (sabbia sciolta 0,85 - densa 0,42)

$\text{Alfa} = 1.50$ - Costante sperimentale compresa tra 1,00 e 1,50

$E_v = \text{alfa} * Cr / (1 + eo * \log(1/(1 - Do/s'vo))) = 0.0203$ - deformazione volumetrica postciclica

Cedimenti strato DH = $E_v * H = \text{cm. } 0.81$ **Cedimento totale terreni granulari cm. 2.10**

- Calcolo cedimenti postsismici terreni coesivi soffici.

Nei depositi coesivi soffici ($cu \leq 70\text{kPa}$; $VS < 180\text{m/s}$) e plastici ($IP \geq 30\%$), in cui si prevede un incremento delle pressioni interstiziali durante l'azione sismica di riferimento, la deformazione volumetrica (e verticale) e quindi l'entità del cedimento di riconsolidazione conseguente alla dissipazione delle pressioni interstiziali accumulate durante il terremoto può essere stimata:

Spessore strato coesivo (prova CPT n° 1) DH = cm.

60

Prof. da ml. **3.80**

a ml. **4.40**

$ru = Du/s'vo =$ 0.30 - rapporto di pressione interstiziale durante il terremoto di riferimento ($\geq 0,3$)

$IP = \%$ **40** - Indice di plasticità delle argille considerate

$Cc = 0,0348 + 0,0162 * IP =$ 0.68 - Indice di compressione

$Cr = Cc * 0,225 =$ 0.15 - Indice di riconsolidazione postciclica

$eo = \%$ **0.80** - Indice dei vuoti iniziale

$\text{Alfa} =$ **1.50** - Costante sperimentale compresa tra 1,00 e 1,50

$Evr = \text{alfa} * Cr / 1 + eo * \log (1/1 - Do/s'vo) =$ 0.0198 - deformazione volumetrica postciclica

Cedimenti strato DH = $Evr * H = \text{cm.}$ 1.19

Spessore strato coesivo (prova CPT n° 1) DH = cm.

120

Prof. da ml. **5.60**

a ml. **6.80**

$ru = Du/s'vo =$ 0.30 - rapporto di pressione interstiziale durante il terremoto di riferimento ($\geq 0,3$)

$IP = \%$ **41** - Indice di plasticità delle argille considerate

$Cc = 0,0348 + 0,0162 * IP =$ 0.70 - Indice di compressione

$Cr = Cc * 0,225 =$ 0.16 - Indice di riconsolidazione postciclica

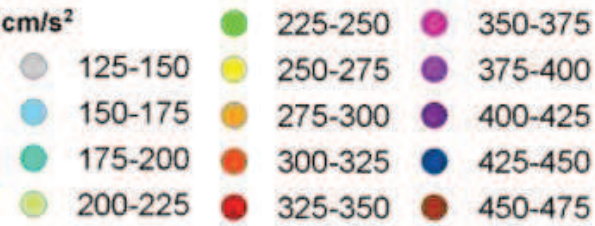
$eo = \%$ **0.75** - Indice dei vuoti iniziale

$\text{Alfa} =$ **1.50** - Costante sperimentale compresa tra 1,00 e 1,50

$Evr = \text{alfa} * Cr / 1 + eo * \log (1/1 - Do/s'vo) =$ 0.0209 - deformazione volumetrica postciclica

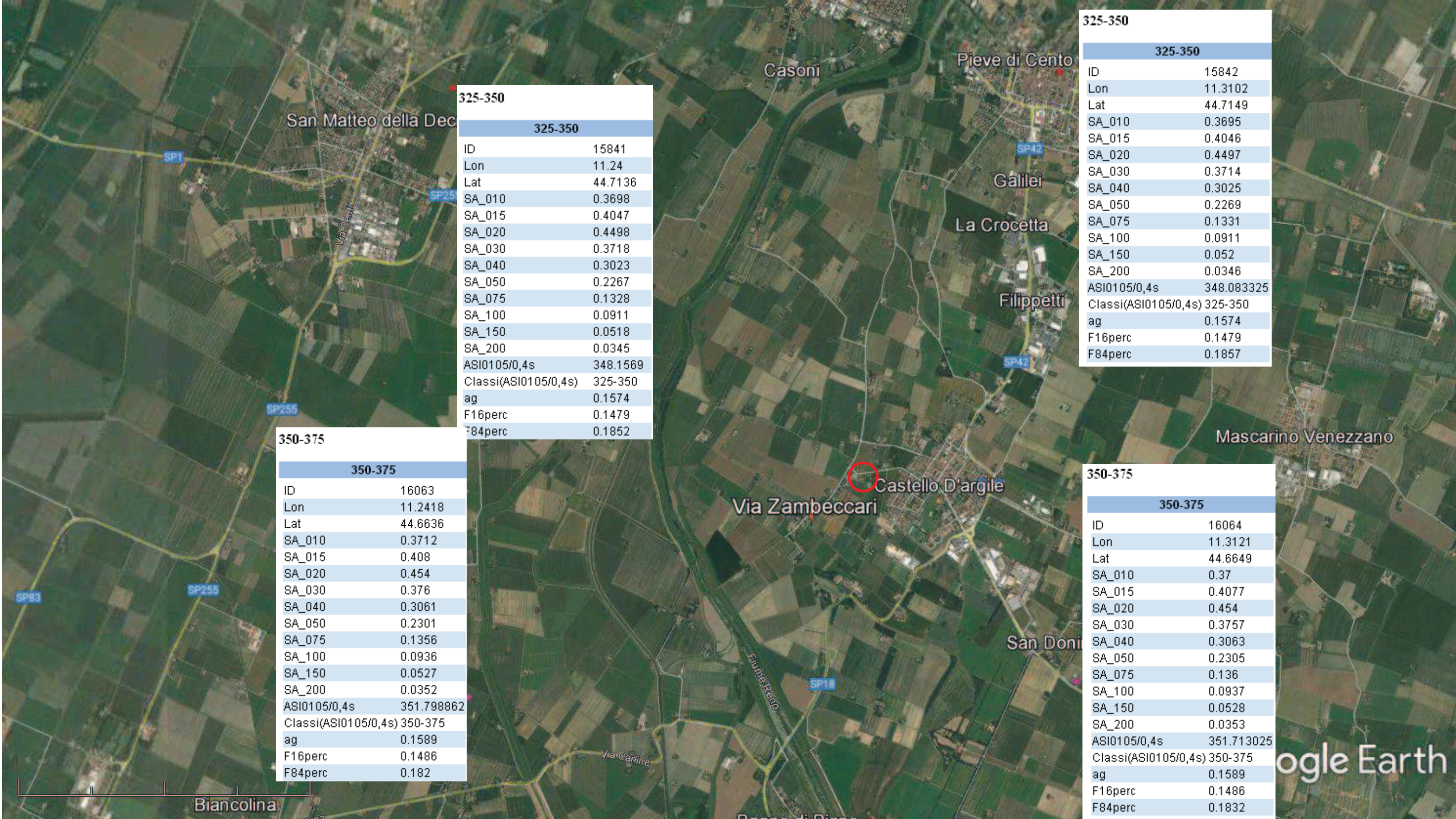
Cedimenti strato DH = $Evr * H = \text{cm.}$ 2.51 **Cedimento totale terreni coesivi cm. 3.70**

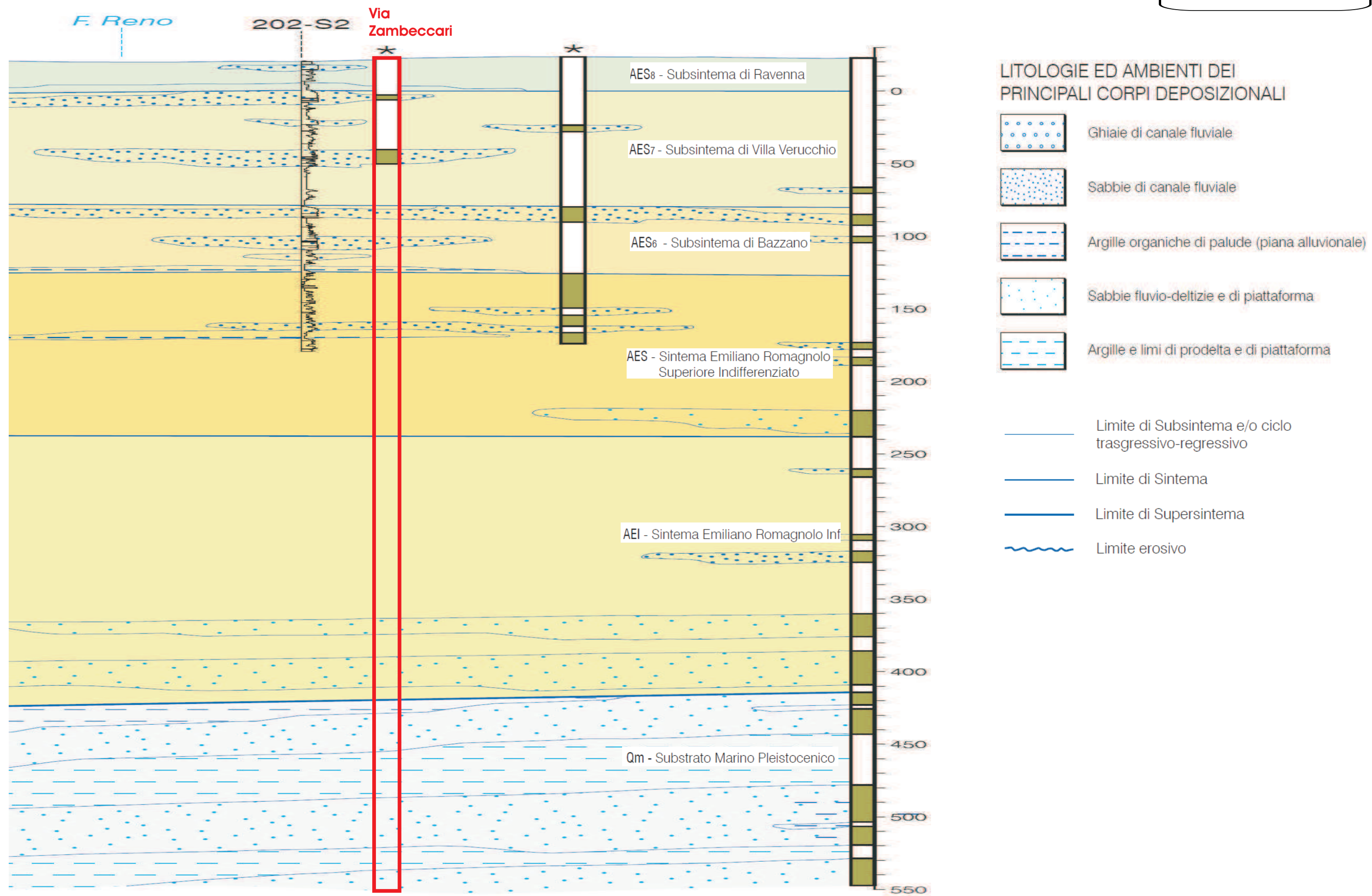
ASI₀₁₀₅ / 0,4s



Regione Emilia Romagna

servizio geologico
civile e dei suoli





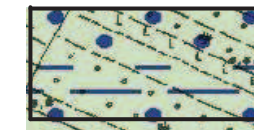
CARTA GEOLOGICA (da Regione Emilia-Romagna)

Scala 1:5.000

LEGENDA:



Area intervento

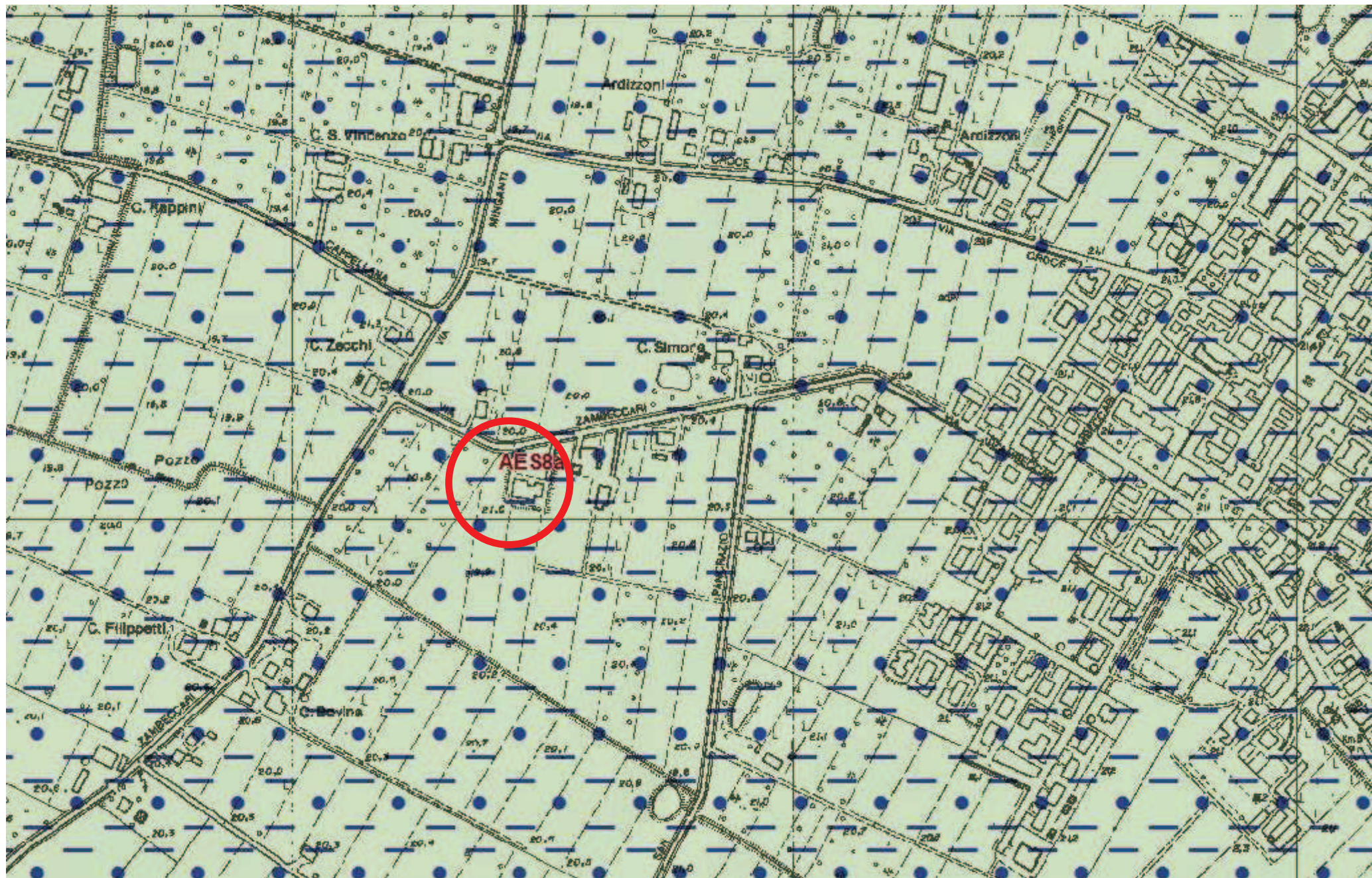


Alluvioni di pianura: Facies
limoso-SABBIOSO e argillosa

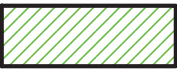
SUCCESSIONE NEOGENICO - QUATERNARIA DEL MARGINE APPENNINICO PADANO

AES8a – Unità di Modena: Depositi ghiaiosi
passanti a sabbie e limi di terrazzo alluvionale.
Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di
interconoide.

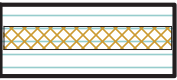
Unità definita dalla presenza di un suolo a
bassissimo grado di alterazione, con profilo
potente meno di 100 cm, calcareo, grigio-giallastro
o bruno grigiastro. Nella pianura ricopre resti
archeologici di età romana del VI secolo d.C..
Potenza massima di alcuni metri (< 10 m). Post-VI
secolo d.C. Litofacies: limo – sabbiosa.



LEGENDA:



Terreno rimaneggiato



Argilla e Limi sabbiosi sciolti

SEZIONE
GEOTECNICA

Scala 1:100

SCHEMA EDIFICATORIO IN PROGETTO

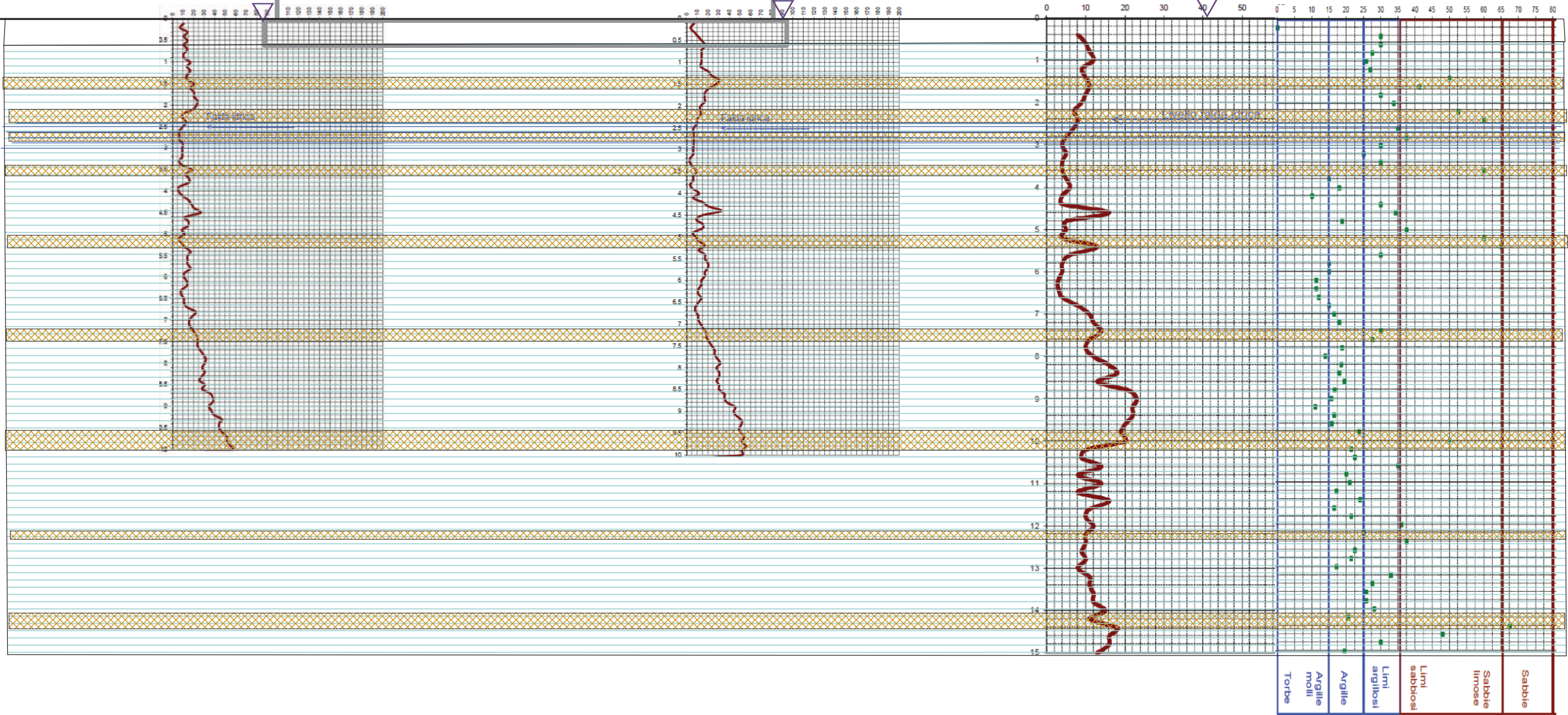


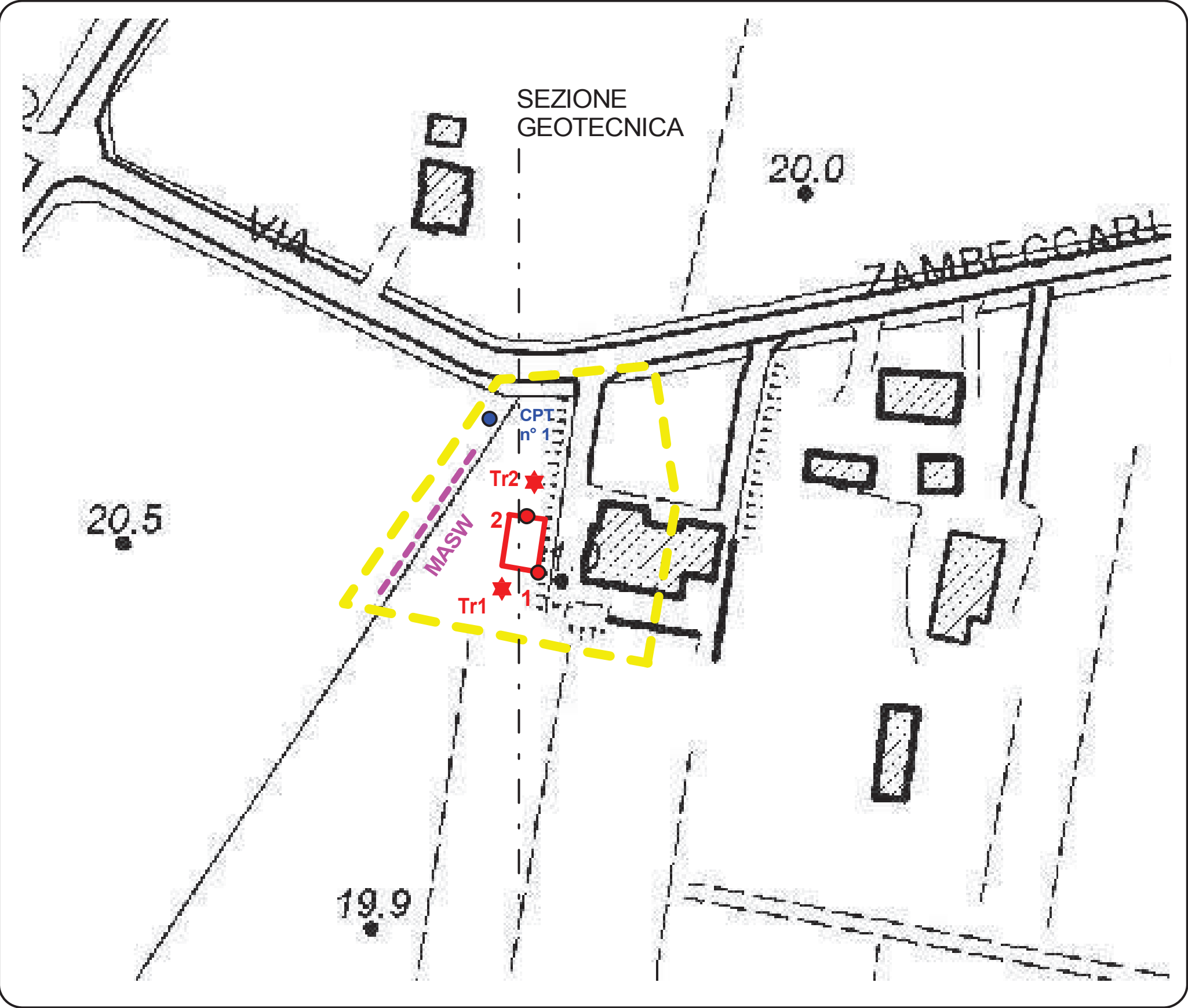
DPL
n° 1

DPL
n° 2

CPT
n° 1

FONDAZIONE SUPERFICIALE:
Piano posa fondazioni ml. 0,50-0,70 dal piano
campagna prove raggiungibile eventualmente
con calcestruzzo "magro e/o stabilizzato"





LEGENDA:



Lotto di via Zambecari



Area da edificare

1



Prova penetrometrica dinamica

CPT n° 1



Prova penetrometrica statica



Prova geofisica MASW

Tr1



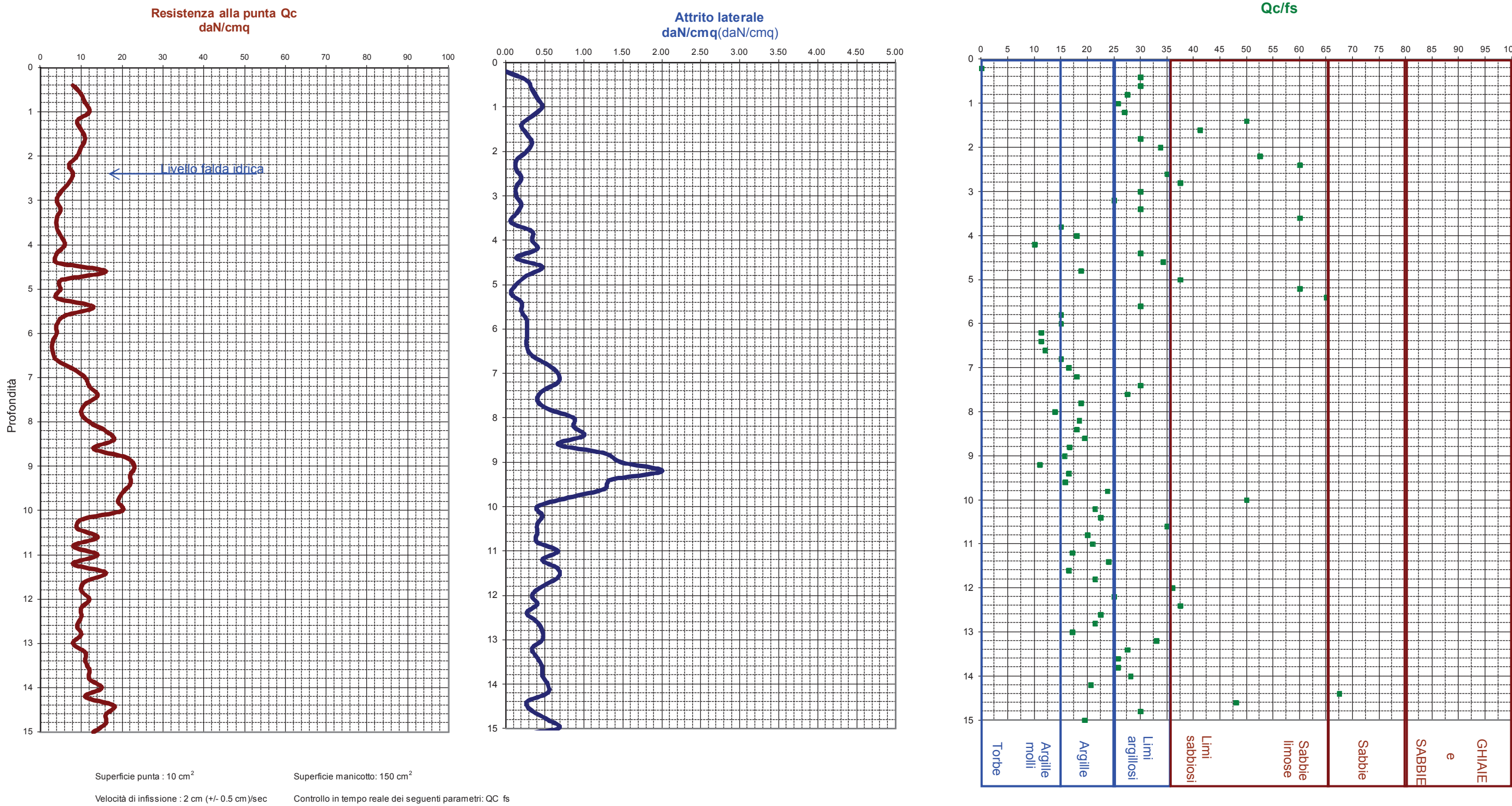
Prova sismica passiva HVS

Dott. ANDREATTA GIANCARLO
GEOLOGO
Via XXV Aprile, 140 - CASTEL BOLOGNESE (Ra)
Via l° Maggio, 85/c - IMOLA (Bo)
Tel. 0546/656362 - cell. 333/2209149

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

Punta meccanica tipo "Begemann"

Committente: Ferrari-Via Zambeccari
Località: CASTELLO D'ARGILE
Data: 16.02.2022
Profondità falda dal p.c. prova: 2.40 ml.



PARAMETRI GEOTECNICI PROVA PENETROMETRICA STATICA						N°	1				
Località :		CASTELLO D'ARGILE		Committente :		Ferrari-Via Zambeccari		Data :		16.02.2022	
Prof.	Rp	RI	STRATIGRAFIA	Colonna	Falda	ADDENSAMENTO (sabbia)	Gamma t'	Densità	Angolo Attrito	K	
ml.		daN/cm ²	SCHMERTMANN	stratigrafica	idrica	CONSISTENZA (argilla)	daN/mc	ed I.C.	e coesione	Wink.	
0											
0.2	0										
0.4	8	0.267	Argilla limosa e sabbiosa	!!!!!!!!!!!!!!!		Scarsamente consistente	1720	0.25	0.4 daN/cm ²	2.0	
0.6	10	0.333	Argilla limosa e sabbiosa	!!!!!!!!!!!!!!!		Mediamente consistente	1753	0.31	0.5 daN/cm ²	2.5	
0.8	11	0.400	Argilla limosa e sabbiosa	!!!!!!!!!!!!!!!		Mediamente consistente	1767	0.37	0.55 daN/cm ²	3.0	
1	12	0.467	Argilla media			Mediamente consistente	1780	0.5	0.6 daN/cm ²	4.0	
1.2	9	0.333	Argilla media			Mediamente consistente	1737	0.37	0.45 daN/cm ²	3.0	
1.4	10	0.200	LIMO SABBIOSO ARGILLOSO	=:=:=:=:= :=:=		POCO ADDENSATA	1550	19 %	30 °	1.5	
1.6	11	0.267	LIMO SABBIOSO ARGILLOSO	=:=:=:=:= :=:=		POCO ADDENSATA	1550	19 %	30 °	1.5	
1.8	10	0.333	Argilla limosa e sabbiosa	!!!!!!!!!!!!!!!		Mediamente consistente	1753	0.31	0.5 daN/cm ²	2.5	
2	9	0.267	Argilla limosa e sabbiosa	!!!!!!!!!!!!!!!		Mediamente consistente	1737	0.31	0.45 daN/cm ²	2.5	
2.2	7	0.133	LIMO SABBIOSO ARGILLOSO	=:=:=:=:= :=:=		SCARSAMENTE ADDENSAT.	1500	16 %	28 °	0.6	
2.4	8	0.133	SABBIA MOLTO SCIOLTA	:~::~:~::~:~::~:~::~:~::~:~::~<H2O		SCARSAMENTE ADDENSAT.	500	16 %	28 °	0.6	
2.6	7	0.200	SABBIA ARGILLOSA TENERA	::-:-::-:-::-:-::-:-::-:-::		SCARSAMENTE ADDENSAT.	500	16 %	28 °	0.6	
2.8	5	0.133	SABBIA ARGILLOSA TENERA	::-:-::-:-::-:-::-:-::-:-::		SCARSAMENTE ADDENSAT.	500	16 %	28 °	0.6	
3	4	0.133	Argilla molto tenera			Scarsamente consistente	616	0.25	0.2 daN/cm ²	2.0	
3.2	5	0.200	Argilla tenera			Mediamente consistente	650	0.31	0.25 daN/cm ²	2.5	
3.4	4	0.133	Argilla molto tenera			Scarsamente consistente	616	0.25	0.2 daN/cm ²	2.0	
3.6	4	0.067	SABBIA MOLTO SCIOLTA	:~::~:~::~:~::~:~::~:~::~:~::~		SCARSAMENTE ADDENSAT.	500	15 %	27 °	0.4	
3.8	5	0.333	Argilla organica/torba	/\ /\ /\ /\		Scarsamente consistente	650	0.31	0.25 daN/cm ²	2.5	
4	6	0.333	Argilla organica	/ / / / /		Mediamente consistente	677	0.37	0.3 daN/cm ²	3.0	
4.2	4	0.400	Argilla organica/torba	/\ /\ /\ /\		Priva di consistenza	616	0.25	0.2 daN/cm ²	2.0	
4.4	4	0.133	Argilla molto tenera			Scarsamente consistente	616	0.25	0.2 daN/cm ²	2.0	
4.6	16	0.467	Argilla limosa e sabbiosa	!!!!!!!!!!!!!!!		Mediamente consistente	823	0.5	0.8 daN/cm ²	4.0	
4.8	5	0.267	Argilla tenera			Mediamente consistente	650	0.31	0.25 daN/cm ²	2.5	
5	5	0.133	SABBIA ARGILLOSA TENERA	::-:-::-:-::-:-::-:-::-:-::		SCARSAMENTE ADDENSAT.	500	16 %	28 °	0.6	
5.2	4	0.067	SABBIA MOLTO SCIOLTA	:~::~:~::~:~::~:~::~:~::~:~::~		SCARSAMENTE ADDENSAT.	500	15 %	27 °	0.4	
5.4	13	0.200	SABBIA SCIOLTA	.°.°.°.°.°.°.°.°.°.°		SCARSAMENTE ADDENSAT.	550	18 %	29 °	0.8	
5.6	6	0.200	Argilla tenera			Mediamente consistente	677	0.37	0.3 daN/cm ²	3.0	
5.8	4	0.267	Argilla organica/torba	/\ /\ /\ /\		Priva di consistenza	616	0.25	0.2 daN/cm ²	2.0	
6	4	0.267	Argilla organica/torba	/\ /\ /\ /\		Priva di consistenza	616	0.25	0.2 daN/cm ²	2.0	
6.2	3	0.267	Argilla organica/torba	/\ /\ /\ /\		Priva di consistenza	573	0.15	0.15 daN/cm ²	1.5	
6.4	3	0.267	Argilla organica/torba	/\ /\ /\ /\		Priva di consistenza	573	0.15	0.15 daN/cm ²	1.5	
6.6	4	0.333	Argilla organica/torba	/\ /\ /\ /\		Priva di consistenza	616	0.25	0.2 daN/cm ²	2.0	
6.8	8	0.533	Argilla organica	/ / / / /		Mediamente consistente	720	0.5	0.4 daN/cm ²	4.0	
7	11	0.667	Argilla organica	/ / / / /		Consistente (compatta)	767	0.61	0.55 daN/cm ²	6.0	
7.2	12	0.667	Argilla compatta			Mediamente consistente	780	0.43	0.6 daN/cm ²	3.5	
7.4	14	0.467	Argilla limosa e sabbiosa	!!!!!!!!!!!!!!!		Mediamente consistente	803	0.43	0.7 daN/cm ²	3.5	
7.6	11	0.400	Argilla limosa e sabbiosa	!!!!!!!!!!!!!!!		Mediamente consistente	767	0.37	0.55 daN/cm ²	3.0	
7.8	10	0.533	Argilla compatta			Mediamente consistente	753	0.37	0.5 daN/cm ²	3.0	
8	12	0.867	Argilla organica	/ / / / /		Consistente (compatta)	780	0.64	0.6 daN/cm ²	7.0	
8.2	16	0.867	Argilla compatta			Consistente (compatta)	823	0.57	0.8 daN/cm ²	5.0	
8.4	18	1.000	Argilla molto compatta			Consistente (compatta)	841	0.57	0.9 daN/cm ²	5.0	
8.6	13	0.667	Argilla compatta			Mediamente consistente	792	0.5	0.65 daN/cm ²	4.0	
8.8	21	1.267	Argilla molto compatta			Consistente (compatta)	864	0.61	1.05 daN/cm ²	6.0	
9	23	1.467	Argilla molto compatta			Consistente (compatta)	878	0.64	1.15 daN/cm ²	7.0	
9.2	22	2.000	Argilla organica	/ / / / /		Molto consistente	871	0.89	1.1 daN/cm ²	11.0	
9.4	22	1.333	Argilla molto compatta			Consistente (compatta)	871	0.64	1.1 daN/cm ²	7.0	
9.6	20	1.267	Argilla molto compatta			Consistente (compatta)	857	0.61	1 daN/cm ²	6.0	
9.8	19	0.800	Argilla limosa e sabbiosa	!!!!!!!!!!!!!!!		Consistente (compatta)	849	0.57	0.95 daN/cm ²	5.0	
10	20	0.400	LIMO SABBIOSO ARGILLOSO	=:=:=:=:= :=:=		POCO ADDENSATA	650	35 %	32 °	3.0	
10.2	10	0.467	Argilla media			Mediamente consistente	753	0.43	0.5 daN/cm ²	3.5	
10.4	9	0.400	Argilla media			Mediamente consistente	737	0.37	0.45 daN/cm ²	3.0	
10.6	14	0.400	LIMO SABBIOSO ARGILLOSO	=:=:=:=:= :=:=		POCO ADDENSATA	600	23 %	31 °	1.9	
10.8	8	0.400	Argilla media			Mediamente consistente	720	0.31	0.4 daN/cm ²	2.5	
11	14	0.667	Argilla compatta			Mediamente consistente	803	0.5	0.7 daN/cm ²	4.0	
11.2	8	0.467	Argilla organica	/ / / / /		Mediamente consistente	720	0.5	0.4 daN/cm ²	4.0	
11.4	16	0.667	Argilla compatta			Consistente (compatta)	823	0.57	0.8 daN/cm ²	5.0	
11.6	11	0.667	Argilla organica	/ / / / /		Consistente (compatta)	767	0.61	0.55 daN/cm ²	6.0	
11.8	10	0.467	Argilla media			Mediamente consistente	753	0.43	0.5 daN/cm ²	3.5	
12	12	0.333	LIMO SABBIOSO ARGILLOSO	=:=:=:=:= :=:=		POCO ADDENSATA	600	23 %	31 °	1.9	
12.2	10	0.400	Argilla media			Mediamente consistente	753	0.43	0.5 daN/cm ²	3.5	
12.4	10	0.267	LIMO SABBIOSO ARGILLOSO	=:=:=:=:= :=:=		POCO ADDENSATA	550	19 %	30 °	1.5	
12.6	9	0.400	Argilla media			Mediamente consistente	737	0.37	0.45 daN/cm ²	3.0	
12.8	10	0.467	Argilla media			Mediamente consistente	753	0.43	0.5 daN/cm ²	3.5	
13	8	0.467	Argilla organica	/ / / / /		Mediamente consistente	720	0.5	0.4 daN/cm ²	4.0	
13.2	11	0.333	Argilla limosa e sabbiosa	!!!!!!!!!!!!!!!		Mediamente consistente	767	0.37	0.55 daN/cm ²	3.0	
13.4	11	0.400	Argilla limosa e sabbiosa	!!!!!!!!!!!!!!!		Mediamente consistente	767	0.37	0.55 daN/cm ²	3.0	
13.6	12	0.467	Argilla media			Mediamente consistente	780	0.5	0.6 daN/cm ²	4.0	
13.8	12	0.467	Argilla media			Mediamente consistente	780	0.5	0.6 daN/cm ²	4.0	
14	15	0.533	Argilla limosa e sabbiosa	!!!!!!!!!!!!!!!		Mediamente consistente	814	0.5	0.75 daN/cm ²	4.0	
14.2	11	0.533	Argilla media			Mediamente consistente	767	0.43	0.55 daN/cm ²	3.5	
14.4	18	0.267	SABBIA SCIOLTA	.°.°.°.°.°.°.°.°.°		POCO ADDENSATA	600	23 %	31 °	1.9	
14.6	16	0.333	LIMO SABBIOSO ARGILLOSO	=:=:=:=:= :=:=		POCO ADDENSATA	600	27 %	31 °	2.2	
14.8	16	0.533	Argilla limosa e sabbiosa	!!!!!!!!!!!!!!!		Mediamente consistente	823	0.5	0.8 daN/cm ²	4.0	
15	13										

Prova Penetrometrica dinamica DPL30 n°

1

CARATTERISTICHE STRUMENTALI:

Massa battente = 30 kg.

Altezza caduta = 20 cm.

Sezione punta = 10 cmq

Committente:

LAMBERTINI

Località:

via Zambecari

Comune:

CASTELLO D'ARGILE

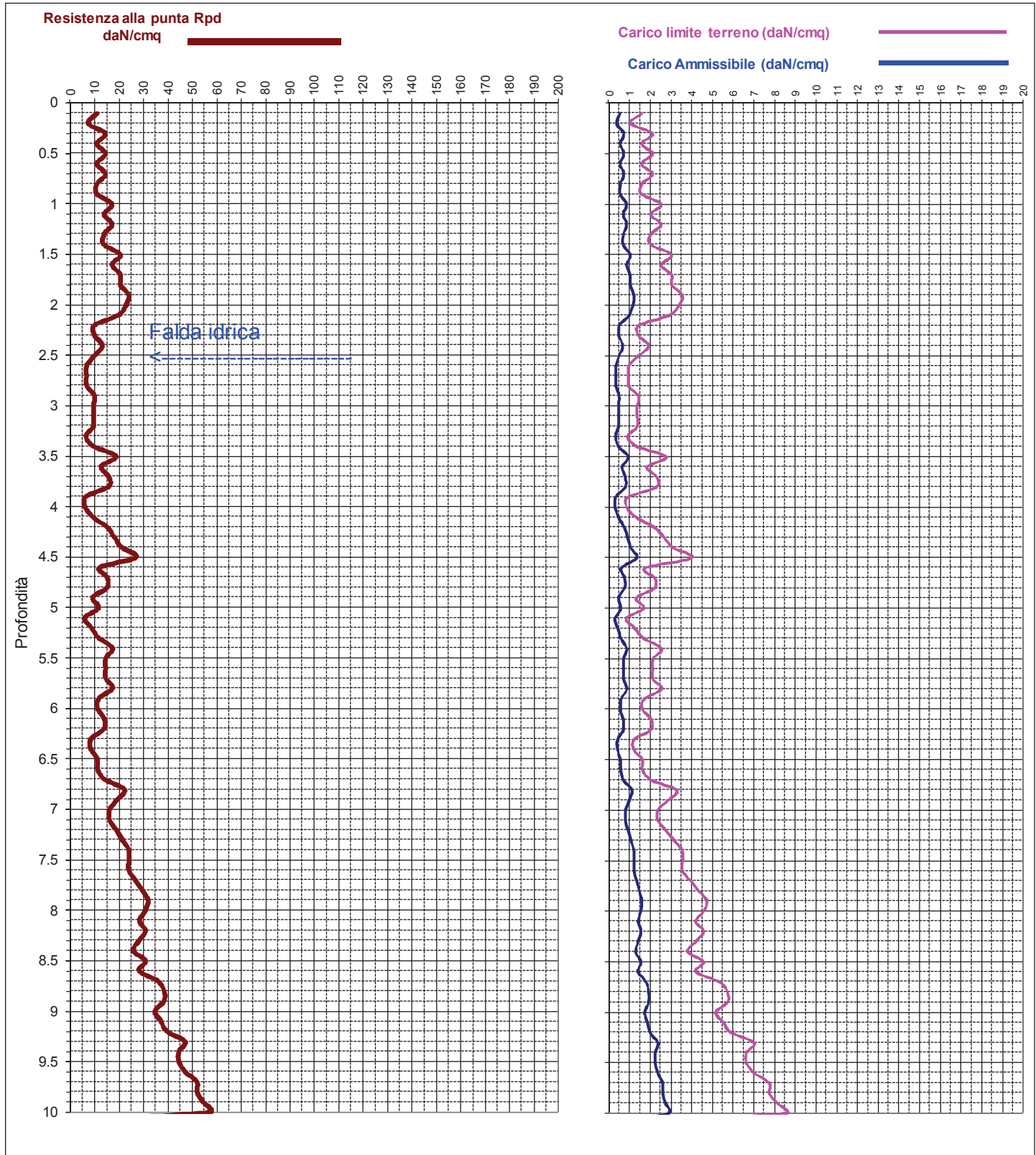
Data:

16.02.2022

- Coeff. di sicurezza = 20

Profondità Falda: ml.

2.50



CARATTERISTICHE STRUMENTALI:

Massa battente = 30 kg.

Altezza caduta = 20 cm.

Sezione punta = 10 cmq

Committente:

LAMBERTINI

Località:

via Zambecari

Comune:

CASTELLO D'ARGILE

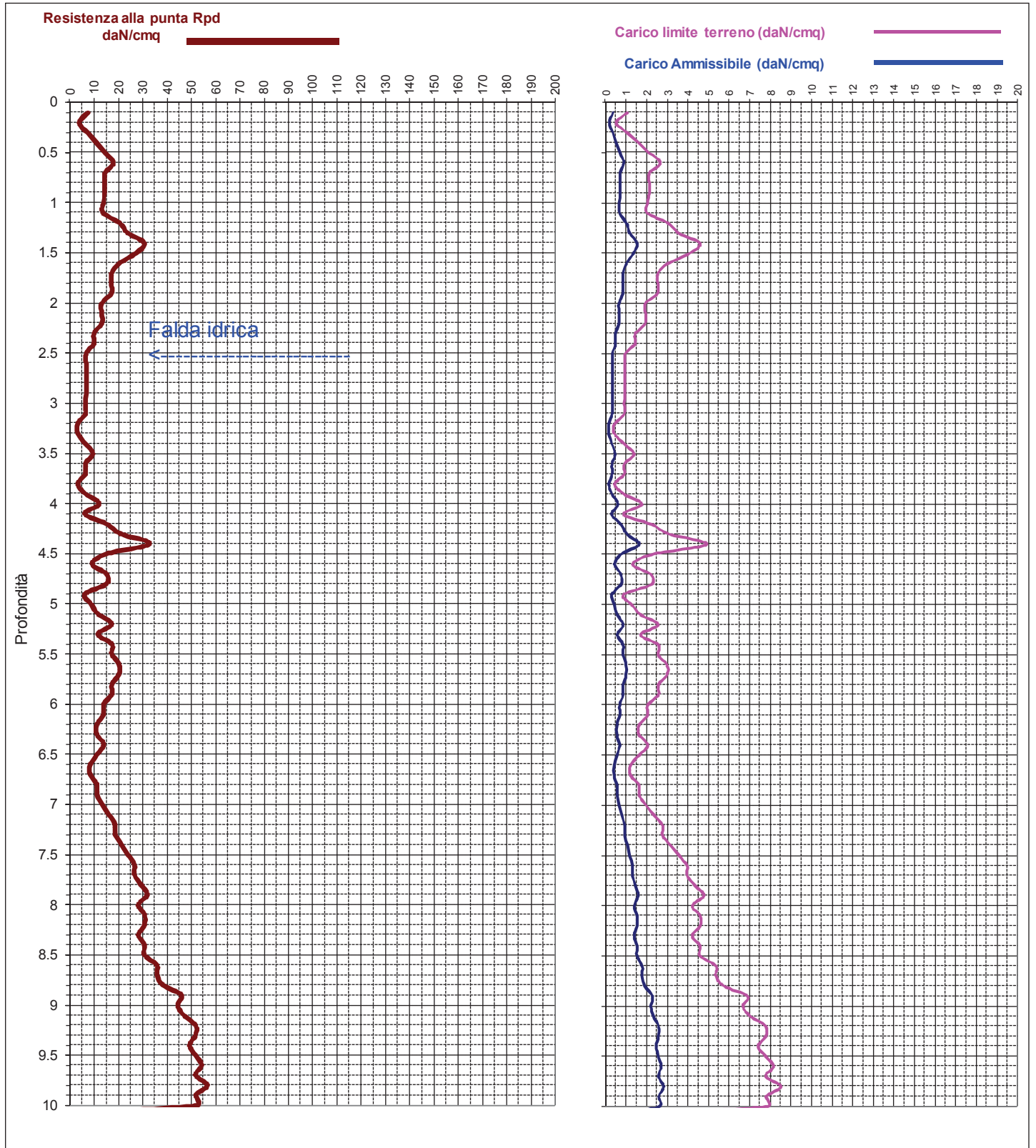
Data:

16.02.2022

- Coeff. di sicurezza = 20

Profondità Falda: ml.

2.50



ANDREATTA dott. GIANCARLO - GEOLOGO -									PARAMETRI GEOTECNICI -				DPL30		N°		2	
Via XXV Aprile n° 140 - Tel. 0546-656362. CastelBolognese (Ra)																		
Committ.: LAMBERTINI CASTELLO D'ARGILE Loc.: via Zambeccari									Data: 16.02.2022				Prof.acqua: ml.		2.5			
Prof.	N10	Rp din.	Y' t (Sabb.)	Y' t (Arg.)	Angolo Corr. Rdin.	Attrito Corr. Nspt	Dr % Sabb.	Addensamento (SABBIA)	Kw (SABBIA) daN/cm	Kh	Cu da SPT daN/cm	Consistenza (ARGILLA)	Cu1 TERZAGHI daN/cm	Cu2	Kw (ARGILLA) daN/cm	Kh		
ml.		daN/cm	daN/mc	(Arg.)														
0																		
0.1	2	7.13	1500	1598	44	28	16	Molto sciolta	1	0.4	0.22	Fluido-plastica	0.32	0.22	1	0.71		
0.2	1	3.56	1500	1495	37	27	15	Molto sciolta	1	0.2	0.20	Fluido-plastica	0.16	0.11	1	0.36		
0.3	2	7.13	1500	1598	38	28	16	Molto sciolta	1	0.4	0.22	Fluido-plastica	0.32	0.22	1	0.71		
0.4	3	10.69	1550	1659	39	29	18	Molto sciolta	1	0.6	0.28	Fluido-plastica	0.48	0.34	3	1.07		
0.5	4	14.26	1550	1702	39	30	19	Scioltta	2	0.8	0.30	Molle-plastica	0.50	0.45	4	1.43		
0.6	5	17.82	1600	1735	39	31	23	Scioltta	2	1.0	0.35	Molle-plastica	0.59	0.56	5	1.78		
0.7	4	14.26	1550	1702	37	30	19	Scioltta	2	0.8	0.30	Molle-plastica	0.50	0.45	4	1.43		
0.8	4	14.26	1550	1702	37	30	19	Scioltta	2	0.8	0.30	Molle-plastica	0.50	0.45	4	1.43		
0.9	4	14.26	1550	1702	36	30	19	Scioltta	2	0.8	0.30	Molle-plastica	0.50	0.45	4	1.43		
1	4	13.58	1550	1694	35	30	19	Scioltta	2	0.8	0.30	Molle-plastica	0.50	0.45	4	1.36		
1.1	4	13.58	1550	1694	35	30	19	Scioltta	2	0.8	0.30	Molle-plastica	0.50	0.45	4	1.36		
1.2	6	20.38	1600	1755	36	31	27	Scioltta	3	1.2	0.51	Molle-plastica	0.68	0.67	7	2.04		
1.3	7	23.77	1650	1778	37	32	31	Scioltta	3	1.4	0.59	Plastica	0.79	0.78	8	2.38		
1.4	9	30.57	1700	1816	38	32	36	Media	4	1.7	0.74	Plastica	0.97	0.99	8	3.06		
1.5	8	27.17	1650	1798	37	32	35	Scioltta	3	1.6	0.67	Plastica	0.86	0.90	8	2.72		
1.6	6	20.38	1600	1755	35	31	27	Scioltta	3	1.2	0.51	Molle-plastica	0.68	0.67	7	2.04		
1.7	5	16.98	1600	1728	34	31	23	Scioltta	2	1.0	0.35	Molle-plastica	0.57	0.56	5	1.70		
1.8	5	16.98	1600	1728	34	31	23	Scioltta	2	1.0	0.35	Molle-plastica	0.57	0.56	5	1.70		
1.9	5	16.98	1600	1728	33	31	23	Scioltta	2	1.0	0.35	Molle-plastica	0.57	0.56	5	1.70		
2	4	12.97	1550	1688	32	30	19	Scioltta	2	0.7	0.30	Molle-plastica	0.51	0.45	4	1.30		
2.1	4	12.97	1550	1688	32	30	19	Scioltta	2	0.7	0.30	Molle-plastica	0.51	0.45	4	1.30		
2.2	4	12.97	1550	1688	31	30	19	Scioltta	2	0.7	0.30	Molle-plastica	0.51	0.45	4	1.30		
2.3	3	9.73	1550	1645	30	29	18	Molto sciolta	1	0.6	0.28	Fluido-plastica	0.43	0.34	3	0.97		
2.4	3	9.73	1550	1645	30	29	18	Molto sciolta	1	0.6	0.28	Fluido-plastica	0.43	0.34	3	0.97		
2.5	2	6.49	500	584	28	28	16	Molto sciolta	1	0.4	0.22	Fluido-plastica	0.29	0.22	1	0.65		
2.6	2	6.49	500	584	28	28	16	Molto sciolta	1	0.4	0.22	Fluido-plastica	0.29	0.22	1	0.65		
2.7	2	6.49	500	584	28	28	16	Molto sciolta	1	0.4	0.22	Fluido-plastica	0.29	0.22	1	0.65		
2.8	2	6.49	500	584	28	28	16	Molto sciolta	1	0.4	0.22	Fluido-plastica	0.29	0.22	1	0.65		
2.9	2	6.49	500	584	28	28	16	Molto sciolta	1	0.4	0.22	Fluido-plastica	0.29	0.22	1	0.65		
3	2	6.21	500	577	28	28	16	Molto sciolta	1	0.4	0.22	Fluido-plastica	0.28	0.22	1	0.62		
3.1	2	6.21	500	577	28	28	16	Molto sciolta	1	0.4	0.22	Fluido-plastica	0.28	0.22	1	0.62		
3.2	1	3.10	500	474	25	27	15	Molto sciolta	1	0.2	0.20	Fluido-plastica	0.14	0.11	1	0.31		
3.3	1	3.10	500	474	25	27	15	Molto sciolta	1	0.2	0.20	Fluido-plastica	0.14	0.11	1	0.31		
3.4	2	6.21	500	577	28	28	16	Molto sciolta	1	0.4	0.22	Fluido-plastica	0.28	0.22	1	0.62		
3.5	3	9.31	550	638	29	29	18	Molto sciolta	1	0.5	0.28	Fluido-plastica	0.41	0.34	3	0.93		
3.6	2	6.21	500	577	28	28	16	Molto sciolta	1	0.4	0.22	Fluido-plastica	0.28	0.22	1	0.62		
3.7	2	6.21	500	577	28	28	16	Molto sciolta	1	0.4	0.22	Fluido-plastica	0.28	0.22	1	0.62		
3.8	1	3.10	500	474	25	27	15	Molto sciolta	1	0.2	0.20	Fluido-plastica	0.14	0.11	1	0.31		
3.9	2	6.21	500	577	27	28	16	Molto sciolta	1	0.4	0.22	Fluido-plastica	0.28	0.22	1	0.62		
4	4	11.90	550	675	30	30	19	Scioltta	2	0.7	0.30	Molle-plastica	0.50	0.45	4	1.19		
4.1	2	5.95	500	571	27	28	16	Molto sciolta	1	0.3	0.22	Fluido-plastica	0.26	0.22	1	0.60		
4.2	5	14.88	600	708	31	31	23	Scioltta	2	0.9	0.35	Molle-plastica	0.52	0.56	5	1.49		
4.3	7	20.83	650	758	32	32	31	Scioltta	3	1.2	0.59	Plastica	0.69	0.78	8	2.08		
4.4	11	32.73	750	826	34	33	39	Media	4	1.9	1.00	Plastica	1.04	1.20	9	3.27		
4.5	5	14.88	600	708	31	31	23	Scioltta	2	0.9	0.35	Molle-plastica	0.52	0.56	5	1.49		
4.6	3	8.93	550	632	29	29	18	Molto sciolta	1	0.5	0.28	Fluido-plastica	0.40	0.34	3	0.89		
4.7	5	14.88	600	708	31	31	23	Scioltta	2	0.9	0.35	Molle-plastica	0.52	0.56	5	1.49		
4.8	5	14.88	600	708	30	31	23	Scioltta	2	0.9	0.35	Molle-plastica	0.52	0.56	5	1.49		
4.9	2	5.95	500	571	27	28	16	Molto sciolta	1	0.3	0.22	Fluido-plastica	0.26	0.22	1	0.60		
5	3	8.57	550	626	28	29	18	Molto sciolta	1	0.5	0.28	Fluido-plastica	0.38	0.34	3	0.86		
5.1	4	11.43	550	669	29	30	19	Scioltta	2	0.7	0.30	Molle-plastica	0.48	0.45	4	1.14		
5.2	6	17.14	600	729	31	31	27	Scioltta	3	1.0	0.51	Molle-plastica	0.57	0.67	7	1.71		
5.3	4	11.43	550	669	29	30	19	Scioltta	2	0.7	0.30	Molle-plastica	0.48	0.45	4	1.14		
5.4	6	17.14	600	729	31	31	27	Scioltta	3	1.0	0.51	Molle-plastica	0.57	0.67	7	1.71		
5.5	6	17.14	600	729	31	31	27	Scioltta	3	1.0	0.51	Molle-plastica	0.57	0.67	7	1.71		
5.6	7	20.00	650	752	31	32	31	Scioltta	3	1.1	0.59	Plastica	0.67	0.78	8	2.00		
5.7	7	20.00	650	752	31	32	31	Scioltta	3	1.1	0.59	Plastica	0.67	0.78	8	2.00		
5.8	6	17.14	600	729	31	31	27	Scioltta	3	1.0	0.51	Molle-plastica	0.57	0.67	7	1.71		
5.9	6	17.14	600	729	31	31	27	Scioltta	3	1.0	0.51	Molle-plastica	0.57	0.67	7	1.71		
6	5	13.74	600	696	30	31	23	Scioltta	2	0.8	0.35	Molle-plastica	0.51	0.56	5	1.37		
6.1	5	13.74	600	696	30	31	23	Scioltta	2	0.8	0.35	Molle-plastica	0.51	0.56	5	1.37		
6.2	4	10.99	550	663	29	30	19	Scioltta	2	0.6	0.30	Molle-plastica	0.49	0.45	4	1.10		
6.3	4	10.99	550	663	29	30	19	Scioltta	2	0.6	0.30	Molle-plastica	0.49	0.45	4	1.10		
6.4	5	13.74	600	696	29	31	23	Scioltta	2	0.8	0.35	Molle-plastica	0.51	0.56	5	1.37		
6.5	4	10.99	550	663	29	30	19	Scioltta	2	0.6	0.30	Molle-plastica	0.49	0.45	4	1.10		
6.6	3	8.24	550	620	27	29	18	Molto sciolta	1	0.5	0.28	Fluido-plastica	0.37	0.34	3	0.82		
6.7	3	8.24	550	620	27	29	18	Molto sciolta	1	0.5	0.28	Fluido-plastica	0.37	0.34	3	0.82		
6.8	4	10.99	550	663	28	30	19	Scioltta	2	0.6	0.30	Molle-plastica	0.49	0.45	4	1.10		
6.9	4	10.99	550	663	28	30	19	Scioltta	2	0.6	0.30	Molle-plastica	0.49	0.45	4	1.10		
7	5	13.24	600	691	29	31	23	Scioltta	2									

ANDREATTA dott. GIANCARLO - GEOLOGO -										PARAMETRI GEOTECNICI - DPL30 N° 2									
Via XXV Aprile n° 140 - Tel. 0546-656362. CastelBolognese (Ra)																			
Committ.: LAMBERTINI CASTELLO D'ARGILE Loc.: via Zambecari										Data: 16.02.2022 Prof.acqua: ml. 2.5									
Prof.	N10	Rp din.	Y' t (Sabb.)	Y' t (Arg.)	Angolo Corr. Rdin.	Attrito Corr. Nsgt	Dr %	Addensamento	Kw	Kh	Cu	Consistenza (ARGILLA)	Cu1	Cu2	Kw	Kh			
ml.		daN/cm ²	daN/mc				Sabb.	(SABBIA)	daN/cm ²		da SPT daN/cm ²		TERZAGHI daN/cm ²			(ARGILLA) daN/cm ²			
0					°	°													
0.1	2	7.13	1500	1598	44	28	16	Molto sciolta	1	0.4	0.22	Fluido-plastica	0.32	0.22	1	0.71			
0.2	1	3.56	1500	1495	37	27	15	Molto sciolta	1	0.2	0.20	Fluido-plastica	0.16	0.11	1	0.36			
0.3	2	7.13	1500	1598	38	28	16	Molto sciolta	1	0.4	0.22	Fluido-plastica	0.32	0.22	1	0.71			
0.4	3	10.69	1550	1659	39	29	18	Molto sciolta	1	0.6	0.28	Fluido-plastica	0.48	0.34	3	1.07			
0.5	4	14.26	1550	1702	39	30	19	Scioltta	2	0.8	0.30	Molle-plastica	0.50	0.45	4	1.43			
0.6	5	17.82	1600	1735	39	31	23	Scioltta	2	1.0	0.35	Molle-plastica	0.59	0.56	5	1.78			
0.7	4	14.26	1550	1702	37	30	19	Scioltta	2	0.8	0.30	Molle-plastica	0.50	0.45	4	1.43			
0.8	4	14.26	1550	1702	37	30	19	Scioltta	2	0.8	0.30	Molle-plastica	0.50	0.45	4	1.43			
0.9	4	14.26	1550	1702	36	30	19	Scioltta	2	0.8	0.30	Molle-plastica	0.50	0.45	4	1.43			
1	4	13.58	1550	1694	35	30	19	Scioltta	2	0.8	0.30	Molle-plastica	0.50	0.45	4	1.36			
1.1	4	13.58	1550	1694	35	30	19	Scioltta	2	0.8	0.30	Molle-plastica	0.50	0.45	4	1.36			
1.2	6	20.38	1600	1755	36	31	27	Scioltta	3	1.2	0.51	Molle-plastica	0.68	0.67	7	2.04			
1.3	7	23.77	1650	1778	37	32	31	Scioltta	3	1.4	0.59	Plastica	0.79	0.78	8	2.38			
1.4	9	30.57	1700	1816	38	32	36	Media	4	1.7	0.74	Plastica	0.97	0.99	8	3.06			
1.5	8	27.17	1650	1798	37	32	35	Scioltta	3	1.6	0.67	Plastica	0.86	0.90	8	2.72			
1.6	6	20.38	1600	1755	35	31	27	Scioltta	3	1.2	0.51	Molle-plastica	0.68	0.67	7	2.04			
1.7	5	16.98	1600	1728	34	31	23	Scioltta	2	1.0	0.35	Molle-plastica	0.57	0.56	5	1.70			
1.8	5	16.98	1600	1728	34	31	23	Scioltta	2	1.0	0.35	Molle-plastica	0.57	0.56	5	1.70			
1.9	5	16.98	1600	1728	33	31	23	Scioltta	2	1.0	0.35	Molle-plastica	0.57	0.56	5	1.70			
2	4	12.97	1550	1688	32	30	19	Scioltta	2	0.7	0.30	Molle-plastica	0.51	0.45	4	1.30			
2.1	4	12.97	1550	1688	32	30	19	Scioltta	2	0.7	0.30	Molle-plastica	0.51	0.45	4	1.30			
2.2	4	12.97	1550	1688	31	30	19	Scioltta	2	0.7	0.30	Molle-plastica	0.51	0.45	4	1.30			
2.3	3	9.73	1550	1645	30	29	18	Molto sciolta	1	0.6	0.28	Fluido-plastica	0.43	0.34	3	0.97			
2.4	3	9.73	1550	1645	30	29	18	Molto sciolta	1	0.6	0.28	Fluido-plastica	0.43	0.34	3	0.97			
2.5	2	6.49	500	584	28	28	16	Molto sciolta	1	0.4	0.22	Fluido-plastica	0.29	0.22	1	0.65			
2.6	2	6.49	500	584	28	28	16	Molto sciolta	1	0.4	0.22	Fluido-plastica	0.29	0.22	1	0.65			
2.7	2	6.49	500	584	28	28	16	Molto sciolta	1	0.4	0.22	Fluido-plastica	0.29	0.22	1	0.65			
2.8	2	6.49	500	584	28	28	16	Molto sciolta	1	0.4	0.22	Fluido-plastica	0.29	0.22	1	0.65			
2.9	2	6.49	500	584	28	28	16	Molto sciolta	1	0.4	0.22	Fluido-plastica	0.29	0.22	1	0.65			
3	2	6.21	500	577	28	28	16	Molto sciolta	1	0.4	0.22	Fluido-plastica	0.28	0.22	1	0.62			
3.1	2	6.21	500	577	28	28	16	Molto sciolta	1	0.4	0.22	Fluido-plastica	0.28	0.22	1	0.62			
3.2	1	3.10	500	474	25	27	15	Molto sciolta	1	0.2	0.20	Fluido-plastica	0.14	0.11	1	0.31			
3.3	1	3.10	500	474	25	27	15	Molto sciolta	1	0.2	0.20	Fluido-plastica	0.14	0.11	1	0.31			
3.4	2	6.21	500	577	28	28	16	Molto sciolta	1	0.4	0.22	Fluido-plastica	0.28	0.22	1	0.62			
3.5	3	9.31	550	638	29	29	18	Molto sciolta	1	0.5	0.28	Fluido-plastica	0.41	0.34	3	0.93			
3.6	2	6.21	500	577	28	28	16	Molto sciolta	1	0.4	0.22	Fluido-plastica	0.28	0.22	1	0.62			
3.7	2	6.21	500	577	28	28	16	Molto sciolta	1	0.4	0.22	Fluido-plastica	0.28	0.22	1	0.62			
3.8	1	3.10	500	474	25	27	15	Molto sciolta	1	0.2	0.20	Fluido-plastica	0.14	0.11	1	0.31			
3.9	2	6.21	500	577	27	28	16	Molto sciolta	1	0.4	0.22	Fluido-plastica	0.28	0.22	1	0.62			
4	4	11.90	550	675	30	30	19	Scioltta	2	0.7	0.30	Molle-plastica	0.50	0.45	4	1.19			
4.1	2	5.95	500	571	27	28	16	Molto sciolta	1	0.3	0.22	Fluido-plastica	0.26	0.22	1	0.60			
4.2	5	14.88	600	708	31	31	23	Scioltta	2	0.9	0.35	Molle-plastica	0.52	0.56	5	1.49			
4.3	7	20.83	650	758	32	32	31	Scioltta	3	1.2	0.59	Plastica	0.69	0.78	8	2.08			
4.4	11	32.73	750	826	34	33	39	Media	4	1.9	1.00	Plastica	1.04	1.20	9	3.27			
4.5	5	14.88	600	708	31	31	23	Scioltta	2	0.9	0.35	Molle-plastica	0.52	0.56	5	1.49			
4.6	3	8.93	550	632	29	29	18	Molto sciolta	1	0.5	0.28	Fluido-plastica	0.40	0.34	3	0.89			
4.7	5	14.88	600	708	31	31	23	Scioltta	2	0.9	0.35	Molle-plastica	0.52	0.56	5	1.49			
4.8	5	14.88	600	708	30	31	23	Scioltta	2	0.9	0.35	Molle-plastica	0.52	0.56	5	1.49			
4.9	2	5.95	500	571	27	28	16	Molto sciolta	1	0.3	0.22	Fluido-plastica	0.26	0.22	1	0.60			
5	3	8.57	550	626	28	29	18	Molto sciolta	1	0.5	0.28	Fluido-plastica	0.38	0.34	3	0.86			
5.1	4	11.43	550	669	29	30	19	Scioltta	2	0.7	0.30	Molle-plastica	0.48	0.45	4	1.14			
5.2	6	17.14	600	729	31	31	27	Scioltta	3	1.0	0.51	Molle-plastica	0.57	0.67	7	1.71			
5.3	4	11.43	550	669	29	30	19	Scioltta	2	0.7	0.30	Molle-plastica	0.48	0.45	4	1.14			
5.4	6	17.14	600	729	31	31	27	Scioltta	3	1.0	0.51	Molle-plastica	0.57	0.67	7	1.71			
5.5	6	17.14	600	729	31	31	27	Scioltta	3	1.0	0.51	Molle-plastica	0.57	0.67	7	1.71			
5.6	7	20.00	650	752	31	32	31	Scioltta	3	1.1	0.59	Plastica	0.67	0.78	8	2.00			
5.7	7	20.00	650	752	31	32	31	Scioltta	3	1.1	0.59	Plastica	0.67	0.78	8	2.00			
5.8	6	17.14	600	729	31	31	27	Scioltta	3	1.0	0.51	Molle-plastica	0.57	0.67	7	1.71			
5.9	6	17.14	600	729	31	31	27	Scioltta	3	1.0	0.51	Molle-plastica	0.57	0.67	7	1.71			
6	7	19.24	650	746	31	32	31	Scioltta	3	1.1	0.59	Plastica	0.64	0.78	8	1.92			
6.1	7	19.24	650	746	31	32	31	Scioltta	3	1.1	0.59	Plastica	0.64	0.78	8	1.92			
6.2	8	21.98	650	766	31	32	35	Scioltta	3	1.3	0.67	Plastica	0.73	0.90	8	2.20			
6.3	9	24.73	700	784	32	32	36	Media	4	1.4	0.74	Plastica	0.82	0.99	8	2.47			
6.4	10	27.48	700	800	32	33	37	Media	4	1.6	0.83	Plastica	0.87	1.09	9	2.75			
6.5	10	27.48	700	800	32	33	37	Media	4	1.6	0.83	Plastica	0.87	1.09	9	2.75			
6.6	11	30.23	750	814	33	33	39	Media	4	1.7	1.00	Plastica	0.96	1.20	9	3.02			
6.7	12	32.98	750	827	33	33	41	Media	5	1.9	1.10	Plastica	1.05	1.29	10	3.30			
6.8	11	30.23	750	814	32	33	39	Media	4	1.7	1.00	Plastica	0.96	1.20	9	3.02			
6.9	12	32.98	750	827	33	33	41	Media	5	1.9	1.10	Plastica	1.05	1.29	10	3.30			
7	12	31.76	750	821	33	33	41	Media	5	1.8	1.10	Plastica	1.01	1.29	10	3.18			