



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU

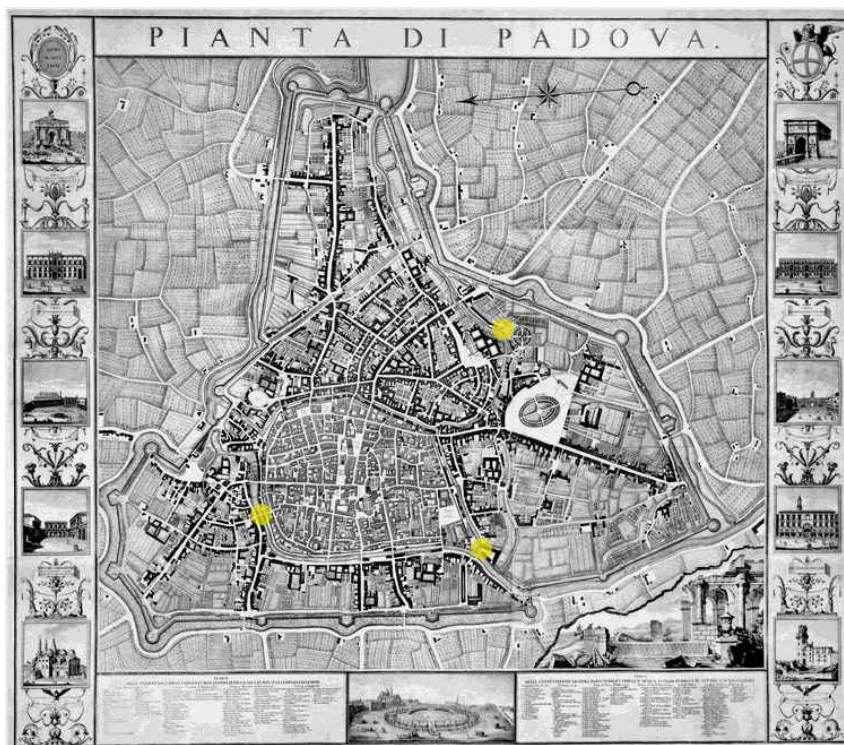


MINISTERO
DELL'INTERNO



COMUNE
DI PADOVA

PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
Missione 2 Componente C4 Investimento 2.2



**MANUTENZIONE STRAORDINARIA SU PONTI E
VIADOTTI INTERVENTI MANUTENTIVI
SUI PONTI CITTADINI IN MURATURA**
CUP: H97H20001060001

PROGETTO ESECUTIVO

| | | |
|---|---|--------------------------------------|
| CODICE OPERA | | DATA |
| LLPP OPI2020-045 | | NOVEMBRE 2022 |
| DESCRIZIONE ELABORATO <u>PONTE SAN LEONARDO</u> RELAZIONE INDAGINI DIAGNOSTICHE | | NUMERO 3.3 |
| I PROGETTISTI Ing. Fabio Muraro Arch. Francesco Casini | IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Ing. Roberto Piccolo | IL CAPO SETTORE Ing. Matteo Banfi |

Padova - Ponte San Leonardo

Codice commessa: **211202_CPD**



Relazione Tecnica: indagini diagnostiche

| Committente: Comune di Padova | | | Cod. elaborato: RT-ID | |
|--------------------------------------|------------|-----------------------|------------------------------|-----------------|
| REV | DATA | DESCRIZIONE REVISIONE | LO SPERIMENTATORE | IL DIRETTORE |
| 00 | 25/03/2022 | Emissione | Fabio Pietro Marchesini | Filippo Casarin |
| 01 | 28/03/2022 | Integrazione | Fabio Pietro Marchesini | Filippo Casarin |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

INDICE GENERALE

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | Introduzione | 5 |
| 2 | Descrizione generale del programma di indagini..... | 6 |
| 3 | Note tecniche sulle indagini effettuate..... | 7 |
| 3.1 | Prova con martinetto piatto singolo e doppio | 7 |
| 3.2 | Shove test..... | 12 |
| 3.3 | Indagini endoscopiche..... | 15 |
| | Allegato 1 - certificati o rapporti di prova..... | 17 |
| | Allegato 2 – individuazione univoca delle indagini | 19 |
| | Allegato 3 – certificati di prova di laboratori ufficiali..... | 21 |
| | Allegato 4 – rapporti di prova specialistici | 23 |

1 INTRODUZIONE

Nella presente relazione tecnica si riportano i risultati ottenuti dalla campagna di indagini sperimentali effettuata presso il Ponte San Leonardo in Via Savonarola, Padova (PD) da parte della società EXPIN S.r.l. di Padova.

Si presentano nel seguito il programma generale di prova (capitolo 2) ed un breve cenno teorico per ogni tipologia di indagine condotta (capitolo 3). I certificati o rapporti di prova, che contengono i risultati ottenuti dalle prove sperimentali effettuate, vengono riportati in allegato 1. L'individuazione univoca delle indagini, mediante codice identificativo e localizzazione in pianta, viene fornita in allegato 2. Nei successivi allegati si riportano i certificati di prova di laboratori ufficiali o autorizzati ex art. 59. DPR 380/2001 (allegato 3), ed i rapporti di prova specialistici o di altra tipologia di laboratorio richiesti (allegato 4 e successivi).

In Figura 1.1 si individua la struttura oggetto delle indagini.

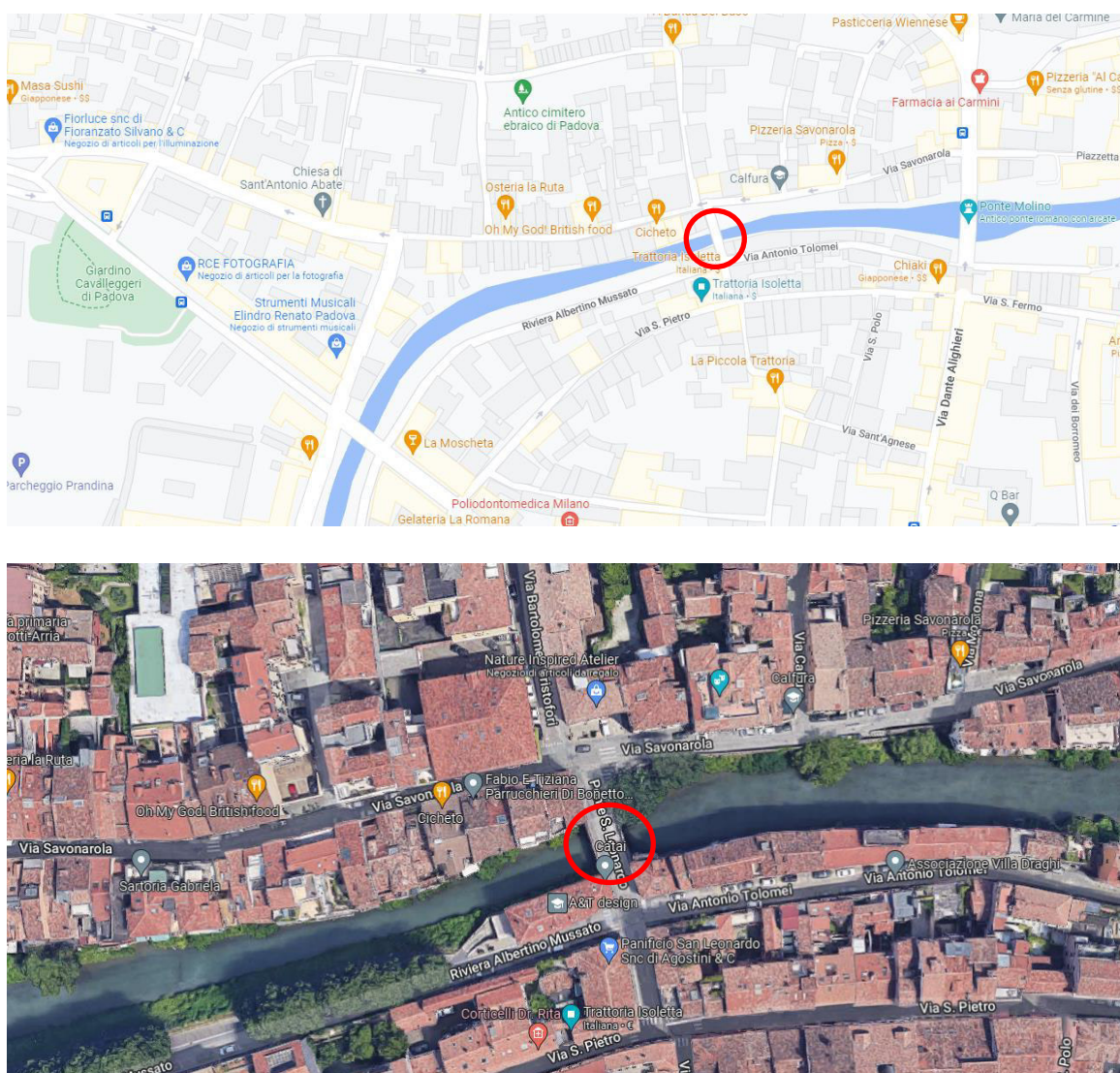


Figura 1.1: vista satellitare della struttura oggetto di indagine, fonte maps.google

2 DESCRIZIONE GENERALE DEL PROGRAMMA DI INDAGINI

Nel giorno 8 Marzo 2022, si è effettuata una campagna di indagini sperimentali presso il ponte San Leonardo in Via Savonarola, Padova (PD). In relazione alle richieste espresse, si sono eseguite le seguenti prove:

- n. 001 MS - Prova con martinetto piatto singolo.
- n. 001 MD - Prova con martinetto piatto doppio.
- n. 001 SV - Caratterizzazione meccanica delle malte per murature - shove test.
- n. 001 MA - Prelievo ed analisi di campioni di malta di allettamento (studio mineralogico –petrografico).
- n. 006 VE - Indagine endoscopica.
- n. 001 PM - Prelievo di mattone con schiacciamento.

Si rimanda all'allegato 2 per la localizzazione delle indagini.

3 NOTE TECNICHE SULLE INDAGINI EFFETTUATE

3.1 PROVA CON MARTINETTO PIATTO SINGOLO E DOPPIO

Le prove di martinetto piatto singolo e doppio permettono, tramite una metodologia relativamente semplice e sufficientemente non invasiva, di stimare in sito da una parte lo stato di tensione locale presente nelle strutture murarie (martinetto singolo), dall'altra la deformabilità e la stima della resistenza muraria al limite elastico (martinetto doppio).

Si riportano di seguito le Normative tecniche di riferimento:

- **ASTM C 1196-14a:** 2014 “Standard test method for in situ compressive stress within solid unit masonry estimated using flat jack measurement”;
- **ASTM C 1197-14a:** 2014 “In situ measurement of masonry deformability properties using the flat jack method”;
- **RILEM TC177 MDT.D.4:** “In situ stress tests based on the flat-jack”;
- **RILEM TC177 MDT.D.5:** “In situ stress-strain behavior tests based on the flat jack”.

3.1.1 DESCRIZIONE DELLA PROVA DI MARTINETTO PIATTO SINGOLO

Il metodo di prova permette di determinare lo stato di sforzo di compressione su una muratura esistente mediante la misura dello stato locale di deformazione. La tecnica di prova si basa sulla variazione dello stato tensionale in un punto della struttura provocato da un taglio perpendicolare alla superficie della muratura. Il rilascio delle tensioni che si manifesta provoca una parziale chiusura del taglio e il valore di questo spostamento (livello di deformazione) può essere determinato tramite la misura della distanza relativa di due punti simmetrici rispetto al taglio stesso (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

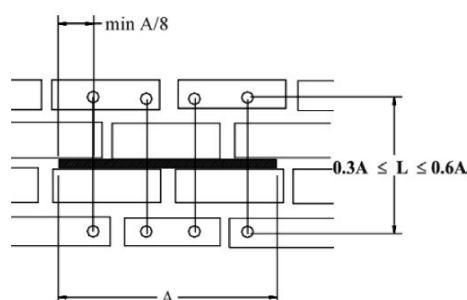


Figura 3.1: schema di disposizione dei sensori

Nel taglio si inserisce un martinetto piatto, realizzato mediante sottili lamiere di acciaio saldate e collegato al circuito idraulico di una pompa, nel quale la pressione viene gradualmente aumentata finché si annulla la deformazione avvenuta.

Per ogni prova si procede al fissaggio mediante viti e tasselli di 8 basi di misura (4 al di sopra e 4 al di sotto del taglio) su cui saranno posizionati 4 sensori. Tale strumentazione è impiegata per la misurazione delle distanze iniziali e finali (pre-taglio – post-taglio) oltre che per l’acquisizione in continuo durante la fase di carico del martinetto.

La configurazione geometrica della muratura torna quindi nelle condizioni in cui era prima del taglio e la pressione all’interno del martinetto è uguale in prima approssimazione alla sollecitazione preesistente nella muratura in direzione normale al piano del martinetto.

La prova si considera ultimata quando – in seguito ad incremento di pressione nel martinetto - si ottiene il ripristino delle misurazioni iniziali (le misure relative si portano sullo zero), e la corrispondente pressione letta al martinetto è la tensione locale nella muratura, a meno delle costanti moltiplicative k_a e k_m .

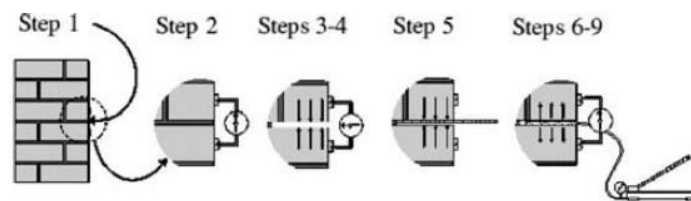


Figura 3.2: sequenza di prova

Per calcolare il valore dello sforzo di compressione che esisteva nella muratura prima del taglio si utilizza la seguente formula:

$$f_m = p \cdot k_m \cdot k_a$$

dove:

f_m = valore di sforzo ripristinato

p = pressione richiesta per riportare la distanza tra le basi di misura alla distanza iniziale

k_m = costante adimensionale che rappresenta le proprietà geometriche e di rigidità intrinseca del martinetto

k_a = rapporto tra l’area misurata del martinetto e l’area media di taglio

I risultati della prova di martinetto piatto singolo vengono rappresentati mediante un diagramma in cui in ascissa si legge la tensione, ovvero la pressione dell’olio all’interno del martinetto moltiplicata per le costanti d’area e di martinetto (k_a e k_m), ed in ordinata si leggono le distanze relative tra le basi di misura posizionate al di sopra ed al di sotto del taglio (**Errore. L’origine r iferimento non è stata trovata.**).

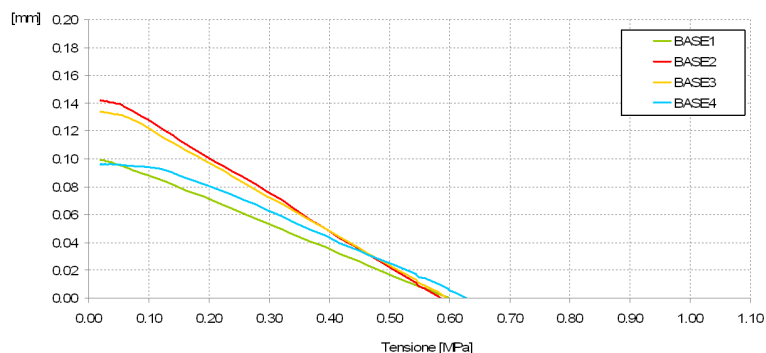


Figura 3.3: rappresentazione tipica dei risultati di una prova di martinetto piatto singolo

3.1.2 DESCRIZIONE DELLA PROVA DI MARTINETTO PIATTO DOPPIO

L'indagine è eseguita successivamente alla prova con martinetto piatto singolo, in modo da associare la sollecitazione gravante sulla porzione di muratura con quella massima a rottura.

La prova si basa sull'uso in contemporanea di due martinetti piatti, collegati ad una pompa idraulica, per comprimere il volume di muratura compreso tra essi. Un secondo taglio, parallelo a quello eseguito per la prova di martinetto singolo, viene eseguito ad una distanza variabile (che dipende dagli elementi resistenti della muratura investigata e dalla larghezza del martinetto utilizzato, potendo variare tra 1 e 1,5 volte quest'ultima dimensione), entro cui inserire il secondo martinetto. Ciò consente di delimitare un campione di muratura rappresentativo per dimensioni del comportamento meccanico della stessa.

Vengono quindi fissati mediante viti e tasselli 10 basi di misura (4 al di sopra del primo taglio e 4 al di sotto del secondo taglio più due lateralmente) su cui saranno posizionati 5 sensori.

I due martinetti paralleli - opportunamente messi in pressione - applicano al campione interposto uno stato di sollecitazione monoassiale, e le deformazioni risultanti nella porzione muraria vengono misurate dai sensori di spostamento in direzione ortogonale e parallela ai piani di inserimento dei martinetti (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**), al fine di determinare il diagramma tensione deformazione della muratura indagata.

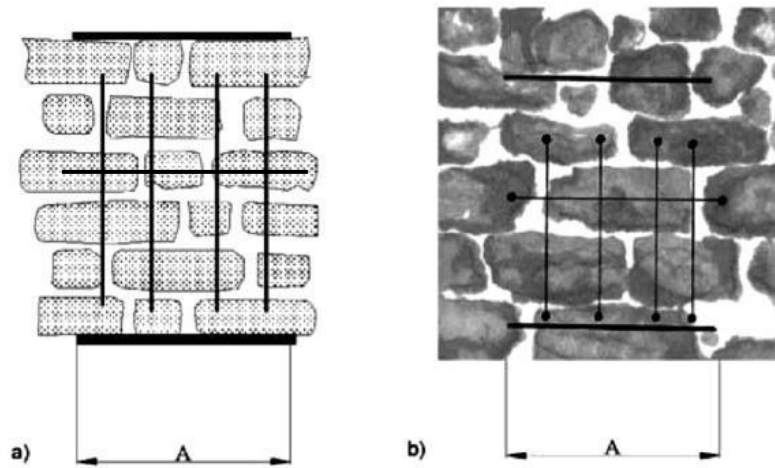


Figura 3.4: Schemi di localizzazione dei tagli e dei sensori; in a) murature in mattoni o in pietra con tessitura regolare, ed in b) muratura in pietra irregolare

Generalmente il carico viene applicato in maniera ciclica, con incrementi crescenti di pressione nei martinetti intervallati dallo scarico completo di questi.

Per calcolare il valore dello sforzo di compressione tra i due martinetti si utilizza la seguente formula:

$$f_{mi} = p_i \cdot k_m \cdot k_a$$

dove:

f_{mi} = valore dello sforzo misurato al passo i

p_i = pressione corrispondente al passo i

k_m = costante adimensionale che rappresenta le proprietà geometriche e di rigidità intrinseca del martinetto

k_a = rapporto tra l'area misurata del martinetto e l'area media di taglio

I risultati della prova di martinetto piatto doppio vengono generalmente rappresentati con un diagramma in cui in ascissa si leggono le deformazioni registrate nelle basi di misura (positive – accorciamento – basi verticali; negative – allungamento – basi orizzontali), in ordinata la tensione applicata alla muratura compresa tra i martinetti, ovvero la pressione dell'olio all'interno dei martinetti moltiplicata per le costanti d'area e di martinetto (k_a e k_m), come riportato in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..** La pendenza della curva di carico corrisponde per le basi verticali al modulo di rigidità della muratura indagata (E , modulo di Young).

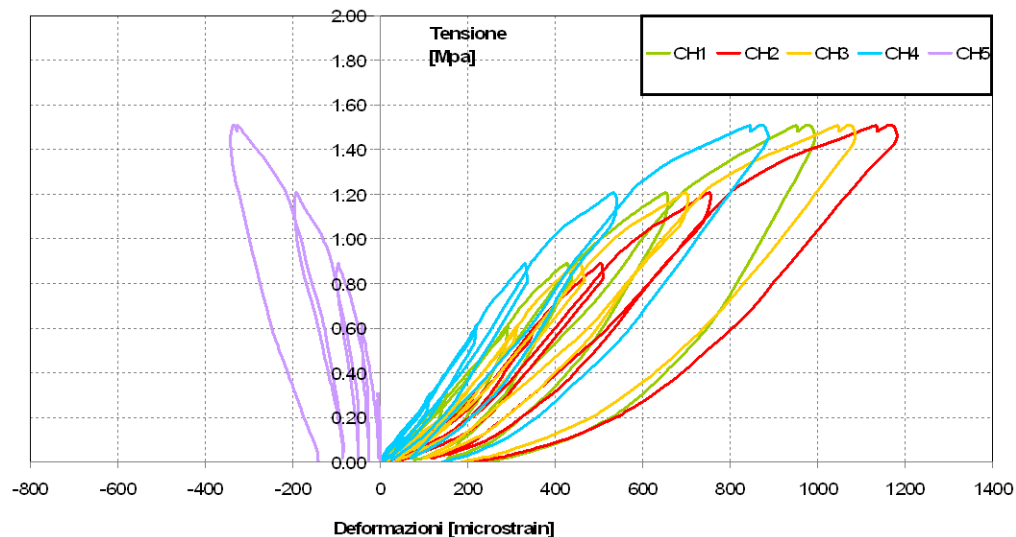


Figura 3.5: rappresentazione tipica dei risultati di una prova di martinetto piatto doppio

3.2 SHOVE TEST

La prova di rottura a taglio per scorrimento della muratura (in inglese “shove test”) è finalizzata a determinare il valore medio della resistenza a taglio *in situ* nel giunto di malta. Il test consiste nel far scivolare orizzontalmente un elemento di laterizio opportunamente isolato dal resto della muratura. La forza orizzontale viene trasmessa da un martinetto opportunamente inserito nella muratura. Nel seguito viene descritta la metodologia della prova, in relazione alle normative tecniche di riferimento:

- **RILEM TC 127 MS-D.6:** “In situ measurement of masonry bed joint shear strength Materials and Structures” Vol. 29 Oct. 1996, pp. 470-475.

3.2.1 DESCRIZIONE DELLA PROVA

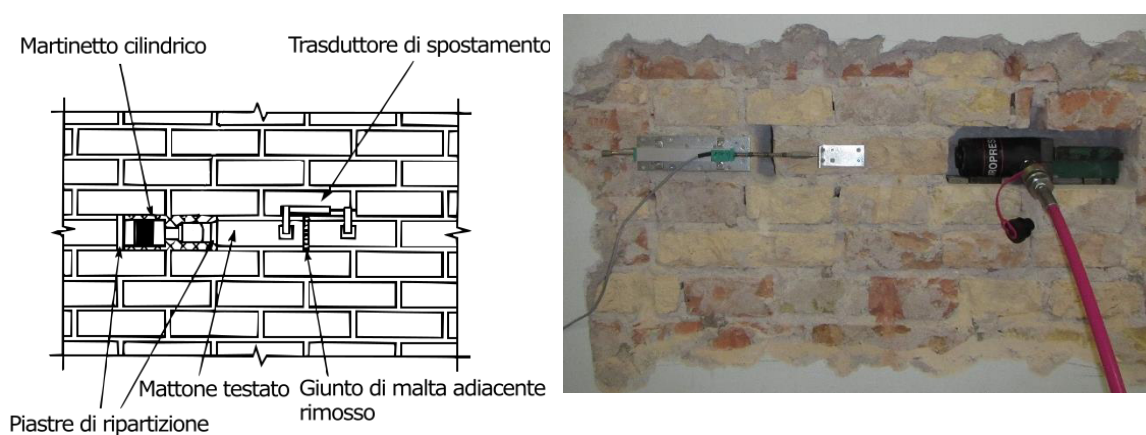


Figura 3.6: set-up di prova

La resistenza a taglio viene misurata relativamente al giunto di malta orizzontale posto al di sopra ed al di sotto del mattone sottoposto a spinta, e calcolata sulla base dell'area lorda. Nel caso di murature costituite da più corsi di mattoni, viene tralasciato il contributo dato dal giunto interposto tra i due paramenti. La porzione muraria oggetto di prova deve essere posizionata ad un'opportuna distanza dalle aperture al fine di avere un contrasto sufficiente in fase di carico. La prova può essere eseguita in due modalità: Metodo A e Metodo B.

Il Metodo A consente di calcolare la tensione tangenziale agente sul letto di malta controllando il carico agente sulla zona di muratura in cui è compreso il mattone isolato, attraverso l'uso di due martinetti piatti.

Il Metodo B consente di calcolare la tensione tangenziale agente sul letto di malta basandosi sulla stima del valore di carico agente sulla muratura.

Metodo A

La forza verticale, applicata attraverso i martinetti piatti, può avere effetti differenti sulla stima del valore di resistenza a taglio del giunto di malta. Il primo martinetto sarà posizionato due corsi più in alto rispetto alla posizione dei giunti da testare; il secondo cinque corsi sotto il primo. Viene, quindi, rimosso il mattone adiacente al blocco testato, in modo da permettere l'inserimento del martinetto idraulico, ed un letto di malta sul lato opposto, per consentire lo scivolamento del mattone in fase di prova. Successivamente viene posizionato il potenziometro per la valutazione degli spostamenti orizzontali. La prova consiste nell'incrementare la pressione al martinetto orizzontale fino a quando il mattone si sposterà continuamente con carico orizzontale costante. Il meccanismo resistente, mobilitato nel corso dello shove-test, è influenzato, oltre che dalla coesione, anche dalla tensione di compressione perpendicolare al giunto di malta.

A questo punto si caricano i martinetti piatti in modo che sia applicata al test una pressione costante di $0,07 \text{ N/mm}^2$, correggendo se necessario la pressione durante lo svolgimento della prova. Si procede caricando il martinetto orizzontale finché i giunti di malta si rompono e il mattone inizia a muoversi a carico costante. La forza misurata sarà il carico massimo orizzontale relativo alla forza di compressione verticale applicata. Si aumenta il livello di compressione dei martinetti piatti e si ripete il procedimento per il successivo step di carico scelto. Si otterranno in questo modo una serie di valori di forza orizzontale limite per ogni valore di forza verticale predeterminata.

I risultati ottenuti saranno trattati calcolando la media di ogni valore di tensione massima τ_i per ogni valore di compressione σ_i come:

$$\tau_i = \frac{F_{i \max}}{A_i}$$

dove:

$F_{i \max}$ = forza massima registrata all' i-esimo livello di compressione verticale.

A_i = area netta dei due giunti di malta nella direzione di applicazione della forza all' i-esimo livello di compressione verticale.

A questo punto attraverso un'interpolazione lineare dei valori di tensione verticale e orizzontale ottenuti si calcola μ , il coefficiente di attrito del giunto. Il valore di resistenza a taglio del giunto al variare della forza di compressione può essere calcolato secondo la formula:

$$\tau = \tau_0 + \mu\sigma$$

Dove τ_0 è la tensione del giunto con carico verticale nullo.

Metodo B

Viene rimosso il mattone adiacente al blocco testato, in modo da permettere l'inserimento del martinetto idraulico, ed un letto di malta sul lato opposto, per consentire lo scivolamento del mattone in fase di prova. Successivamente viene posizionato il potenziometro per la valutazione degli spostamenti orizzontali. La prova consiste nell'incrementare la pressione al martinetto orizzontale fino a quando il mattone si sposterà continuamente con carico orizzontale costante. Il meccanismo resistente, mobilitato nel corso dello shove-test, è influenzato, oltre che dalla coesione, anche dalla tensione di compressione perpendicolare al giunto di malta. Per questo si dovrà eseguire una stima del valore di compressione presente a livello dei giunti testati. La stima potrà essere eseguita valutando i carichi agenti sulla muratura o eseguendo un martinetto piatto singolo in una zona vicina.

La resistenza a taglio viene quindi calcolata come:

$$\tau = \frac{F_{max}}{A}$$

dove:

Fmax = forza massima registrata allo slittamento del mattone.

A = area netta dei due giunti di malta nella direzione di applicazione della forza.

Il valore di resistenza a taglio del giunto a compressione nulla può essere calcolato secondo la formula:

$$\tau_0 = \tau - \mu\sigma$$

Dove:

- τ_0 è la tensione del giunto con carico verticale nullo.
- μ è il coefficiente di attrito della malta che può variare da 0.3 a 1.6
- σ è la tensione verticale stimata / misurata



Figura 3.7: applicazione della strumentazione e fase di acquisizione

3.3 INDAGINI ENDOSCOPICHE

Il videoendoscopio permette di ispezionare visivamente alcune zone altrimenti difficilmente raggiungibili, senza arrecare alcun danno alle strutture. Lo strumento consente di visionare l'interno di murature o solai in maniera poco invasiva con la semplice realizzazione di fori di piccolo diametro, realizzati mediante trapano.

Normative tecniche di riferimento:

- **UNI EN 13018:2016** – Prove non distruttive – Esame visivo – Principi generali;
- **Raccomandazione NORMAL 42/93**: Criteri generali per l'applicazione delle PnD.



Figura 3.8: videoendoscopio

3.3.1 DESCRIZIONE DELLA PROVA

La metodologia di prova consiste nell'esecuzione preventiva di un foro all'interno dell'elemento strutturale in esame (se necessario) e la successiva indagine mediante videoendoscopio. La sonda presenta in punta una microtelecamera dotata di illuminazione LED con un angolo di visuale sufficientemente ampio da visualizzare le pareti del foro e il metro che viene inserito contestualmente alla sonda. L'operatore così acquisisce le immagini del foro con passo costante (5-10 cm) ricostruendo la stratigrafia indagata.



Figura 3.9: esecuzione delle indagini videoendoscopiche

ALLEGATO 1 - CERTIFICATI O RAPPORTI DI PROVA

CERTIFICATO DI PROVA N. C2022/0115

Emendamento del certificato n° ___

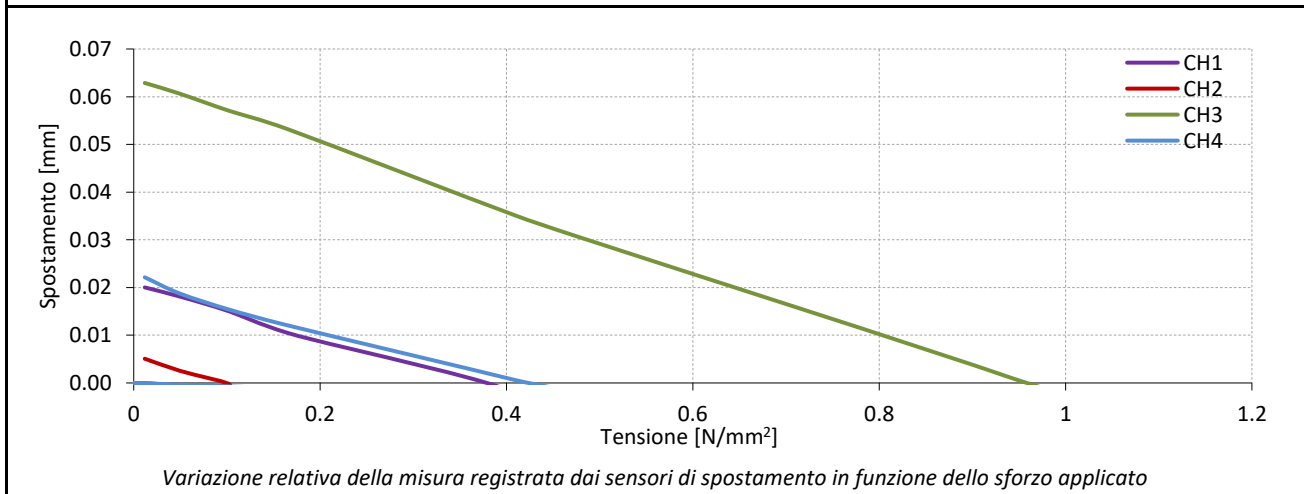
N.Pratica: 142/2021 Cod.commissa: 211202_CPD
 Committente: Comune di Padova
 Richiedente: Ing. Rigon Michele Ruolo ricoperto: Direttore Lavori
 Cantiere: Ponte San Leonardo
 Indirizzo: Via Savonarola, Padova (PD)

PROVA CON MARTINETTO PIATTO SINGOLO

ASTM C1197-14a

| | | | | | | | |
|--|-------|-----------------------------------|------------|--|-------|-------------------------------|---|
| Test n. | MS.01 | Data prova: | 08/03/2022 | Ora prova: | 10.00 | | |
| Tipo martinetto ¹ : | C | Dim. martinetto ² : | 350x250 mm | K _m ³ = | 0.9 | K _a ⁴ = | 1 |
| Tipo muratura ⁵ : | MP | Data costruzione ⁶ : | NN | | | | |
| Utilizzo di spessori ⁷ : | No | Condiz. ambientali ⁸ : | 6°C/53% | Pressione ripristino ⁹ : | 5.06 | | |
| <p>Schema dei sensori durante la prova</p> | | | | Tensione di compressione in corrispondenza della compensazione della lettura [N/mm²] | | | |
| | | | | Sensore 1 (CH1) | | 0.35 | |
| | | | | Sensore 2 (CH2) | | 0.09 | |
| | | | | Sensore 3 (CH3) | | 0.96 | |
| | | | | Sensore 4 (CH4) | | 0.42 | |
| | | | | Media sui sensori (σ locale) | | 0.46 | |
| Note ¹⁰ : ND | | | | | | | |

Grafico tensione-spostamento



Si rimanda all'allegato "Localizzazione dei punti di indagine", parte integrante del presente certificato.

Osservazioni¹¹: ND

Taglio eseguito mediante mototroncatrice a disco eccentrico (EXP040)

Strumentazione utilizzata: EXP010, EXP033÷EXP045

Padova (PD), 08/03/2022

Lo sperimentatore

ing. Marchesini Fabio Pietro

Il Direttore del Laboratorio

ing. Casarin Filippo

Laboratorio autorizzato ad effettuare e certificare le prove ed i controlli sui materiali da costruzione su strutture e costruzioni esistenti del Settore A e del Settore C della Circolare 633/STC del 03/12/2019, con estensione alle prove facoltative. Per l'elenco completo delle prove ed i controlli per i quali Expin srl è autorizzato ad effettuare certificati si rimanda al seguente link: www.expin.it/autorizzazioni-e-certificazioni.

CERTIFICATO DI PROVA N. C2022/0115

Emendamento del certificato n°__

PROVA CON MARTINETTO PIATTO SINGOLO

ASTM C1196-14a

| |
|--|
| Legenda: |
| 1) tipologia di martinetto piatto utilizzato/lotto di riferimento: [C] semicircolare; [R] rettangolare |
| 2) dimensioni del martinetto piatto: [LxP] Larghezza per Profondità in mm |
| 3) costante adimensionale che rappresenta le proprietà geometriche e rigidità intrinseca del martinetto piatto |
| 4) costante d'area data dal rapporto tra l'area del martinetto e l'area del taglio |
| 5) tipologia di muratura secondo NTC2018 (tab. : [PD] in pietrame disordinata; [CB] a conci di pietra sbalzati; [PS] in pietre a spacco regolare; [TI] irregolare in pietra tenera; [TR] regolare in pietra tenera; [LS] in blocchi lapidei squadrati; [MP] in mattoni pieni; [MS] in mattoni semipieni; [MIS] con tessitura mista (laterizio/pietra); [BS] in blocchi di calcestruzzo |
| 6) data di costruzione della muratura o [NN] non nota |
| 7) utilizzo di spessori tra martinetto piatto e muratura: [Si/No] |
| 8) condizioni ambientali (T/RH) al momento dell'esecuzione della prova |
| 9) valore della pressione che ha portato all'annullamento dello spostamento dopo il taglio, in bar |
| 10) descrizione degli eventuali scostamenti dal metodo normalizzato, di tutte le variazioni, le aggiunte o le esclusioni rispetto alla specifica di prova e le eventuali anomalie riscontrate o [ND] nulla da dichiarare |
| 11) indicazioni fornite dal richiedente o riscontrate dal laboratorio in merito alla documentazione e modalità di identificazione e qualificazione del materiale o [ND] nulla da dichiarare |

Padova (PD), 08/03/2022

Lo sperimentatore
ing. Marchesini Fabio Pietro

Il Direttore del Laboratorio
ing. Casarin Filippo

Laboratorio autorizzato ad effettuare e certificare le prove ed i controlli sui materiali da costruzione su strutture e costruzioni esistenti del Settore A e del Settore C della Circolare 633/STC del 03/12/2019, con estensione alle prove facoltative. Per l'elenco completo delle prove ed i controlli per i quali Expin srl è autorizzato ad effettuare certificati si rimanda al seguente link: www.expin.it/autorizzazioni-e-certificazioni.

CERTIFICATO DI PROVA N. C2022/0117
 Emendamento del certificato n° ____

N. Pratica: 142/2021 Codice commessa: 211202_CPD
 Committente: Comune di Padova
 Richiedente: Ing. Rigon Michele Ruolo ricoperto: Direttore Lavori
 Cantiere: Ponte San Leonardo
 Indirizzo: Via Savonarola, Padova (PD)

SHOVE TEST
 RILEM 127 MS-D.6

| | | | | | |
|---------------------------------|-------|------------|------------|------------------------|---|
| Test n. | SV.01 | Data prova | 08/03/2022 | Materiale ² | M |
| Tipologia edilizia ¹ | MM | Ora prova | 11.30 | Metodo ³ | B |



Documentazione fotografica

Risultati

| | | | |
|-------------------------------|------------------------|------------------|------------------------|
| A ⁴ | 71500 mm ² | τ^7 | 1.57 N/mm |
| F _{max} ⁵ | 112 kN | $\tau_{0,min}^8$ | 0.83 N/mm ² |
| σ_0^6 | 0.46 N/mm ² | $\tau_{0,max}^9$ | 1.43 N/mm ² |

Si rimanda all'allegato "Localizzazione dei punti di indagine", parte integrante del presente certificato.

Note¹⁰: Il valore di σ_0 riportato si riferisce al valore ricavato dal martinetto piatto singolo, se presente, eseguito nelle immediate vicinanze della prova. Studi di laboratorio dimostrano che il coefficiente d'attrito tra la malta e la muratura, μ , varia tra 0.3 e 1.6; vengono quindi riportati i valori di τ_0 minimo e massimo dipendenti dal coefficiente d'attrito.

Osservazioni¹¹: ND

Strumentazione utilizzata: EXP160, EXP097, EXP009

Padova (PD), li 08/03/2022
 Lo sperimentatore
 ing. Fabio Pietro Marchesini

Il direttore del Laboratorio
 ing. Filippo Casarin

CERTIFICATO DI PROVA N. C2022/0117

Emendamento del certificato n° ____

Legenda:

- 1) tipologia edilizia: [MM] edificio in muratura; [MC] edificio in muratura e cls;
- 2) materiale testato: [M] mattone pieno; [P] pietra; [L] laterizio forato
- 3) metodo utilizzato per lo svolgimento della prova
- 4) area totale dei due letti di malta orizzontali interessati dalla prova
- 5) forza massima registrata allo slittamento del mattone
- 6) la tensione verticale stimata / misurata.
- 7) resistenza media a taglio dei giunti di malta
- 8) tensione del giunto con carico verticale nullo (coefficiente d'attrito $m = 1.6$)
- 9) tensione del giunto con carico verticale nullo (coefficiente d'attrito $m = 0.3$)
- 10) descrizione degli eventuali scostamenti dal metodo normalizzato, di tutte le variazioni, le aggiunte o le esclusioni rispetto alla specifica di prova e le eventuali anomalie riscontrate o [ND] nulla da dichiarare
- 11) indicazioni fornite dal richiedente o riscontrate dal laboratorio in merito alla documentazione e modalità di identificazione e qualificazione del materiale o [ND] nulla da dichiarare

Padova (PD), lì 08/03/2022

Lo sperimentatore

ing. Fabio Pietro Marchesini

Il direttore del Laboratorio

ing. Filippo Casarin

Laboratorio autorizzato ad effettuare e certificare le prove ed i controlli sui materiali da costruzione su strutture e costruzioni esistenti del Settore A e del Settore C della Circolare 633/STC del 03/12/2019, con estensione alle prove facoltative. Per l'elenco completo delle prove ed i controlli per i quali Expin srl è autorizzato ad effettuare certificati si rimanda al seguente link: www.expin.it/autorizzazioni-e-certificazioni.

CERTIFICATO DI PROVA N. C2022/0118
 Emendamento del certificato n° ____

N. Pratica: 142/2021 Codice commessa: 211202_CPD
 Committente: Comune di Padova
 Richiedente: Ing. Rigon Michele Ruolo ricoperto: Direttore Lavori
 Cantiere: Ponte San Leonardo
 Indirizzo: Via Savonarola, Padova (PD)

INDAGINI ENDOSCOPICHE

UNI EN 13018:2016 - Raccomandazioni NORMAL 42/93

| test n. | VE.01 | VE.02 | VE.03 | VE.04 | VE.05 | VE.06 | | | | |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--|--|--|--|
| Data prova | 08/03/22 | 08/03/22 | 08/03/22 | 08/03/22 | 08/03/22 | 08/03/22 | | | | |
| Ora prova | 13.40 | 13.45 | 13.50 | 14.00 | 15.00 | 15.30 | | | | |
| Tipo elemento ¹ | P | A | A | A | P | A | | | | |
| Localizzazione ² | - | - | - | - | - | - | | | | |
| Spessore elemento ³ [cm] | ND | ND | ND | ND | ND | ND | | | | |
| Profondità foro [cm] | 118 | 120 | 121 | 63 | 108 | 121 | | | | |
| <i>Si rimanda all'allegato "Localizzazione plano-altimetrica dei punti di misura", parte integrante del presente certificato.</i> | | | | | | | | | | |
| Note ⁵ : ND | | | | | | | | | | |
| Osservazioni ⁶ : ND | | | | | | | | | | |
| Strumentazione utilizzata: EXP233 | | | | | | | | | | |

Legenda:

- 1) tipo elemento: [P] parete; [S] solaio; [A] arco ; [aa] altro
- 2) localizzazione: indicazione del piano dove è stata eseguita la prova o quota da terra in metri
- 3) spessore totale dell'elemento o [ND] nulla da dichiarare se non rilevabile
- 4) descrizione degli eventuali scostamenti dal metodo normalizzato, di tutte le variazioni, le aggiunte o le esclusioni rispetto alla specifica di prova e le eventuali anomalie riscontrate o [ND] nulla da dichiarare
- 5) descrizione degli eventuali scostamenti dal metodo normalizzato, di tutte le variazioni, le aggiunte o le esclusioni rispetto alla specifica di prova e le eventuali anomalie riscontrate o [ND] nulla da dichiarare
- 6) indicazioni fornite dal richiedente o riscontrate dal laboratorio in merito alla documentazione e modalità di identificazione e qualificazione del materiale o [ND] nulla da dichiarare

 Padova (PD), li 08/03/2022
 Lo sperimentatore
ing. Fabio Pietro Marchesini

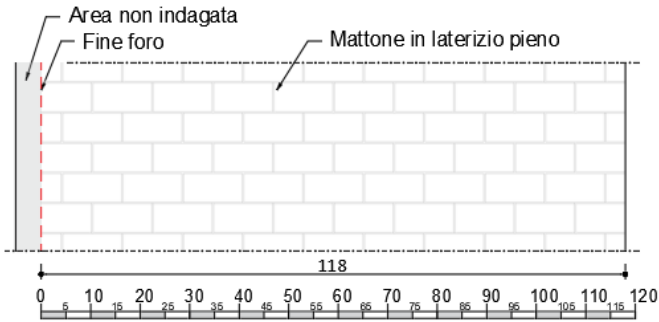
 Il direttore del Laboratorio
ing. Filippo Casarin
Laboratorio autorizzato ad effettuare e certificare le prove ed i controlli sui materiali da costruzione su strutture e costruzioni esistenti del Settore A e del Settore C della Circolare 633/STC del 03/12/2019, con estensione alle prove facoltative. Per l'elenco completo delle prove ed i controlli per i quali Expin srl è autorizzato ad effettuare certificati si rimanda al seguente link: www.expin.it/autorizzazioni-e-certificazioni.

CERTIFICATO DI PROVA N. C2022/0118

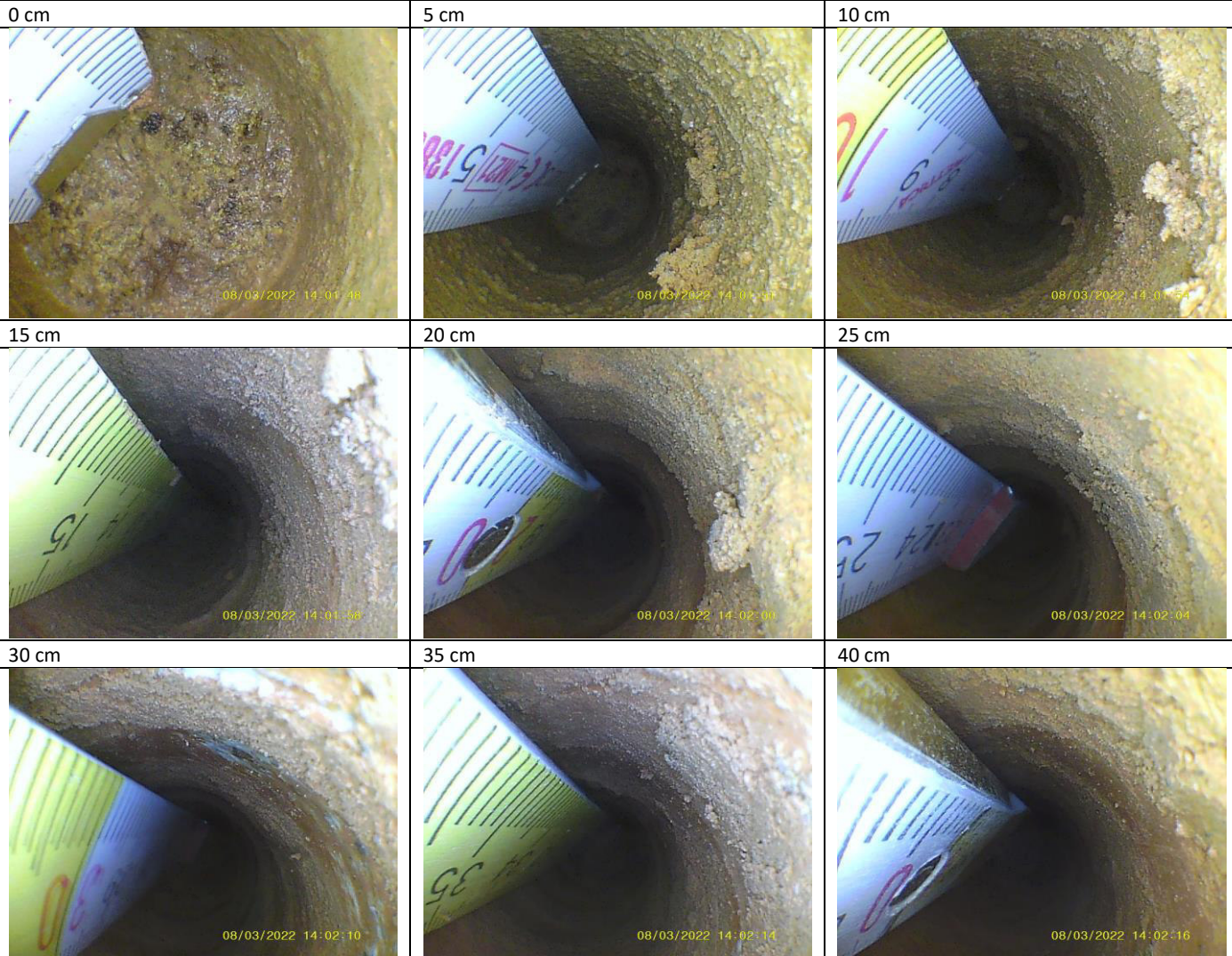
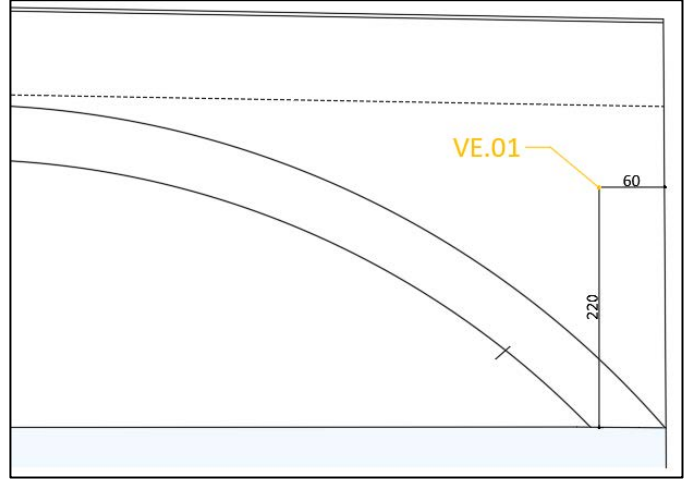
Emendamento del certificato n° ____

VE.01

Stratigrafia rilevata [cm]



Localizzazione dell'elemento: prospetto a monte



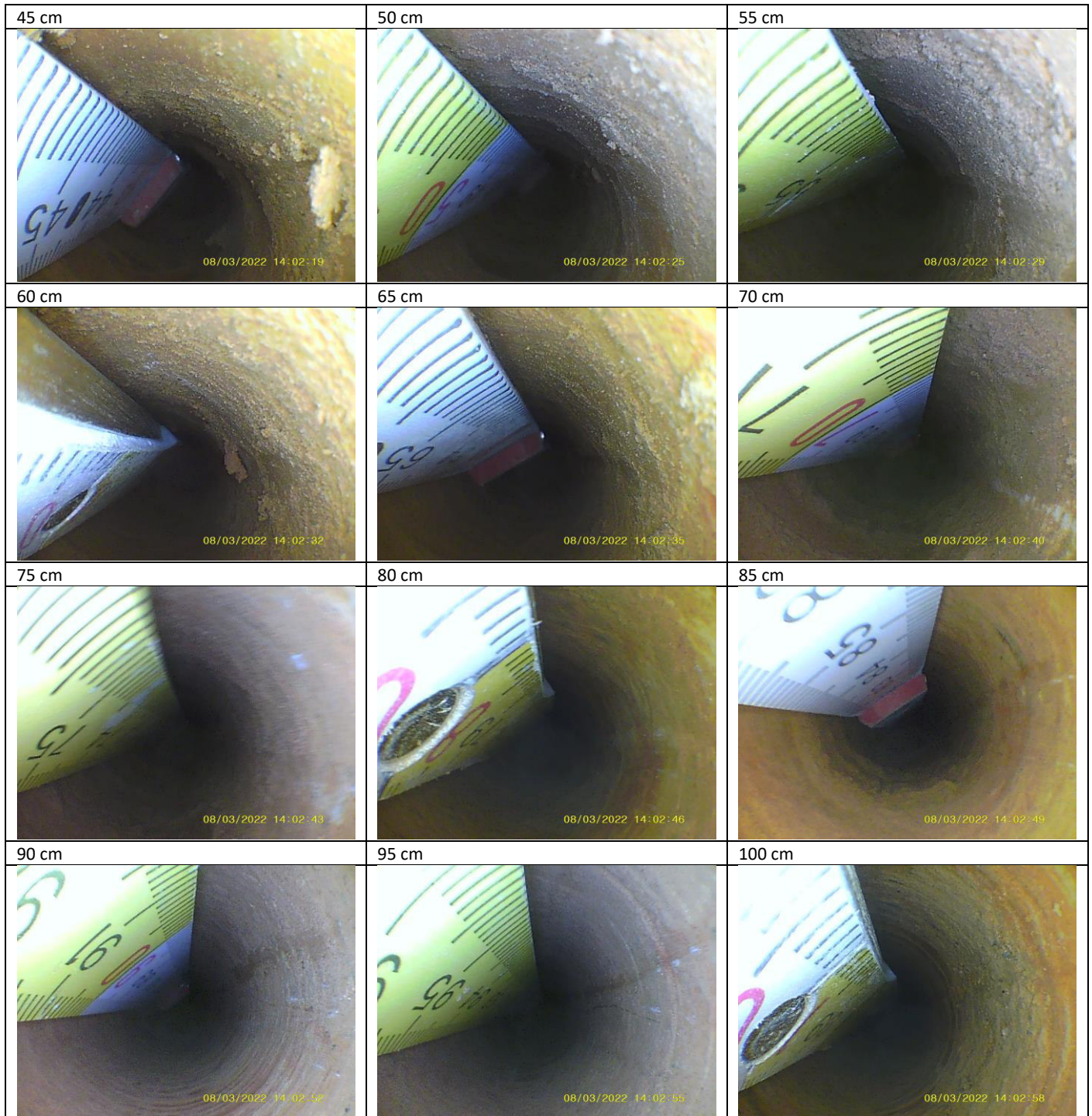
Padova (PD), li 08/03/2022
Lo sperimentatore
ing. Fabio Pietro Marchesini

Il direttore del Laboratorio
ing. Filippo Casarin

Laboratorio autorizzato ad effettuare e certificare le prove ed i controlli sui materiali da costruzione su strutture e costruzioni esistenti del Settore A e del Settore C della Circolare 633/STC del 03/12/2019, con estensione alle prove facoltative. Per l'elenco completo delle prove ed i controlli per i quali Expin srl è autorizzato ad effettuare certificati si rimanda al seguente link: www.expin.it/autorizzazioni-e-certificazioni.

CERTIFICATO DI PROVA N. C2022/0118

Emendamento del certificato n° ____







Padova (PD), li 08/03/2022
Lo sperimentatore
ing. Fabio Pietro Marchesini

Il direttore del Laboratorio
ing. Filippo Casarin

Laboratorio autorizzato ad effettuare e certificare le prove ed i controlli sui materiali da costruzione su strutture e costruzioni esistenti del Settore A e del Settore C della Circolare 633/STC del 03/12/2019, con estensione alle prove facoltative. Per l'elenco completo delle prove ed i controlli per i quali Expin srl è autorizzato ad effettuare certificati si rimanda al seguente link: www.expin.it/autorizzazioni-e-certificazioni.

CERTIFICATO DI PROVA N. C2022/0118

Emendamento del certificato n° ____

| 105 cm | 110 cm | 115 cm |
|---|---|---|
|  |  |  |
| <p>120 cm</p>  | | |

Padova (PD), lì 08/03/2022

Lo sperimentatore

ing. Fabio Pietro Marchesini

Il direttore del Laboratorio

ing. Filippo Casarin

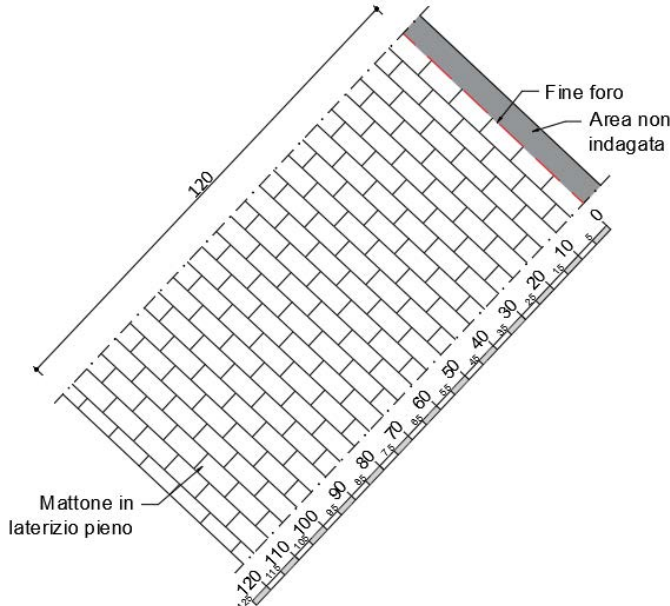
Laboratorio autorizzato ad effettuare e certificare le prove ed i controlli sui materiali da costruzione su strutture e costruzioni esistenti del Settore A e del Settore C della Circolare 633/STC del 03/12/2019, con estensione alle prove facoltative. Per l'elenco completo delle prove ed i controlli per i quali Expin srl è autorizzato ad effettuare certificati si rimanda al seguente link: www.expin.it/autorizzazioni-e-certificazioni.

CERTIFICATO DI PROVA N. C2022/0118

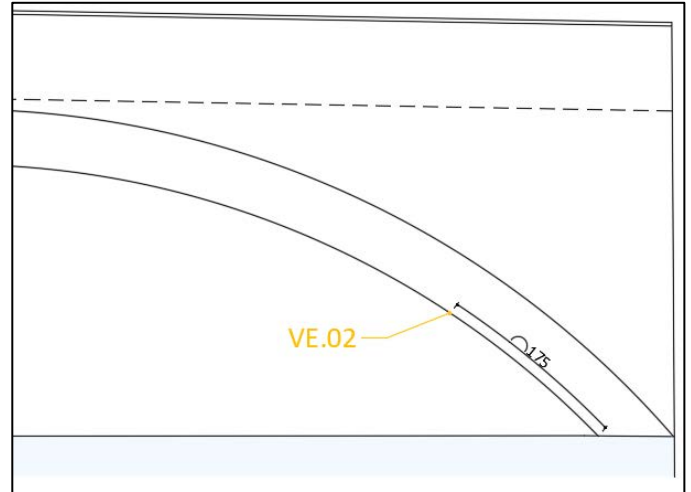
Emendamento del certificato n° ____

VE.02

Stratigrafia rilevata [cm]



Localizzazione dell'elemento: intradosso arco



0 cm



5 cm



10 cm



15 cm



20 cm



25 cm



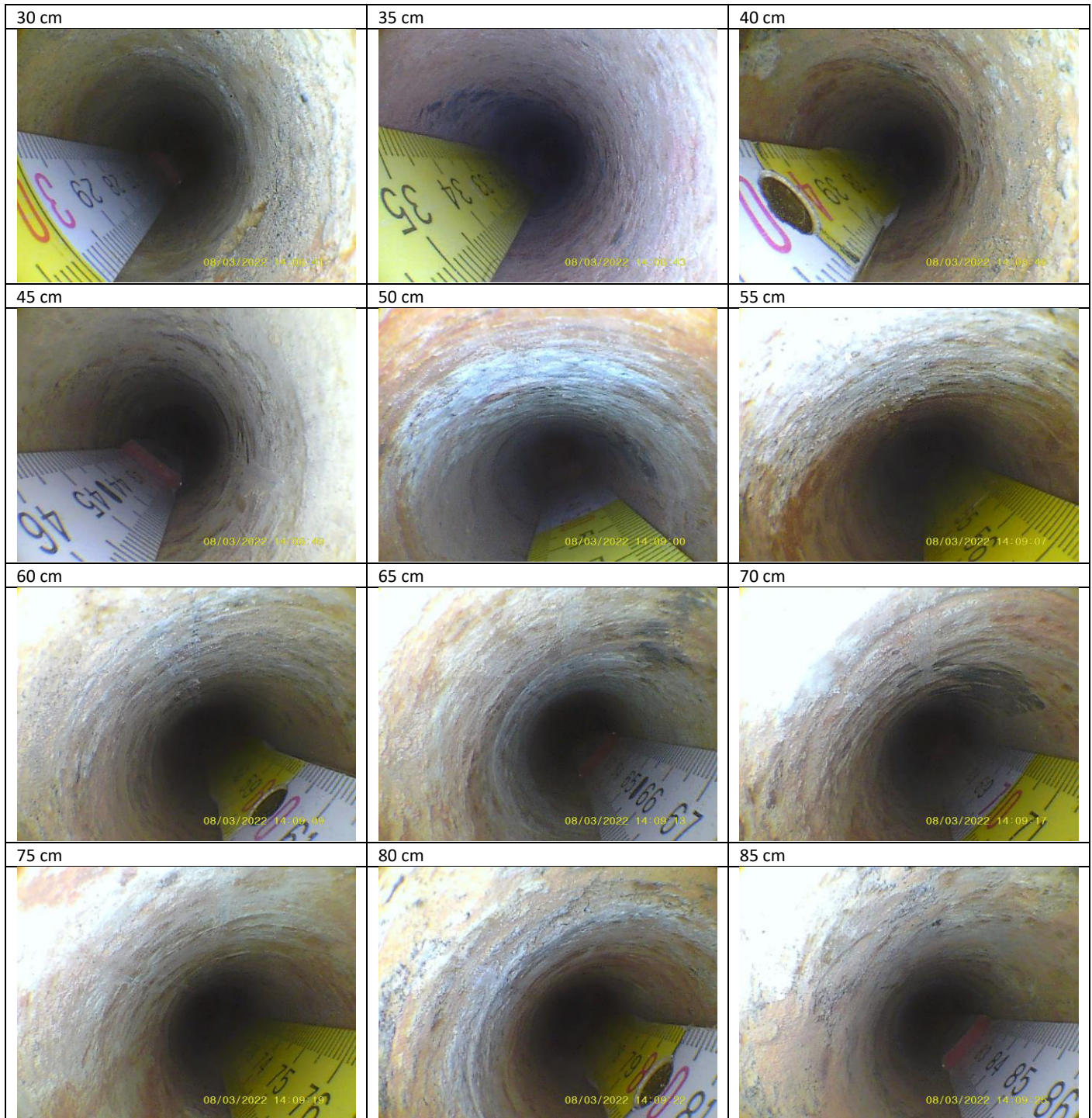
Padova (PD), li 08/03/2022
Lo sperimentatore
ing. Fabio Pietro Marchesini

Il direttore del Laboratorio
ing. Filippo Casarin

Laboratorio autorizzato ad effettuare e certificare le prove ed i controlli sui materiali da costruzione su strutture e costruzioni esistenti del Settore A e del Settore C della Circolare 633/STC del 03/12/2019, con estensione alle prove facoltative. Per l'elenco completo delle prove ed i controlli per i quali Expin srl è autorizzato ad effettuare certificati si rimanda al seguente link: www.expin.it/autorizzazioni-e-certificazioni.

CERTIFICATO DI PROVA N. C2022/0118

Emendamento del certificato n° ____



Padova (PD), li 08/03/2022

Lo sperimentatore

ing. Fabio Pietro Marchesini

Il direttore del Laboratorio

ing. Filippo Casarin

Laboratorio autorizzato ad effettuare e certificare le prove ed i controlli sui materiali da costruzione su strutture e costruzioni esistenti del Settore A e del Settore C della Circolare 633/STC del 03/12/2019, con estensione alle prove facoltative. Per l'elenco completo delle prove ed i controlli per i quali Expin srl è autorizzato ad effettuare certificati si rimanda al seguente link: www.expin.it/autorizzazioni-e-certificazioni.

CERTIFICATO DI PROVA N. C2022/0118

Emendamento del certificato n° ____

| | | |
|--|---|---|
| 90 cm  08/03/2022 14:09:28 | 95 cm  08/03/2022 14:09:32 | 100 cm  08/03/2022 14:09:34 |
| 105 cm  08/03/2022 14:09:39 | 110 cm  08/03/2022 14:09:42 | 115 cm  08/03/2022 14:09:45 |
| 120 cm  08/03/2022 14:09:51 | 125 cm  08/03/2022 14:09:57 | |

Padova (PD), li 08/03/2022
Lo sperimentatore
ing. Fabio Pietro Marchesini

Il direttore del Laboratorio
ing. Filippo Casarin

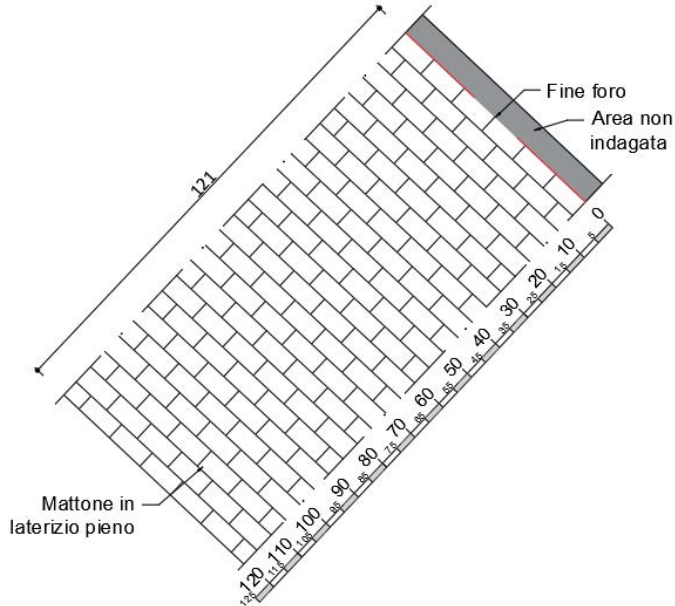
Laboratorio autorizzato ad effettuare e certificare le prove ed i controlli sui materiali da costruzione su strutture e costruzioni esistenti del Settore A e del Settore C della Circolare 633/STC del 03/12/2019, con estensione alle prove facoltative. Per l'elenco completo delle prove ed i controlli per i quali Expin srl è autorizzato ad effettuare certificati si rimanda al seguente link: www.expin.it/autorizzazioni-e-certificazioni.

CERTIFICATO DI PROVA N. C2022/0118

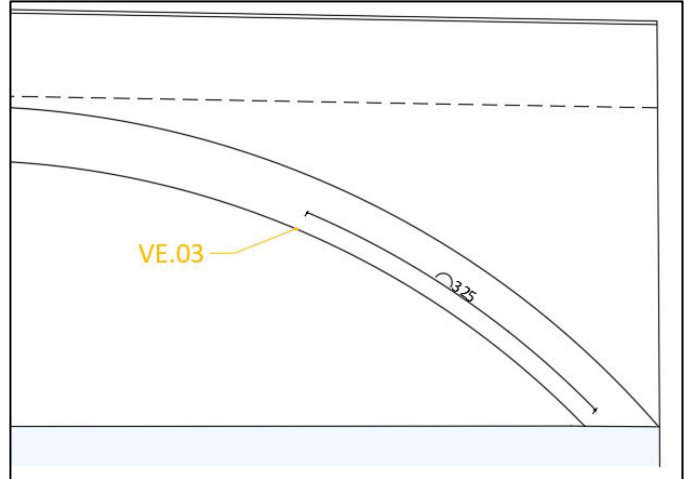
Emendamento del certificato n° ____

VE.03

Stratigrafia rilevata [cm]



Localizzazione dell'elemento: intradosso arco



5 cm



10 cm



15 cm



20 cm



25 cm



30 cm



Padova (PD), lì 08/03/2022

Lo sperimentatore

ing. Fabio Pietro Marchesini

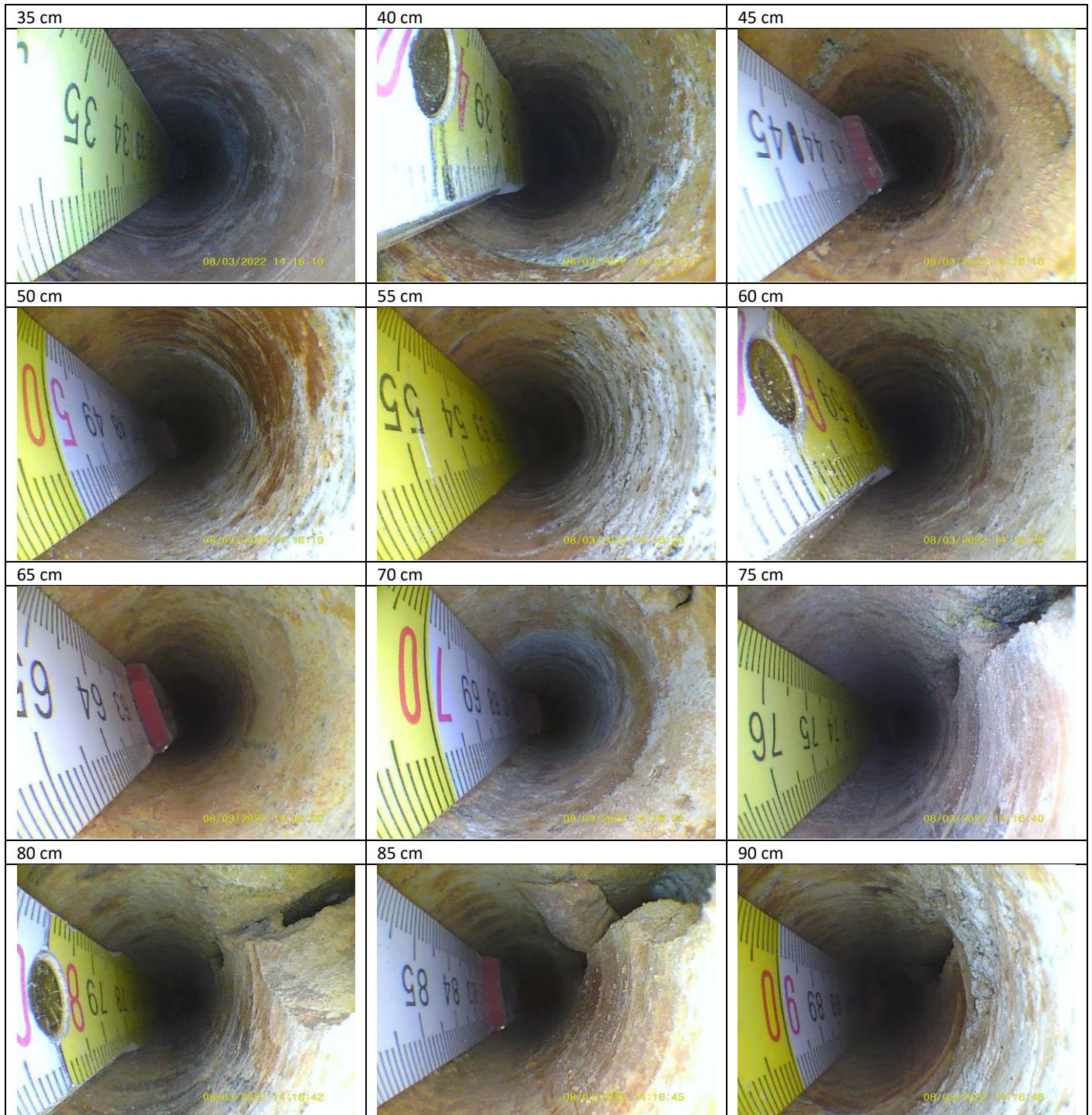
Il direttore del Laboratorio

ing. Filippo Casarin

Laboratorio autorizzato ad effettuare e certificare le prove ed i controlli sui materiali da costruzione su strutture e costruzioni esistenti del Settore A e del Settore C della Circolare 633/STC del 03/12/2019, con estensione alle prove facoltative. Per l'elenco completo delle prove ed i controlli per i quali Expin srl è autorizzato ad effettuare certificati si rimanda al seguente link: www.expin.it/autorizzazioni-e-certificazioni.

CERTIFICATO DI PROVA N. C2022/0118

Emendamento del certificato n° ____



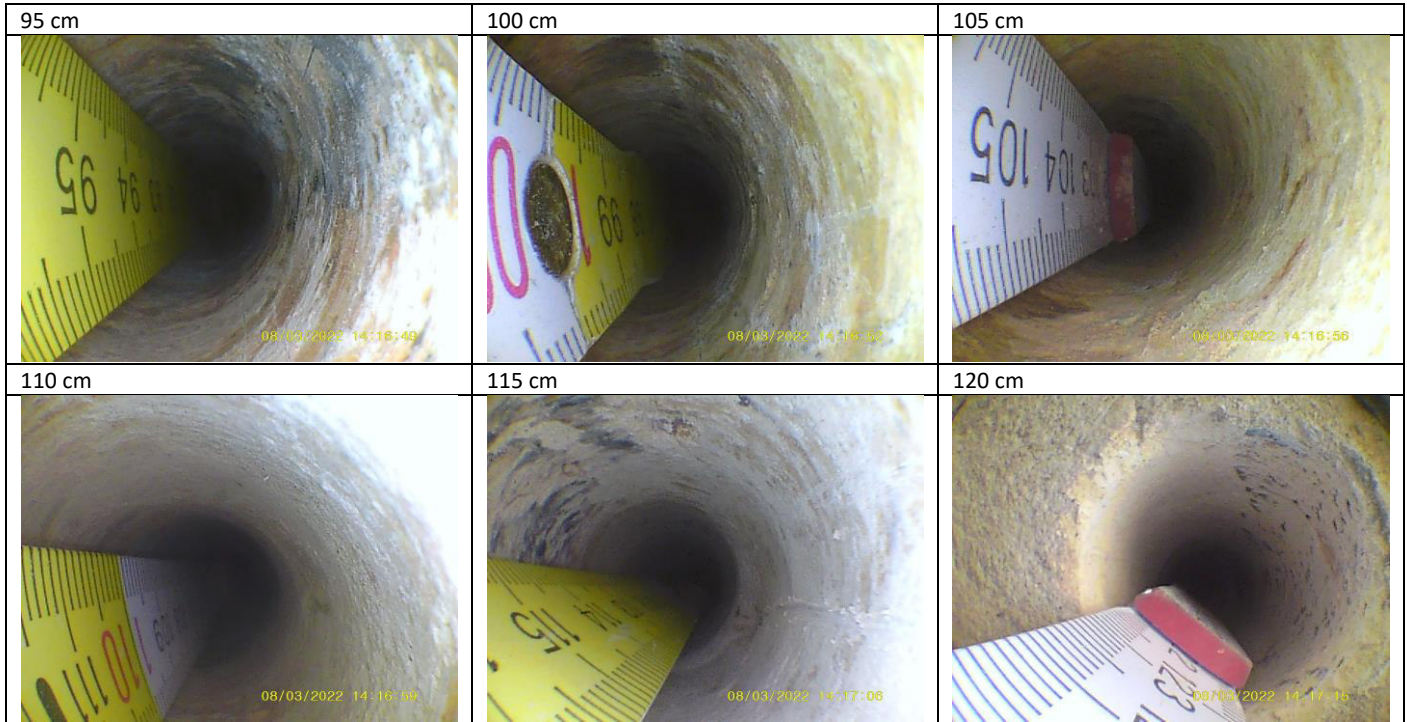
Padova (PD), li 08/03/2022
Lo sperimentatore
ing. Fabio Pietro Marchesini

Il direttore del Laboratorio
ing. Filippo Casarin

Laboratorio autorizzato ad effettuare e certificare le prove ed i controlli sui materiali da costruzione su strutture e costruzioni esistenti del Settore A e del Settore C della Circolare 633/STC del 03/12/2019, con estensione alle prove facoltative. Per l'elenco completo delle prove ed i controlli per i quali Expin srl è autorizzato ad effettuare certificati si rimanda al seguente link: www.expin.it/autorizzazioni-e-certificazioni.

CERTIFICATO DI PROVA N. C2022/0118

Emendamento del certificato n° ____



Padova (PD), lì 08/03/2022

Lo sperimentatore

ing. Fabio Pietro Marchesini

Il direttore del Laboratorio

ing. Filippo Casarin

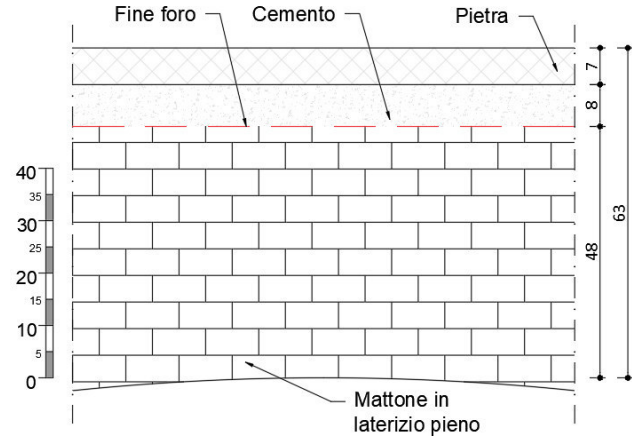
Laboratorio autorizzato ad effettuare e certificare le prove ed i controlli sui materiali da costruzione su strutture e costruzioni esistenti del Settore A e del Settore C della Circolare 633/STC del 03/12/2019, con estensione alle prove facoltative. Per l'elenco completo delle prove ed i controlli per i quali Expin srl è autorizzato ad effettuare certificati si rimanda al seguente link: www.expin.it/autorizzazioni-e-certificazioni.

CERTIFICATO DI PROVA N. C2022/0118

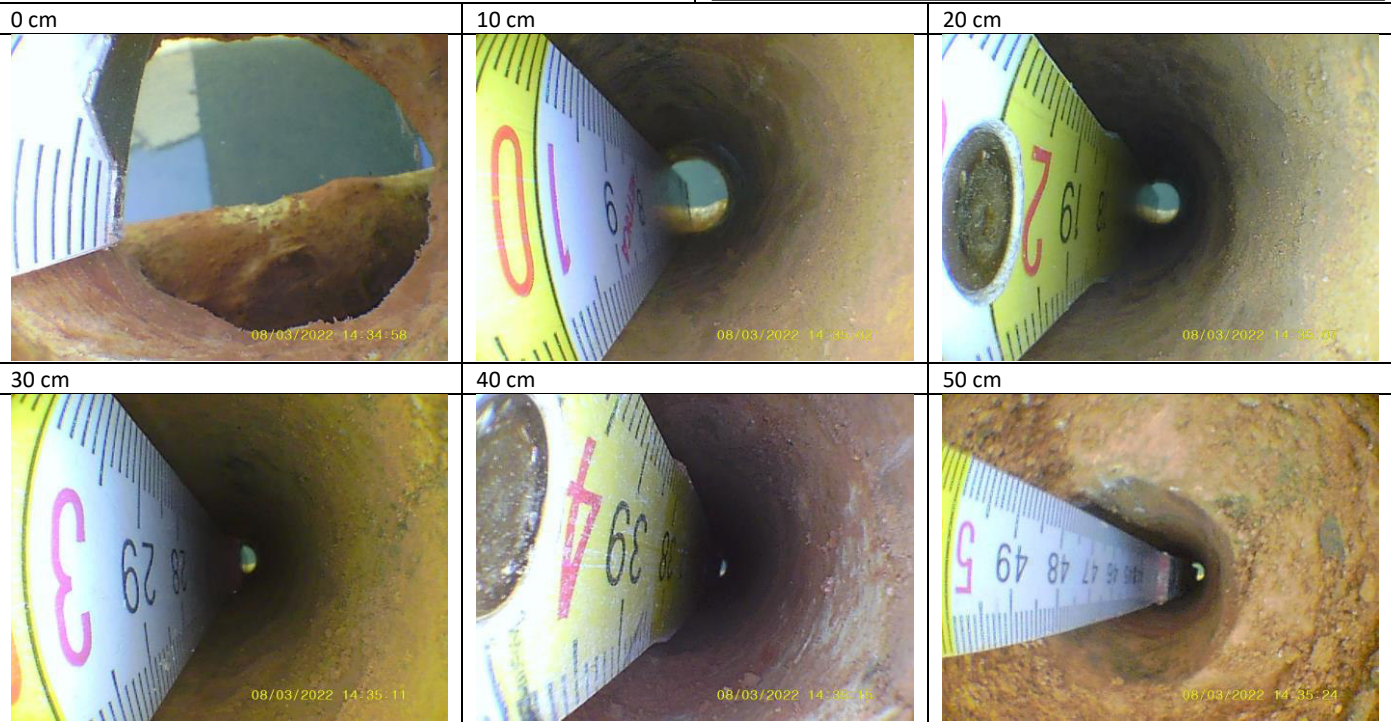
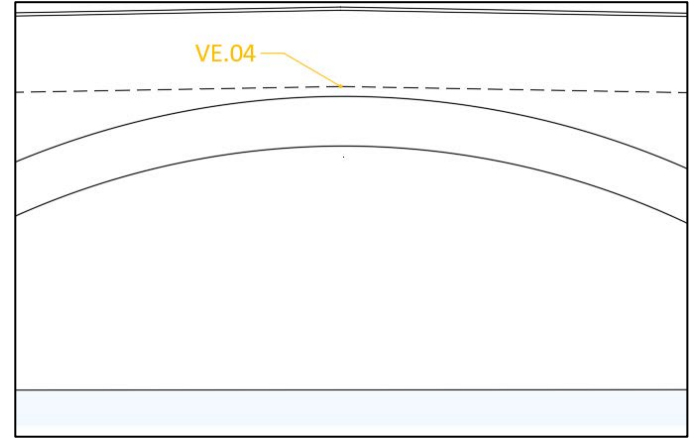
Emendamento del certificato n° ____

VE.04

Stratigrafia rilevata [cm]



Localizzazione dell'elemento: estradosso chiave arco



Scavo superiore

Padova (PD), li 08/03/2022
Lo sperimentatore
ing. Fabio Pietro Marchesini

Il direttore del Laboratorio
ing. Filippo Casarin

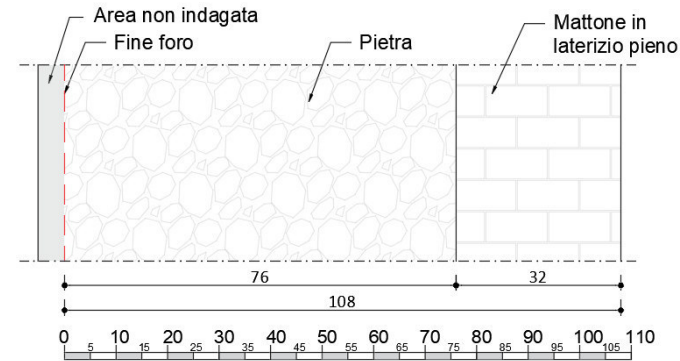
Laboratorio autorizzato ad effettuare e certificare le prove ed i controlli sui materiali da costruzione su strutture e costruzioni esistenti del Settore A e del Settore C della Circolare 633/STC del 03/12/2019, con estensione alle prove facoltative. Per l'elenco completo delle prove ed i controlli per i quali Expin srl è autorizzato ad effettuare certificati si rimanda al seguente link: www.expin.it/autorizzazioni-e-certificazioni.

CERTIFICATO DI PROVA N. C2022/0118

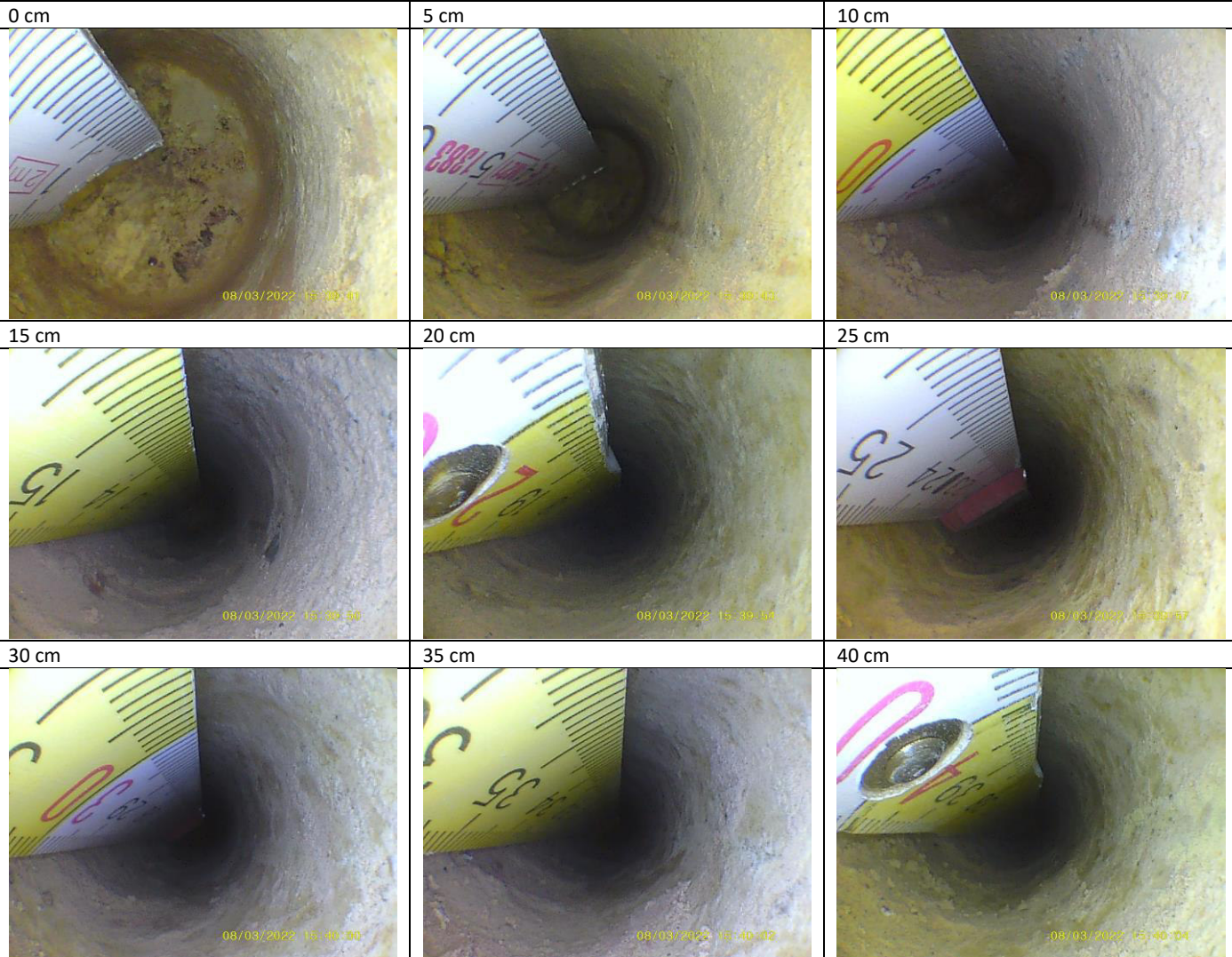
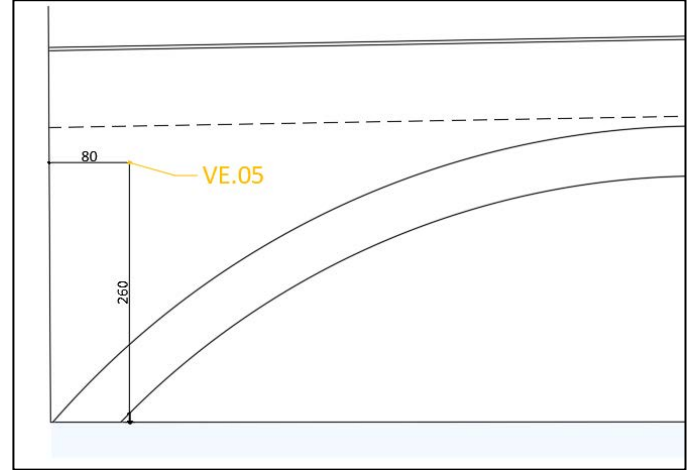
Emendamento del certificato n° ____

VE.05

Stratigrafia rilevata [cm]



Localizzazione dell'elemento: prospetto a valle



Padova (PD), li 08/03/2022

Lo sperimentatore

ing. Fabio Pietro Marchesini

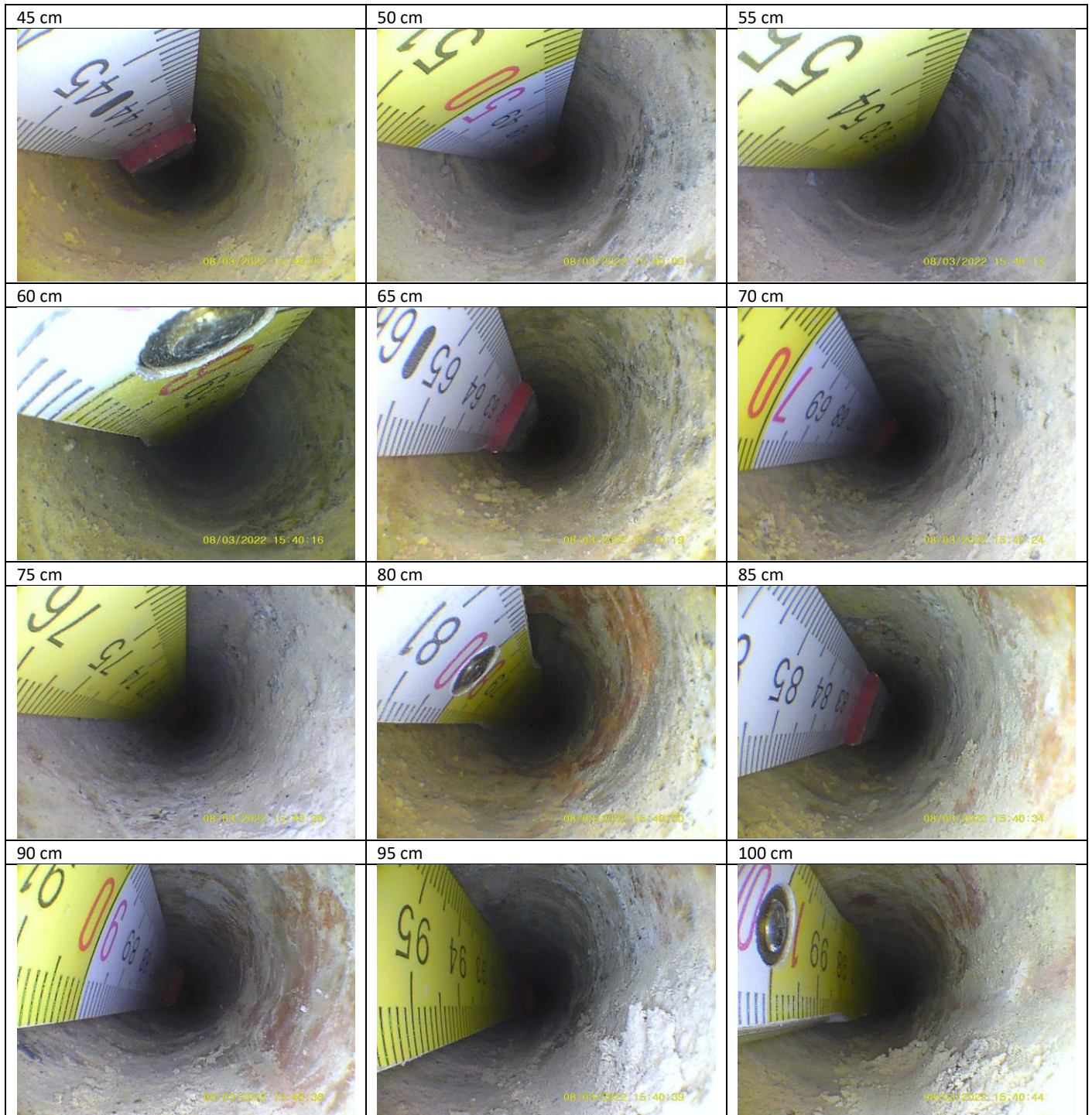
Il direttore del Laboratorio

ing. Filippo Casarin

Laboratorio autorizzato ad effettuare e certificare le prove ed i controlli sui materiali da costruzione su strutture e costruzioni esistenti del Settore A e del Settore C della Circolare 633/STC del 03/12/2019, con estensione alle prove facoltative. Per l'elenco completo delle prove ed i controlli per i quali Expin srl è autorizzato ad effettuare certificati si rimanda al seguente link: www.expin.it/autorizzazioni-e-certificazioni.

CERTIFICATO DI PROVA N. C2022/0118

Emendamento del certificato n° ____



Padova (PD), li 08/03/2022
Lo sperimentatore
ing. Fabio Pietro Marchesini

Il direttore del Laboratorio
ing. Filippo Casarin

Laboratorio autorizzato ad effettuare e certificare le prove ed i controlli sui materiali da costruzione su strutture e costruzioni esistenti del Settore A e del Settore C della Circolare 633/STC del 03/12/2019, con estensione alle prove facoltative. Per l'elenco completo delle prove ed i controlli per i quali Expin srl è autorizzato ad effettuare certificati si rimanda al seguente link: www.expin.it/autorizzazioni-e-certificazioni.

CERTIFICATO DI PROVA N. C2022/0118

Emendamento del certificato n° ____

| 105 cm | 110 cm | |
|--|--|--|
|  |  | |

Padova (PD), lì 08/03/2022

Lo sperimentatore

ing. Fabio Pietro Marchesini

Il direttore del Laboratorio

ing. Filippo Casarin

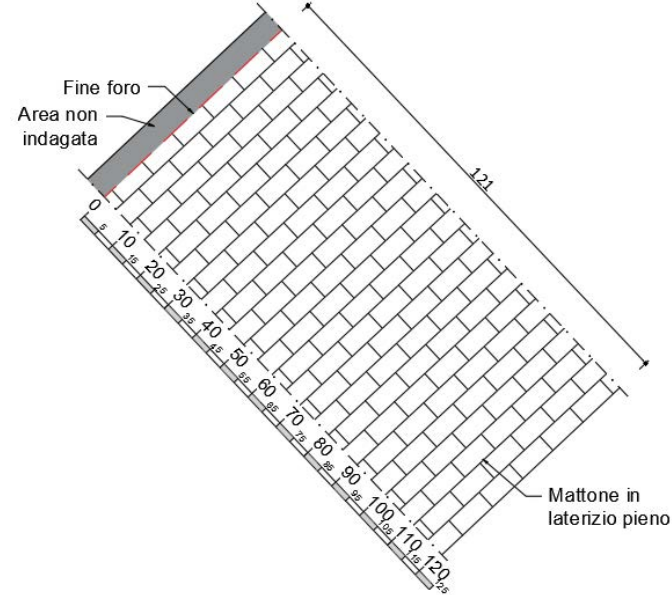
Laboratorio autorizzato ad effettuare e certificare le prove ed i controlli sui materiali da costruzione su strutture e costruzioni esistenti del Settore A e del Settore C della Circolare 633/STC del 03/12/2019, con estensione alle prove facoltative. Per l'elenco completo delle prove ed i controlli per i quali Expin srl è autorizzato ad effettuare certificati si rimanda al seguente link: www.expin.it/autorizzazioni-e-certificazioni.

CERTIFICATO DI PROVA N. C2022/0118

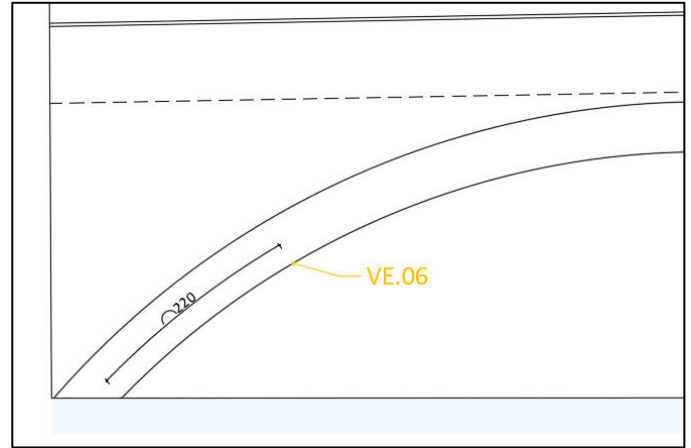
Emendamento del certificato n° ____

VE.06

Stratigrafia rilevata [cm]



Localizzazione dell'elemento: intradosso arco



0 cm



5 cm



10 cm



15 cm



20 cm



25 cm



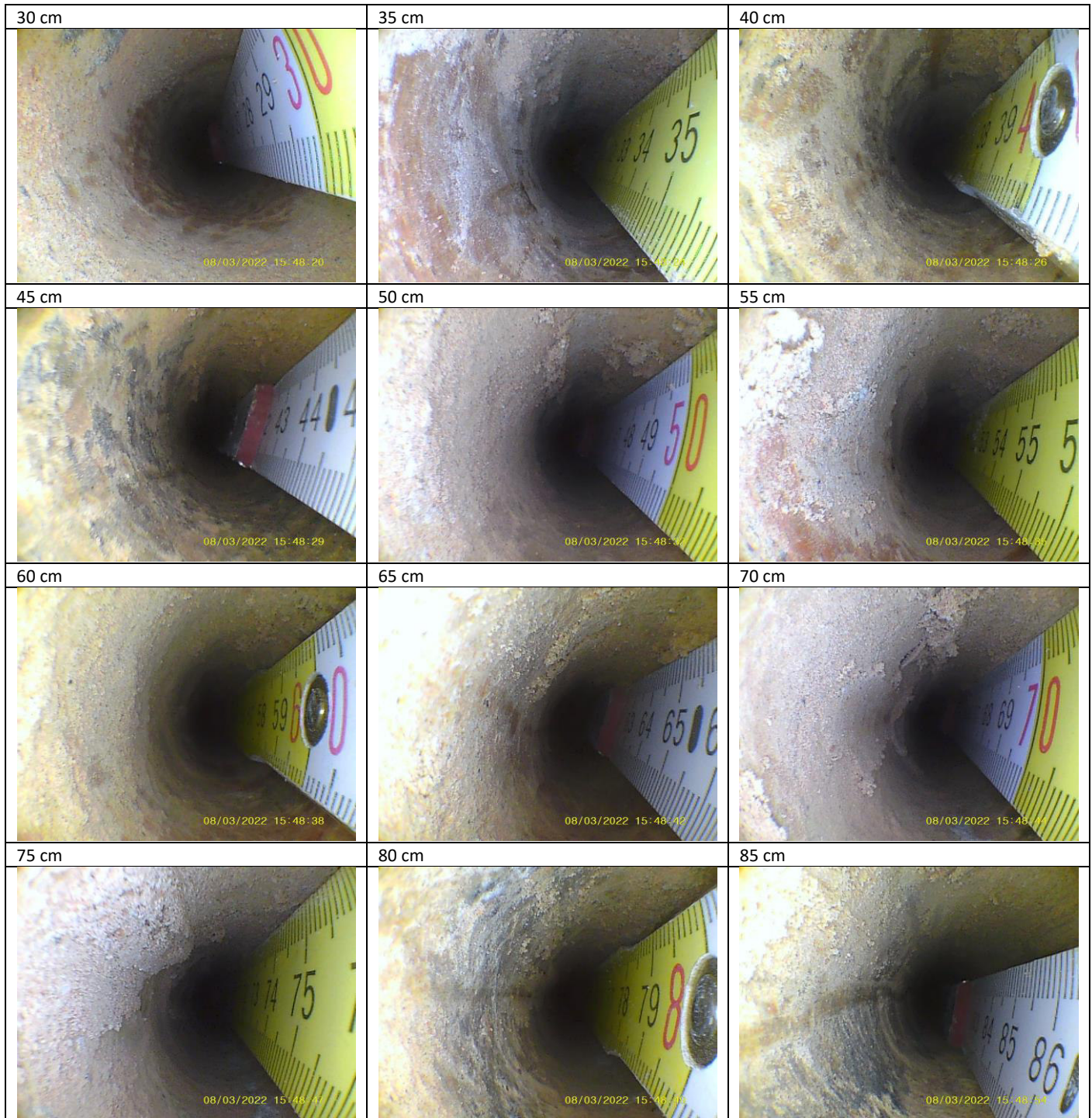
Padova (PD), li 08/03/2022
Lo sperimentatore
ing. Fabio Pietro Marchesini

Il direttore del Laboratorio
ing. Filippo Casarin

Laboratorio autorizzato ad effettuare e certificare le prove ed i controlli sui materiali da costruzione su strutture e costruzioni esistenti del Settore A e del Settore C della Circolare 633/STC del 03/12/2019, con estensione alle prove facoltative. Per l'elenco completo delle prove ed i controlli per i quali Expin srl è autorizzato ad effettuare certificati si rimanda al seguente link: www.expin.it/autorizzazioni-e-certificazioni.

CERTIFICATO DI PROVA N. C2022/0118

Emendamento del certificato n° ____



Padova (PD), lì 08/03/2022

Lo sperimentatore

ing. Fabio Pietro Marchesini









Il direttore del Laboratorio

ing. Filippo Casarin

Laboratorio autorizzato ad effettuare e certificare le prove ed i controlli sui materiali da costruzione su strutture e costruzioni esistenti del Settore A e del Settore C della Circolare 633/STC del 03/12/2019, con estensione alle prove facoltative. Per l'elenco completo delle prove ed i controlli per i quali Expin srl è autorizzato ad effettuare certificati si rimanda al seguente link: www.expin.it/autorizzazioni-e-certificazioni.

CERTIFICATO DI PROVA N. C2022/0118

Emendamento del certificato n° ____

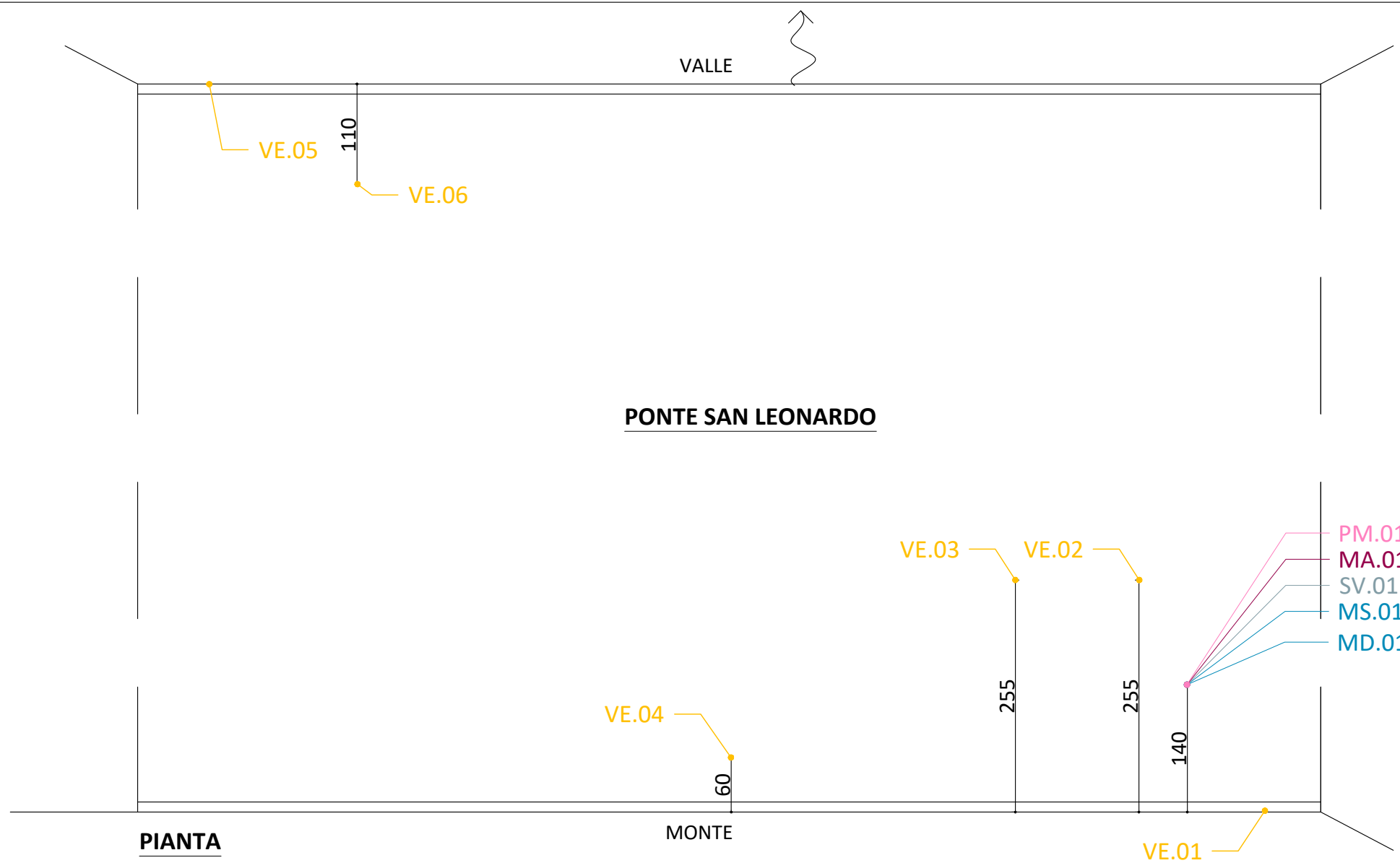
| | | |
|---|--|--|
| 90 cm  | 95 cm  | 100 cm  |
| 105 cm  | 110 cm  | 115 cm  |
| 120 cm  | 125 cm  | |

Padova (PD), li 08/03/2022
Lo sperimentatore
ing. Fabio Pietro Marchesini

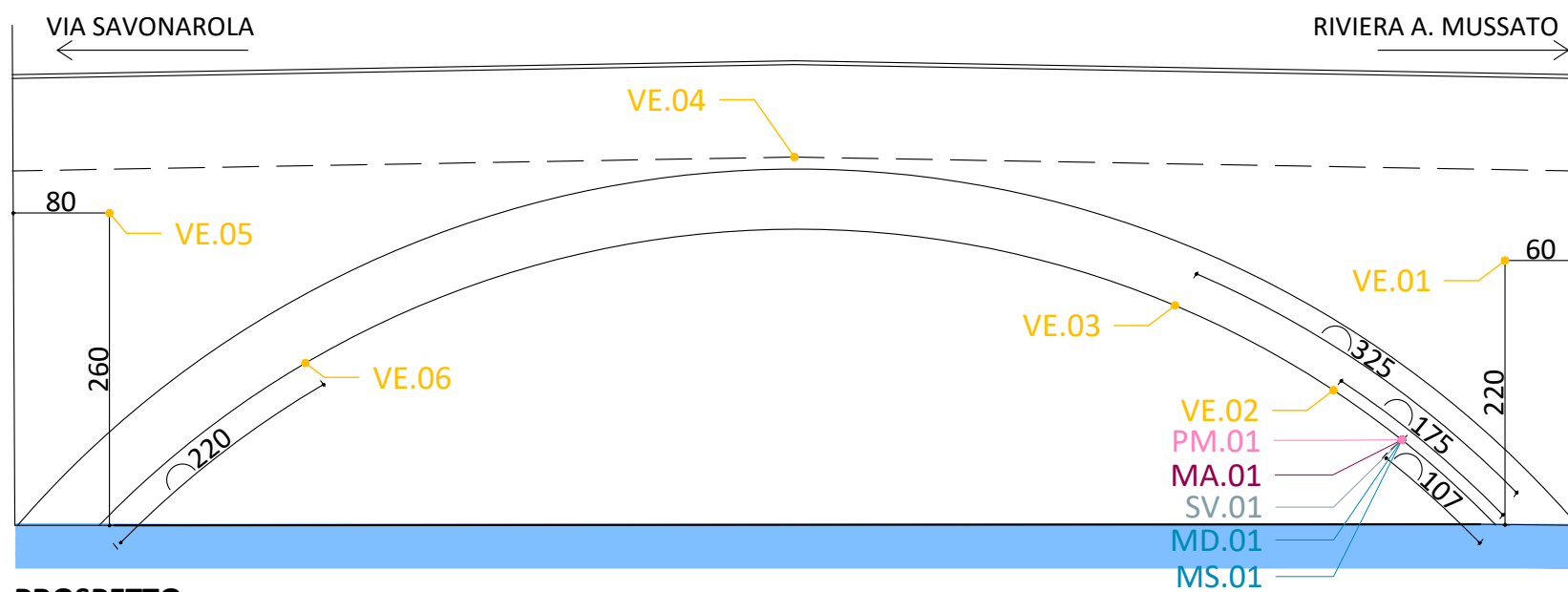
Il direttore del Laboratorio
ing. Filippo Casarin

Laboratorio autorizzato ad effettuare e certificare le prove ed i controlli sui materiali da costruzione su strutture e costruzioni esistenti del Settore A e del Settore C della Circolare 633/STC del 03/12/2019, con estensione alle prove facoltative. Per l'elenco completo delle prove ed i controlli per i quali Expin srl è autorizzato ad effettuare certificati si rimanda al seguente link: www.expin.it/autorizzazioni-e-certificazioni.

ALLEGATO 2 – INDIVIDUAZIONE UNIVOCA DELLE INDAGINI



PIANTA



PROSPETTO

| LEGENDA | | |
|--------------------|----------|--|
| n. prove per piano | ID prova | Definizione prova |
| 1 | MS | Prova con martinetto piatto singolo |
| 1 | MD | Prova con martinetto piatto doppio |
| 1 | SV | Shove test |
| 6 | VE | Indagine endoscopica |
| 1 | PM | Prelievo di mattone con schiacciamento |
| 1 | MA | Analisi di campioni di malta |

ALLEGATO AL CERTIFICATO DI PROVA
INDICAZIONE PLANO-ALTIMETRICA DEI
PUNTI DI MISURA

Pag. 1/1

| | |
|---------------------------------|---|
| N. Pratica: 142-2021 | Codice Commessa: 211202_CPD |
| Committente: Comune di Padova | |
| Richiedente: Ing. Rigon Michele | Ruolo ricoperto: Direttore Lavori |
| Cantiere: Ponte San Leonardo | Indirizzo: Via Savonarola - Padova (PD) |

Il direttore del laboratorio:
ing. Filippo Casarin

Lo sperimentatore:
ing. Fabio Pietro Marchesini

Padova (PD), 08.03.2022



Laboratorio per prove e controlli sui materiali da costruzione su strutture e costruzioni esistenti (c-bis)
art. 59, comma 2, D.P.R. n. 380/2001 e circolare
n. 633/STC del 03/12/2019 - Settore A e Settore C.
Autorizzazione M_INF.CSLP n. 0000001 del 03.01.2022



Expin s.r.l., Laboratorio con Sistema Qualità Certificato ISO 9001:2015
Sede Legale: via Pisacane 34, 35138 Padova (PD) - Sede operativa: via Pana'
56ter, 35027 Noventa Padovana (PD) - tel 049761595 - P.I. 04502850284 -
PEC: expin@italypec.it - info@expin.it - www.expin.it

ALLEGATO 3 – CERTIFICATI DI PROVA DI LABORATORI UFFICIALI

Cliente
Customer
EXPIN SRL
VIA PANA', 56TER
35027 NOVENTA PADOVANA (PD)
ITALY

| | | | | | |
|------------------------------|--------------------------------------|--|--------------------------|--------------------------------------|-----------------|
| Vs. Rif. Your Ref. | Luca Scarmagnan | Ordine n. Order n. | Richiesta cliente | Data: Date: | 10/03/22 |
| | | Data Ricev. Sample received Date | 10/03/22 | Data Camp.: Sampling Date: | - |
| Ns. Rif. Our Ref. | Verbale accettazione n° 52553 | Commessa Job | 220623 | Data: Date: | 10/03/22 |

Note:
Remarks:

Località del cantiere:
Ponte San Leonardo di Padova (PD)

Norme di collaudo:
Standard reference

Il presente report comprende n°2 pagine compresa questa cover e quelle di seguito descritte:



This Report is made of n° 2 pages including this cover plus the following pages:

| Prova Test | Pag. Pag. |
|---|--------------|
| Prova di compressione su mattone pieno | 2 |

Il presente Rapporto di Prova (RPR) comprende i risultati dei test eseguiti sui seguenti materiali:

This Report (RPR) contains tests results for the following materials:

| Rif. Ref. | Identificazione Identification | Materiale dichiarato dal cliente Material declared by client | DN [mm] | Thk [mm] | Note Remarks |
|--------------|-----------------------------------|---|--------------|---------------|-----------------------------------|
| MIF 1921 | N° 1 mattone pieno | Mattone pieno | -- | -- | Prelievo ad opera del committente |

| | | | | |
|---|-------------------------|------------------------------|------------------------------|---|
| Responsabile di Laboratorio / Lab Manager | Cliente / Client | Ispettore / Inspector | Ispettore / Inspector |  Laboratorio autorizzato dal Ministero dei Lavori Pubblici per prove secondo legge 1086/71 |
|  Donato Toldo | | | | |

Condizioni generali:

- Il committente si impegna a sottostare alle condizioni generali e tariffe stabilite dal Laboratorio per l'esecuzione delle prove.
- I risultati delle prove verranno comunicati solo per mezzo di rapporto di prova , salvo diversi accordi contrattuali.
- Il materiale residuo di prova verrà inviato a rottame dopo 30 giorni della stessa, salvo diversa richiesta scritta del Committente.
- Il materiale giacente verrà inviato a rottame dopo 3 mesi dal ricevimento, salvo diversa richiesta scritta del Committente.
- I risultati riportati nel seguente rapporto di prova si riferiscono ai soli oggetti provati citati nel presente.
- La data ricevimento materiale corrisponde alla data di apertura commessa, la data di esecuzione della/e prova/e corrisponde alla data del rapporto di prova , salvo diversa informazione.
- Il Laboratorio ha esaminato i materiali forniti dal Cliente come campionati dal medesimo in accordo agli standard richiesti.
- Questo rapporto di prova non può essere riprodotto se non integralmente, senza preventiva autorizzazione scritta del Laboratorio emittente.
- Salvo diverso accordo, saranno applicati i termini e le condizioni di vendita (MOD20-P1R5E2).
- Se non diversamente specificato, le prove sono state eseguite nella sede di via Visco 7/a, 35010 Limena (PD)
- Opinioni ed interpretazioni rilasciate dal laboratorio si basano su risultati del campione sottoposto a prova e che non potranno essere utilizzate come unico input per la certificazione di prodotto.
- I risultati si riferiscono al campione così come ricevuto

| | | | |
|--------------|------------------------|---------------|-------------------------|
| Issue No: 02 | Issue Date: 07/04/2010 | Review No: 06 | Review Date: 12/06/2020 |
| MOD5-P1R6E2 | | | |

| | | | | |
|-------------------------------------|--|---------------------------|----------|--|
| Descrizione prova/Test description: | Prova di compressione su mattone pieno | | | |
| Metodo di Prova/Test method: | Determinazione della resistenza a compressione su mattone pieno secondo Specifica Cliente. | | | |
| Strumentazione/Equipments: | 869 - 1365 | | | |
| Inizio prova/Initial test date: | 15/03/22 | Fine prova/End test date: | 22/03/22 | |

RISULTATI DELLA PROVA / TEST RESULTS
MIF 1921 - N° 1 CAMPIONE DI MATTONE PIENO
Ponte San Leonardo di Padova (PD)

| Sigla Laboratorio | Sigla Cliente | DATA DEL PRELIEVO | DATA DELLA PROVA | DIMENSIONI (mm) | | | RESISTENZA TOTALE (KN) | RESISTENZA UNITARIA (N/mm ²) |
|-------------------|---------------|-------------------|------------------|-----------------|-----------|---------|------------------------|--|
| | | | | Lunghezza | Larghezza | Altezza | | |
| MIF 1921 - 1 | PM.01 | n.d. | 22/03/21 | 276,6 | 132,3 | 67,2 | 1095,3 | 29,94 |

**Note
Remarks**

N.D. NON DICHIARATO NEL MODULO DI RICHIESTA
 PRELIEVO A CURA DEL COMMITTENTE

IL PROVINO PRIMA DELLA PROVA E' STATO SOTTOPOSTO A CAPPATURA SU ENTRAMBI I LATI.

LA COMPRESSIONE È STATA APPLICATA IN DIREZIONE ORTOGONALE AL LETTO DI POSA DELLA MALTA.

IL PROVINO E' STATO SOTTOPOSTO A COMPRESSIONE SENZA APPLICARE ALCUN CONDIZIONAMENTO PRIMA DELLA PROVA.

Operatore / Operator
Cliente / Client
Ispettore / Inspector

P.A. Francesco MORANDIN




ALLEGATO 4 – RAPPORTI DI PROVA SPECIALISTICI



CONSULENZA
E DIAGNOSTICA
PER IL RESTAURO
E LA CONSERVAZIONE

COMUNE DI PADOVA

PONTE SAN LEONARDO

STUDIO MINERALOGICO-PETROGRAFICO

DELLA MALTA DI ALLETTAMENTO DELLE MURATURE

21 Marzo 2022

COMMITTENTE:

EXPIN srl

via Panà, 56 Ter

Noventa Padovana (PD)

Dr. Geol. Davide Melica





1. PREMESSA

Nell'ambito di una campagna di indagini strutturali condotta presso il "Ponte San Leonardo", nel comune di Padova, su incarico della Società *EXPIN srl* è stato eseguito uno studio mineralogico-petrografico su un campione di malta di allettamento, al fine di definire i caratteri compositivi, tessiturali e microstrutturali dell'impasto.

Il campione, fornito dalla Committenza, è descritto sinteticamente nella tabella che segue:

| Campione | Tipo di campione | Zona di prelievo |
|----------|---|-------------------|
| MA.01 | frammento di malta di allettamento di colore bianco | (non specificata) |

2. TECNICA IMPIEGATA

La tecnica impiegata per la caratterizzazione della malta è brevemente descritta di seguito:

- **microscopia ottica in luce trasmessa polarizzata**, su preparato allestito in sezione sottile (*Normal 14/83*); tale tecnica consente di realizzare uno studio mineralogico-petrografico finalizzato all'identificazione dei componenti mineralogici del legante e dell'aggregato, e delle caratteristiche tessiturali e microstrutturali dell'impasto (*Norma UNI 11176:2006 – Descrizione petrografica di una malta*).

I risultati sono riportati nella scheda analitica allegata e si riferiscono al solo campione esaminato. Le determinazioni micrometriche sono espresse in millimetri o in micron (μm , $1 \mu\text{m} = 0.001 \text{ mm}$).

3. RISULTATI

Le osservazioni microscopiche, effettuate su un preparato allestito in sezione sottile, consentono di stabilire quanto segue:

- la malta è caratterizzata da una matrice legante di natura carbonatica, originata dal processo di carbonatazione di una calce aerea; in base al suo colore d'interferenza ed alla presenza di orli di reazione su alcuni clasti dell'aggregato (dolomie, selce) si ritiene che possa trattarsi di una calce magnesiaca (tale dato dovrebbe essere confermato da analisi chimiche di approfondimento);
- l'aggregato è rappresentato da una sabbia del Fiume Brenta ed è composto da granuli di calcari micritici e di dolomie cristalline, da frammenti di rocce metamorfiche (gneiss, scisti, quarziti, filladi) e di rocce vulcaniche (porfidi quarziferi, graniti e tracce di basalti);



- la granulometria dei clasti è abbastanza ben selezionata; ricadono infatti in netta prevalenza nell'intervallo 0.2-0.45 mm (classi *arenacea media* e *arenacea fine*);
- il rapporto legante/aggregato viene stimato intorno a 1:1 in volume.
- non si osservano leganti cementizi;
- il campione risulta tenace e compatto e si trova in buono stato di conservazione.

La tabella riporta una sintesi dei caratteri compositivi e tessiturali della malta:

| sigla | Legante (L) | Aggregato (A) | Granulometria dell'aggregato (mm) | L:A (in volume) |
|-------|-------------|-----------------|-----------------------------------|-----------------|
| MA.01 | calce aerea | sabbia di fiume | 0.04-1 prev. 0.2-0.45 | 1:1 |

21 Marzo 2022

Dr. Geol. Davide Melica



RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI:

- AA.VV., 1983: *Sezioni sottili e lucide di materiali lapidei: tecnica di allestimento* Raccomandazioni NORMAL 14/83, ICR-CNR, Roma;
- Baroni G, Zecchin F., 1995: *Le pietre nelle architetture minori del Veneto*. Servizi Grafici Editoriali, Padova;
- Ingham J. P., 2011: *Geomaterials under the microscope. A color guide*, Manson publishing;
- Pecchioni E., Fratini F., Cantisani E., 2008. *Le malte antiche e moderne: tra tradizione e innovazione*. Patron Editore, Bologna;
- Pecchioni E., Fratini F., Cantisani E., 2014: *Atlante delle malte antiche in sezione sottile al microscopio ottico*. Nardini Editore, Firenze;
- Zanettin B., 1955: *Note illustrative della Carta Geologica delle Tre Venezie. Fogli "Venezia" e "Adria"*. Ufficio Idrografico del Magistrato alle Acque. Società Cooperativa Tipografica, Padova.



SCHEDA CAMPIONE MA.01

- Tipo di prelievo** : frammento di malta di allettamento di colore bianco
- Zona di prelievo** : non specificata
- Finalità delle analisi** : caratterizzazione compositiva, tessiturale e microstrutturale
- Analisi eseguite** : microscopia ottica in luce trasmessa polarizzata su sezione sottile

| DESCRIZIONE MACROSCOPICA | | |
|--------------------------|---------------------------------|--|
| 1 | Tipologia | frammento di malta |
| 2 | Aspetto dimensionale | arenaceo medio-fine |
| 3 | Aspetto strutturale | omogeneo |
| 4 | Colore | |
| 4.1. | o di massa | bianco |
| 4.2. | o dei singoli clasti | grigio, beige, nero |
| 5 | Coesione (valutazione empirica) | medio-alta (si spezza senza disgregarsi) |
| 6 | Fasi secondarie | non riconoscibili |

MICROSCOPIA OTTICA SU SEZIONE SOTTILE

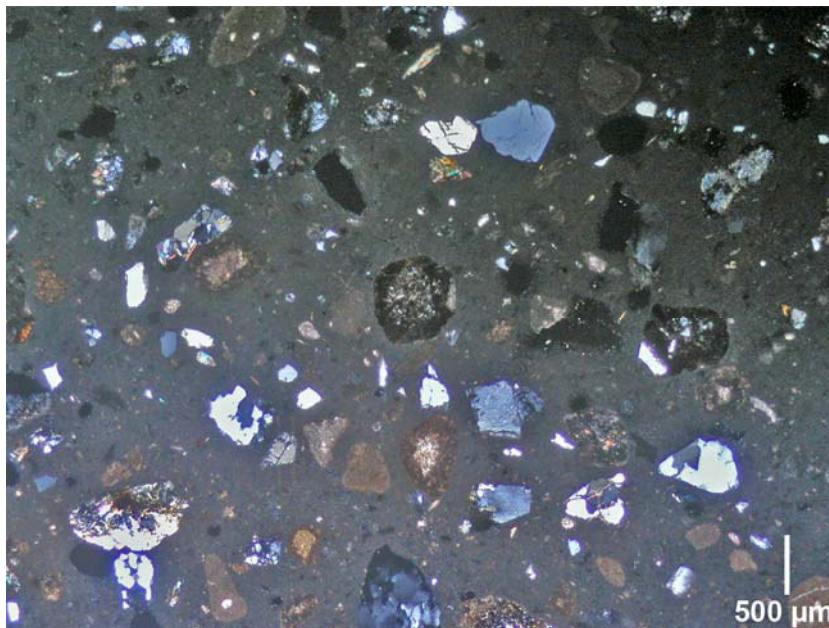
| DESCRIZIONE MICROSCOPICA DELLA MATRICE LEGANTE | | |
|--|-----------------------------|---|
| 1 | Composizione mineralogica | Il legante è costituito da carbonato di calcio (CaCO_3) dovuto all'uso di <u>calce aerea</u> . |
| 2 | Struttura | debolmente grumosa |
| 3 | Tessitura | colloforme-micritica (cristalli $<4 \mu\text{m}$) |
| 4 | Interazioni con l'aggregato | presenti orli di reazione su alcuni clasti di dolomia |
| 5 | Vuoti | |
| 5.1. | o tipologia | pori |
| 5.2. | o ubicazione | nella matrice (vuoti intergranulari) |
| 5.3. | o % in volume | bassa (~15%) |
| 5.4. | o origine | primaria (originatasi durante i processi di presa e di indurimento) |



| DESCRIZIONE MICROSCOPICA DELL'AGGREGATO | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------------------------------------|---|----------------------------------|---|--|----|--|----|--|----|--|----|-------------------------------------|--------|
| 1 | Granulometria | | | | | | | | | | | | | |
| 1.1. | o dimensioni (valori indicativi) | <p>Variabile da siltosa grossolana ad arenacea grossolana (0.04-1 mm) ma in prevalenza arenacea media e arenacea fine (0.2-0.45 mm). I clasti si distribuiscono nelle varie classi granulometriche con le percentuali riportate nella tabella che segue:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>classi granulometriche</th> <th>%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>arenacea grossolana (0.5-1 mm)</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>arenacea media (0.25-0.5 mm)</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td>arenacea fine (0.125-0.25 mm)</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>arenacea molto fine (0.062-0.125 mm)</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>siltosa grossolana (0.031-0.062 mm)</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table> | classi granulometriche | % | arenacea grossolana (0.5-1 mm) | 10 | arenacea media (0.25-0.5 mm) | 35 | arenacea fine (0.125-0.25 mm) | 30 | arenacea molto fine (0.062-0.125 mm) | 20 | siltosa grossolana (0.031-0.062 mm) | 5 |
| classi granulometriche | % | | | | | | | | | | | | | |
| arenacea grossolana (0.5-1 mm) | 10 | | | | | | | | | | | | | |
| arenacea media (0.25-0.5 mm) | 35 | | | | | | | | | | | | | |
| arenacea fine (0.125-0.25 mm) | 30 | | | | | | | | | | | | | |
| arenacea molto fine (0.062-0.125 mm) | 20 | | | | | | | | | | | | | |
| siltosa grossolana (0.031-0.062 mm) | 5 | | | | | | | | | | | | | |
| 1.2. | o classazione | medio-alta | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Forma (sfericit  e arrotondamento) | contorni variabili da angolosi ad arrotondati in funzione del grado di durezza dei clasti; sfericit  media o bassa | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Morfologia superficiale | liscia o sfaccettata | | | | | | | | | | | | |
| 4 | Orientamento | assente | | | | | | | | | | | | |
| 5 | Distribuzione | omogenea | | | | | | | | | | | | |
| 6 | Composizione % (valori indicativi) | <p>I clasti hanno una composizione carbonatica e silicatica; in ordine di abbondanza decrescente si osservano le specie mineralogiche riportate nella tabella seguente:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>tipo mineralogico o petrografico</th> <th>%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>• frammenti di rocce sedimentarie carbonatiche riferibili a calcari micritici e, in subordine, a dolomie cristalline</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td>• frammenti di rocce metamorfiche (gneiss, scisti, quarziti, filladi) costituiti da quarzo spesso associato a feldspati e/o a miche (muscovite, clorite)</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>• frammenti di rocce vulcaniche effusive (porfidi quarziferi e rari basalti)</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>• frammenti di rocce vulcaniche intrusive costituite da grandi cristalli di quarzo e di feldspato alcalino (graniti)</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>• frammenti di serpentiniti</td> <td>tracce</td> </tr> </tbody> </table> | tipo mineralogico o petrografico | % | • frammenti di rocce sedimentarie carbonatiche riferibili a calcari micritici e, in subordine, a dolomie cristalline | 35 | • frammenti di rocce metamorfiche (gneiss, scisti, quarziti, filladi) costituiti da quarzo spesso associato a feldspati e/o a miche (muscovite, clorite) | 25 | • frammenti di rocce vulcaniche effusive (porfidi quarziferi e rari basalti) | 25 | • frammenti di rocce vulcaniche intrusive costituite da grandi cristalli di quarzo e di feldspato alcalino (graniti) | 15 | • frammenti di serpentiniti | tracce |
| tipo mineralogico o petrografico | % | | | | | | | | | | | | | |
| • frammenti di rocce sedimentarie carbonatiche riferibili a calcari micritici e, in subordine, a dolomie cristalline | 35 | | | | | | | | | | | | | |
| • frammenti di rocce metamorfiche (gneiss, scisti, quarziti, filladi) costituiti da quarzo spesso associato a feldspati e/o a miche (muscovite, clorite) | 25 | | | | | | | | | | | | | |
| • frammenti di rocce vulcaniche effusive (porfidi quarziferi e rari basalti) | 25 | | | | | | | | | | | | | |
| • frammenti di rocce vulcaniche intrusive costituite da grandi cristalli di quarzo e di feldspato alcalino (graniti) | 15 | | | | | | | | | | | | | |
| • frammenti di serpentiniti | tracce | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | Aggiunte | - | | | | | | | | | | | | |
| 8 | Rapporto legante/aggregato | 1:1 in volume | | | | | | | | | | | | |



| CONCLUSIONI | | |
|-------------|---------------------------------|---|
| 1 | Definizione del tipo di impasto | Si tratta di una malta costituita da <u>calce aerea carbonatata</u> e <u>sabbia di fiume</u> . La sabbia ha origine alluvionale ed ha natura silicatica e carbonatica; è composta infatti da frammenti calcarei e dolomitici e da litotipi metamorfici e vulcanici. Le dimensioni dei clasti ricadono in prevalenza nelle frazioni granulometriche arenacea media e arenacea fine (0.2-0.45 mm); il loro diametro massimo è di 1 mm. Il rapporto legante/aggregato viene stimato intorno a 1:1 in volume. |
| 2 | Stato di conservazione | Il campione è sufficientemente tenace e non mostra particolari sintomi di degrado. |



Camp. MA.01: microfotografia della sezione sottile (luce trasmessa, N+).



Camp MA.01: dettaglio (luce trasmessa, N+).

STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA - AMBIENTALE - IDROGEOLOGIA
Dott. Sergio Drago
GEOLOGO

**REGIONE VENETO – PROVINCIA DI PADOVA
COMUNE DI PADOVA**

PROGETTO
**PROVE PROPEDEUTICHE ALLA REDAZIONE DI PROGETTI
PER LA MANUTENZIONE DEI PONTI STRADALI IN CEMENTO
ARMATO E MURATURA
- PONTE DI VIA SAN LEONARDO -**

ELABORATO
RELAZIONE GEOLOGICA E DI RISPOSTA SISMICA DI SITO

DATA:
marzo 2022

COMMESSA:
002.3 geo/2022

COMMITTENTE
EXPIN SRL

Dott Geol. Sergio Drago



Dott. Geol. Sergio Drago - Via Piovega 41b - 35010 Borgoricco (PD)
Mob: 347.7206547 - Fax: 049.9335590 - mail: geologia.drago@gmail.com
P.IVA 04847730282

INDICE

| | |
|---|----|
| 1. PREMESSA | 4 |
| 2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO | 6 |
| 3. VINCOLI E PRESCRIZIONI URBANISTICHE DI NATURA GEOLOGICA..... | 15 |
| 4. INQUADRAMENTO SISMICO GENERALE DELL'AREA | 17 |
| 5. INDAGINE DI RISPOSTA SISMICA LOCALE..... | 21 |
| 6. INDAGINI IN SITO – PROVA PENETROMETRICA | 22 |
| 7. CONSIDERAZIONI RELATIVE AL FENOMENO DELLE LIQUEFAZIONE DEI TERRENI | 26 |
| 8. VALIDAZIONE DEL MODELLO GEOLOGICO E DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI TERRENI | 33 |
| 9. CONCLUSIONI..... | 34 |

1. PREMESSA

Per incarico e su indicazione della società Expin srl si redige la presente relazione geologica nell'ambito delle prove propedeutiche alla redazione di progetti per la manutenzione dei ponti stradali in cemento armato e muratura nel comune di Padova (PD), tale elaborato nello specifico è relativo al "Ponte San Leonardo".

La relazione mira a delineare il modello geologico e geotecnico del terreno investigato, evidenziando eventuali aspetti e criticità che possano incidere sulla corretta progettazione della struttura.

La presente ricerca si basa sui dati forniti dall'esecuzione di una prova penetrometrica statica di tipo meccanico eseguita mediante l'utilizzo di un penetrometro statico *Pagani*, da 20 tons di spinta, che ha consentito di analizzare le caratteristiche geotecniche dei terreni presenti nel sottosuolo fino alla profondità massima di m. 24.0 da p.c.

Lo studio è stato poi completato dall'analisi del contesto geofisico con la realizzazione di indagini in sismica attiva e passiva atte alla definizione delle Risposta sismica di sito (RSL) con la modellazione numerica avanzata in analisi congiunta con spettro di risposta elastico da modellazione numerica

Riferimenti normativi:

- ✓ decreto Ministeriale 17/01/2018, recante: "Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»";
- ✓ per gli aspetti di sismicità dell'area si è fatto riferimento alle Ordinanze della Presidenza del Consiglio dei Ministri n°3274 del 20/03/2003 e n°3519 del 28/04/2006;
- ✓ si è inoltre fatto riferimento alla Delibera di Giunta Regione Veneto n° 3308 del 04/11/2008: "Applicazione delle nuove norme tecniche sulle costruzioni in zona sismica. Indicazioni per la redazione e verifica della pianificazione urbanistica";
- ✓ le prove di campagna sono invece state svolte secondo le norme A.G.I. (1977) relative all'esecuzione delle indagini geotecniche.

Alla presente relazione sono allegate:

- Una ripresa aerea con l'ubicazione delle indagini in sito.
- Certificato relativo alla prova penetrometrica eseguita, riportante il diagramma che illustra l'andamento dei valori di resistenza alla punta (Q_c) e di attrito laterale locale (F_s).
- Tabelle riportanti la stima stratigrafica ricavata dal rapporto Q_c/F_s ed i principali parametri geotecnici calcolati in relazione ai dati prodotti dalla prova penetrometrica.
- Relazione di risposta sismica locale

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

L'area di indagine si colloca nel centro storico del Comune di Padova. Nella cartografia regionale l'area è inquadrata nel foglio 126150 "Padova Nord" della Carta Tecnica Regionale 1:10.000.

L'inquadramento geologico generale, riportato di seguito, è ricavato da una ricerca bibliografica specifica relativa alla zona di pertinenza del progetto.

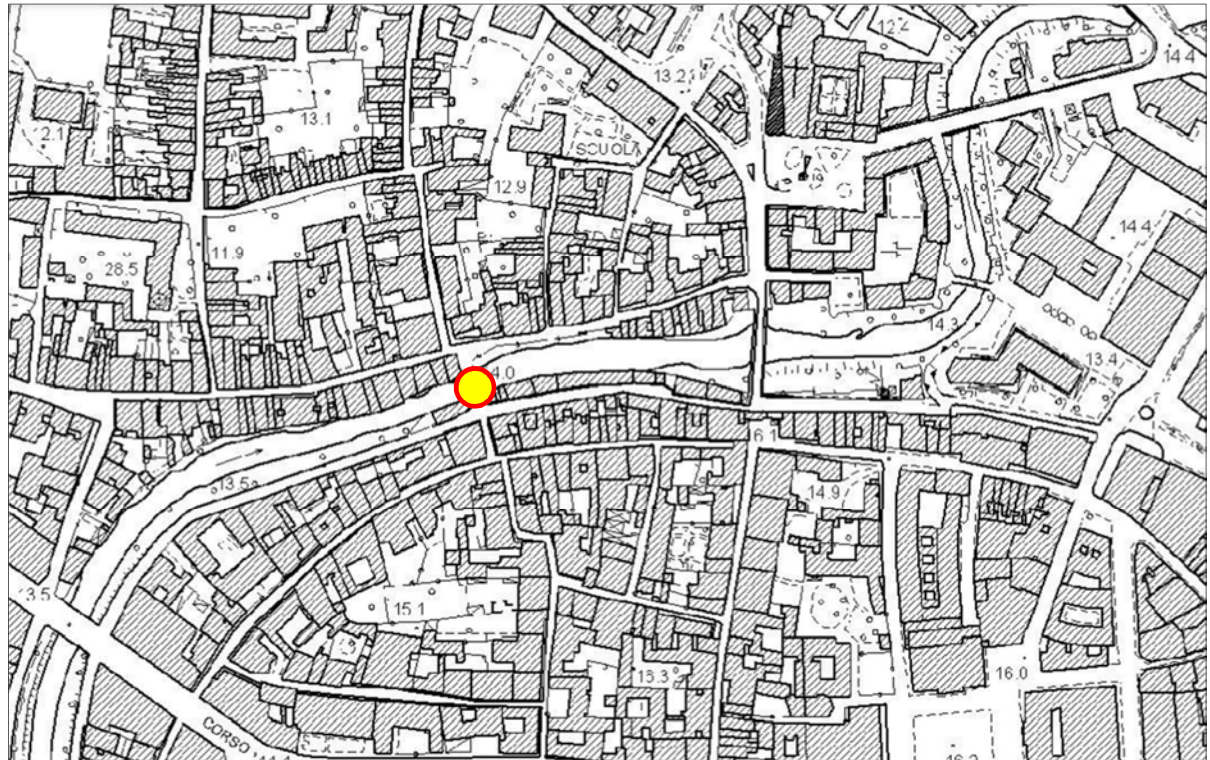


Fig. 1 Estratto Foglio 126150 "Padova Nord" CTR 1:10.000 con evidenziata l'area di indagine



Fig. 2 Ripresa aerea con ubicazione dell'area (Google Earth)

La Pianura Veneta si colloca nella fascia di transizione tra le propaggini meridionali delle falde del Sudalpino e l'avampaese della catena alpina. Durante il Quaternario, questa depressione subsidente è stata colmata da sedimenti alluvionali costituenti l'attuale Pianura Veneta, un esteso materasso sedimentario che cresce rapidamente a partire dalla zona di affioramento delle formazioni rocciose terziarie dei rilievi, fino a raggiungere una potenza di un migliaio di metri in prossimità della costa.

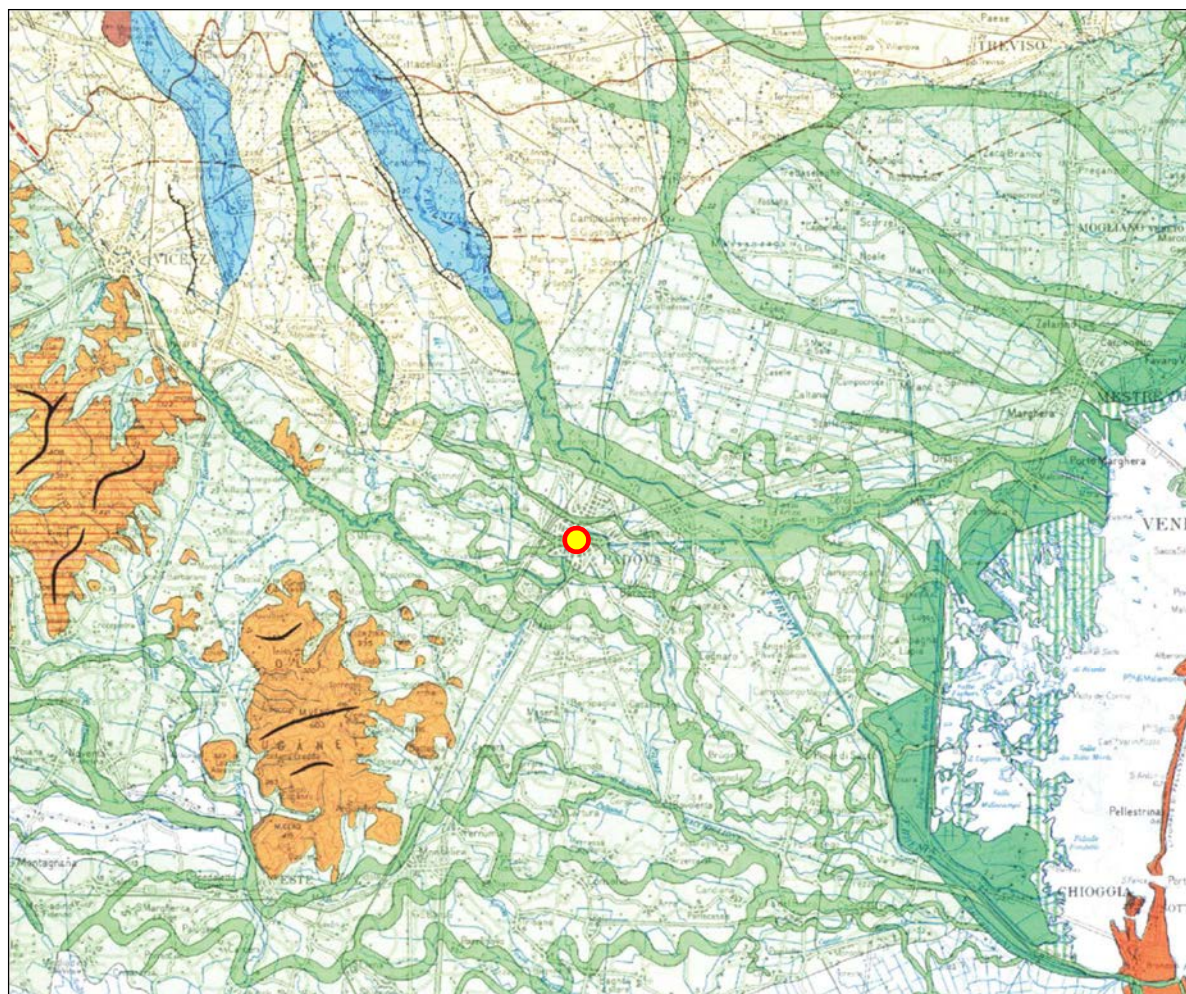
La Pianura Veneta, di cui fa parte il territorio in esame, è costituita quindi da una coltre di depositi alluvionali del Quaternario, senza soluzione di continuità, di origine essenzialmente fluviale – fluvioglaciali.

La deposizione di tali materiali sciolti si deve principalmente all'attività dei fiumi che hanno interessato questa porzione di territorio come il Fiume Bacchiglione ed il Brenta. L'azione di questi corsi d'acqua iniziò contemporaneamente con le prime fasi orogeniche alpine.

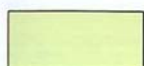
I fiumi veneti in uscita dalle valli montane hanno depositato, durante il Pleistocene e l'Olocene, i detriti trasportati creando grandi conoidi legate le une alle altre: tra di esse non esistono linee di separazione nette poiché durante la loro formazione si sono più volte incrociate, sovrapposte, anastomizzate a causa del mutare frequente del corso dei fiumi. Dal punto di vista stratigrafico è perciò presente una notevole variabilità di materiali,

legata ai vari cicli di deposizione ed alle diverse correnti dominanti. Valutando il territorio nel suo insieme, si possono individuare situazioni stratigrafiche ed idrogeologiche tipiche che caratterizzano, seppure orientativamente, intere fasce della pianura veneta (Figura 3).

Queste fasce, che definiscono l'alta, la media e la bassa pianura, hanno caratteristiche abbastanza omogenee e si susseguono da N a S dalle Prealpi al Mare Adriatico: esse si sviluppano per tutta l'estensione della Pianura Veneta e Friulana, in direzione subparallela rispetto al limite dei rilievi montuosi ed alla linea attuale di costa e perpendicolarmente ai corsi d'acqua.



FORME DI ACCUMULO



Depositi fluvio-glaciali e alluvionali antichi e recenti delle vallate alpine e pre-alpine e della fascia di conoidi pedemontane (Pleistocene e Olocene) (Adige, Garda, Valli Lessinee, Agno, Chiampo, Astico, Brenta, Piave, Livenza, Tagliamento)



Depositi fluviali della pianura alluvionale recente (Po, Adige, Bacchiglione, Brenta, Piave, Livenza, Tagliamento)



Fascia di divagazione delle aste fluviali attuali e recenti (Paleo-alvei); nel tratto medio e terminale dell'asta fluviale i depositi assumono a volte un risalto positivo tipico degli argini naturali (Po, Adige, Brenta, Piave, Tagliamento)



Fasce fluviali depresse e zone a deflusso difficoltoso (rami fluviali anastomizzati del sistema Adige-Po)



Depositi mobili degli alvei fluviali attuali.

Figura 3 - Estratto della Carta Geomorfologica della Regione Veneto

Nell'*alta pianura*, a ridosso dei rilievi prealpini (150÷200 m s.l.m.) dove i fiumi sboccano dai bacini montani, si estende una fascia larga da 5 a 20 km costituita da alluvioni ghiaiose di origine fluviale e fluvio-glaciale praticamente indifferenziate fino al substrato roccioso, dello spessore di anche 300÷400 metri.

Il litotipo prevalente è costituito da ghiaie grossolane di natura carbonatica generalmente associate a sabbie grossolane mentre localmente si rinvencono anche sottili intercalazioni limoso-argillose e livelli ghiaiosi con diverso grado di cementazione.

Procedendo verso S e SE (*media pianura*) si assiste ad una progressiva diminuzione del materiale ghiaioso grossolano e ad un conseguente aumento dei litotipi sabbiosi a granulometria variabile da grossa a media di origine prevalentemente fluviale, alternati a sabbie argillose, limi e argille di origine marina; i livelli ghiaiosi presenti fino a 100÷150 metri di profondità si esauriscono quasi completamente dopo qualche decina di chilometri, mentre quelli più profondi si spingono generalmente molto a sud, e in qualche raro caso fino al di sotto delle lagune adriatiche. Il materasso dell'*alta pianura* e gran parte di quello della zona mediana del territorio è formato da una serie di grosse conoidi contigue, addentellate e parzialmente sovrapposte, depositate in seguito ad imponenti fenomeni di alluvionamento operati dai fiumi al loro sbocco in pianura. Non esistono nette linee di separazione tra di esse, anzi durante la formazione si sono più volte incrociate, sovrapposte, anastomizzate, a causa del mutare frequente del corso dei fiumi.

Infine la *bassa pianura*, dove insiste l'area in esame, una fascia di 10÷20 km di larghezza a ridosso della costa adriatica.

Dal punto di vista litologico la fascia di bassa pianura è quindi costituita da un materasso di depositi periglaciali e fluvioglaciali caratterizzati da granulometria medio-fine (sabbie e limi) interdigitati con limi argillosi ed argille.

La successione stratigrafica del primo sottosuolo è quindi contraddistinta da una successione di materiali aventi una composizione granulometrica variabile, compresa tra le sabbie e le argille.

Essendo tale sistema deposizionale molto complesso e legato alle proprietà ed alla geometria di ciascun corso d'acqua ed di ciascun evento alluvionale, si possono trovare zone di ristagno caratterizzate da sedimenti argillosi adiacenti a zone ad elevata energia di trasporto caratterizzate invece da sedimenti più grossolani di tipo sabbioso, per cui tali sedimenti si alternano e si intercalano formando banchi e lenti più o meno estesi e potenti, con una forte eterogeneità deposizionale sia orizzontale che verticale.

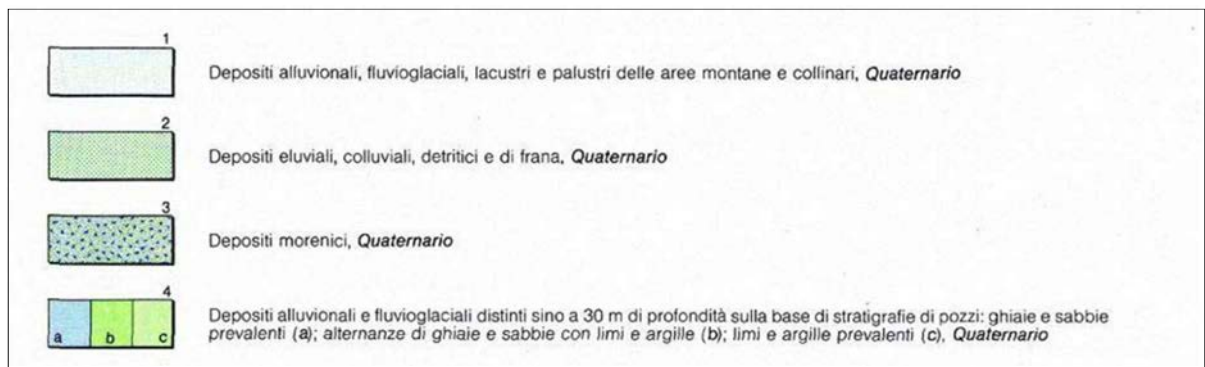
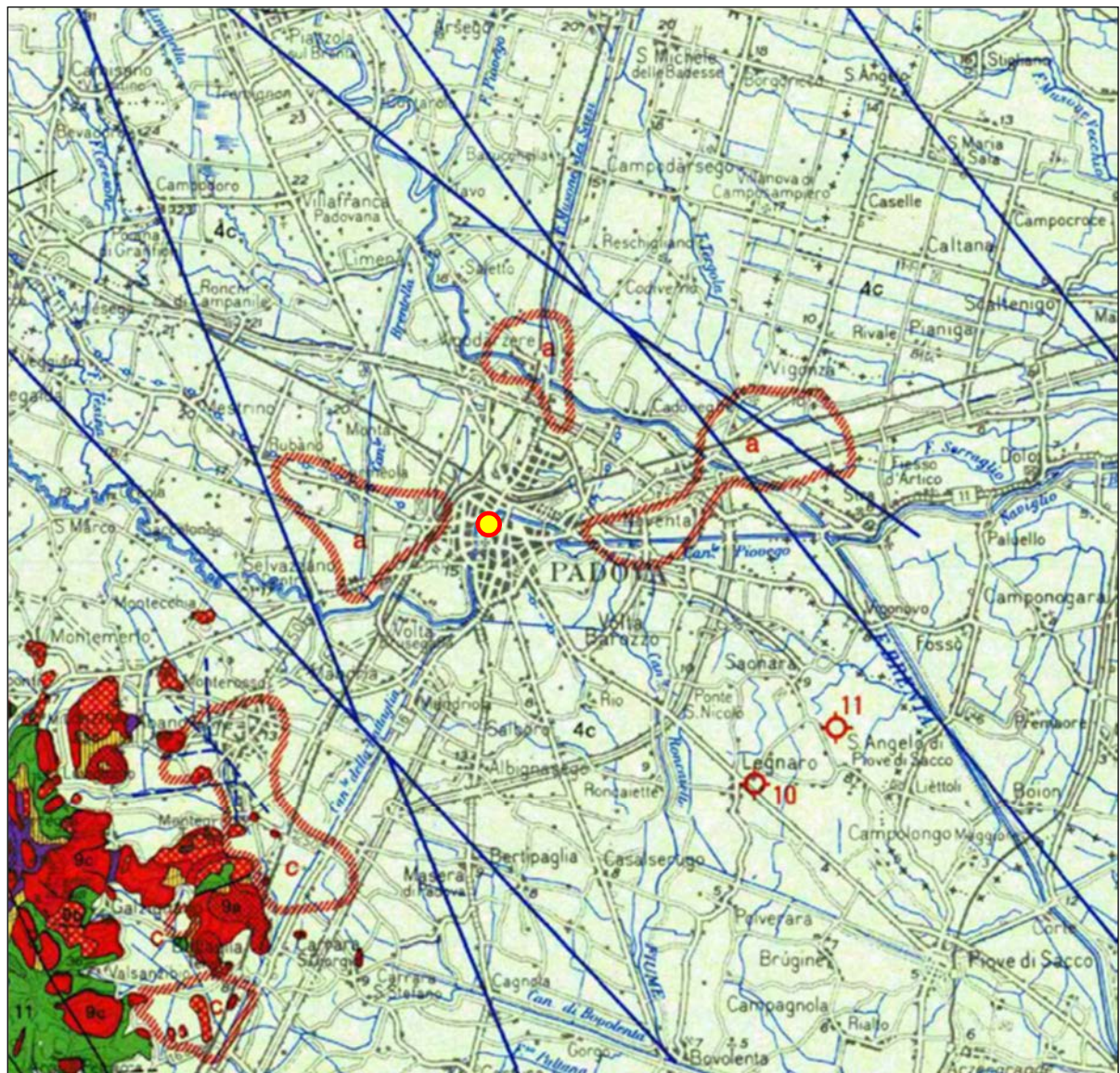


Figura 4 - Estratto della Carta Geologica del Veneto 1:250.000

Per quanto riguarda l'assetto idrogeologico, la costituzione litostratigrafica del sottosuolo della Pianura Veneta determina l'esistenza di differenti situazioni idrogeologiche (Figura 5). Il materasso ghiaioso grossolano nella zona pedemontana (alta pianura), riconducibile alle attività dei principali fiumi, è sede di un acquifero freatico indifferenziato, intensamente sfruttato a scopo idropotabile. Tale falda presenta continuità laterale determinata dal contatto diretto tra i materiali grossolani permeabili delle varie conoidi alluvionali. La profondità della superficie della falda è massima a ridosso dei rilievi prealpini, dove si trova compresa tra i 50 e i 150 metri sotto il piano di campagna.

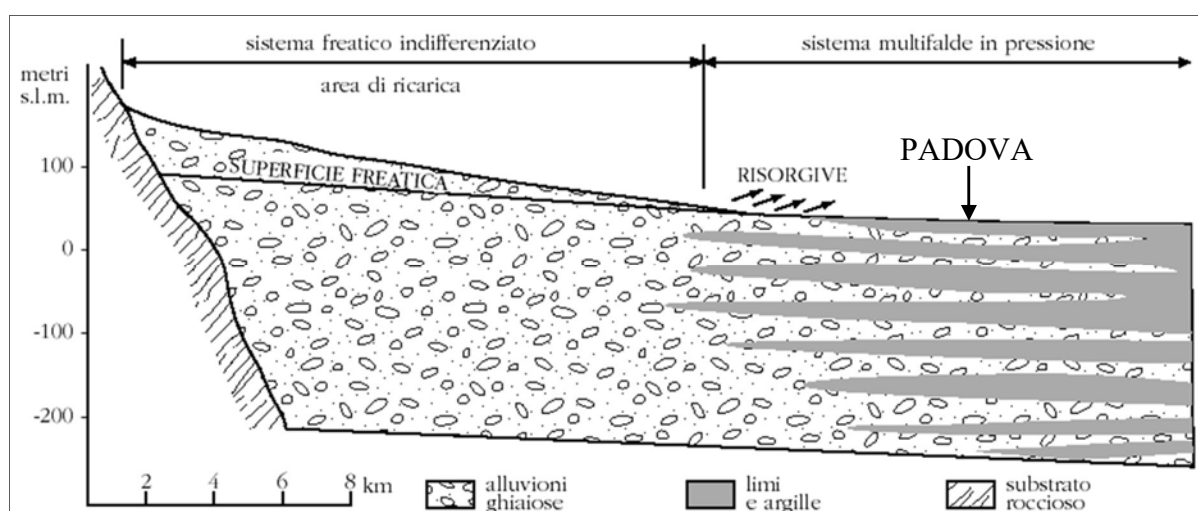


Figura 5 - Schema idrogeologico della Pianura Veneta

Il passaggio tra l'alta e la media pianura e cioè tra l'acquifero freatico indifferenziato a nord ed il sistema multifalde in pressione a sud avviene in modo graduale attraverso una zona di transizione che coincide arealmente con la fascia di restituzione dei fontanili, o "zona delle risorgive", in corrispondenza della quale la falda freatica del sistema indifferenziato affiora spontaneamente nei punti più depressi, dopo un percorso sotterraneo di 10÷40 km.

In corrispondenza della fascia delle risorgive, che definisce la media pianura, nei primi 60÷100 m di sottosuolo prevalgono ancora le ghiaie grossolane, tuttavia compaiono i primi livelli impermeabili limoso-argillosi che sono in genere poco potenti (raramente superano i 10÷15 m di spessore) e molto discontinui.

Tale situazione litostratigrafica determina la presenza di un sistema multifalde, costituito da un acquifero freatico a debole profondità (non sempre presente) e da più falde in pressione. Anche nella fascia meridionale della Pianura Veneta (bassa pianura), dove

insiste l'area in esame, si riscontrano falde in pressione entro acquiferi prevalentemente sabbiosi.

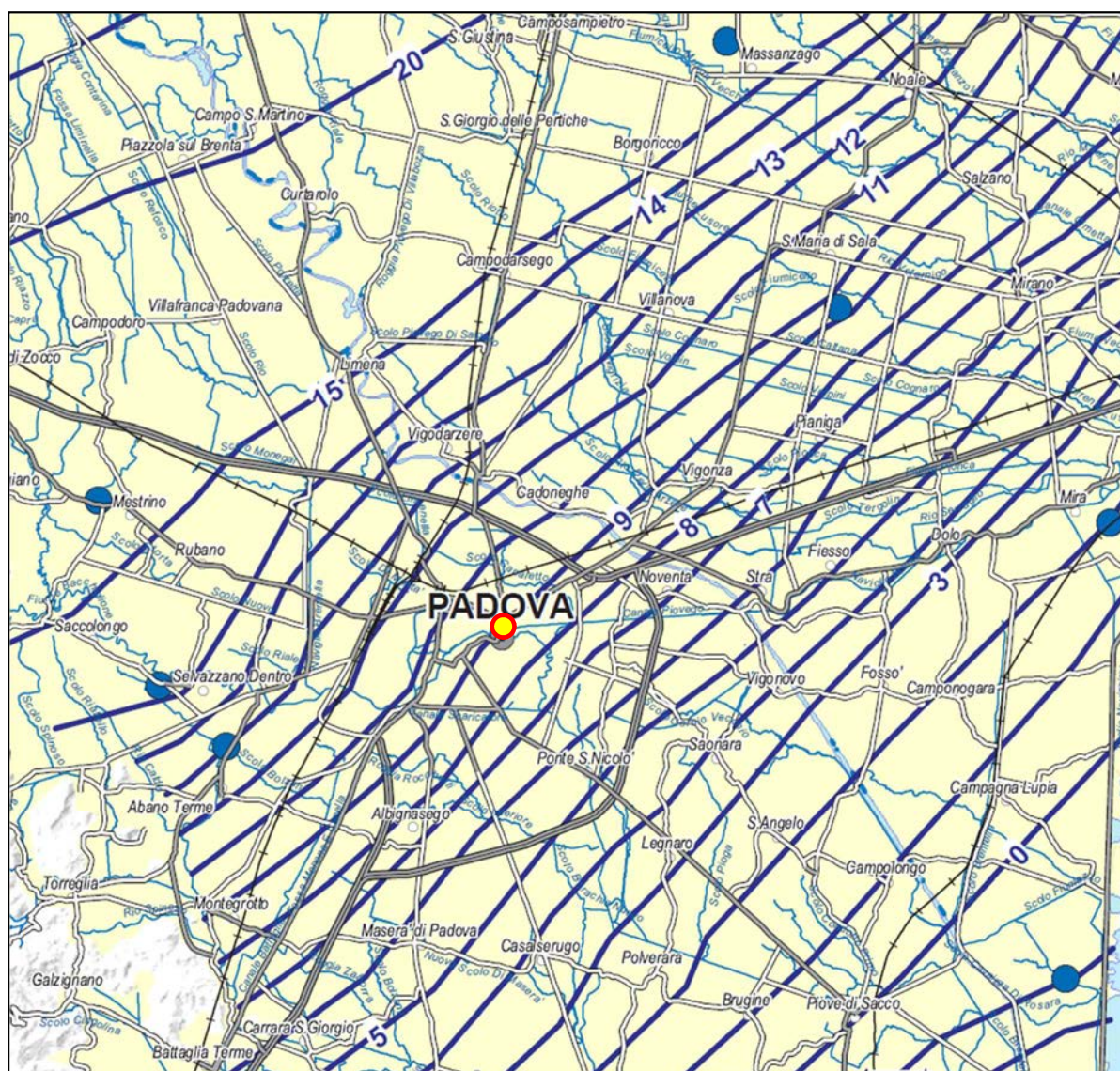


Figura 6 – Estratto della Carta delle Isofreatiche della Regione Veneto

Come detto, i corsi d'acqua che maggiormente hanno influenzato i processi deposizionali dell'area di studio sono il fiume Bacchiglione ed il fiume Brenta.

Il fiume Bacchiglione entra a Padova da sud e alla Specola si divide in due rami principali, che alimentano numerosi canali secondari: il "Tronco maestro", verso nord, e il "Naviglio Interno" verso est, che percorre tutto il centro storico. I due rami principali confluiscono nuovamente alle "Porte Contarine", la chiusa che permette di superarne il dislivello, e formano il canale Piovego, il quale prosegue fino al fiume Brenta, che raggiunge nei pressi di Strà, dove si collega inoltre con la riviera del Brenta.

Mentre il Fiume Brenta scorre ad est di Padova con direzione all'incirca NO-SE. Entrambi i corsi d'acqua, nei tratti in cui non sono incanalati artificialmente, sono caratterizzati dalla tipica morfologia di un fiume prossimo allo sbocco in pianura, con un andamento meandriforme e letto compreso tra due elevate arginature; essi presentano modalità deposizionali tipiche di ambienti ad energia più ridotta.

Sotto l'aspetto idrogeologico, la Carta delle Isofreatiche della Regione Veneto, riportata in Figura 6, colloca l'area in oggetto in prossimità dell'isofreatica 9 m s.l.m.; la falda risulta pertanto essere sub-superficiale caratterizzata da gradienti ridotti e direzione generale di deflusso verso sud-est.

Vista la vicinanza dell'area di indagine al corso d'acqua la falda sicuramente risentirà dell'effetto del regime idraulico stagionale dello stesso.

3. VINCOLI E PRESCRIZIONI URBANISTICHE DI NATURA GEOLOGICA

Facendo riferimento al Piano di Assetto del Territorio Comunale e più precisamente agli aspetti di carattere geologico contenuti nella tavola n.3 “Carta delle Fragilità” (Figura 7), si osserva che, da un punto di vista geologico, l’area oggetto di indagine ricade in una zona idonea (colore verde), priva cioè di sostanziali penalità di carattere geologico o idrogeologico.

Il P.A.T., per queste zone prescrive *al comma 1 dell’articolo 7:*

art. 7.1 - “Sono definite idonee le aree che non presentano sostanziali problematiche idrogeologiche o vincoli. In tali aree non sono previsti particolari accorgimenti costruttivi o di salvaguardia, salvo quanto prescritto dal D.M. 25 settembre 2005 e D.M. 11 marzo 1988, D.G.R.V. n° 1322/06 e D.G.R.V. n° 80/04 e successive modifiche e D.M. 14 gennaio 2008 e salvo quanto prescritto nella allegata Valutazione di compatibilità idraulica finalizzata a ridurre il rischio idraulico nelle aree poste a valle delle zone di intervento urbanistico o edilizio.”

Infine l’analisi della “Carta delle Invarianti” e la “Carta delle Penalità e dei “Vincoli e della Pianificazione Territoriale” non ha evidenziato nell’area penalità o vincoli di carattere geologico, geomorfologico o idrogeologico.

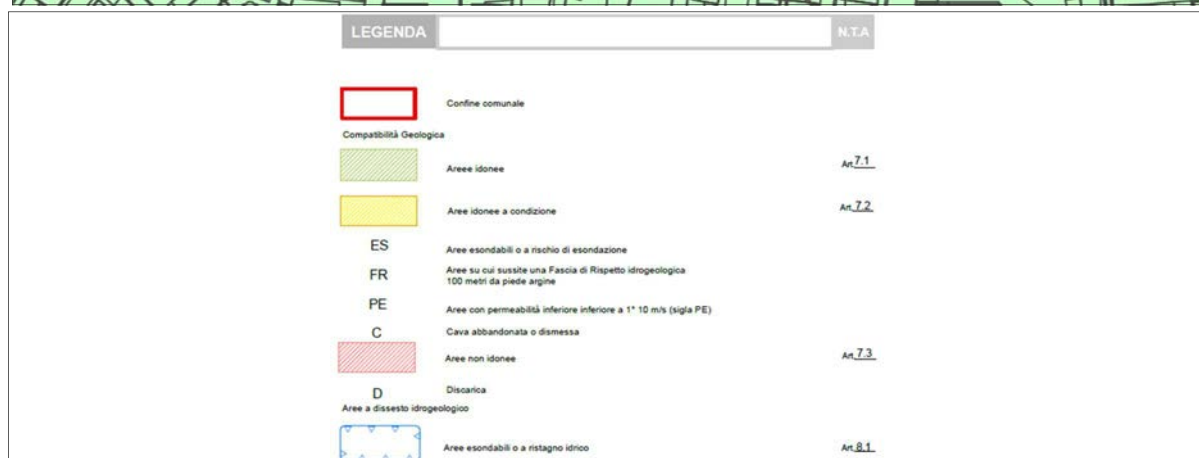
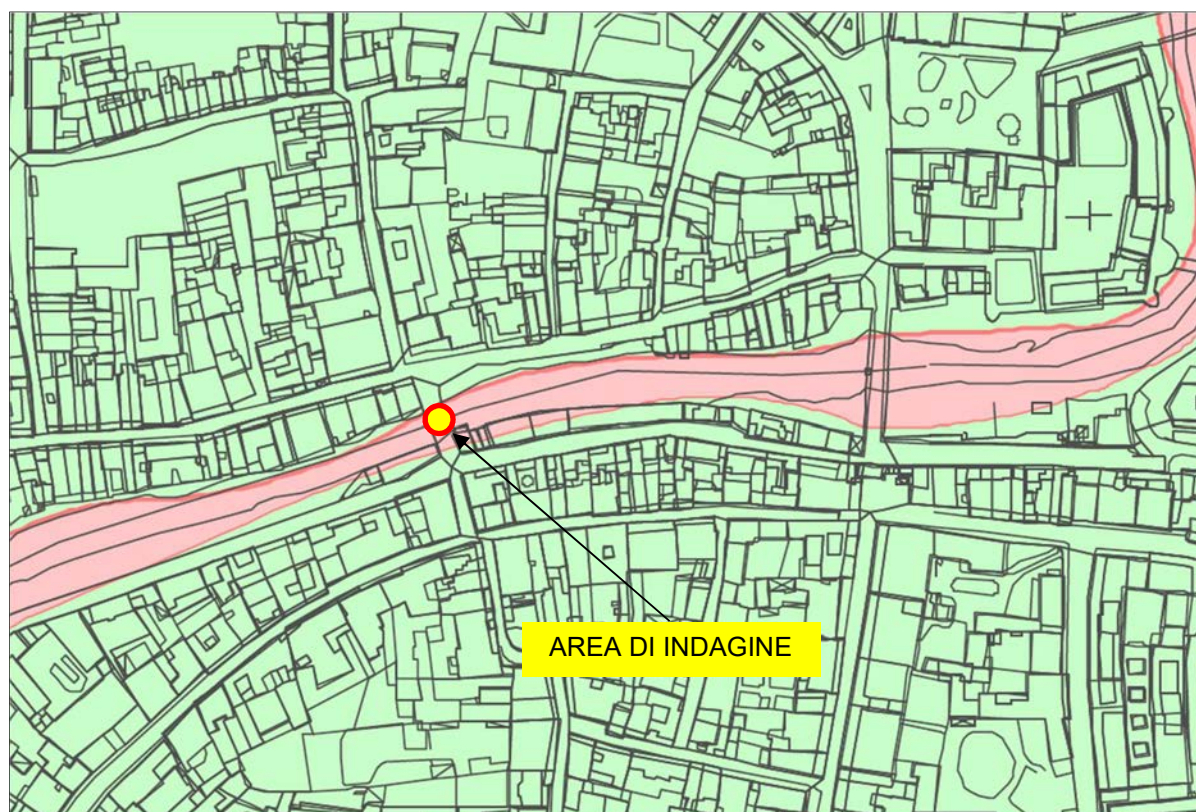


Figura 7 Estratto “Carta della Compatibilità Geologica” - PAT Comune di Padova, con evidenziata l'area di indagine

4. INQUADRAMENTO SISMICO GENERALE DELL'AREA

L'attività neotettonica veneta è massima nella zona pedemontana alpina: dal punto di vista sismogenetico la sorgenti più vicine verso nord sono infatti quelle di Thiene-Cornuda (ITCS007) e di Montebelluna-Montereale (ITCS060), con magnitudo massima attesa Mw compresa tra 6.5 e 6.6 (fig. 8).

A ovest di osserva la sorgente denominata “Adige plain” (ITCS076) con Mw attesa di 6.7

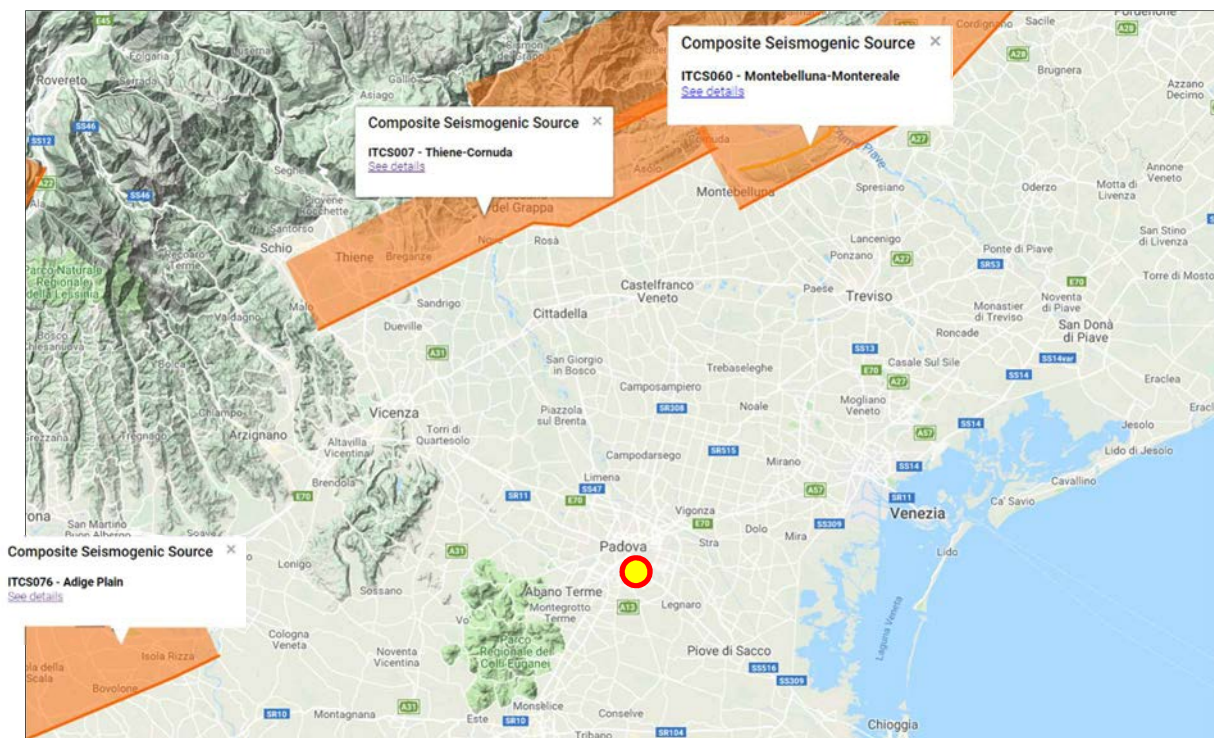


Figura 8 - Database of Individual Seismogenic Sources - ING V

Secondo la classificazione sismica dei comuni italiani riportata nel P.C.M. 3519 del 28 aprile 2006, il Comune di Padova ricade in zona n° 4 con i seguenti valori di accelerazione di riferimento:

| Tabella Zona | Accelerazione con probabilita' di superamento pari al 10% in 50 anni (ag) | Accelerazione orizzontale massima convenzionale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Ag) |
|--------------|---|---|
| 1 | 0,25 < ag ≤ 0,35 g | 0,35 g |
| 2 | 0,15 < ag ≤ 0,25 g | 0,25 g |
| 3 | 0,05 < ag ≤ 0,15 g | 0,15 g |
| 4 | ag ≤ 0,05 g | 0,05 g |

Con la DGR del Veneto 09/03/2021 n. 244, la Regione ha approvato l'aggiornamento dell'elenco delle zone sismiche del Veneto e una nuova mappa delle stesse, nella quale il Comune di Padova è stato inserito in zona 3 con valori stimati di accelerazione orizzontale compresi tra e 0.05g e 0,150g.

L'aggiornamento approvato è rilevante ai fini dell'individuazione unicamente degli adempimenti amministrativi previsti dalla vigente normativa in materia, con particolare riguardo agli oneri di deposito e di verifica in capo agli Enti locali e agli uffici regionali.

Con la nuova classificazione delle zone sismiche, il territorio Veneto è suddiviso in tre zone; il nuovo elenco, infatti, prevede che non ci siano più i Comuni in zona 4.

Questa suddivisione, oltre ad essere indispensabile per organizzare adeguatamente la prevenzione del rischio sismico, è rilevante per gli aspetti amministrativi previsti dalla vigente normativa che disciplina l'attività edificatoria.

Per quanto riguarda gli aspetti di calcolo dei progetti, essi seguono le accelerazioni puntuali, secondo quanto già stabilito dalla D.G.R. 71/2008:

“...si prende a riferimento la proposta di zonizzazione allegata all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 28 aprile 2006, n. 3519 con particolare riguardo ai seguenti aspetti:

1. le accelerazioni al suolo andranno assunte con riferimento ai valori di fascia individuati nell'O.P.C.M. 3519/06, con possibilità di incremento o riduzione del valore di calcolo di 0,025g;
2. nel caso si utilizzino le modalità di calcolo di cui al D.M. 16.01.1996 “Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche”, per la zona 4 di cui alla Delibera di Consiglio Regionale n. 67/03, il grado di sismicità da assumersi è $S=4$;
3. il progettista può definire gli effetti in ambito locale con riferimento ai coefficienti riportati nelle norme tecniche o a seguito di specifiche analisi di risposta sismica locale sulla base di configurazioni specifiche rivolte alle singole situazioni e alla loro localizzazione rispetto alle fasce di cui all'allegato A).”

In base al DM 17/01/2018, le verifiche del terreno di fondazione devono essere eseguite tenendo conto delle massime sollecitazioni che la struttura trasmette al terreno, tenendo conto anche dell'azione sismica.

Sulla base delle mappe interattive dell'I.N.G.V. (fig. 9), richiamate dal suddetto decreto, l'area di Padova è invece inseribile nella fascia distinta da un valore di accelerazione sismica orizzontale a_g , riferito a suoli rigidi caratterizzati da $V_{s,30} > 800$ m/s (Classe A),

compreso tra 0.100g e 0.125g (valori riferiti ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni).

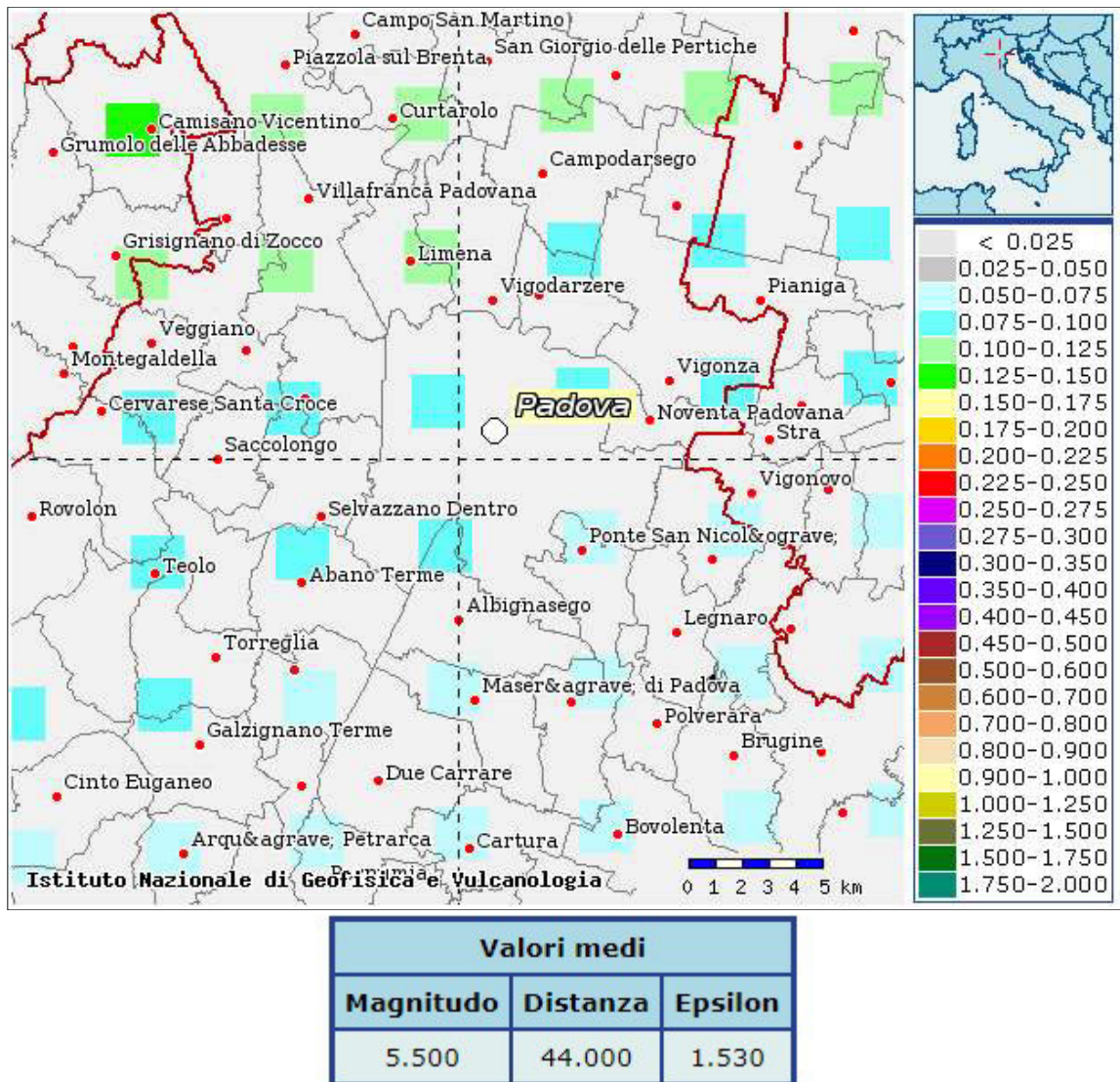


Figura 9 - Mappa interattiva di pericolosità sismica e valore medio di magnitudo attesa- INGV del 10% in 50 anni

Si sono quindi ricercati i terremoti storici ed i risultati ottenuti sono riportati nella figura di seguito riportata che comprende gli eventi principali (≥ 4 grado scala MCS) dall'anno 1000.

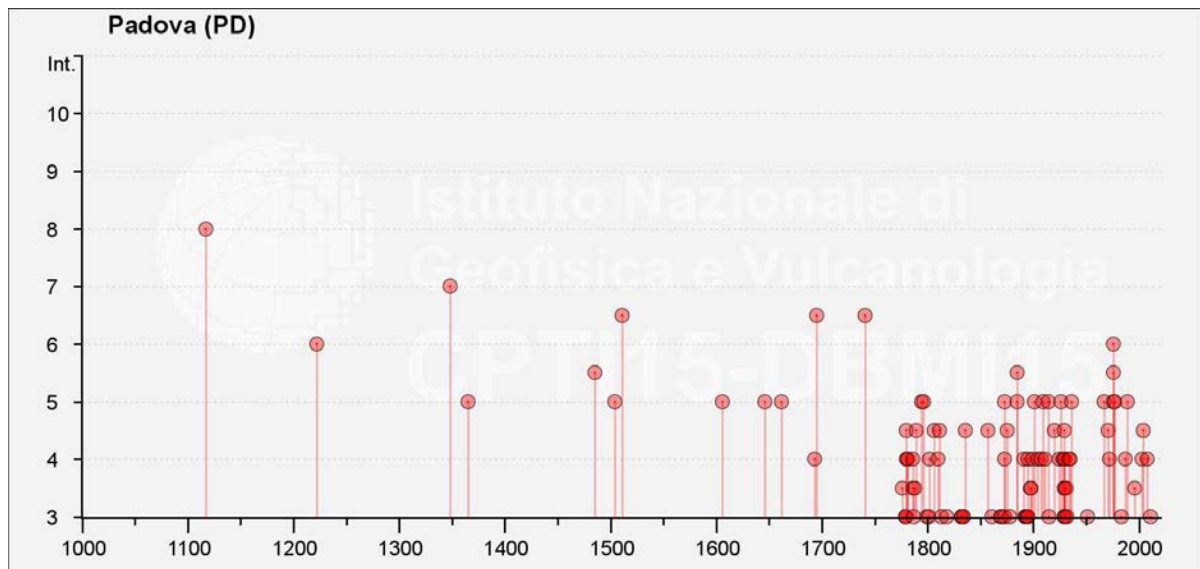


Figura 10 - Database Macrosismico Italiano 2015

5. INDAGINE DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

In base al D.M. 17/01/2018 ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto deve essere valutata l'influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto del suolo in superficie, mediante studi specifici di risposta sismica locale.

Pertanto è stata pianificata un'apposita indagine geofisica in sito volta ad identificare i parametri richiesti dalla normativa vigente.

È stata eseguita un'indagine finalizzata alla stima delle velocità di propagazione delle onde di taglio (V_s) necessaria al successivo studio di risposta sismica locale (RSL) ed una stima delle velocità equivalenti di legge (V_{s30}) necessarie per il calcolo dell'azione sismica.

Le V_s sono state valutate sulla base di uno stendimento sismico MASW combinato ad una indagine sismica di tipo tomografico HVSR di acquisizione passiva del microtremore ambientale.

Lo stendimento MASW registra i segnali sismici prodotti in maniera attiva (artificiale) attraverso i quali è possibile determinare il profilo di velocità delle V_s fino a profondità maggiori di m. 30.

Per la prova tomografica è stata utilizzata una strumentazione digitale "Tromino" in grado di acquisire il microtremore ambientale, la cui elaborazione è utile per la stima delle frequenze fondamentali di risonanza e di quelle amplificanti, risultando un utile supporto alla ricostruzione del sottosuolo.

Riepilogando tramite lo studio geofisico:

- E' stata classificata la zona di studio come suolo di tipo C.
- E' stato fornito il fattore di amplificazione sismico locale.
- Sono stati calcolati e forniti gli spettri di risposta sismica locale del sito in oggetto.
- Sono stati forniti i parametri dinamici di calcolo per la progettazione in zona sismica.
- E' stata fornita la massima accelerazione PGA (g) e i rapporti di intensità spettrale di Housner per meglio descrivere il contenuto energetico di un terremoto.

Gli esiti delle indagini geofisiche sono stati opportunamente correlati e vincolati alle presenti risultanze geognostiche.

Per ulteriori dettagli al riguardo si rimanda alla relazione specialistica in allegato.

6. INDAGINI IN SITO – PROVA PENETROMETRICA

Come accennato in premessa, in data 08 marzo 2022, in accordo con la Committenza, è stata effettuata, nel punto indicato nella planimetria di seguito riportata, una prova penetrometrica statica spinta fino alla profondità di 24.0 metri da p.c.

La prova, inizialmente prevista fino alla profondità massima di 25.00 metri da p.c., è stata interrotta alla quota sopra indicata per rifiuto strumentale da parte del sistema di spinta al raggiungimento di materiale particolarmente consistente che ha portato il penetrometro al disancoraggio dal terreno.



Figura 11 - Estratto di planimetria generale di progetto con ubicazione prova penetrometrica

Nel corso di ciascuna prova sono stati misurati, con intervalli di 20 cm, i valori di resistenza alla punta (R_p) e resistenza per attrito laterale (R_l), i quali sono stati successivamente diagrammati nei grafici e nelle tabelle allegati, dove vengono evidenziate le caratteristiche dei terreni rinvenuti, consentendo anche una visione globale degli stessi. La penetrazione viene effettuata tramite un dispositivo di spinta (martinetto idraulico) che agisce su una batteria doppia di aste (aste coassiali esterne cave e interne piene), alla cui estremità è collegata la punta. Lo sforzo necessario per l'infissione è misurato per mezzo di manometri, collegati al martinetto mediante una testa di misura

idraulica. La punta conica è dotata di un manicotto sovrastante, per la misura dell'attrito laterale: punta tipo "Begemann".



Figura 12 – Penetrometro utilizzato

Le dimensioni della punta sono standardizzate:

- | | |
|-------------------------------------|---------------------|
| ✓ diametro punta conica meccanica | 35,7 mm |
| ✓ area di punta | 10 cm ² |
| ✓ angolo di apertura del cono | 60° |
| ✓ superficie laterale del manicotto | 150 cm ² |

Poiché alla lettura, un diagramma penetrometrico, può presentare delle indeterminazioni circa le suddivisioni in cui un profilo può essere scomposto secondo strati con caratteristiche facilmente individuabili a fini pratici, si è ritenuto di dover schematizzare i diagrammi degli andamenti dei valori di R_p elencandoli nelle tabelle di seguito riportate:

CPT 1

| Strato n. | Profondità da m | Profondità a m | Spessore (m) | Rp medio (Kg/ cm ²) | Comportamento prevalente |
|-----------|-----------------|----------------|--------------|---------------------------------|--------------------------|
| 1 | p.c. | 5.0 | 5.0 | 73.0 | granulare |
| 2 | 5.0 | 6.0 | 1.0 | 13.6 | coesivo |
| 3 | 6.0 | 14.6 | 8.6 | 122.1 | granulare |
| 4 | 14.6 | 15.2 | 0.6 | 15.7 | coesivo |
| 5 | 15.2 | 16.0 | 1.0 | 100.7 | granulare |
| 6 | 16.0 | 18.0 | 2.0 | 20.5 | coesivo |
| 7 | 18.0 | 24.0 | 6.0 | 152.9 | granulare |

Numerose correlazioni grafiche e formule empiriche presenti in bibliografia permettono di ricavare, partendo dai valori di Rp, RI e dal loro rapporto Rp/RI, una stima stratigrafica dei terreni attraversati nonché indicazioni sulle loro proprietà meccaniche.

Tali interpretazioni sono leggibili in dettaglio nella tavole allegate.

Tenendo quindi in considerazione quanto rilevato nel corso della prova penetrometrica: il sottosuolo dell'area di indagine è caratterizzato, dalla presenza di terreni di natura granulare media fino alla profondità di 5.0 metri da p.c. (**STRATO 1**), al di sotto si trovano terreni di natura coesiva a bassa consistenza (**STRATO 2**), fino alla profondità di 6.0 metri da p.c.

Al di sotto e fino al termine delle prova eseguita si trovano terreni granulari a consistenza media ed elevata (**STRATO 3- STRATO5- STRATO7**) intercalati da sottili passaggi di natura coesiva a bassa consistenza tra 14.6-15.2 e 16.0-18.00 metri da p.c. (**STRATO 4-STRATO 6**).

Si precisa che tutte le quote riportate nella presente relazione si riferiscono al piano campagna del punto di prova, non si sono tenuti in considerazione eventuali dislivelli del piano campagna; comunque minimi, considerata la morfologia pianeggiante dell'area.

Al termine dell'indagine è stato possibile misurare il livello dell'acqua all'interno del foro di prova alla profondità di

| Prova penetrometrica | Profondità acqua in foro [m dal p.c.] |
|----------------------|---------------------------------------|
| CPT 1 | 5.20 |

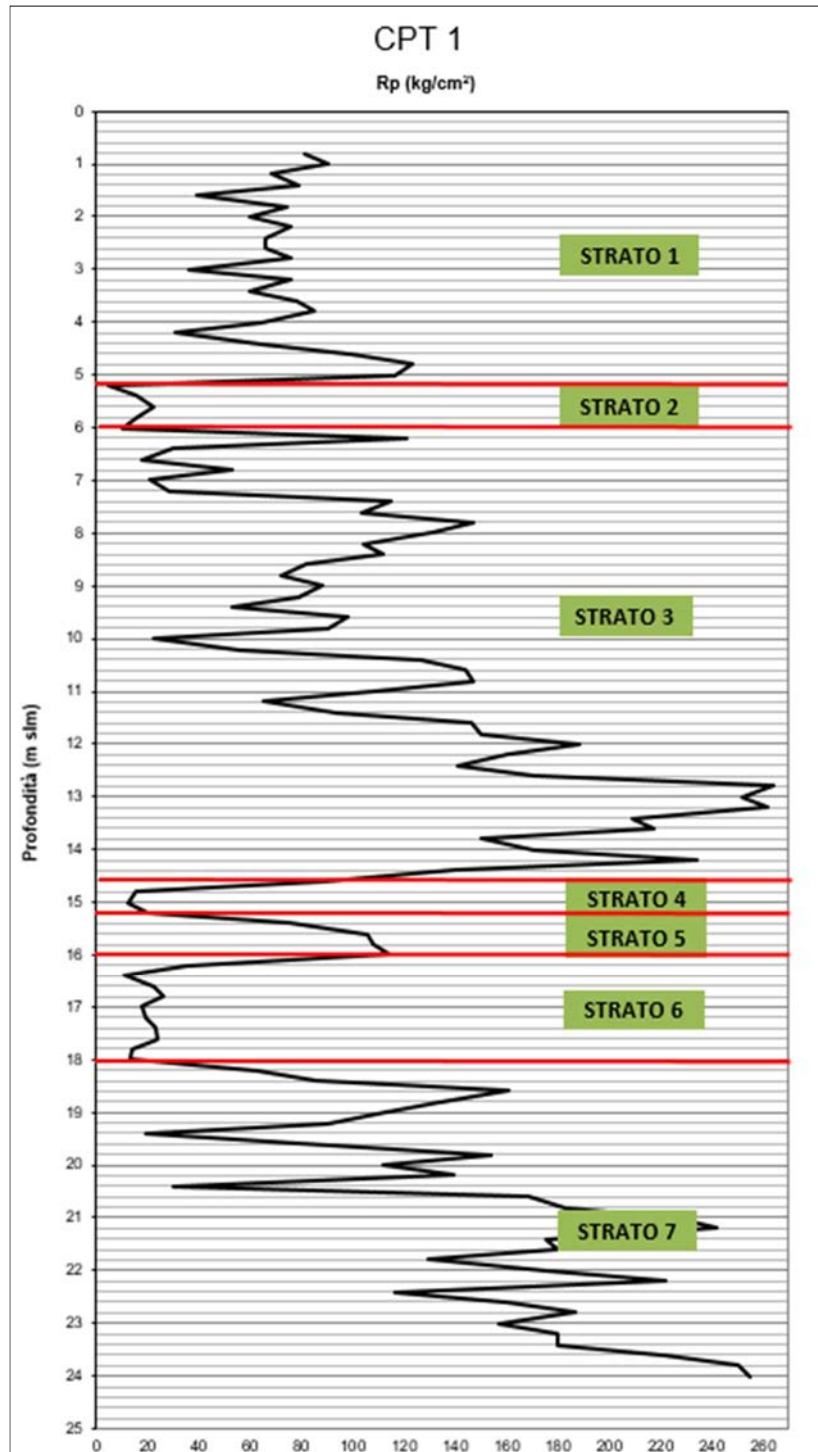


Figura 13 - Valori Rp della prova eseguita

7. CONSIDERAZIONI RELATIVE AL FENOMENO DELLE LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

Nel caso in esame, si è verificata la suscettibilità a liquefazione mediante metodi semplificati basati su correlazioni tra le misure in sito derivanti dalla prova penetrometrica eseguita.

I metodi semplificati, per la verifica della suscettibilità al fenomeno della liquefazione, si basano sul rapporto che intercorre fra le sollecitazioni di taglio che producono liquefazione e quelle indotte dal terremoto; hanno perciò bisogno di valutare i parametri relativi sia all'evento sismico sia al deposito, determinati questi ultimi privilegiando metodi basati su correlazioni della resistenza alla liquefazione con parametri desunti da prove in situ.

La resistenza del deposito alla liquefazione viene quindi valutata in termini di fattore di resistenza alla liquefazione:

$$F_s = CRR/CSR$$

dove:

CRR (Cyclic Resistance Ratio) indica la resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclico

CSR (Cyclic Stress Ratio) la sollecitazione di taglio massima indotta dal sisma.

- il carico sismico, espresso attraverso il rapporto tensionale ciclico CSR;
- la capacità del terreno di resistere alla liquefazione, espressa attraverso il rapporto di resistenza ciclica CRR.

In tale elaborato si prende in considerazione il metodo di Metodo di Robertson -Wride

Il 'metodo di Robertson e Wride' è basato sui risultati di prove CPT (Cone Penetration Test) ed utilizza l'indice di comportamento per il tipo di suolo IC che viene calcolato mediante l'utilizzo della seguente formula:

$$I_c = \left[(3,47 - \log_{10} Q)^2 + (\log_{10} R_f + 1,22)^2 \right]^{0,5}$$

$$Q = \frac{q_c - \sigma_{vo}}{Pa} \left(\frac{Pa}{\sigma'_{vo}} \right)^n$$

$$R_f = \frac{f_s}{q_c - \sigma_{vo}} 100$$

dove:

q_c è la resistenza alla punta misurata

Pa è la tensione di riferimento (1 atmosfera) nelle stesse unità di σ'_{vo}

f_s è l'attrito del manicotto

n è un'esponente che dipende dal tipo di suolo.

Inizialmente si assume $n = 1$, come per un suolo argilloso e si procede al calcolo di I_C con la (5.0a).

Se $I_C > 2,6$ il suolo è probabilmente di tipo argilloso e l'analisi si ferma. Il terreno non si considera a rischio di liquefazione.

Se $I_C \leq 2,6$, vuol dire che l'ipotesi assunta è errata, il suolo è di natura granulare, Q verrà ricalcolato utilizzando la (5.0a) usando come esponente $n = 0,5$.

Se è ancora $I_C \leq 2,6$, significa che l'ipotesi è giusta e il suolo è probabilmente non plastico e granulare.

Se invece $I_C > 2,6$, vuol dire che l'ipotesi è di nuovo errata e il suolo è probabilmente limoso. Q deve essere nuovamente ricalcolato dalla (2.8b) ponendo $n = 0,75$.

Calcolato I_C , si procede con la correzione della resistenza alla punta misurata q_c mediante la seguente espressione:

$$q_{c1N} = \frac{q_c}{Pa} \left(\frac{Pa}{\sigma'_{vo}} \right)^n$$

Dove l'esponente di sforzo n è lo stesso utilizzato nel calcolo di I_C .

La correzione alla resistenza alla punta dovuta al contenuto di materiale fine viene determinata dalla seguente procedura:

$$(q_{c1N})_{cs} = K_c q_{c1N}$$

$$K_c = -0,403 I_c^4 + 5,581 I_c^3 - 21,63 I_c^2 + 33,75 I_c - 17,88$$

dove K_c dipende dal contenuto di fine, FC (%):

$$K_c = 0 \quad \text{per } FC \leq 5$$

$$K_c = 0,0267(FC - 5) \quad \text{per } 5 < FC \leq 35$$

$$K_c = 0,8 \quad \text{per } FC > 35$$

FC (%) viene calcolato mediante l'espressione seguente:

$$FC (\%) = 1,75 (I_c)^{3,25} - 3,7$$

La resistenza alla liquefazione per una magnitudo pari a 7,5 (**CRR_{7,5}**) si calcola con le espressioni seguenti:

se $(q_{c1N})_{cs} < 50$

$$CRR = 0,833 \left[\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right] + 0,05$$

se $50 \leq (q_{c1N})_{cs} < 160$

$$CRR = 93 \left[\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right]^3 + 0,08$$

Il Rapporto di Tensione Ciclica per eventi sismici di magnitudo 7,5 (**CSR_{7,5}**) si determina dalla seguente espressione:

$$\frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vo}} = CSR_{7,5} = 0,65 \frac{a_g}{g} \frac{\sigma'_{vo}}{\sigma'_{vo}} r_d$$

Per magnitudo diverse occorre introdurre il fattore correttivo **MSF** (*Magnitudo Scaling Factor*) come raccomandato dal **NCEER** (vedi Tabella seguente)

$$CSR = \frac{CSR_{7,5}}{MSF}$$

Fattore di scala della magnitudo derivato da diversi ricercatori

| Magnitudo | Seed H.B. & Idriss I.M. (1982) | Ambraseys N.N (1988). | NCEER (Seed R. B. et alii) (1997; 2003) |
|-----------|-----------------------------------|--------------------------|--|
| 5,5 | 1,43 | 2,86 | 2,21 |
| 6,0 | 1,32 | 2,20 | 1,77 |
| 6,5 | 1,19 | 1,69 | 1,44 |
| 7,0 | 1,08 | 1,30 | 1,19 |
| 7,5 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| 8,0 | 0,94 | 0,67 | 0,84 |
| 8,5 | 0,89 | 0,44 | 0,73 |

Per determinare il valore del coefficiente riduttivo **r_d** vengono utilizzate le formule raccomandate da un gruppo di esperti del **NCEER** (National Center for Earthquake Engineering Research):

per $z < 9,15$ m

$$r_d = 1,0 - 0,00765 z$$

per $9,15 \leq z < 23$ m

$$r_d = 1,174 - 0,00267 z$$

Il fattore di sicurezza alla liquefazione **FS** viene determinato dalla relazione:

$$FS = \frac{CRR}{CSR}$$

mentre l'**indice e il rischio di liquefazione** vengono calcolati con il metodo di **Iwasaki et alii (1978; 1984)**.

Il valore di A_{max} è stato ricavato per il sito in esame pari a 0.119 g come indicato dallo studio di RSL allegato alla presente relazione e ricavato dall'utilizzo dello spettro normalizzato ICMS della risposta sismica locale

Una volta valutato il fattore di sicurezza FSL nei confronti della liquefazione con passo strumentale a varie profondità lungo una verticale è opportuno introdurre un indice sintetico per quantificare il rischio di liquefazione in corrispondenza dell'intera verticale. A tale scopo viene di norma utilizzato un: **Indice del potenziale di liquefazione PL** (Iwasaki, 1978).

Il metodo di Iwasaki è stato proposto basandosi sulla osservazione che la severità dei danni prodotti dalla liquefazione ai manufatti è legata al volume di terreno liquefatto all'interno del deposito.

Il metodo si basa su due quantità: il fattore di resistenza (FS) e l'indice di liquefazione (IL). FS si ottiene mediante la formula sopra citata $FS = CRR/CSR$ e quando $FS \leq 1$ lo strato di terreno è liquefacibile; mentre IL, indicativo dell'estensione che il fenomeno della liquefazione può avere nel deposito, è ottenuto dalla espressione

$$P_L = \int_0^{z_{crit}} F(z) \cdot w(z) \cdot dz$$

Dove

dove : $F(z) = 0$ per $FSL > 1$; $F(z) = 1 - FSL$ per FSL

$w(z) = 10 \cdot 10^{-z/z_{crit}}$;

z_{crit} = profondità oltre la quale possono escludersi fenomeni di liquefazione, considerata pari a 20m

Per poter valutare quindi la severità degli effetti viene proposta la scala della tabella di seguito riportata

**Indice del potenziale di liquefazione
e livello di rischio associato**

| Valore di P_L | Rischio di liquefazione |
|-------------------|-------------------------|
| $P_L = 0$ | molto basso |
| $0 < P_L \leq 5$ | basso |
| $5 < P_L \leq 15$ | alto |
| $15 < P_L$ | molto alto |

Come visibile dalle tabelle sotto riportate, il Rischio liquefazione, considerando l'intero deposito esaminato, pur con livelli suscettibili a liquefazione risulta "Molto Basso" per il profilo penetrometrico esaminato.

Valutazione suscettibilità e rischio liquefazione CPT1

IPL (Iwasaki) = 0 = Rischio molto basso

| Z (m) | σ (KPa) | σ' (KPa) | qC | f _s F(%) | l _c | CQ | qc1 (KPa) | rd | CRR | (CSR) | FS | SL | IL | Rischio |
|-------|-------------------|--------------------|-------|------------------------|----------------|-----|-----------|-----|-----|-------|------|----|-----|-------------|
| 1.9 | 26.4 | 22.5 | 124.8 | 0.8 | 1.8 | 1.7 | 110.2 | 1.0 | 0.2 | 0.0 | 5.0 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 2.1 | 30.6 | 24.7 | 150.7 | 2.1 | 2.0 | 1.7 | 167.7 | 1.0 | 0.5 | 0.0 | 12.1 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 2.3 | 34.7 | 26.9 | 125.6 | 2.0 | 2.0 | 1.7 | 150.5 | 1.0 | 0.4 | 0.0 | 8.9 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 2.5 | 38.8 | 29.0 | 120.9 | 2.0 | 2.1 | 1.7 | 152.5 | 1.0 | 0.4 | 0.0 | 8.9 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 2.7 | 43.0 | 31.2 | 134.2 | 4.6 | 2.3 | 1.7 | 253.6 | 1.0 | 1.6 | 0.0 | 33.5 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 2.9 | 47.1 | 33.3 | 61.8 | 1.9 | 2.3 | 1.7 | 110.5 | 1.0 | 0.2 | 0.0 | 4.2 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 3.1 | 51.3 | 35.6 | 125.9 | 1.2 | 1.9 | 1.7 | 147.8 | 1.0 | 0.4 | 0.1 | 7.7 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 3.3 | 55.5 | 37.8 | 96.6 | 1.8 | 2.1 | 1.6 | 140.3 | 1.0 | 0.3 | 0.1 | 6.7 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 3.5 | 59.7 | 40.1 | 121.7 | 0.5 | 1.7 | 1.6 | 123.7 | 1.0 | 0.3 | 0.1 | 5.0 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 3.7 | 64.0 | 42.5 | 128.8 | 1.5 | 2.0 | 1.5 | 160.5 | 1.0 | 0.5 | 0.1 | 9.0 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 3.9 | 68.2 | 44.7 | 94.7 | 2.7 | 2.2 | 1.5 | 163.1 | 1.0 | 0.5 | 0.1 | 9.3 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 4.1 | 72.4 | 46.9 | 64.7 | 8.4 | 2.7 | 1.7 | 215.4 | 1.0 | 1.0 | 0.1 | 19.1 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 4.3 | 76.6 | 49.2 | 90.5 | 1.1 | 2.0 | 1.4 | 114.1 | 1.0 | 0.2 | 0.1 | 4.1 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 4.5 | 80.9 | 51.5 | 136.2 | 1.5 | 1.9 | 1.4 | 166.8 | 1.0 | 0.5 | 0.1 | 9.6 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 4.7 | 85.3 | 53.9 | 165.3 | 1.1 | 1.8 | 1.4 | 178.8 | 1.0 | 0.6 | 0.1 | 11.4 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 4.9 | 89.6 | 56.2 | 152.6 | 0.6 | 1.6 | 1.3 | 150.9 | 1.0 | 0.4 | 0.1 | 7.4 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 5.1 | 93.5 | 58.2 | 8.2 | 8.3 | 3.3 | 1.7 | 108.6 | 1.0 | 0.2 | 0.1 | 3.7 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 5.3 | 97.3 | 60.0 | 24.2 | 8.8 | 3.0 | 1.7 | 175.7 | 1.0 | 0.6 | 0.1 | 10.7 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 5.5 | 101.2 | 62.0 | 34.4 | 6.4 | 2.8 | 1.6 | 173.1 | 1.0 | 0.6 | 0.1 | 10.2 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 5.7 | 105.2 | 64.1 | 24.1 | 3.2 | 2.7 | 1.6 | 104.1 | 1.0 | 0.2 | 0.1 | 3.3 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 5.9 | 109.1 | 66.0 | 14.4 | 17.5 | 3.4 | 1.5 | 192.3 | 1.0 | 0.7 | 0.1 | 13.3 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 6.1 | 113.2 | 68.1 | 145.0 | 1.2 | 1.9 | 1.2 | 166.6 | 1.0 | 0.5 | 0.1 | 9.1 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 6.3 | 117.4 | 70.3 | 36.3 | 2.7 | 2.5 | 1.2 | 104.8 | 1.0 | 0.2 | 0.1 | 3.3 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 6.5 | 121.5 | 72.4 | 24.0 | 16.3 | 3.2 | 1.4 | 240.3 | 1.0 | 1.4 | 0.1 | 24.4 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 6.7 | 125.6 | 74.6 | 61.3 | 0.4 | 1.9 | 1.2 | 70.8 | 0.9 | 0.1 | 0.1 | 2.0 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 6.9 | 129.8 | 76.8 | 26.4 | 4.4 | 2.8 | 1.3 | 126.5 | 0.9 | 0.3 | 0.1 | 4.8 | NO | 0.0 | Molto basso |

| Z (m) | σ (KPa) | σ' (KPa) | qc | fs F(%) | lc | CQ | qc1 (KPa) | rd | CRR | (CSR) | FS | SL | IL | Rischio |
|-------|-------------------|--------------------|-------|------------|-----|-----|-----------|-----|-----|-------|------|----|-----|-------------|
| 7.1 | 133.9 | 79.0 | 34.4 | 7.6 | 2.9 | 1.3 | 190.0 | 0.9 | 0.7 | 0.1 | 12.7 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 7.3 | 138.1 | 81.2 | 126.3 | 1.0 | 1.8 | 1.1 | 141.8 | 0.9 | 0.3 | 0.1 | 6.1 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 7.5 | 142.4 | 83.6 | 111.7 | 0.9 | 1.8 | 1.1 | 126.7 | 0.9 | 0.3 | 0.1 | 4.8 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 7.7 | 146.7 | 85.9 | 156.7 | 1.0 | 1.8 | 1.1 | 170.2 | 0.9 | 0.5 | 0.1 | 9.5 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 7.9 | 151.1 | 88.3 | 137.9 | 1.0 | 1.8 | 1.1 | 153.0 | 0.9 | 0.4 | 0.1 | 7.3 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 8.1 | 155.4 | 90.6 | 108.4 | 0.5 | 1.7 | 1.1 | 112.2 | 0.9 | 0.2 | 0.1 | 3.7 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 8.3 | 159.7 | 93.0 | 115.1 | 0.6 | 1.7 | 1.0 | 122.4 | 0.9 | 0.3 | 0.1 | 4.4 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 8.5 | 163.9 | 95.3 | 83.6 | 2.6 | 2.2 | 1.0 | 150.0 | 0.9 | 0.4 | 0.1 | 6.9 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 8.7 | 168.1 | 97.5 | 72.7 | 1.5 | 2.1 | 1.0 | 110.9 | 0.9 | 0.2 | 0.1 | 3.6 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 8.9 | 172.4 | 99.9 | 87.5 | 1.5 | 2.1 | 1.0 | 122.4 | 0.9 | 0.3 | 0.1 | 4.4 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 9.1 | 176.7 | 102.2 | 78.0 | 0.6 | 1.9 | 1.0 | 91.3 | 0.9 | 0.2 | 0.1 | 2.7 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 9.3 | 181.1 | 104.6 | 52.2 | 1.5 | 2.2 | 1.0 | 93.0 | 0.9 | 0.2 | 0.1 | 2.7 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 9.5 | 185.3 | 106.8 | 94.3 | 1.8 | 2.1 | 1.0 | 138.7 | 0.9 | 0.3 | 0.1 | 5.8 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 9.7 | 189.5 | 109.1 | 85.8 | 1.7 | 2.1 | 1.0 | 126.2 | 0.9 | 0.3 | 0.1 | 4.8 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 9.9 | 193.7 | 111.3 | 18.9 | 6.1 | 3.0 | 0.9 | 132.5 | 0.9 | 0.3 | 0.1 | 5.3 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 10.1 | 197.9 | 113.5 | 52.9 | 1.3 | 2.2 | 0.9 | 86.9 | 0.9 | 0.1 | 0.1 | 2.5 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 10.3 | 202.2 | 115.9 | 116.2 | 1.0 | 1.8 | 0.9 | 132.8 | 0.9 | 0.3 | 0.1 | 5.4 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 10.5 | 206.5 | 118.2 | 131.2 | 0.6 | 1.7 | 0.9 | 132.8 | 0.9 | 0.3 | 0.1 | 5.4 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 10.7 | 210.8 | 120.6 | 132.6 | 1.2 | 1.9 | 0.9 | 155.1 | 0.9 | 0.4 | 0.1 | 7.8 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 10.9 | 215.1 | 122.9 | 96.9 | 0.8 | 1.9 | 0.9 | 112.8 | 0.9 | 0.2 | 0.1 | 3.9 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 11.1 | 219.3 | 125.2 | 58.5 | 3.6 | 2.5 | 0.9 | 150.0 | 0.9 | 0.4 | 0.1 | 7.3 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 11.3 | 223.4 | 127.3 | 82.3 | 2.9 | 2.3 | 0.9 | 158.6 | 0.9 | 0.5 | 0.1 | 8.3 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 11.5 | 227.7 | 129.6 | 127.2 | 1.2 | 1.9 | 0.9 | 148.6 | 0.9 | 0.4 | 0.1 | 7.2 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 11.7 | 232.0 | 132.0 | 129.5 | 1.3 | 1.9 | 0.9 | 153.6 | 0.9 | 0.4 | 0.1 | 7.8 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 11.9 | 236.3 | 134.3 | 160.5 | 0.3 | 1.5 | 0.9 | 132.2 | 0.9 | 0.3 | 0.1 | 5.5 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 12.1 | 240.6 | 136.7 | 136.6 | 0.6 | 1.7 | 0.9 | 139.6 | 0.9 | 0.3 | 0.1 | 6.3 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 12.3 | 244.9 | 139.0 | 118.8 | 1.3 | 1.9 | 0.8 | 144.3 | 0.8 | 0.4 | 0.1 | 6.8 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 12.5 | 249.2 | 141.4 | 142.5 | 0.3 | 1.5 | 0.8 | 122.1 | 0.8 | 0.2 | 0.1 | 4.8 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 12.7 | 253.5 | 143.7 | 217.4 | 0.6 | 1.5 | 0.8 | 188.7 | 0.8 | 0.7 | 0.1 | 13.6 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 12.9 | 257.9 | 146.1 | 205.9 | 0.4 | 1.4 | 0.8 | 149.9 | 0.8 | 0.4 | 0.1 | 7.6 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 13.1 | 262.2 | 148.4 | 212.4 | 0.2 | 1.2 | 0.8 | 67.9 | 0.8 | 0.1 | 0.1 | 2.1 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 13.3 | 266.5 | 150.8 | 168.4 | 0.1 | 1.3 | 0.8 | 76.4 | 0.8 | 0.1 | 0.1 | 2.4 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 13.5 | 270.8 | 153.1 | 173.5 | 0.6 | 1.6 | 0.8 | 168.3 | 0.8 | 0.5 | 0.1 | 10.3 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 13.7 | 275.1 | 155.5 | 119.5 | 1.2 | 1.9 | 0.8 | 142.8 | 0.8 | 0.4 | 0.1 | 7.0 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 13.9 | 279.4 | 157.8 | 135.0 | 0.4 | 1.6 | 0.8 | 128.0 | 0.8 | 0.3 | 0.1 | 5.5 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 14.1 | 283.7 | 160.2 | 182.9 | 0.3 | 1.4 | 0.8 | 123.9 | 0.8 | 0.3 | 0.1 | 5.2 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 14.3 | 288.1 | 162.5 | 109.3 | 1.2 | 1.9 | 0.8 | 132.1 | 0.8 | 0.3 | 0.1 | 5.9 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 14.5 | 292.3 | 164.8 | 68.8 | 2.6 | 2.3 | 0.8 | 137.5 | 0.8 | 0.3 | 0.0 | 6.5 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 14.7 | 296.3 | 166.9 | 8.3 | 5.7 | 3.2 | 0.6 | 96.8 | 0.8 | 0.2 | 0.0 | 3.4 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 14.9 | 300.2 | 168.8 | 6.4 | 4.5 | 3.3 | 0.6 | 82.5 | 0.8 | 0.1 | 0.0 | 2.7 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 15.1 | 304.1 | 170.8 | 11.0 | 5.2 | 3.1 | 0.6 | 102.4 | 0.8 | 0.2 | 0.0 | 3.7 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 15.3 | 308.3 | 173.0 | 57.6 | 0.9 | 2.1 | 0.8 | 82.3 | 0.8 | 0.1 | 0.0 | 2.7 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 15.5 | 312.5 | 175.2 | 80.2 | 2.6 | 2.3 | 0.8 | 146.5 | 0.8 | 0.4 | 0.0 | 7.8 | NO | 0.0 | Molto basso |

| Z (m) | σ (KPa) | σ' (KPa) | qC | fs F(%) | lc | CQ | qc1 (KPa) | rd | CRR | (CSR) | FS | SL | IL | Rischio |
|-------|-------------------|--------------------|-------|------------|-----|-----|-----------|-----|-----|-------|-----|----|-----|-------------|
| 15.7 | 316.7 | 177.4 | 81.1 | 2.5 | 2.3 | 0.8 | 146.1 | 0.8 | 0.4 | 0.0 | 7.8 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 15.9 | 320.9 | 179.7 | 85.0 | 1.7 | 2.1 | 0.7 | 125.7 | 0.7 | 0.3 | 0.0 | 5.6 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 16.1 | 325.1 | 182.0 | 18.3 | 3.8 | 2.9 | 0.5 | 105.0 | 0.7 | 0.2 | 0.0 | 4.0 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 16.3 | 329.2 | 184.0 | 5.3 | 7.0 | 3.4 | 0.5 | 91.9 | 0.7 | 0.2 | 0.0 | 3.3 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 16.5 | 333.1 | 186.0 | 11.0 | 6.2 | 3.2 | 0.5 | 110.5 | 0.7 | 0.2 | 0.0 | 4.4 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 16.7 | 337.2 | 188.1 | 13.0 | 4.4 | 3.0 | 0.5 | 100.6 | 0.7 | 0.2 | 0.0 | 3.8 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 16.9 | 341.2 | 190.2 | 8.7 | 3.6 | 3.1 | 0.5 | 81.7 | 0.7 | 0.1 | 0.0 | 2.9 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 17.1 | 345.2 | 192.3 | 9.2 | 7.2 | 3.3 | 0.5 | 110.5 | 0.7 | 0.2 | 0.0 | 4.5 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 17.3 | 349.3 | 194.3 | 11.1 | 5.0 | 3.1 | 0.5 | 101.0 | 0.7 | 0.2 | 0.0 | 3.9 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 17.5 | 353.4 | 196.5 | 11.4 | 6.6 | 3.2 | 0.5 | 114.5 | 0.7 | 0.2 | 0.0 | 4.9 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 17.7 | 357.4 | 198.5 | 6.4 | 7.0 | 3.4 | 0.5 | 96.9 | 0.7 | 0.2 | 0.0 | 3.7 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 17.9 | 361.3 | 200.5 | 5.8 | 12.7 | 3.6 | 0.5 | 116.6 | 0.7 | 0.2 | 0.0 | 5.1 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 18.1 | 365.4 | 202.6 | 45.2 | 0.3 | 2.0 | 0.7 | 56.3 | 0.7 | 0.1 | 0.0 | 2.2 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 18.3 | 369.7 | 204.9 | 60.7 | 0.7 | 2.0 | 0.7 | 78.7 | 0.7 | 0.1 | 0.0 | 2.9 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 18.5 | 374.0 | 207.3 | 111.4 | 1.1 | 1.9 | 0.7 | 133.4 | 0.7 | 0.3 | 0.0 | 6.9 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 18.7 | 378.3 | 209.6 | 92.5 | 1.0 | 1.9 | 0.7 | 112.8 | 0.7 | 0.2 | 0.0 | 5.0 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 18.9 | 382.6 | 212.0 | 77.9 | 1.7 | 2.1 | 0.7 | 119.9 | 0.7 | 0.2 | 0.0 | 5.6 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 19.1 | 387.0 | 214.4 | 62.2 | 0.2 | 1.8 | 0.7 | 67.5 | 0.7 | 0.1 | 0.0 | 2.6 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 19.3 | 391.1 | 216.6 | 8.1 | 9.0 | 3.4 | 0.5 | 115.3 | 0.7 | 0.2 | 0.0 | 5.3 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 19.5 | 395.2 | 218.7 | 34.9 | 3.5 | 2.6 | 0.5 | 124.4 | 0.7 | 0.3 | 0.0 | 6.2 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 19.7 | 399.4 | 220.9 | 103.5 | 0.8 | 1.8 | 0.7 | 117.1 | 0.6 | 0.2 | 0.0 | 5.6 | NO | 0.0 | Molto basso |
| 19.9 | 403.7 | 223.3 | 75.3 | 0.4 | 1.8 | 0.7 | 81.9 | 0.6 | 0.1 | 0.0 | 3.2 | NO | 0.0 | Molto basso |

· Z=profondità (m)

· σ = Pressione litostatica totale (KPa)

· σ' = Pressione verticale effettiva (KPa)

· qC= Resistenza alla punta normalizzata Q

· fs normalizzato= Attrito laterale normalizzato F(%)

· lc= Indice di comportamento

· CQ= Correzione per la pressione litostatica efficace

· qc1= Resistenza alla punta corretta (KPa)

· rd=Coefficiente riduttivo

CRR Resistenza alla liquefazione

CSR= Sforzo di taglio normalizzato

Fs =Coefficiente di sicurezza

SL=Suscettibilità di liquefazione

IL=Indice di liquefazione sec Iwasaki

Rischio= Rischio sec. Iwasaki

8. VALIDAZIONE DEL MODELLO GEOLOGICO E DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI TERRENI

In base ai dati ricavati dalla prova penetrometrica, si fornisce di seguito una schematizzazione delle caratteristiche dei terreni, attraverso i principali parametri geotecnici caratteristici.

Tale determinazione è stata eseguita applicando il metodo della discretizzazione degli strati di terreno, suddividendo cioè la sequenza stratigrafica in strati omogenei con caratteristiche assimilabili e attribuendo gli specifici parametri a seguito di una stima ragionata e cautelativa.

| Nr. | Prof. base | Tipo | Cu | Mo | Puv | PuvS | Dr | Fi | Ey |
|-----|------------|------|-----|------|-----|------|------|------|-------|
| 1 | 5.00 | I | -- | -- | 1.8 | 2.1 | 73.7 | 33.9 | 161.8 |
| 2 | 6.00 | C | 0.8 | 48.4 | 1.9 | 2.0 | -- | -- | -- |
| 3 | 14.60 | I | -- | -- | 1.9 | 2.2 | 68.9 | 32.0 | 309.0 |
| 4 | 15.20 | C | 0.9 | 46.2 | 1.9 | 2.0 | -- | -- | -- |
| 5 | 16.00 | I | -- | -- | 1.8 | 2.1 | 55.5 | 30.0 | 257.5 |
| 6 | 18.00 | C | 1.1 | 45.8 | 2.0 | 2.1 | -- | -- | -- |
| 7 | 24.00 | I | -- | -- | 1.9 | 2.2 | 64.2 | 32.0 | 389.8 |

| | |
|-------|---|
| Nr: | Numero progressivo strato |
| Prof: | Profondità base strato (m) |
| Tipo: | C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente |
| Cu: | Coesione non drenata (Kg/cm ²) |
| Mo: | Modulo Edometrico (Kg/cm ²) |
| Puv: | Peso unità di volume (t/m ³) |
| PuvS: | Peso unità di volume saturo (t/m ³) |
| Dr: | Densità relativa (%) |
| Fi: | Angolo di resistenza al taglio (°) |
| Ey: | Modulo di Young (Kg/cm ²) |

Il modulo M è da considerarsi quale modulo di deformazione, e cioè edometrico per gli strati coesivi il modulo E, elastico per quelli a comportamento attritivo.

La stima dei parametri è da considerarsi effettuata in condizioni non drenate.

9. CONCLUSIONI

Sulla base del presente studio è stato possibile fornire:

- Una ricostruzione stratigrafica in corrispondenza dei punti di indagine;
- Un'analisi delle fragilità geologiche del sito;
- La caratterizzazione geotecnica dei terreni attraversati;
- Dal punto di vista sismico è stata classificata la zona di studio come suolo di tipo C.
- E' stato fornito il fattore di amplificazione sismico locale.
- Sono stati calcolati e forniti gli spettri di risposta sismica locale del sito in oggetto.
- Sono stati forniti i nuovi parametri dinamici di calcolo per la progettazione in zona sismica.
- E' stata fornita la massima accelerazione PGA (g) e i rapporti di intensità spettrale di Housner per meglio descrivere il contenuto energetico di un terremoto.
- Va infine ricordato che, al momento della misura, è stata rilevata la presenza di falda fino alla profondità di 5.20 metri da p.c.

Borgoricco, 25 marzo 2022

Dott. Geol. Sergio Drago



➤ **UBICAZIONE INDAGINI IN SITO**



| | |
|--------------------|--|
| TAVOLA 1 | COMUNE DI PADOVA (PD) - "PONTE SAN LEONARDO" |
| | SERVIZIO DI INDAGINI SU MATERIALI E STRUTTURE DI ALCUNI MANUFATTI STRADALI NEL TERRITORIO |
| | ESTRATTO DI RIPRESA AEREA CON UBICAZIONE PUNTI DI INDAGINE |

➤ **RAPPORTI DI PROVA PENETROMETRICA**

Committente: *Expin srl*

Località: *Padova (PD) - Ponte San Leonardo*

Progetto: *Servizio di indagini su materiali e strutture di alcuni manufatti stradali nel territorio*

Data prova: *08/03/2022*

Prova : *1*

| | |
|---|---|
| Penetrometro | Pagani (200 kN) - punta meccanica tipo Begemann |
| Superficie manicotto (cm ²) | 150,00 |
| Diametro base punta (cm) | 37,50 |
| Apertura punta (°) | 60 |
| Quota inizio prova | p.c. |
| Profondità falda da p.c. (m): | 5,20 |

| Profondità | Letture punta | Letture laterale | qc | fs | qc/fs | fs/qcx100 |
|------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------|---------------|
| (m) | (Kg/cm ²) | (Kg/cm ²) | (Kg/cm ²) | (Kg/cm ²) | Begemann | (Schmertmann) |
| 0,20 | 0,00 | 0,00 | 0,10 | 0,00 | | 0,00 |
| 0,40 | 0,00 | 0,00 | 0,10 | 0,00 | | 0,00 |
| 0,60 | 0,00 | 0,00 | 0,10 | 0,60 | 0,20 | 600,00 |
| 0,80 | 81,00 | 90,00 | 81,10 | 2,30 | 35,30 | 2,80 |
| 1,00 | 90,00 | 124,00 | 90,10 | 2,20 | 41,00 | 2,40 |
| 1,20 | 68,00 | 101,00 | 68,30 | 0,70 | 97,60 | 1,00 |
| 1,40 | 79,00 | 90,00 | 79,30 | 0,90 | 88,10 | 1,10 |
| 1,60 | 39,00 | 52,00 | 39,30 | 2,10 | 18,70 | 5,30 |
| 1,80 | 74,00 | 106,00 | 74,30 | 1,30 | 57,20 | 1,70 |
| 2,00 | 60,00 | 79,00 | 60,30 | 0,50 | 120,60 | 0,80 |
| 2,20 | 76,00 | 83,00 | 76,40 | 1,60 | 47,80 | 2,10 |
| 2,40 | 66,00 | 90,00 | 66,40 | 1,30 | 51,10 | 2,00 |
| 2,60 | 66,00 | 86,00 | 66,40 | 1,30 | 51,10 | 2,00 |
| 2,80 | 76,00 | 96,00 | 76,40 | 3,50 | 21,80 | 4,60 |
| 3,00 | 36,00 | 89,00 | 36,40 | 0,70 | 52,00 | 1,90 |
| 3,20 | 76,00 | 86,00 | 76,60 | 0,90 | 85,10 | 1,20 |
| 3,40 | 60,00 | 73,00 | 60,60 | 1,10 | 55,10 | 1,80 |
| 3,60 | 78,00 | 95,00 | 78,60 | 0,40 | 196,50 | 0,50 |
| 3,80 | 85,00 | 91,00 | 85,60 | 1,30 | 65,80 | 1,50 |
| 4,00 | 64,00 | 83,00 | 64,60 | 1,70 | 38,00 | 2,60 |
| 4,20 | 31,00 | 56,00 | 31,70 | 2,60 | 12,20 | 8,20 |
| 4,40 | 64,00 | 103,00 | 64,70 | 0,70 | 92,40 | 1,10 |
| 4,60 | 99,00 | 110,00 | 99,70 | 1,50 | 66,50 | 1,50 |
| 4,80 | 123,00 | 146,00 | 123,70 | 1,30 | 95,20 | 1,10 |
| 5,00 | 116,00 | 136,00 | 116,70 | 0,70 | 166,70 | 0,60 |
| 5,20 | 5,00 | 16,00 | 5,80 | 0,40 | 14,50 | 6,90 |
| 5,40 | 15,00 | 21,00 | 15,80 | 1,30 | 12,20 | 8,20 |
| 5,60 | 22,00 | 42,00 | 22,80 | 1,40 | 16,30 | 6,10 |
| 5,80 | 16,00 | 37,00 | 16,80 | 0,50 | 33,60 | 3,00 |
| 6,00 | 10,00 | 17,00 | 10,80 | 1,70 | 6,40 | 15,70 |
| 6,20 | 121,00 | 146,00 | 122,00 | 1,50 | 81,30 | 1,20 |
| 6,40 | 30,00 | 52,00 | 31,00 | 0,80 | 38,80 | 2,60 |
| 6,60 | 18,00 | 30,00 | 19,00 | 2,90 | 6,60 | 15,30 |
| 6,80 | 53,00 | 97,00 | 54,00 | 0,20 | 270,00 | 0,40 |
| 7,00 | 21,00 | 24,00 | 22,00 | 0,90 | 24,40 | 4,10 |
| 7,20 | 28,00 | 41,00 | 29,10 | 2,10 | 13,90 | 7,20 |
| 7,40 | 115,00 | 147,00 | 116,10 | 1,10 | 105,50 | 0,90 |
| 7,60 | 103,00 | 120,00 | 104,10 | 0,90 | 115,70 | 0,90 |
| 7,80 | 147,00 | 161,00 | 148,10 | 1,50 | 98,70 | 1,00 |
| 8,00 | 131,00 | 153,00 | 132,10 | 1,30 | 101,60 | 1,00 |
| 8,20 | 104,00 | 123,00 | 105,20 | 0,50 | 210,40 | 0,50 |
| 8,40 | 112,00 | 120,00 | 113,20 | 0,70 | 161,70 | 0,60 |
| 8,60 | 82,00 | 92,00 | 83,20 | 2,10 | 39,60 | 2,50 |
| 8,80 | 72,00 | 104,00 | 73,20 | 1,10 | 66,50 | 1,50 |
| 9,00 | 88,00 | 104,00 | 89,20 | 1,30 | 68,60 | 1,50 |
| 9,20 | 79,00 | 99,00 | 80,40 | 0,50 | 160,80 | 0,60 |
| 9,40 | 53,00 | 61,00 | 54,40 | 0,80 | 68,00 | 1,50 |
| 9,60 | 98,00 | 110,00 | 99,40 | 1,80 | 55,20 | 1,80 |
| 9,80 | 90,00 | 117,00 | 91,40 | 1,50 | 60,90 | 1,60 |
| 10,00 | 22,00 | 44,00 | 23,40 | 1,30 | 18,00 | 5,60 |

Note e osservazioni:

Committente: *Expin srl*

Località: *Padova (PD) - Ponte San Leonardo*

Progetto: *Servizio di indagini su materiali e strutture di alcuni manufatti stradali nel territorio*

Data prova: *08/03/2022* Prova : *1*

| | |
|---|---|
| Penetrometro | Pagani (200 kN) - punta meccanica tipo Begemann |
| Superficie manicotto (cm ²) | 150,00 |
| Diametro base punta (cm) | 37,50 |
| Apertura punta (°) | 60 |
| Quota inizio prova | p.c. |
| Profondità falda da p.c. (m): | 5,20 |

| Profondità (m) | Letture punta (Kg/cm ²) | Letture laterale (Kg/cm ²) | qc (Kg/cm ²) | fs (Kg/cm ²) | qc/fs Begemann | fs/qcx100 (Schmertmann) |
|----------------|-------------------------------------|--|--------------------------|--------------------------|----------------|-------------------------|
| 10,20 | 56,00 | 75,00 | 57,50 | 0,70 | 82,10 | 1,20 |
| 10,40 | 126,00 | 136,00 | 127,50 | 1,20 | 106,30 | 0,90 |
| 10,60 | 144,00 | 162,00 | 145,50 | 0,80 | 181,90 | 0,50 |
| 10,80 | 147,00 | 159,00 | 148,50 | 1,80 | 82,50 | 1,20 |
| 11,00 | 108,00 | 135,00 | 109,50 | 0,90 | 121,70 | 0,80 |
| 11,20 | 65,00 | 78,00 | 66,70 | 2,30 | 29,00 | 3,40 |
| 11,40 | 93,00 | 127,00 | 94,70 | 2,70 | 35,10 | 2,90 |
| 11,60 | 146,00 | 186,00 | 147,70 | 1,70 | 86,90 | 1,20 |
| 11,80 | 150,00 | 176,00 | 151,70 | 1,90 | 79,80 | 1,30 |
| 12,00 | 188,00 | 216,00 | 189,70 | 0,60 | 316,20 | 0,30 |
| 12,20 | 161,00 | 170,00 | 162,80 | 1,00 | 162,80 | 0,60 |
| 12,40 | 141,00 | 156,00 | 142,80 | 1,80 | 79,30 | 1,30 |
| 12,60 | 171,00 | 198,00 | 172,80 | 0,50 | 345,60 | 0,30 |
| 12,80 | 264,00 | 271,00 | 265,80 | 1,50 | 177,20 | 0,60 |
| 13,00 | 252,00 | 274,00 | 253,80 | 0,90 | 282,00 | 0,40 |
| 13,20 | 262,00 | 276,00 | 263,90 | 0,40 | 659,80 | 0,20 |
| 13,40 | 209,00 | 215,00 | 210,90 | 0,20 | 1054,50 | 0,10 |
| 13,60 | 217,00 | 220,00 | 218,90 | 1,40 | 156,40 | 0,60 |
| 13,80 | 150,00 | 171,00 | 151,90 | 1,80 | 84,40 | 1,20 |
| 14,00 | 171,00 | 198,00 | 172,90 | 0,70 | 247,00 | 0,40 |
| 14,20 | 234,00 | 245,00 | 236,10 | 0,60 | 393,50 | 0,30 |
| 14,40 | 140,00 | 149,00 | 142,10 | 1,60 | 88,80 | 1,10 |
| 14,60 | 88,00 | 112,00 | 90,10 | 2,30 | 39,20 | 2,60 |
| 14,80 | 15,00 | 50,00 | 17,10 | 0,80 | 21,40 | 4,70 |
| 15,00 | 12,00 | 24,00 | 14,10 | 0,50 | 28,20 | 3,50 |
| 15,20 | 20,00 | 28,00 | 22,20 | 1,00 | 22,20 | 4,50 |
| 15,40 | 75,00 | 90,00 | 77,20 | 0,70 | 110,30 | 0,90 |
| 15,60 | 106,00 | 116,00 | 108,20 | 2,70 | 40,10 | 2,50 |
| 15,80 | 108,00 | 149,00 | 110,20 | 2,70 | 40,80 | 2,50 |
| 16,00 | 114,00 | 154,00 | 116,20 | 1,90 | 61,20 | 1,60 |
| 16,20 | 35,00 | 63,00 | 37,30 | 1,30 | 28,70 | 3,50 |
| 16,40 | 11,00 | 31,00 | 13,30 | 0,70 | 19,00 | 5,30 |
| 16,60 | 22,00 | 32,00 | 24,30 | 1,30 | 18,70 | 5,30 |
| 16,80 | 26,00 | 46,00 | 28,30 | 1,10 | 25,70 | 3,90 |
| 17,00 | 18,00 | 34,00 | 20,30 | 0,60 | 33,80 | 3,00 |
| 17,20 | 19,00 | 28,00 | 21,50 | 1,30 | 16,50 | 6,00 |
| 17,40 | 23,00 | 42,00 | 25,50 | 1,10 | 23,20 | 4,30 |
| 17,60 | 24,00 | 40,00 | 26,50 | 1,50 | 17,70 | 5,70 |
| 17,80 | 14,00 | 36,00 | 16,50 | 0,90 | 18,30 | 5,50 |
| 18,00 | 13,00 | 27,00 | 15,50 | 1,50 | 10,30 | 9,70 |
| 18,20 | 63,00 | 86,00 | 65,60 | 0,20 | 328,00 | 0,30 |
| 18,40 | 86,00 | 89,00 | 88,60 | 0,60 | 147,70 | 0,70 |
| 18,60 | 161,00 | 170,00 | 163,60 | 1,80 | 90,90 | 1,10 |
| 18,80 | 134,00 | 161,00 | 136,60 | 1,30 | 105,10 | 1,00 |
| 19,00 | 113,00 | 133,00 | 115,60 | 1,90 | 60,80 | 1,60 |
| 19,20 | 90,00 | 118,00 | 92,80 | 0,20 | 464,00 | 0,20 |
| 19,40 | 19,00 | 22,00 | 21,80 | 1,60 | 13,60 | 7,30 |
| 19,60 | 79,00 | 103,00 | 81,80 | 2,70 | 30,30 | 3,30 |
| 19,80 | 154,00 | 195,00 | 156,80 | 1,20 | 130,70 | 0,80 |
| 20,00 | 112,00 | 130,00 | 114,80 | 0,40 | 287,00 | 0,30 |

Note e osservazioni:

Committente: *Expin srl*

Località: *Padova (PD) - Ponte San Leonardo*

Progetto: *Servizio di indagini su materiali e strutture di alcuni manufatti stradali nel territorio*

Data prova: *08/03/2022* Prova : *1*

| | |
|---|---|
| Penetrometro | Pagani (200 kN) - punta meccanica tipo Begemann |
| Superficie manicotto (cm ²) | 150,00 |
| Diametro base punta (cm) | 37,50 |
| Apertura punta (°) | 60 |
| Quota inizio prova | p.c. |
| Profondità falda da p.c. (m): | 5,20 |

| Profondità (m) | Lettura punta (Kg/cm ²) | Lettura laterale (Kg/cm ²) | qc (Kg/cm ²) | fs (Kg/cm ²) | qc/fs Begemann | fs/qcx100 (Schmertmann) |
|-------------------|--|---|-----------------------------|-----------------------------|-------------------|----------------------------|
| 20,20 | 139,00 | 145,00 | 141,90 | 3,50 | 40,50 | 2,50 |
| 20,40 | 30,00 | 82,00 | 32,90 | 0,30 | 109,70 | 0,90 |
| 20,60 | 168,00 | 172,00 | 170,90 | 2,50 | 68,40 | 1,50 |
| 20,80 | 183,00 | 220,00 | 185,90 | 1,10 | 169,00 | 0,60 |
| 21,00 | 226,00 | 243,00 | 228,90 | 0,70 | 327,00 | 0,30 |
| 21,20 | 242,00 | 253,00 | 245,00 | 0,30 | 816,70 | 0,10 |
| 21,40 | 175,00 | 180,00 | 178,00 | 1,10 | 161,80 | 0,60 |
| 21,60 | 180,00 | 196,00 | 183,00 | 4,40 | 41,60 | 2,40 |
| 21,80 | 129,00 | 195,00 | 132,00 | 3,00 | 44,00 | 2,30 |
| 22,00 | 176,00 | 221,00 | 179,00 | 0,90 | 198,90 | 0,50 |
| 22,20 | 222,00 | 236,00 | 225,20 | 0,30 | 750,70 | 0,10 |
| 22,40 | 116,00 | 120,00 | 119,20 | 3,20 | 37,30 | 2,70 |
| 22,60 | 160,00 | 208,00 | 163,20 | 2,60 | 62,80 | 1,60 |
| 22,80 | 187,00 | 226,00 | 190,20 | 2,60 | 73,20 | 1,40 |
| 23,00 | 157,00 | 196,00 | 160,20 | 0,60 | 267,00 | 0,40 |
| 23,20 | 180,00 | 189,00 | 183,30 | 2,30 | 79,70 | 1,30 |
| 23,40 | 180,00 | 215,00 | 183,30 | 3,80 | 48,20 | 2,10 |
| 23,60 | 221,00 | 278,00 | 224,30 | 2,30 | 97,50 | 1,00 |
| 23,80 | 250,00 | 285,00 | 253,30 | 1,90 | 133,30 | 0,80 |
| 24,00 | 255,00 | 284,00 | 258,30 | 0,00 | | 0,00 |

Note e osservazioni:

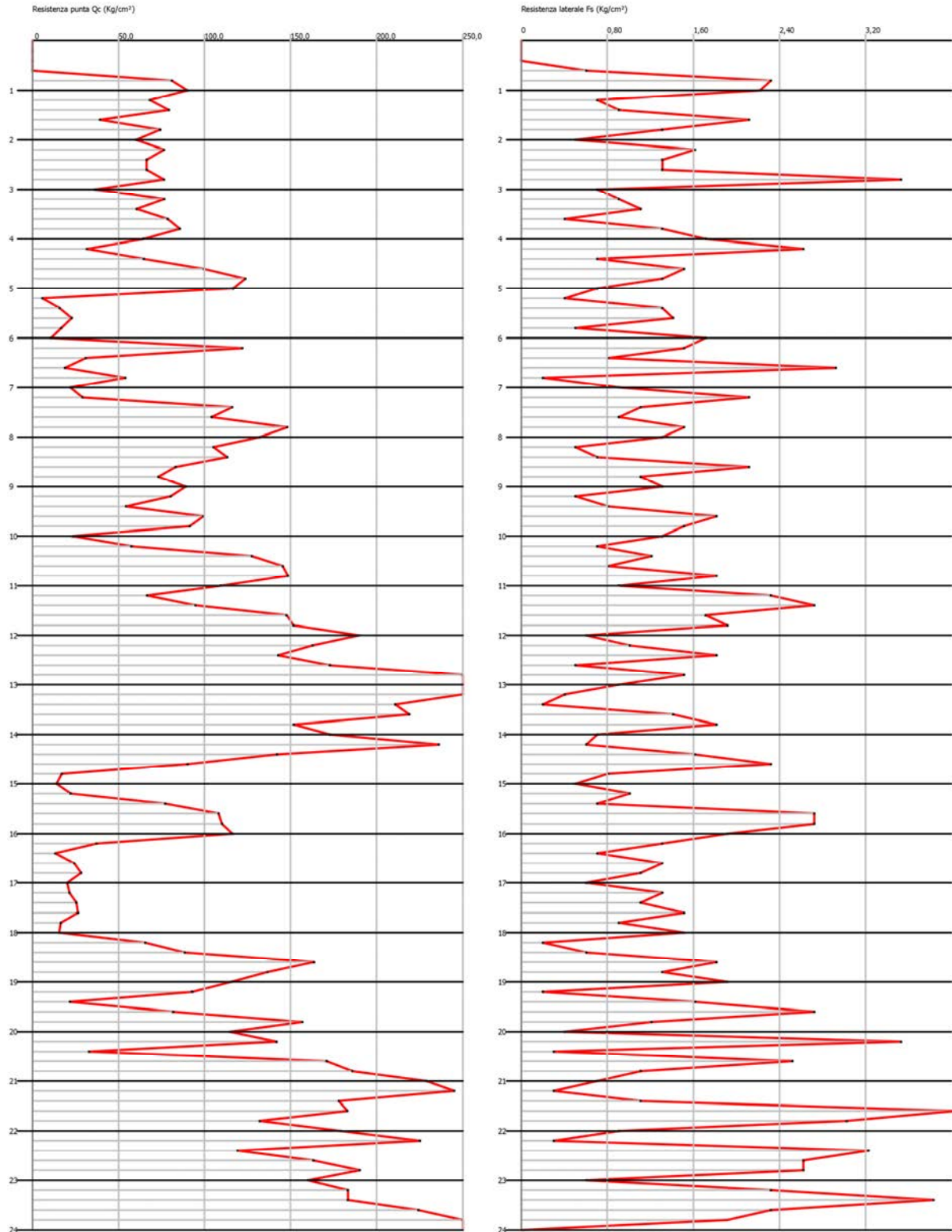
Committente: Expin srl

Località: Padova (PD) - Ponte San Leonardo

Progetto: Servizio di indagini su materiali e strutture di alcuni manufatti stradali nel territorio

Data prova: 08/03/2022

Prova : 1



Note e osservazioni:

➤ **INTERPRETAZIONE PROVE PENETROMETRICHE**

PROVA CPT1

VALUTAZIONI LITOLOGICHE Sec. Schmertmann 1978

| Prof. Strato (m) | qc Media (Kg/cm ²) | fs Media (Kg/cm ²) | Gamma Medio (t/m ³) | Comp. Geotecnico | Descrizione |
|---------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|------------------------|--|
| 0,80 | 81,1 | 2,3 | 2,2 | Incoerente | Sabbie |
| 1,00 | 90,1 | 2,2 | 2,2 | Incoerente | Sabbie |
| 1,20 | 68,3 | 0,7 | 1,9 | Incoerente | Sabbie |
| 1,40 | 79,3 | 0,9 | 1,9 | Incoerente | Sabbie |
| 1,60 | 39,3 | 2,1 | 2,1 | Incoerente- Coesivo | Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi |
| 1,80 | 74,3 | 1,3 | 1,9 | Incoerente | Sabbie |
| 2,00 | 60,3 | 0,5 | 1,9 | Incoerente | Sabbie |
| 2,20 | 76,4 | 1,6 | 1,9 | Incoerente | Sabbie |
| 2,40 | 66,4 | 1,3 | 1,9 | Incoerente | Sabbie |
| 2,60 | 66,4 | 1,3 | 1,9 | Incoerente | Sabbie |
| 2,80 | 76,4 | 3,5 | 2,2 | Incoerente | Sabbie |
| 3,00 | 36,4 | 0,7 | 1,9 | Incoerente | Sabbie |
| 3,20 | 76,6 | 0,9 | 1,9 | Incoerente | Sabbie |
| 3,40 | 60,6 | 1,1 | 1,9 | Incoerente | Sabbie |
| 3,60 | 78,6 | 0,4 | 1,9 | Incoerente | Sabbie |
| 3,80 | 85,6 | 1,3 | 1,9 | Incoerente | Sabbie |
| 4,00 | 64,6 | 1,7 | 2,2 | Incoerente | Sabbie |
| 4,20 | 31,7 | 2,6 | 2,0 | Incoerente- Coesivo | Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi |
| 4,40 | 64,7 | 0,7 | 1,9 | Incoerente | Sabbie |
| 4,60 | 99,7 | 1,5 | 2,0 | Incoerente | Sabbie addensate o cementate |
| 4,80 | 123,7 | 1,3 | 2,0 | Incoerente | Sabbie addensate o cementate |
| 5,00 | 116,7 | 0,7 | 2,0 | Incoerente | Sabbie addensate o cementate |
| 5,20 | 5,8 | 0,4 | 1,8 | Coesivo | Argille organiche e terreni misti |
| 5,40 | 15,8 | 1,3 | 1,9 | Coesivo | Argille organiche e terreni misti |
| 5,60 | 22,8 | 1,4 | 2,0 | Coesivo | Argilla inorganica molto compatta |
| 5,80 | 16,8 | 0,5 | 1,9 | Coesivo | Argille sabbiose e limose |
| 6,00 | 10,8 | 1,7 | 1,9 | Coesivo | Argille organiche e terreni misti |
| 6,20 | 122,0 | 1,5 | 2,0 | Incoerente | Sabbie addensate o cementate |
| 6,40 | 31,0 | 0,8 | 2,0 | Incoerente- Coesivo | Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi |
| 6,60 | 19,0 | 2,9 | 2,0 | Coesivo | Argilla inorganica molto compatta |
| 6,80 | 54,0 | 0,2 | 1,9 | Incoerente | Sabbie |
| 7,00 | 22,0 | 0,9 | 2,0 | Coesivo | Argille sabbiose e limose |
| 7,20 | 29,1 | 2,1 | 2,0 | Coesivo | Argilla inorganica molto compatta |
| 7,40 | 116,1 | 1,1 | 2,0 | Incoerente | Sabbie addensate o cementate |
| 7,60 | 104,1 | 0,9 | 2,0 | Incoerente | Sabbie addensate o cementate |
| 7,80 | 148,1 | 1,5 | 2,0 | Incoerente | Sabbie addensate o cementate |

| Prof. Strato (m) | qc Media (Kg/cm ²) | fs Media (Kg/cm ²) | Gamma Medio (t/m ³) | Comp. Geotecnico | Descrizione |
|---------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|------------------|-----------------------------------|
| 8,00 | 132,1 | 1,3 | 2,0 | Incoerente | Sabbie addensate o cementate |
| 8,20 | 105,2 | 0,5 | 2,0 | Incoerente | Sabbie addensate o cementate |
| 8,40 | 113,2 | 0,7 | 2,0 | Incoerente | Sabbie addensate o cementate |
| 8,60 | 83,2 | 2,1 | 2,2 | Incoerente | Sabbie |
| 8,80 | 73,2 | 1,1 | 1,9 | Incoerente | Sabbie |
| 9,00 | 89,2 | 1,3 | 1,9 | Incoerente | Sabbie |
| 9,20 | 80,4 | 0,5 | 1,9 | Incoerente | Sabbie |
| 9,40 | 54,4 | 0,8 | 1,9 | Incoerente | Sabbie |
| 9,60 | 99,4 | 1,8 | 2,0 | Incoerente | Sabbie addensate o cementate |
| 9,80 | 91,4 | 1,5 | 1,9 | Incoerente | Sabbie |
| 10,00 | 23,4 | 1,3 | 2,0 | Coesivo | Argilla inorganica molto compatta |
| 10,20 | 57,5 | 0,7 | 1,9 | Incoerente | Sabbie |
| 10,40 | 127,5 | 1,2 | 2,0 | Incoerente | Sabbie addensate o cementate |
| 10,60 | 145,5 | 0,8 | 2,0 | Incoerente | Sabbie addensate o cementate |
| 10,80 | 148,5 | 1,8 | 2,0 | Incoerente | Sabbie addensate o cementate |
| 11,00 | 109,5 | 0,9 | 2,0 | Incoerente | Sabbie addensate o cementate |
| 11,20 | 66,7 | 2,3 | 2,2 | Incoerente | Sabbie |
| 11,40 | 94,7 | 2,7 | 2,2 | Incoerente | Sabbie |
| 11,60 | 147,7 | 1,7 | 2,0 | Incoerente | Sabbie addensate o cementate |
| 11,80 | 151,7 | 1,9 | 2,0 | Incoerente | Sabbie addensate o cementate |
| 12,00 | 189,7 | 0,6 | 2,0 | Incoerente | Sabbie addensate o cementate |
| 12,20 | 162,8 | 1,0 | 2,0 | Incoerente | Sabbie addensate o cementate |
| 12,40 | 142,8 | 1,8 | 2,0 | Incoerente | Sabbie addensate o cementate |
| 12,60 | 172,8 | 0,5 | 2,0 | Incoerente | Sabbie addensate o cementate |
| 12,80 | 265,8 | 1,5 | 2,0 | Incoerente | Sabbie addensate o cementate |
| 13,00 | 253,8 | 0,9 | 2,0 | Incoerente | Sabbie addensate o cementate |
| 13,20 | 263,9 | 0,4 | 2,0 | Incoerente | Sabbie addensate o cementate |
| 13,40 | 210,9 | 0,2 | 2,0 | Incoerente | Sabbie addensate o cementate |
| 13,60 | 218,9 | 1,4 | 2,0 | Incoerente | Sabbie addensate o cementate |
| 13,80 | 151,9 | 1,8 | 2,0 | Incoerente | Sabbie addensate o cementate |
| 14,00 | 172,9 | 0,7 | 2,0 | Incoerente | Sabbie addensate o cementate |
| 14,20 | 236,1 | 0,6 | 2,0 | Incoerente | Sabbie addensate o cementate |
| 14,40 | 142,1 | 1,6 | 2,0 | Incoerente | Sabbie addensate o cementate |
| 14,60 | 90,1 | 2,3 | 2,2 | Incoerente | Sabbie |
| 14,80 | 17,1 | 0,8 | 1,9 | Coesivo | Argilla inorganica compatta |
| 15,00 | 14,1 | 0,5 | 1,9 | Coesivo | Argille sabbiose e limose |
| 15,20 | 22,2 | 1,0 | 2,0 | Coesivo | Argilla inorganica molto compatta |

| Prof. Strato (m) | qc Media (Kg/cm ²) | fs Media (Kg/cm ²) | Gamma Medio (t/m ³) | Comp. Geotecnico | Descrizione |
|---------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|------------------------|--------------------------------------|
| 15,40 | 77,2 | 0,7 | 1,9 | Incoerente | Sabbie |
| 15,60 | 108,2 | 2,7 | 2,3 | Incoerente | Sabbie |
| 15,80 | 110,2 | 2,7 | 2,3 | Incoerente | Sabbie |
| 16,00 | 116,2 | 1,9 | 2,0 | Incoerente | Sabbie addensate o cementate |
| 16,20 | 37,3 | 1,3 | 2,1 | Incoerente- Coesivo | Argille sabbiose e limose |
| 16,40 | 13,3 | 0,7 | 1,9 | Coesivo | Argilla inorganica compatta |
| 16,60 | 24,3 | 1,3 | 2,0 | Coesivo | Argilla inorganica molto compatta |
| 16,80 | 28,3 | 1,1 | 2,0 | Coesivo | Argille sabbiose e limose |
| 17,00 | 20,3 | 0,6 | 2,0 | Coesivo | Argille sabbiose e limose |
| 17,20 | 21,5 | 1,3 | 2,0 | Coesivo | Argilla inorganica molto compatta |
| 17,40 | 25,5 | 1,1 | 2,0 | Coesivo | Argille sabbiose e limose |
| 17,60 | 26,5 | 1,5 | 2,0 | Coesivo | Argilla inorganica molto compatta |
| 17,80 | 16,5 | 0,9 | 1,9 | Coesivo | Argilla inorganica compatta |
| 18,00 | 15,5 | 1,5 | 1,9 | Coesivo | Argille organiche e terreni misti |
| 18,20 | 65,6 | 0,2 | 1,9 | Incoerente | Sabbie |
| 18,40 | 88,6 | 0,6 | 1,9 | Incoerente | Sabbie |
| 18,60 | 163,6 | 1,8 | 2,0 | Incoerente | Sabbie addensate o cementate |
| 18,80 | 136,6 | 1,3 | 2,0 | Incoerente | Sabbie addensate o cementate |
| 19,00 | 115,6 | 1,9 | 2,0 | Incoerente | Sabbie addensate o cementate |
| 19,20 | 92,8 | 0,2 | 1,9 | Incoerente | Sabbie |
| 19,40 | 21,8 | 1,6 | 2,0 | Coesivo | Argilla inorganica molto compatta |
| 19,60 | 81,8 | 2,7 | 2,2 | Incoerente | Sabbie |
| 19,80 | 156,8 | 1,2 | 2,0 | Incoerente | Sabbie addensate o cementate |
| 20,00 | 114,8 | 0,4 | 2,0 | Incoerente | Sabbie addensate o cementate |
| 20,20 | 141,9 | 3,5 | 2,3 | Incoerente | Sabbie |
| 20,40 | 32,9 | 0,3 | 1,9 | Incoerente | Sabbie |
| 20,60 | 170,9 | 2,5 | 2,0 | Incoerente | Sabbie addensate o cementate |
| 20,80 | 185,9 | 1,1 | 2,0 | Incoerente | Sabbie addensate o cementate |
| 21,00 | 228,9 | 0,7 | 2,0 | Incoerente | Sabbie addensate o cementate |
| 21,20 | 245,0 | 0,3 | 2,0 | Incoerente | Sabbie addensate o cementate |
| 21,40 | 178,0 | 1,1 | 2,0 | Incoerente | Sabbie addensate o cementate |
| 21,60 | 183,0 | 4,4 | 2,3 | Incoerente | Sabbie |
| 21,80 | 132,0 | 3,0 | 2,3 | Incoerente | Sabbie |
| 22,00 | 179,0 | 0,9 | 2,0 | Incoerente | Sabbie |
| 22,20 | 225,2 | 0,3 | 2,0 | Incoerente | Sabbie |
| 22,40 | 119,2 | 3,2 | 2,3 | Incoerente | Sabbie |
| 22,60 | 163,2 | 2,6 | 2,0 | Incoerente | Sabbie addensate o cementate |
| 22,80 | 190,2 | 2,6 | 2,0 | Incoerente | Sabbie addensate o cementate |
| 23,00 | 160,2 | 0,6 | 2,0 | Incoerente | Sabbie addensate o cementate |

| Prof. Strato (m) | qc Media (Kg/cm ²) | fs Media (Kg/cm ²) | Gamma Medio (t/m ³) | Comp. Geotecnico | Descrizione |
|---------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|------------------|---------------------------------|
| 23,20 | 183,3 | 2,3 | 2,0 | Incoerente | Sabbie addensate o cementate |
| 23,40 | 183,3 | 3,8 | 2,0 | Incoerente | Sabbie addensate o cementate |
| 23,60 | 224,3 | 2,3 | 2,0 | Incoerente | Sabbie addensate o cementate |
| 23,80 | 253,3 | 1,9 | 2,0 | Incoerente | Sabbie addensate o cementate |
| 24,00 | 258,3 | 0,0 | 2,0 | Incoerente | Sabbie addensate o cementate |

PROVA CPT1

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

Nr: Numero progressivo strato
 Prof: Profondità strato (m)
 Tipo: C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente
 Cu: Coesione non drenata (Kg/cm²)
 Mo: Modulo Edometrico (Kg/cm²)
 Puv: Peso unità di volume (t/m³)
 PuvS: Peso unità di volume saturo (t/m³)
 Dr: Densità relativa (%)
 Fi: Angolo di resistenza al taglio (°)
 Ey: Modulo di Young (Kg/cm²)

| Nr. | Prof. | Tipo | Cu | Eu | Mo | G | OCR | Puv | PuvS | Dr | Fi | Ey |
|-----|-------|------|-----|--------|-------|-------|------|-----|------|-------|------|-------|
| 4 | 0,80 | I | -- | -- | 121,7 | 410,7 | <0,5 | 1,8 | 2,1 | 100,0 | 41,9 | 202,8 |
| 5 | 1,00 | I | -- | -- | 135,2 | 438,0 | <0,5 | 1,8 | 2,1 | 100,0 | 40,9 | 225,3 |
| 6 | 1,20 | I | -- | -- | 102,5 | 369,8 | 0,6 | 1,9 | 2,2 | 96,3 | 38,5 | 170,8 |
| 7 | 1,40 | I | -- | -- | 119,0 | 405,1 | 0,6 | 1,9 | 2,2 | 97,5 | 38,4 | 198,3 |
| 8 | 1,60 | CI | 2,3 | 1462,9 | 78,6 | 263,8 | 1,1 | 2,1 | 2,2 | 69,8 | 34,2 | 98,3 |
| 9 | 1,80 | I | -- | -- | 111,5 | 389,3 | 0,8 | 1,8 | 2,1 | 88,5 | 36,7 | 185,8 |
| 10 | 2,00 | I | -- | -- | 90,5 | 342,7 | 0,9 | 1,9 | 2,2 | 78,7 | 35,1 | 150,8 |
| 11 | 2,20 | I | -- | -- | 114,6 | 396,0 | 0,9 | 1,8 | 2,1 | 84,5 | 35,8 | 191,0 |
| 12 | 2,40 | I | -- | -- | 99,6 | 363,5 | 1,0 | 1,8 | 2,1 | 77,5 | 34,7 | 166,0 |
| 13 | 2,60 | I | -- | -- | 99,6 | 363,5 | 1,1 | 1,8 | 2,1 | 75,5 | 34,2 | 166,0 |
| 14 | 2,80 | I | -- | -- | 114,6 | 396,0 | 1,0 | 1,8 | 2,1 | 78,4 | 34,5 | 191,0 |
| 15 | 3,00 | I | -- | -- | 109,2 | 251,8 | 1,9 | 1,8 | 2,1 | 51,1 | 30,5 | 91,0 |
| 16 | 3,20 | I | -- | -- | 114,9 | 396,7 | 1,1 | 1,9 | 2,2 | 75,1 | 33,8 | 191,5 |
| 17 | 3,40 | I | -- | -- | 90,9 | 343,8 | 1,4 | 1,8 | 2,1 | 65,6 | 32,4 | 151,5 |
| 18 | 3,60 | I | -- | -- | 117,9 | 403,0 | 1,2 | 1,9 | 2,2 | 73,1 | 33,4 | 196,5 |
| 19 | 3,80 | I | -- | -- | 128,4 | 424,5 | 1,2 | 1,9 | 2,2 | 74,7 | 33,5 | 214,0 |
| 20 | 4,00 | I | -- | -- | 96,9 | 357,4 | 1,5 | 1,8 | 2,1 | 63,7 | 31,9 | 161,5 |
| 21 | 4,20 | CI | 1,8 | 1158,8 | 63,4 | 231,4 | <0,5 | 2,0 | 2,1 | 38,0 | 28,1 | 79,3 |
| 22 | 4,40 | I | -- | -- | 97,1 | 357,8 | 1,6 | 1,9 | 2,2 | 61,3 | 31,4 | 161,8 |
| 23 | 4,60 | I | -- | -- | 149,6 | 466,0 | 1,2 | 1,9 | 2,2 | 75,1 | 33,3 | 249,3 |
| 24 | 4,80 | I | -- | -- | 185,6 | 531,6 | 1,1 | 1,9 | 2,2 | 81,4 | 34,1 | 309,3 |
| 25 | 5,00 | I | -- | -- | 175,1 | 513,0 | 1,1 | 1,9 | 2,2 | 78,4 | 33,6 | 291,8 |
| 26 | 5,20 | C | 0,3 | 180,2 | 30,7 | 82,0 | 2,8 | 1,7 | 1,8 | -- | -- | -- |
| 27 | 5,40 | C | 0,9 | 554,2 | 48,1 | 151,2 | 9,0 | 1,9 | 2,0 | -- | -- | -- |
| 28 | 5,60 | C | 1,3 | 816,0 | 45,6 | 189,2 | >9 | 2,0 | 2,1 | -- | -- | -- |
| 29 | 5,80 | C | 0,9 | 590,3 | 47,4 | 157,0 | 3,3 | 1,9 | 2,0 | -- | -- | -- |
| 30 | 6,00 | C | 0,6 | 364,6 | 45,1 | 119,8 | >9 | 1,9 | 1,9 | -- | -- | -- |
| 31 | 6,20 | I | -- | -- | 183,0 | 527,1 | 1,2 | 1,9 | 2,2 | 76,6 | 33,2 | 305,0 |
| 32 | 6,40 | CI | 1,8 | 1120,6 | 62,0 | 228,2 | <0,5 | 2,0 | 2,1 | 29,1 | 26,3 | 77,5 |
| 33 | 6,60 | C | 1,0 | 669,9 | 44,2 | 169,2 | >9 | 2,0 | 2,0 | -- | -- | -- |
| 34 | 6,80 | I | -- | -- | 81,0 | 320,4 | <0,5 | 1,9 | 2,2 | 47,4 | 28,9 | 135,0 |
| 35 | 7,00 | C | 1,2 | 781,0 | 44,0 | 185,1 | 5,4 | 2,0 | 2,1 | -- | -- | -- |
| 36 | 7,20 | C | 1,6 | 1046,5 | 58,2 | 219,6 | >9 | 2,0 | 2,1 | -- | -- | -- |
| 37 | 7,40 | I | -- | -- | 174,2 | 511,4 | 1,3 | 1,9 | 2,2 | 72,5 | 32,4 | 290,3 |
| 38 | 7,60 | I | -- | -- | 156,2 | 478,4 | 1,5 | 1,9 | 2,2 | 68,3 | 31,8 | 260,3 |
| 39 | 7,80 | I | -- | -- | 222,2 | 593,4 | 1,2 | 1,9 | 2,2 | 80,1 | 33,5 | 370,3 |
| 40 | 8,00 | I | -- | -- | 198,2 | 553,4 | 1,3 | 1,9 | 2,2 | 75,7 | 32,8 | 330,3 |
| 41 | 8,20 | I | -- | -- | 157,8 | 481,5 | 1,5 | 1,9 | 2,2 | 67,6 | 31,6 | 263,0 |
| 42 | 8,40 | I | -- | -- | 169,8 | 503,6 | 1,4 | 1,9 | 2,2 | 69,7 | 31,9 | 283,0 |
| 43 | 8,60 | I | -- | -- | 124,8 | 417,2 | 1,9 | 1,8 | 2,1 | 58,7 | 30,3 | 208,0 |
| 44 | 8,80 | I | -- | -- | 109,8 | 385,8 | 2,4 | 1,9 | 2,2 | 53,9 | 29,6 | 183,0 |
| 45 | 9,00 | I | -- | -- | 133,8 | 435,3 | 1,8 | 1,9 | 2,2 | 60,4 | 30,5 | 223,0 |
| 46 | 9,20 | I | -- | -- | 120,6 | 408,6 | 2,1 | 1,9 | 2,2 | 56,5 | 29,9 | 201,0 |
| 47 | 9,40 | I | -- | -- | 81,6 | 321,8 | <0,5 | 1,9 | 2,2 | 42,8 | 27,9 | 136,0 |
| 48 | 9,60 | I | -- | -- | 149,1 | 465,1 | 1,7 | 1,8 | 2,1 | 63,2 | 30,8 | 248,5 |
| 49 | 9,80 | I | -- | -- | 137,1 | 441,9 | 1,9 | 1,9 | 2,2 | 60,0 | 30,4 | 228,5 |
| 50 | 10,00 | C | 1,3 | 822,4 | 46,8 | 192,2 | 6,2 | 2,0 | 2,1 | -- | -- | -- |
| 51 | 10,20 | I | -- | -- | 86,3 | 332,9 | <0,5 | 1,9 | 2,2 | 43,5 | 27,9 | 143,8 |

| Nr. | Prof. | Tipo | Cu | Eu | Mo | G | OCR | Puv | PuvS | Dr | Fi | Ey |
|-----|-------|------|-----|--------|-------|-------|------|-----|------|------|------|-------|
| 52 | 10,40 | I | -- | -- | 191,3 | 541,5 | 1,5 | 1,9 | 2,2 | 70,5 | 31,8 | 318,8 |
| 53 | 10,60 | I | -- | -- | 218,3 | 587,0 | 1,3 | 1,9 | 2,2 | 74,7 | 32,4 | 363,8 |
| 54 | 10,80 | I | -- | -- | 222,8 | 594,4 | 1,3 | 1,9 | 2,2 | 75,1 | 32,4 | 371,3 |
| 55 | 11,00 | I | -- | -- | 164,3 | 493,4 | 1,7 | 1,9 | 2,2 | 64,3 | 30,9 | 273,8 |
| 56 | 11,20 | I | -- | -- | 100,1 | 364,5 | <0.5 | 1,8 | 2,1 | 47,0 | 28,3 | 166,8 |
| 57 | 11,40 | I | -- | -- | 142,1 | 451,6 | 2,1 | 1,8 | 2,1 | 58,7 | 30,0 | 236,8 |
| 58 | 11,60 | I | -- | -- | 221,6 | 592,4 | 1,4 | 1,9 | 2,2 | 73,6 | 32,1 | 369,3 |
| 59 | 11,80 | I | -- | -- | 227,6 | 602,2 | 1,4 | 1,9 | 2,2 | 74,2 | 32,2 | 379,3 |
| 60 | 12,00 | I | -- | -- | 284,6 | 690,3 | 1,2 | 1,9 | 2,2 | 81,6 | 33,3 | 474,3 |
| 61 | 12,20 | I | -- | -- | 244,2 | 628,8 | 1,3 | 1,9 | 2,2 | 76,1 | 32,4 | 407,0 |
| 62 | 12,40 | I | -- | -- | 214,2 | 580,4 | 1,5 | 1,9 | 2,2 | 71,3 | 31,7 | 357,0 |
| 63 | 12,60 | I | -- | -- | 259,2 | 652,1 | 1,3 | 1,9 | 2,2 | 77,6 | 32,6 | 432,0 |
| 64 | 12,80 | I | -- | -- | 398,7 | 848,3 | 1,0 | 1,9 | 2,2 | 92,1 | 34,7 | 664,5 |
| 65 | 13,00 | I | -- | -- | 380,7 | 824,7 | 1,0 | 1,9 | 2,2 | 90,2 | 34,4 | 634,5 |
| 66 | 13,20 | I | -- | -- | 395,9 | 844,6 | 1,0 | 1,9 | 2,2 | 91,3 | 34,6 | 659,8 |
| 67 | 13,40 | I | -- | -- | 316,4 | 736,5 | 1,2 | 1,9 | 2,2 | 83,3 | 33,4 | 527,3 |
| 68 | 13,60 | I | -- | -- | 328,4 | 753,4 | 1,2 | 1,9 | 2,2 | 84,3 | 33,5 | 547,3 |
| 69 | 13,80 | I | -- | -- | 227,9 | 602,7 | 1,5 | 1,9 | 2,2 | 71,5 | 31,7 | 379,8 |
| 70 | 14,00 | I | -- | -- | 259,4 | 652,3 | 1,4 | 1,9 | 2,2 | 75,7 | 32,2 | 432,3 |
| 71 | 14,20 | I | -- | -- | 354,2 | 789,1 | 1,1 | 1,9 | 2,2 | 86,2 | 33,7 | 590,3 |
| 72 | 14,40 | I | -- | -- | 213,2 | 578,6 | 1,6 | 1,9 | 2,2 | 68,5 | 31,2 | 355,3 |
| 73 | 14,60 | I | -- | -- | 135,2 | 438,0 | <0.5 | 1,8 | 2,1 | 52,5 | 28,9 | 225,3 |
| 74 | 14,80 | C | 0,8 | 567,9 | 47,1 | 158,7 | 2,8 | 1,9 | 2,0 | -- | -- | -- |
| 75 | 15,00 | C | 0,7 | 454,7 | 48,4 | 141,0 | 1,7 | 1,9 | 2,0 | -- | -- | -- |
| 76 | 15,20 | C | 1,1 | 757,7 | 44,4 | 186,1 | 3,5 | 2,0 | 2,1 | -- | -- | -- |
| 77 | 15,40 | I | -- | -- | 115,8 | 398,6 | <0.5 | 1,9 | 2,2 | 46,3 | 27,9 | 193,0 |
| 78 | 15,60 | I | -- | -- | 162,3 | 489,9 | 2,5 | 1,8 | 2,1 | 57,6 | 29,5 | 270,5 |
| 79 | 15,80 | I | -- | -- | 165,3 | 495,4 | 2,5 | 1,8 | 2,1 | 58,0 | 29,5 | 275,5 |
| 80 | 16,00 | I | -- | -- | 174,3 | 511,7 | 2,2 | 1,9 | 2,2 | 59,5 | 29,7 | 290,5 |
| 81 | 16,20 | Cl | 2,0 | 1319,8 | 74,6 | 255,5 | <0.5 | 2,1 | 2,1 | 20,2 | 24,1 | 93,3 |
| 82 | 16,40 | C | 0,6 | 419,1 | 48,0 | 136,1 | 2,3 | 1,9 | 2,0 | -- | -- | -- |
| 83 | 16,60 | C | 1,2 | 830,9 | 48,6 | 196,7 | 4,2 | 2,0 | 2,1 | -- | -- | -- |
| 84 | 16,80 | C | 1,5 | 980,1 | 56,6 | 215,9 | 3,5 | 2,0 | 2,1 | -- | -- | -- |
| 85 | 17,00 | C | 1,0 | 679,4 | 41,2 | 176,2 | 1,9 | 2,0 | 2,0 | -- | -- | -- |
| 86 | 17,20 | C | 1,1 | 723,6 | 43,0 | 182,5 | 4,1 | 2,0 | 2,0 | -- | -- | -- |
| 87 | 17,40 | C | 1,3 | 872,9 | 51,0 | 202,6 | 3,4 | 2,0 | 2,1 | -- | -- | -- |
| 88 | 17,60 | C | 1,4 | 909,6 | 53,0 | 207,4 | 4,6 | 2,0 | 2,1 | -- | -- | -- |
| 89 | 17,80 | C | 0,8 | 533,9 | 47,7 | 155,3 | 2,7 | 1,9 | 2,0 | -- | -- | -- |
| 90 | 18,00 | C | 0,7 | 495,7 | 48,3 | 149,4 | 4,5 | 1,9 | 2,0 | -- | -- | -- |
| 91 | 18,20 | I | -- | -- | 98,4 | 360,8 | <0.5 | 1,9 | 2,2 | 37,5 | 26,4 | 164,0 |
| 92 | 18,40 | I | -- | -- | 132,9 | 433,6 | <0.5 | 1,9 | 2,2 | 47,6 | 27,9 | 221,5 |
| 93 | 18,60 | I | -- | -- | 245,4 | 630,6 | 1,7 | 1,9 | 2,2 | 68,5 | 30,9 | 409,0 |
| 94 | 18,80 | I | -- | -- | 204,9 | 564,8 | 2,1 | 1,9 | 2,2 | 62,1 | 29,9 | 341,5 |
| 95 | 19,00 | I | -- | -- | 173,4 | 510,1 | <0.5 | 1,9 | 2,2 | 56,2 | 29,1 | 289,0 |
| 96 | 19,20 | I | -- | -- | 139,2 | 446,0 | <0.5 | 1,9 | 2,2 | 48,4 | 27,9 | 232,0 |
| 97 | 19,40 | C | 1,1 | 727,0 | 43,6 | 184,1 | 4,6 | 2,0 | 2,0 | -- | -- | -- |
| 98 | 19,60 | I | -- | -- | 122,7 | 412,9 | <0.5 | 1,8 | 2,1 | 43,7 | 27,2 | 204,5 |
| 99 | 19,80 | I | -- | -- | 235,2 | 614,5 | 1,9 | 1,9 | 2,2 | 65,8 | 30,4 | 392,0 |
| 100 | 20,00 | I | -- | -- | 172,2 | 507,9 | <0.5 | 1,9 | 2,2 | 54,9 | 28,8 | 287,0 |
| 101 | 20,20 | I | -- | -- | 212,9 | 578,1 | 2,2 | 1,8 | 2,1 | 62,0 | 29,8 | 354,8 |
| 102 | 20,40 | I | -- | -- | 98,7 | 236,7 | <0.5 | 1,9 | 2,2 | 11,6 | 22,5 | 82,3 |
| 103 | 20,60 | I | -- | -- | 256,4 | 647,7 | 1,8 | 1,9 | 2,2 | 68,0 | 30,7 | 427,3 |
| 104 | 20,80 | I | -- | -- | 278,9 | 681,8 | 1,6 | 1,9 | 2,2 | 70,7 | 31,1 | 464,8 |
| 105 | 21,00 | I | -- | -- | 343,4 | 774,3 | 1,4 | 1,9 | 2,2 | 77,6 | 32,0 | 572,3 |
| 106 | 21,20 | I | -- | -- | 367,5 | 807,1 | 1,4 | 1,9 | 2,2 | 79,8 | 32,3 | 612,5 |
| 107 | 21,40 | I | -- | -- | 267,0 | 664,0 | 1,7 | 1,9 | 2,2 | 68,6 | 30,7 | 445,0 |
| 108 | 21,60 | I | -- | -- | 274,5 | 675,3 | 1,7 | 1,8 | 2,1 | 69,4 | 30,8 | 457,5 |
| 109 | 21,80 | I | -- | -- | 198,0 | 553,1 | <0.5 | 1,8 | 2,1 | 57,9 | 29,2 | 330,0 |
| 110 | 22,00 | I | -- | -- | 268,5 | 666,3 | 1,8 | 1,9 | 2,2 | 68,2 | 30,6 | 447,5 |
| 111 | 22,20 | I | -- | -- | 337,8 | 766,6 | 1,5 | 1,9 | 2,2 | 75,9 | 31,7 | 563,0 |
| 112 | 22,40 | I | -- | -- | 178,8 | 519,7 | <0.5 | 1,8 | 2,1 | 53,8 | 28,5 | 298,0 |
| 113 | 22,60 | I | -- | -- | 244,8 | 629,7 | 2,0 | 1,9 | 2,2 | 64,4 | 30,0 | 408,0 |
| 114 | 22,80 | I | -- | -- | 285,3 | 691,4 | 1,7 | 1,9 | 2,2 | 69,5 | 30,8 | 475,5 |

| Nr. | Prof. | Tipo | Cu | Eu | Mo | G | OCR | Puv | PuvS | Dr | Fi | Ey |
|-----|-------|------|----|----|-------|-------|-----|-----|------|------|------|-------|
| 115 | 23,00 | I | -- | -- | 240,3 | 622,6 | 2,1 | 1,9 | 2,2 | 63,4 | 29,9 | 400,5 |
| 116 | 23,20 | I | -- | -- | 275,0 | 676,0 | 1,8 | 1,9 | 2,2 | 67,9 | 30,5 | 458,3 |
| 117 | 23,40 | I | -- | -- | 275,0 | 676,0 | 1,8 | 1,8 | 2,1 | 67,7 | 30,5 | 458,3 |
| 118 | 23,60 | I | -- | -- | 336,5 | 764,7 | 1,5 | 1,9 | 2,2 | 74,5 | 31,4 | 560,8 |
| 119 | 23,80 | I | -- | -- | 380,0 | 823,7 | 1,4 | 1,9 | 2,2 | 78,5 | 32,0 | 633,3 |
| 120 | 24,00 | I | -- | -- | 387,5 | 833,6 | 1,4 | 0,0 | 0,0 | 79,0 | 32,1 | 645,8 |

➤ **RELAZIONE DI RISPOSTA SISMICA DI SITO**

INDICE

| | |
|--|----|
| 1. PREMESSA | 2 |
| 2. GEOFISICA: Indagini Sismiche | 3 |
| 2.1 Sismica attiva Masw..... | 3 |
| 2.2 Operazione di acquisizione dati | 5 |
| 2.3 Interpretazione geofisica con tecnica Masw - “Vs equivalente”..... | 7 |
| 2.4 Indagine tomografica del rumore sismico - HVSR..... | 11 |
| 3. Calcolo azione sismica di progetto (NTC 2018) | 15 |
| 4. Risposta Sismica Locale | 16 |
| 4.1 Cenni teorici RSL 1D: Rexel e Strata | 16 |
| 4.2 Risultati dello studio RSL | 18 |
| 4.3 Calcolo dello spettro RSL | 21 |
| 5. Conclusioni..... | 29 |

1. PREMESSA

E' stato eseguito uno studio geofisico atto alla definizione delle caratteristiche sismo-stratigrafiche dei terreni e della relativa risposta sismica locale, nell'ambito del prove propedeutiche alla redazione di progetti per la manutenzione dei ponti stradali in cemento armato e muratura nel comune di Padova (PD), tale elaborato nello specifico è relativo al "Ponte San Leonardo".

Lo studio ha come scopo l'elaborazione di un modello geofisico per il corpo investigato, con la ricostruzione di un profilo sismo-stratigrafico e Vs Equivalente, nonché la frequenza di risonanza del sito e dello stabile, conforme a OPCM 3274 del 2003 e succ. integrazioni, ordinanza 3519 del 28/04/2006, DM 14/09/2005 - NTC 2008 e 2018 ed Eurocodice 7-8 e UNI9916 o DIN4150.

2. GEOFISICA: Indagini Sismiche

Il metodo di esplorazione geofisica in questione consiste nella determinazione delle velocità sismiche dei vari strati del sottosuolo caratterizzati da diverse caratteristiche fisico-meccaniche.

2.1 Sismica attiva Masw

La procedura Masw è basata sulla determinazione della velocità delle onde di superficie. Considerando che le onde di Rayleigh campionano uno spessore di sottosuolo proporzionale alla lunghezza d'onda λ , è ragionevole ritenere di poter risalire alla rigidezza dei terreni dalla legge di variazione della V_r con λ (curva di dispersione).

Dal punto di vista sperimentale l'acquisizione MASW viene eseguita con una metodologia simile alla tecnica sismica a rifrazione. La differenza sostanziale viene dalla configurazione geometrica dei ricevitori, in genere i geofoni (minimo 12-24) vengono spaziatati di 1, 2 o 3 metri, aventi una frequenza di campionamento pari a 4.5 Hz.

Essendo una tecnica attiva in presenza di una sorgente polarizzata, l'acquisizione masw risulta comunque possibile, essendo un metodo che utilizza una generazione energetica attiva per creare le onde sismiche, applicando le migliori metodologie di acquisizione sismica (filtri ecc.) che i moderni sismografi consentono.

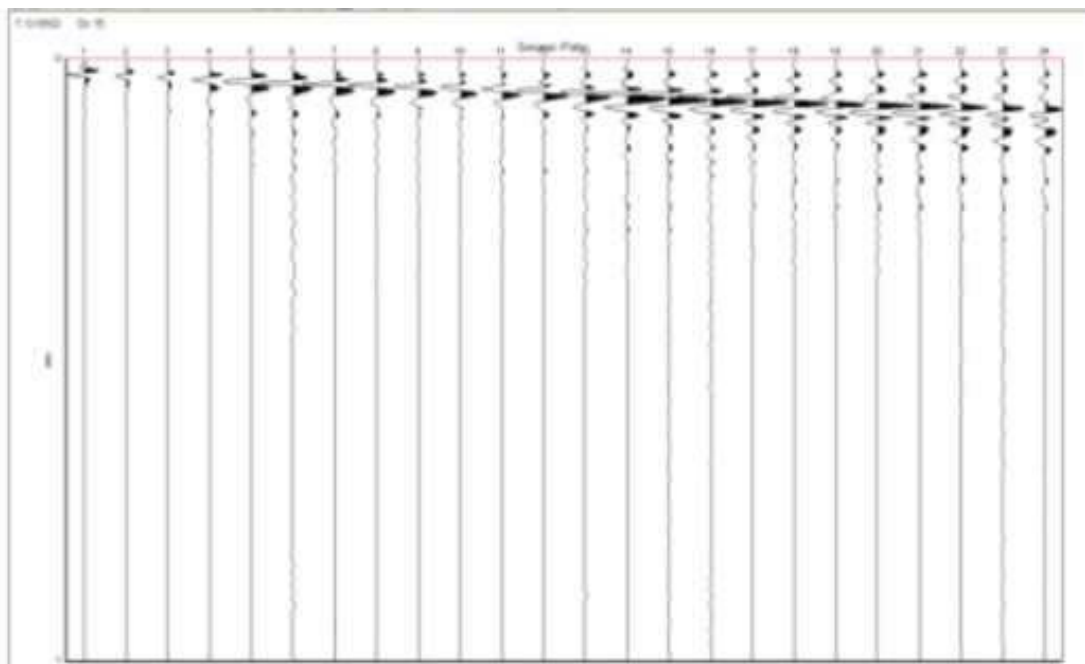


Figura 1: Sismogramma esempio per acquisizione MASW

Interpretazione Masw:

Le tecniche sismiche di tipo attivo e passivo si differenziano per la metodologia di acquisizione del dato di campagna; mentre la tecnica di elaborazione risulta molto simile, di seguito viene brevemente descritta.

Il primo passo nell'elaborazione prevede la definizione della curva di dispersione la quale gode di una certa "variabilità" giustificata nell'influenza sulle misure dalla distanza dei ricevitori, posizione della sorgente e il volume di terreno campionato. Il secondo passo consiste nell'inversione della curva di dispersione, al fine di individuare quale sia il profilo di rigidità che riproduce la curva sperimentale.

I modelli di analisi adoperati sono molteplici, mentre il metodo utilizzato per ottenere lo spettro delle velocità e l'inversione della curva di dispersione nel presente lavoro si basa sul metodo **phase shift**, utilizzando la tecnica di calcolo degli algoritmi genetici.

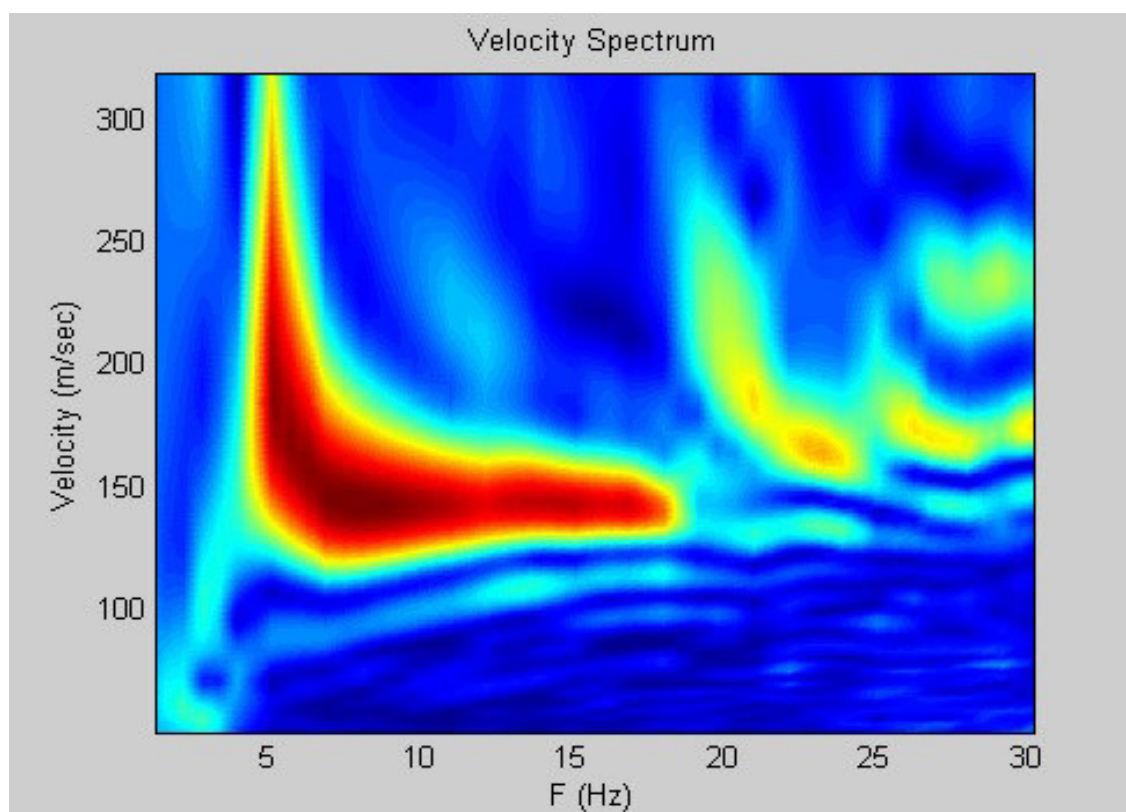


Figura 2: Metodo "Phase shift" per l'inversione della curva di dispersione.

2.2 Operazione di acquisizione dati

I profili sismici vengono eseguiti disponendo sul terreno una serie di sensori (geofoni), posti ad intervallo costante, collegati ad un sismografo mediante un cavo multipolare.

Dopo l'allestimento del dispositivo di ricezione si provvede a generare artificialmente (sismica attiva), vibrazioni impulsive in corrispondenza di punti prestabiliti lungo i profili: nello stesso istante di partenza della vibrazione viene trasmesso al sismografo il comando di avvio della registrazione (trigger). Da questo istante inizia l'acquisizione digitale, con campionamento ad intervallo costante e predeterminato, dei segnali ricevuti dai sensori.

Tale tecnica ha soddisfatto pienamente la normativa sismica vigente, fornendo come di seguito descritto, un'ottima risoluzione nei primi 30 metri p.c. delle onde Vs ed ha raggiunto una profondità di indagine tale da individuare il bedrock-like.

E' stato eseguito uno stendimento, con tecnica Masw per il calcolo della Vs Equivalente con le seguenti caratteristiche tecniche:

1. **Sismografo utilizzato:** sismografo digitale ECHO 24-48 2010 della AMBROGEO srl caratterizzato da 24 canali di acquisizione digitale con dinamica a 24 bit e campionamento del segnale ad intervalli di 130 microsecondi e filtro analogico Low Pass a 50 Hz.
2. **Numero geofoni:** 24 cad. con frequenza propria 4.5 Hz distanza geofonica 1.0 m;
3. **Acquisizione** a 7651 Hz per 1 sec.
4. **Numero profili:** 1 masw;
5. **Tiri:** n. 5 a 2.0,4.0,6.0,8.0,10.0 metri dal geofono n.1 con con finestra di acquisizione pari a 1000 millisecondi;
6. **Lunghezza singolo profilo:** 23 metri + 10 metri;
7. **Sorgente utilizzata:** Mazza battente kg 10 con trigger (dispositivo per il comando di avvio della registrazione);
8. **Energia utilizzata:** numero 1 colpo (masw) di mazza per tiro;



Figura 3: Stendimento MASW

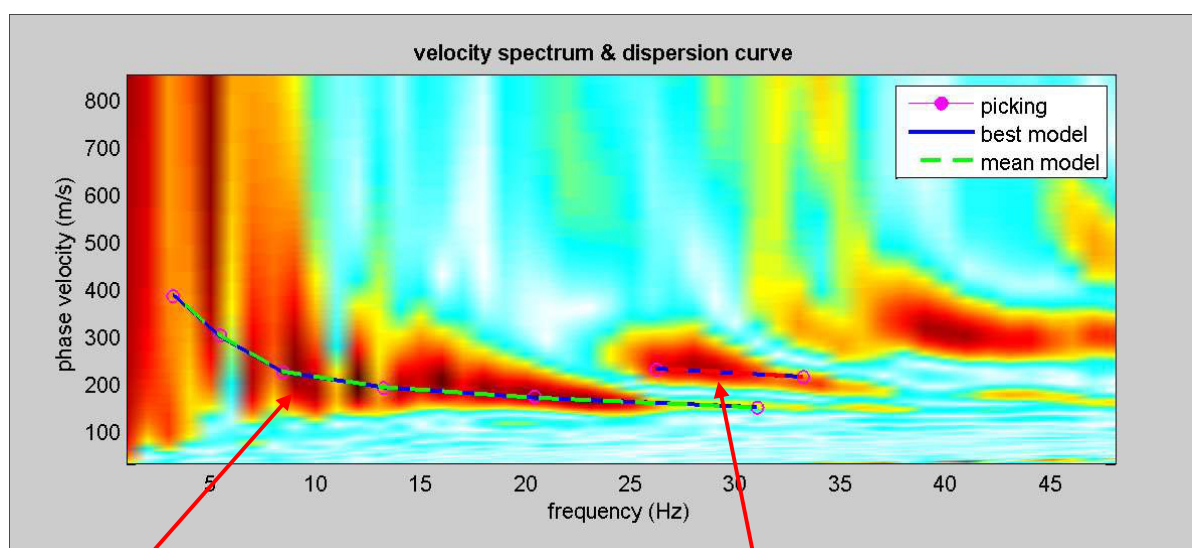
2.3 Interpretazione geofisica con tecnica Masw - "Vs equivalente"

Profilo Masw 1 : Numero geofoni utilizzati: 24 verticali lunghezza profilo 23 +10m

Su ognuna di tali acquisizioni è stata eseguita un'analisi ω - p (trasformata τ - p & trasformata di Fourier) al fine di discriminare l'energia associata alle onde di Rayleigh.

L'inversione della curva di dispersione con il metodo *phase shift* utilizzando la tecnica di calcolo degli algoritmi genetici.

Si riportano i grafici ad isolinee sui quali è identificata la curva di dispersione delle onde di Rayleigh (Fig. 4).



Modo fondamentale

Altro modo fondamentale

Figura 4: MASW 1-Grafici ad Isolinee nel dominio velocità di fase – frequenza.

Analisi curva di dispersione:

La modellazione numerica della curva di dispersione prevede che alla base del modello sia posto un semispazio a spessore infinito.

Si riporta:

- 1) In Figura 5: il confronto tra la curva di dispersione sperimentale modello migliore (celeste) e modello medio (rosso),
- 2) In Figura 6: il profilo di velocità delle onde S associato alla curva teorica.

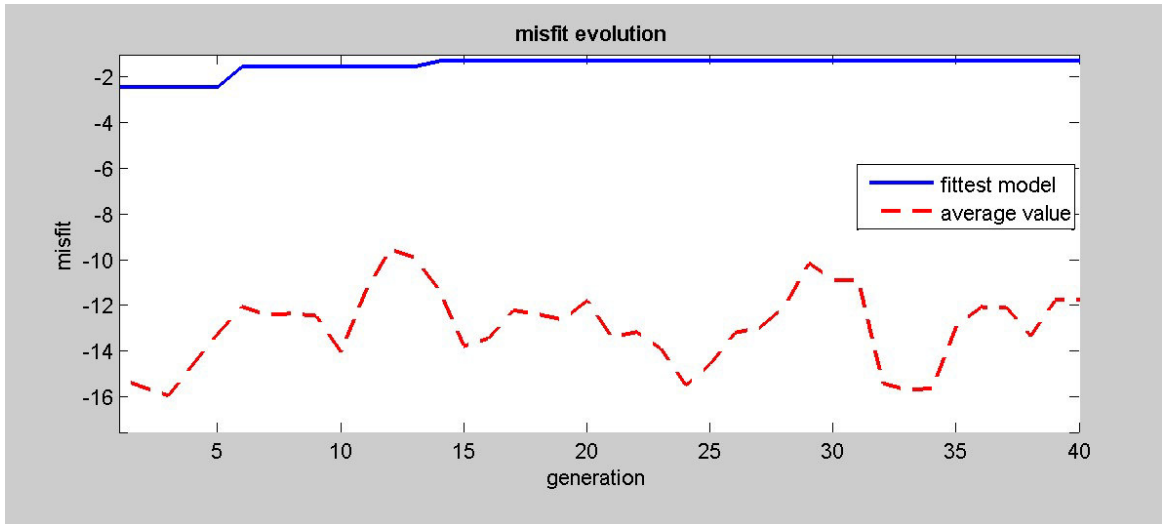


Figura 5: Confronto tra la curva di dispersione sperimentale e quella teorica.

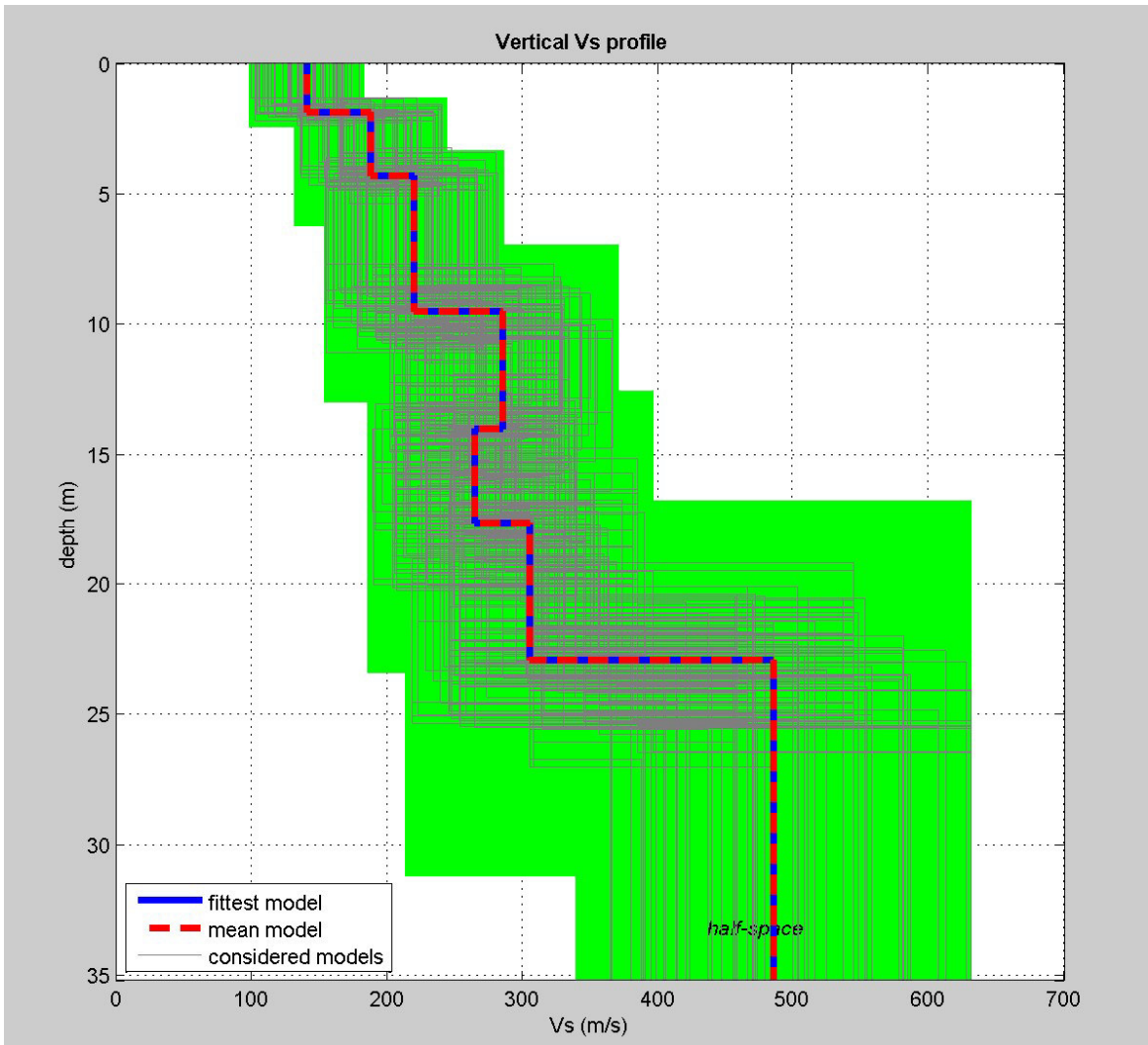


Figura 6: Profilo di velocità delle onde S stimato nel sito in esame.

Il miglior *fit* tra i dati sperimentali e la curva teorica si ottiene per il modello dato in Fig.1. L'andamento delle Vs è illustrato in Figura 6.

| Strato | Vp (m/s) | Vs (m/s) | Spessore |
|--------|----------|----------|----------|
| 1 | 302 | 141 | 1.9 |
| 2 | 391 | 188 | 2.4 |
| 3 | 450 | 220 | 5.2 |
| 4 | 592 | 285 | 4.5 |
| 5 | 562 | 265 | 3.6 |
| 6 | 647 | 305 | 5.3 |
| 7 | 899 | 485 | Inf. |

VS eq = 269 m/s

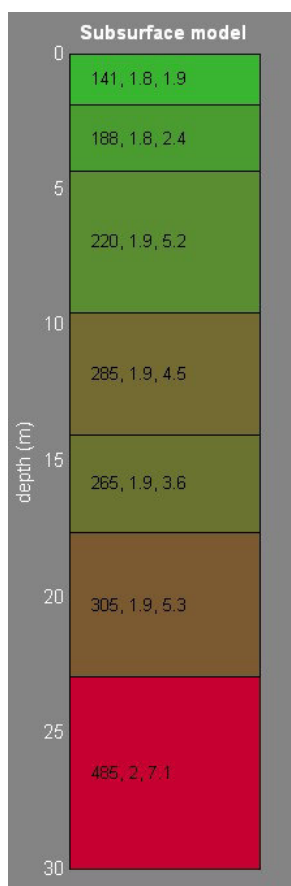
Suolo di tipo C

Tabella 1: Modello di velocità delle onde S per il sito in esame.

La dicitura “infinito” indica che è stata raggiunta la profondità massima di indagine, mentre con il programma Deepsoil v.3.5 dell'Università dell'Illinois è stato calcolato il bedrock o meglio il bedrock-like (700 m/s).

Esso risulta rilevante ai fini degli effetti di sito, perché tale strato presenta forti contrasti di impedenza rispetto ai terreni sovrastanti, potendo così determinare in questi ultimi l'intrappolamento delle onde sismiche e dunque l'amplificazione del moto del suolo in caso di terremoto.

Sismo-Stratigrafia e Parametri Dinamici “Moduli elastici”



VS (m/sec): 141, 188, 220, 285, 265, 305, 485;

Spessori (m): 1.9, 2.4, 5.2, 4.5, 3.6, 5.3;

Stima VP (m/sec): 302, 391, 450, 592, 562, 647, 899;

N.B. Le velocità sismiche Vp sono ottenute da formule empiriche.

Stima densità (gr/cm³): 1.77, 1.83, 1.86, 1.93, 1.91, 1.95, 2.03;

Stima modulo di Poisson: 0.36, 0.35, 0.34, 0.35, 0.36, 0.36, 0.29;

Stima modulo di taglio (MPa): 35, 65, 90, 157, 134, 181, 477;

Stima modulo di compressione (MPa): 114, 193, 257, 467, 425, 574, 1003;

Stima modulo di Young (MPa): 95, 174, 242, 422, 365, 492, 1235;

Stima modulo di Lamé (MPa): 91, 150, 197, 362, 336, 453, 685.

Figura 7: Sismo-Stratigrafia dei terreni (Vs,Densità,Spessore).

2.4 Indagine tromografica del rumore sismico - HVSR

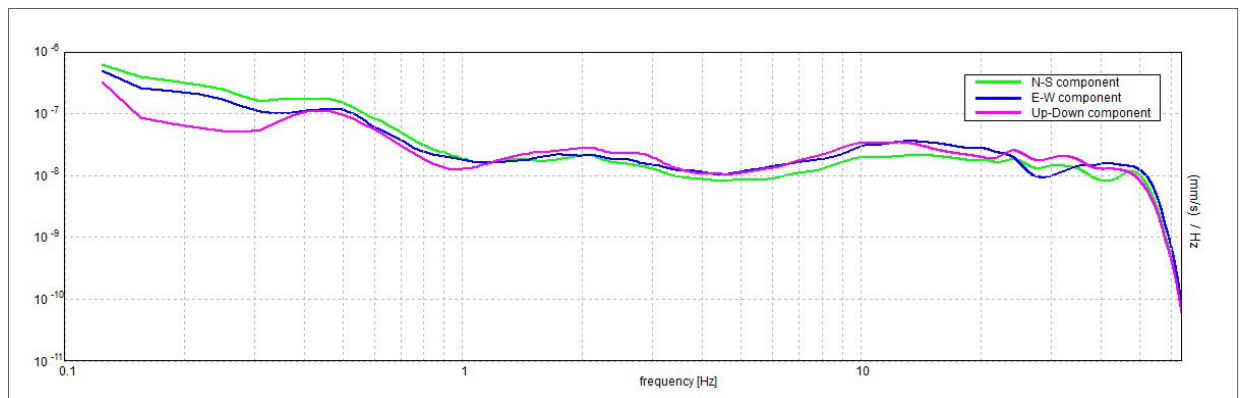
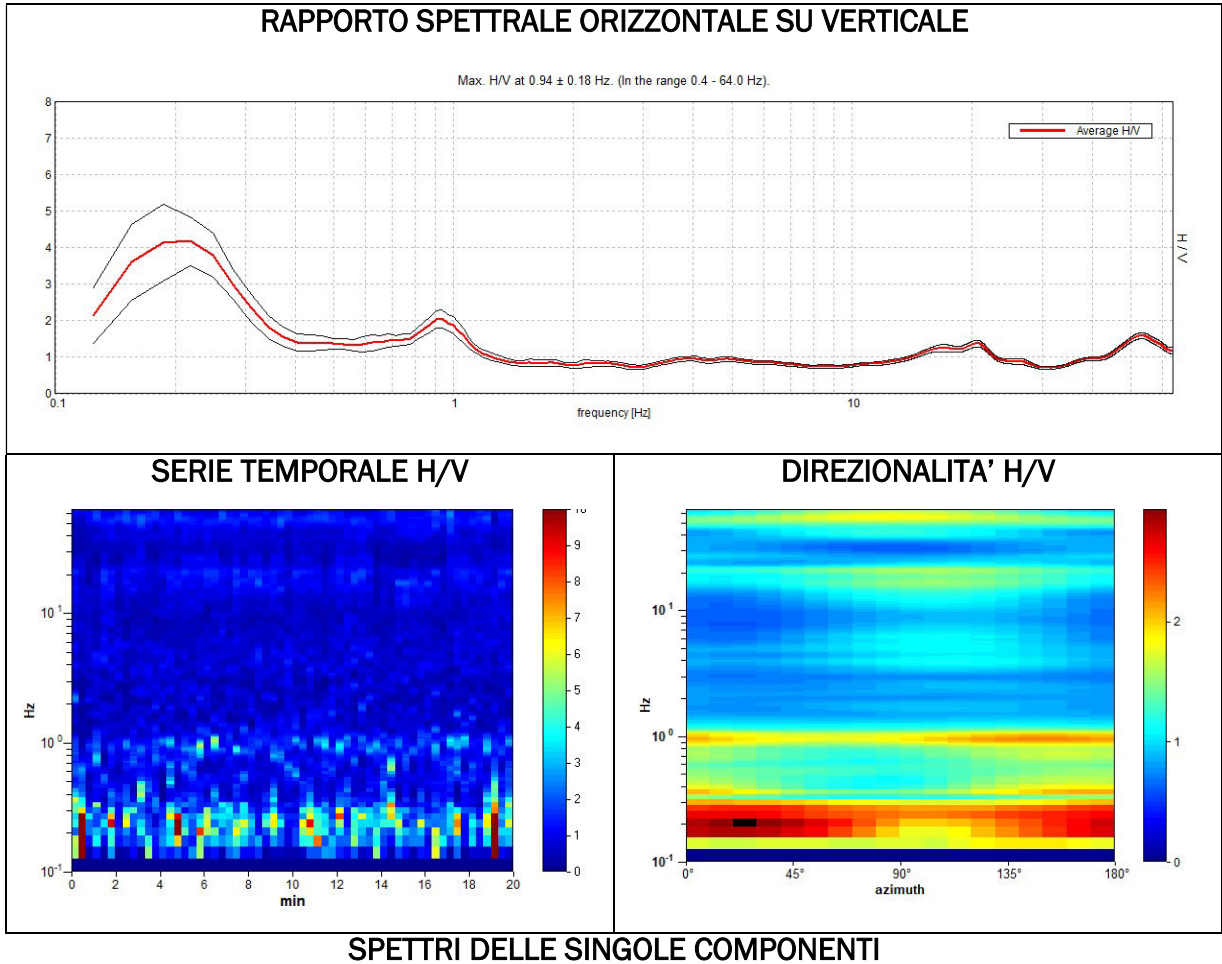
Le misure di campagna sono state eseguite il mese di Marzo 2022. E' stata eseguita n.1 registrazione di vibrazione e rumore sismico, ubicata nell'area di progetto.

Caratteristiche tecniche indagini eseguite:

- **Strumentazione impiegata.** Tutte le registrazioni del rumore sismico e vibrazioni sono state effettuate con il tromografo digitale TROMINO, progettato specificatamente per l'acquisizione del rumore sismico ambientale e/o vibrazioni indotte. Si tratta di un apparecchio portatile tutto-in-uno di 10 x 7 x 14 cm e 1 kg di peso dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente, alimentato da 2 batterie AA da 1.5 V, senza cavi esterni.
- **Procedure operative.** È stata effettuata un'analisi sul rumore sismico e vibrazioni indotte della durata di 20' per il terreno. La durata di acquisizione pari a 20 minuti di campionamento è stata eseguita al fine di verificare il "rumore ambientale" e la variazione indotta sui terreni.



Strumento: TZB-0145/02-21 Data format: 32 byte Full scale [mV]: 89
 Start recording: 20/03/22 07:59:05 End recording: 20/03/22 08:19:05 canali:
 NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
 Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato intero tracciato (selezione manuale)
 Freq. campionamento: 128 Hz Lunghezza finestre: 20 s
 Tipo di lisciamento: Triangular window Lisciamento: 10%



[According to the SESAME, 2005 guidelines. **Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.**]

Max. H/V at 0.94 ± 0.18 Hz (in the range 0.4 - 64.0 Hz).

| Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled] | | | |
|--|----------------------------|-----------|--|
| $f_0 > 10 / L_w$ | $0.94 > 0.50$ | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | $1125.0 > 200$ | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Exceeded 0 out of 46 times | OK | |
| Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled] | | | |
| Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | | | |
| Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | 1.25 Hz | OK | |
| $A_0 > 2$ | $2.05 > 2$ | OK | |
| $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.19351 < 0.05$ | | |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | $0.18141 < 0.14063$ | | |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | $0.2475 < 2.0$ | OK | |

| | |
|------------------------|---|
| L_w | window length |
| n_w | number of windows used in the analysis |
| $n_c = L_w n_w f_0$ | number of significant cycles |
| f | current frequency |
| f_0 | H/V peak frequency |
| σ_f | standard deviation of H/V peak frequency |
| $\varepsilon(f_0)$ | threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ |
| A_0 | H/V peak amplitude at frequency f_0 |
| $A_{H/V}(f)$ | H/V curve amplitude at frequency f |
| f^- | frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$ |
| f^+ | frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$ |
| $\sigma_A(f)$ | standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided |
| $\sigma_{\log H/V}(f)$ | standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve |
| $\theta(f_0)$ | threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$ |

| Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$ | | | | | |
|---|------------|-----------|------------|------------|------------|
| Freq. range [Hz] | < 0.2 | 0.2 – 0.5 | 0.5 – 1.0 | 1.0 – 2.0 | > 2.0 |
| $\varepsilon(f_0)$ [Hz] | $0.25 f_0$ | $0.2 f_0$ | $0.15 f_0$ | $0.10 f_0$ | $0.05 f_0$ |
| $\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$ | 3.0 | 2.5 | 2.0 | 1.78 | 1.58 |
| $\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$ | 0.48 | 0.40 | 0.30 | 0.25 | 0.20 |

La frequenza di risonanza del sito è risultata pari a:

- Picco H/V a 0.94 ± 0.18 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Nel caso che una sollecitazione si prolunga nel tempo essa può diventare particolarmente pericolosa per l'edificio, progettato come elastico, quando il terreno trasmette una componente del segnale sismico che abbia la stessa frequenza di oscillazione della struttura:

- Frequenza di oscillazione del terreno < F_n frequenza naturale di oscillazione della struttura → i danni sono "limitati"
- Frequenza di oscillazione del terreno = F_n frequenza naturale di oscillazione della struttura → i danni sono "illimitati".

Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula (cfr. Es. Pratt):

$$\text{Freq. Naturale edificio} \approx 10 \text{ Hz} / \text{numero piani}$$

E' la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura:

$$\text{Freq. naturale edificio} \approx \text{Freq. fondamentale di risonanza del sito}$$

ad essere particolarmente pericolosa, poiché dà luogo alla massima amplificazione e deve quindi essere oggetto di studi approfonditi.

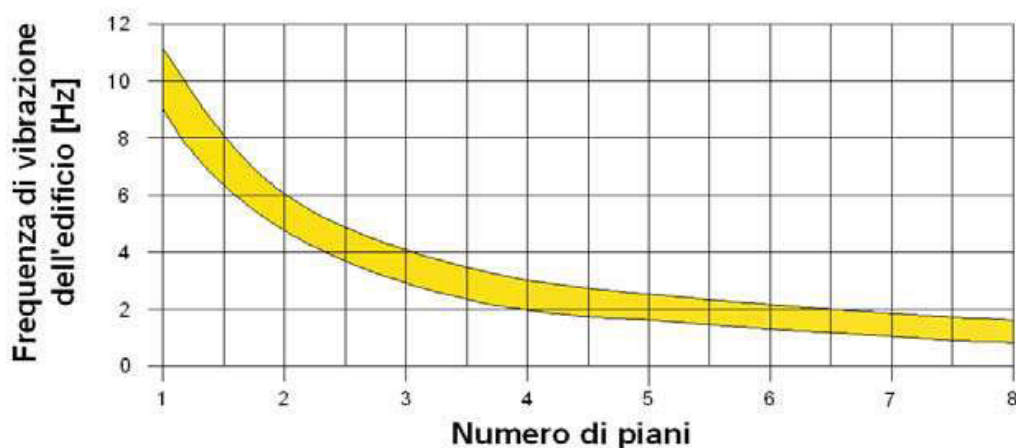


Figura 8: Frequenza di vibrazione di un edificio in funzione del N. di piani.

3. Calcolo azione sismica di progetto (NTC 2018)

Parametri sismici :

| | | | |
|-------------------------|---------|------------------------|----|
| Categoria sottosuolo: | C | Categoria topografica: | T1 |
| Periodo di riferimento: | 35 anni | Coefficiente cu: | 1 |

Operatività (SLO):

| | | | | |
|-----------------------------|-------|--------|------|-----------|
| Probabilità di superamento: | 81 | % | | |
| Tr: | 30 | [anni] | ag: | 0,031 g |
| Fo: | 2,514 | | Tc*: | 0,210 [s] |

Danno (SLD):

| | | | | |
|-----------------------------|-------|--------|------|-----------|
| Probabilità di superamento: | 63 | % | | |
| Tr: | 35 | [anni] | ag: | 0,032 g |
| Fo: | 2,524 | | Tc*: | 0,221 [s] |

Salvaguardia della vita (SLV):

| | | | | |
|-----------------------------|-------|--------|------|-----------|
| Probabilità di superamento: | 10 | % | | |
| Tr: | 332 | [anni] | ag: | 0,073 g |
| Fo: | 2,627 | | Tc*: | 0,326 [s] |

Prevenzione dal collasso (SLC):

| | | | | |
|-----------------------------|-------|--------|------|-----------|
| Probabilità di superamento: | 5 | % | | |
| Tr: | 682 | [anni] | ag: | 0,095 g |
| Fo: | 2,617 | | Tc*: | 0,343 [s] |

Coefficienti Sismici :

SLO:

| | | | | | | | |
|-----|-------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| Ss: | 1,500 | Cc: | 1,760 | St: | 1,000 | | |
| Kh: | 0,009 | Kv: | 0,005 | Amax: | 0,449 | Beta: | 0,200 |

SLD:

| | | | | | | | |
|-----|-------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| Ss: | 1,500 | Cc: | 1,730 | St: | 1,000 | | |
| Kh: | 0,010 | Kv: | 0,005 | Amax: | 0,475 | Beta: | 0,200 |

SLV:

| | | | | | | | |
|-----|-------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| Ss: | 1,500 | Cc: | 1,520 | St: | 1,000 | | |
| Kh: | 0,022 | Kv: | 0,011 | Amax: | 1,076 | Beta: | 0,200 |

SLC:

| | | | | | | | |
|-----|-------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| Ss: | 1,500 | Cc: | 1,500 | St: | 1,000 | | |
| Kh: | 0,028 | Kv: | 0,014 | Amax: | 1,396 | Beta: | 0,200 |

4. Risposta Sismica Locale

Gli studi di risposta sismica locale e microzonazione sismica vanno condotti a diversi livelli di approfondimento a seconda delle finalità e delle applicazioni, nonché degli scenari di pericolosità sismica locale.

Si identificano due fasi: nella prima si definiscono gli scenari di pericolosità sismica locale, cioè territori suscettibili di effetti locali; mentre nella seconda si pone come obiettivo la microzonazione sismica del territorio, definendo due livelli di approfondimento (analisi semplificata - II° livello; analisi approfondita - III° livello).

In generale, le analisi di III° livello di approfondimento devono necessariamente essere svolte se richieste dal II° livello di approfondimento, in aree soggette a liquefazione e densificazione, aree potenzialmente instabili, aree con spessori variabili di coperture e, soprattutto, aree in cui è prevista a realizzazione di opere di rilevante interesse pubblico.

Nell'ambito della seguente relazione, si richiede la definizione di un modello calcolato di risposta sismica locale (RSL), in modo da verificare le amplificazioni dovute agli effetti locali di sito.

Per lo studio di RSL sono stati scelti gli accelerogrammi compatibili per analisi dinamiche e sono state condotte le analisi tramite l'utilizzo di procedure di calcolo monodimensionale (1D) con l'ausilio del software STRATA (Albert R. Kottke and Ellen M. Rathje, 2008). È stato quindi determinato lo spettro elastico di risposta calcolato in superficie, ovvero lo spettro derivato dalla media tra gli spettri di risposta calcolati per i n. 7 accelerogrammi di riferimento. Infine, sono stati confrontati gli spettri di risposta in superficie con quelli previsti dalla normativa vigente (NTC 2018) per il sito di interesse, relativi a suoli di categoria B, C, D ed E, di categoria topografica T1.

4.1 Cenni teorici RSL 1D: Rexel e Strata

Per poter effettuare l'analisi di RSL è necessario definire l'azione sismica da applicare al substrato roccioso, rappresentata da un numero prefissato di registrazioni accelerometriche. Nel presente lavoro sono stati utilizzati gli accelerogrammi naturali (secondo quanto prescritto dalle NTC), selezionati da banche accelerometriche digitali (European Strong-motion Database), imponendo i criteri di scelta e spettro-compatibilità delle NTC.

Il primo criterio per la selezione degli accelerogrammi reali è la compatibilità con i vincoli sismotettonici del contesto geologico regionale e, in particolare, con i valori di magnitudo, distanza epicentrale e i meccanismi focali dei terremoti di scenario, i quali contribuiscono maggiormente alla pericolosità del sito.

Tali informazioni possono essere ottenute dall'analisi di disaggregazione della pericolosità sismica. I risultati della disaggregazione dello studio di pericolosità sismica sono disponibili sul sito web dell'INGV per tutto il territorio nazionale, con riferimento ai punti del reticolo in cui esso è stato suddiviso.

I parametri "magnitudo-distanza epicentrale" sono importanti per l'estrazione degli accelerogrammi naturali sismo-compatibili con le caratteristiche del sito in esame. Gli accelerogrammi costituiscono infatti l'input sismico nelle analisi di risposta sismica locale. Mediante il software **Rexel v.3.5** (Iervolino I., Galasso C., Cosenza E., 2009) sono stati pertanto successivamente estratti gli accelerogrammi di input naturali da più banche dati, quali la banca dati europea European Strong Motion Database (ESD) (Ambraseys et al., 2004), la banca dati italiana Italian Accelerometric Archive (ITACA) e la banca dati Simbad in ambiente Matlab.

Al fine di analizzare la Risposta Sismica Locale è stato necessario l'utilizzo di procedure di calcolo monodimensionale (1D) con l'ausilio del software **Strata**.

Tali procedure si basano su un modello di strati con rapporto spessore/estensione laterale molto basso (strati continui) e comportamento visco-elastico lineare.

Fornendo opportunamente le caratteristiche fisico-meccaniche degli strati di copertura (V_s , peso di volume, ecc.) e caricando i n. 7 accelerogrammi di un moto al bedrock sulla base del quale analizzare la RSL (moto di input), attraverso passaggi iterativi ed integrativi, il modello restituisce i relativi spettri attesi su uno degli strati di copertura, nello specifico in superficie.

A tal proposito si sottolinea come gli accelerogrammi naturali, utilizzati per il calcolo, siano stati scalati rispetto alla PGA attesa al sito in esame per sottosuolo rigido affiorante (cat. A) per i vari stati limite in esame.

I sismo-strati sono stati inseriti come dati di input all'interno del codice del software **Strata**, insieme alle caratteristiche fisico-meccaniche. Sono state inoltre inserite nel software le curve di decadimento della rigidità (G) e di incremento dello smorzamento

(D) con la deformazione, per ciascun litotipo, desunte dalla letteratura scientifica e/o da prove di laboratorio; tali curve sono state scelte tenendo in particolare conto dei valori stimati dell'indice di plasticità I_p per le varie litologie incontrate in successione stratigrafica (ciò è particolarmente importante per i terreni coesivi).

4.2 Risultati dello studio RSL

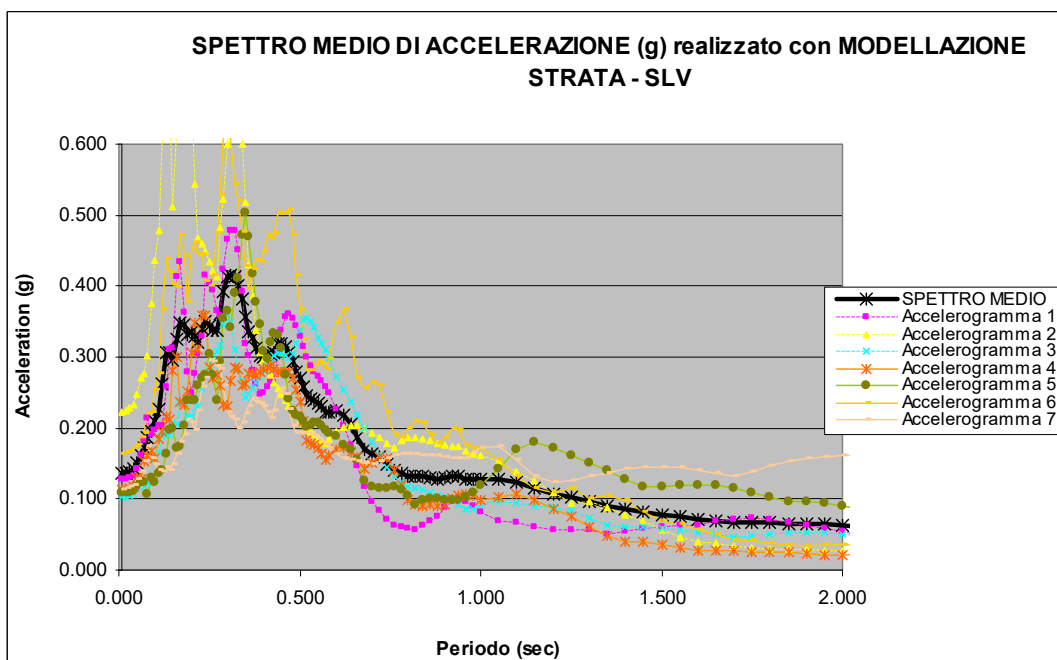
Un passaggio fondamentale per analizzare la risposta sismica locale è la definizione del modello geologico e sismico del sito. Infatti dall'insieme delle indagini geognostiche e sismiche effettuate, corredate da dati di bibliografia locale, risulta il seguente modello:

| Profondità (m) | Vs (m/s) |
|----------------|----------|
| 0.0 - 1.9 m | 141 |
| 1.9 - 4.3 m | 188 |
| 4.3 - 9.5 m | 220 |
| 9.5 - 14.0 m | 285 |
| 14.0 - 17.6 m | 265 |
| 17.6 - 22.9 m | 305 |
| 22.9 - 60.0 m | 405 |
| 60.0 - 130.0 m | 470 |
| Inf. | 750-800 |

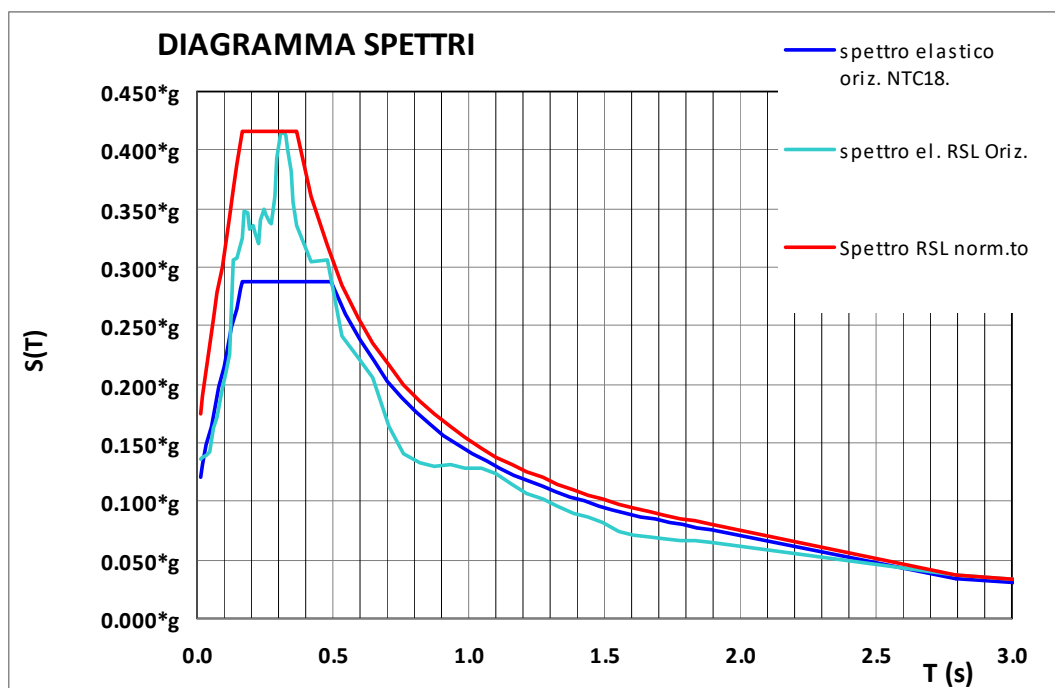
Il bedrock sismico è stato impostato nell'elaborazione a profondità di circa 130.0 metri dal p.c. in base ai risultati delle prove HVSR eseguite in sito in modalità congiunta con le prove MASW.

In base all'elaborazione con Strata, quindi, si ricavano i seguenti parametri, utili per meglio discriminare la risposta sismica locale:

- l'accelerazione risultante dalla funzione di trasferimento del moto di input dal bedrock alla quota di sollecitazione del sito;
- la funzione di amplificazione tra il tetto del substrato rigido di riferimento per l'applicazione del moto di input e la quota del sito;
- la definizione del moto atteso alla quota del sito, attraverso la descrizione numerica e grafica dello spettro di accelerazione del moto (figura in basso, spettro medio del sito in oggetto), della velocità e del relativo spostamento.

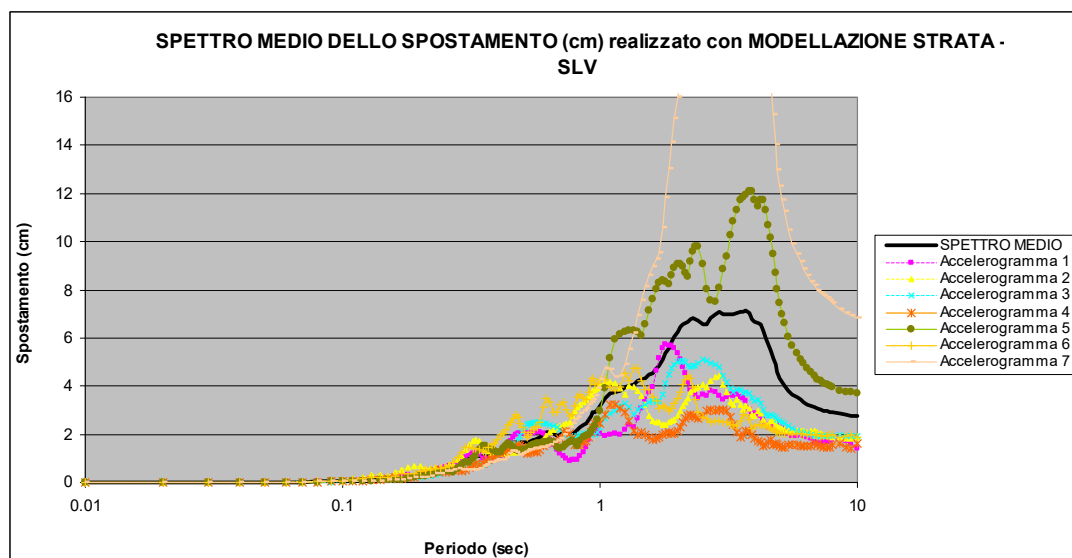
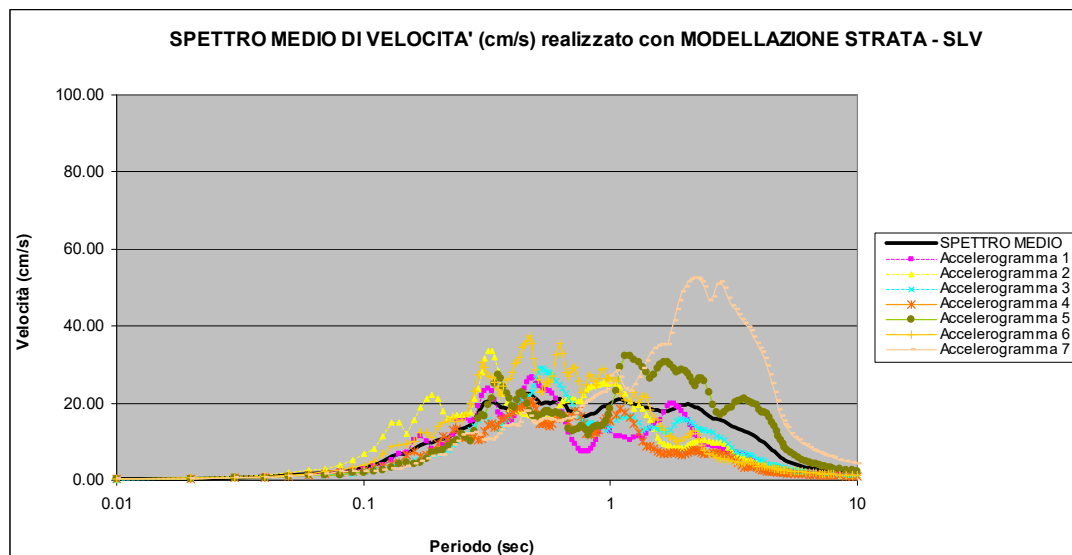
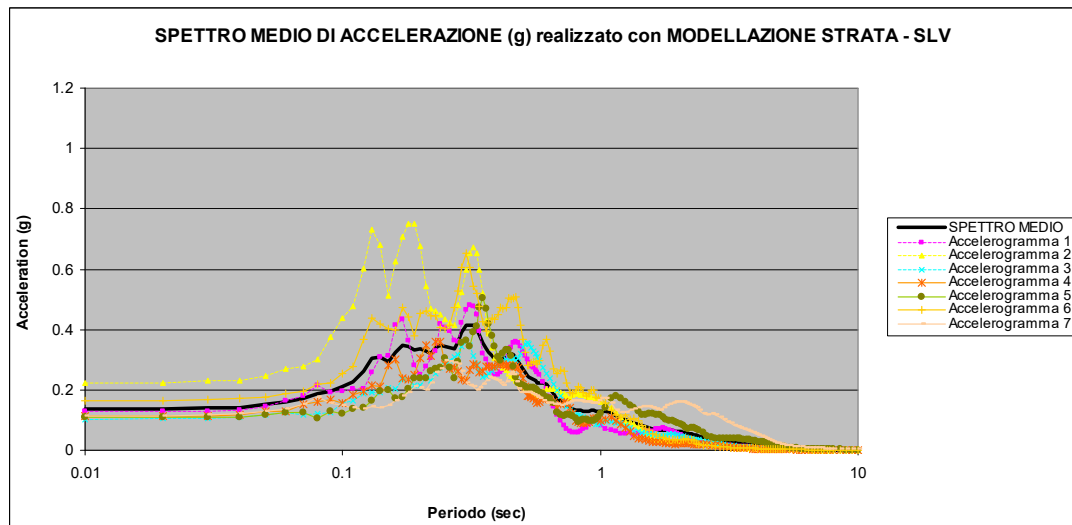


Lo spettro di progetto utilizzato per le verifiche sismiche locali, quindi, sarà quello mediato su quelli derivati da ciascuno dei 7 moti di input di riferimento (accelerogrammi naturali). Inoltre, come ben descritto in figura sottostante, lo spettro di risposta elastico (realizzato da modellazione 1D) riesce a discriminare il comportamento dinamico del terreno meglio di spettri di risposta della normativa NTC.



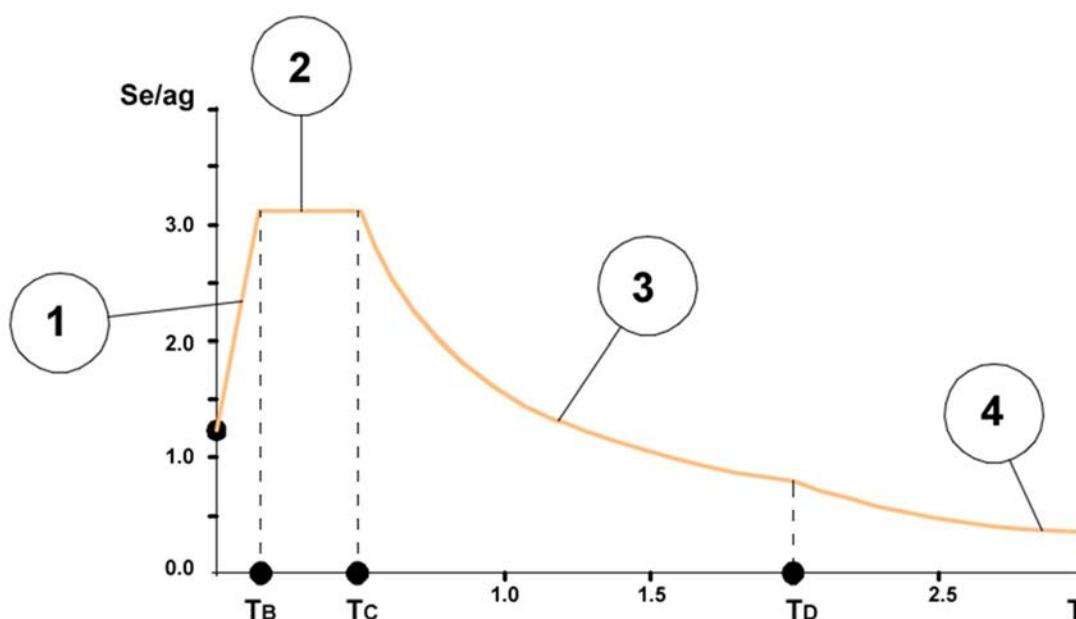
Spettri di risposta elastici per le componenti orizzontali (confronto fra il metodo semplificato NTC - categoria suolo C - e spettro realizzato con modellazione Strata, normalizzato totale)

Di seguito sono esposti spettri (in scala logaritmica) relativi al moto atteso alla quota del sito, sia dello spettro di accelerazione del moto, che velocità e relativo spostamento.



4.3 Calcolo dello spettro RSL

La procedura di regolarizzazione permette di trasformare lo spettro di risposta, risultato delle simulazioni numeriche, in uno spettro con forma standard (secondo le vigenti norme NTC), costituita da un ramo con accelerazione crescente lineare, un ramo ad accelerazione costante, un ramo in cui l'accelerazione decresce con $1/T$ e, quindi, a velocità costante. Alla fine della procedura saranno disponibili anche tutti i parametri per l'inserimento dello spettro elastico in codici di calcolo per la progettazione e la verifica delle costruzioni (ag, amax, TB, TC, TD, TC*, FO, ξ , η , SS, ST).



Rappresentazione dello spettro in forma standard:

1) ramo con accelerazione crescente lineare, 2) ramo con accelerazione costante, 3) ramo con accelerazione decrescente $1/T$, 4) ramo a velocità costante.

Sono presenti differenti metodi di normalizzazione, i cui principali sono:

1. Normalizzazione totale: in cui lo spettro di RSL nella sua interezza viene sottoposto a normalizzazione (il tratto ad accelerazione costante detto plateau comprende tutto il picco in pseudoaccelerazione);
2. Normalizzazione su spettri lisciati: in cui viene applicata la normalizzazione totale, ma su uno spettro a cui è stata applicata una "lisciatura" detta smoothing;
3. Normalizzazione ICMS: si applicano le formule per il calcolo dei fattori FA ed FV (ICMS, 2008) secondo la procedura sviluppata da Pergalani e Compagnoni (2013) e, successivamente, applicata anche in microzonazioni sismiche di 3° livello.

AZIONE SISMICA RSL (utilizzato quello con valori più elevati)

SPETTRO NORMALIZZATO TOTALE DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE

SPETTRO :

RSL SISMA ORIZZONTALE SLV

Dati:

| | | | |
|---|-------------|-----------|----------------|
| accelerazione orizzontale massima al sito (PGA rif*) | ag /g | | 0,073*g |
| amplificazione spettrale massima | Fo | | 2,627 |
| periodo di inizio del tratto a velocità costante | TC* | s | 0,326 |
| categoria di sottosuolo | Cat. Suolo | | C |
| | Cat. Topog. | | T1 |
| coeff. di amplificazione stratigrafica | Ss | | 1,500 |
| coeff. di amplificazione topografica | ST | | 1,000 |
| coeff. di amplificazione totale | S | =Ss * ST= | 1,500 |
| coeff. funzione della cat. di sottosuolo | Cc | | 1,520 |
| periodo ad accelerazione costante | TB | s | 0,165 |
| periodo a velocità costante | Tc | s | 0,496 |
| periodo a spostamento costante | TD | s | 1,892 |
| fattore smorzamento (se smorz. visc. $\xi=5\%$ -> $\eta =1$) | η | | 1,000 |
| fattore di struttura SLU | q | | - |
| periodo della struttura | T | s | - |

Normalizzazione Totale Spettro Risposta Sismica Locale

Parametri indipendenti:

| | | | |
|--|-----------|--|----------------|
| accelerazione orizzontale massima al sito | ag /g | | 0,073*g |
| amplificazione spettrale massima | Fo | | 2,627 |
| smorzamento | η | | 1,000 |
| amplificazione sismica max locale (da grafico) | Se(T) max | | 0,416*g |

Parametri dipendenti:

| | | | |
|---|-----------------------|--------------------|---------|
| coeff. di amplificazione locale (NTC18 eq. 3.2.4) | $=Se(max)/ag*\eta*Fo$ | S _{RSL} | 2,170 |
| accelerazione orizzontale massima al sito | | a max | 0,149*g |
| periodo caratteristico (leggere da grafico) | | T _B = s | 0,165 |
| periodo caratteristico (leggere da grafico) | | T _C = s | 0,366 |
| periodo caratteristico (NTC2018 formula 3.2.9) | | T _D = | 1,892 |

AZIONE SISMICA RSL

SPETTRO NORMALIZZATO ICMS DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE

SPETTRO :

RSL SISMA ORIZZONTALE SLV

Dati:

| | | | |
|---|-------------|-----------|----------------|
| accelerazione orizzontale massima al sito | a max | | 0,119*g |
| amplificazione spettrale massima | Fo | | 2,882 |
| periodo di inizio del tratto a velocità costante | TC* | s | 0,384 |
| categoria di sottosuolo | Cat. Suolo | | C |
| | Cat. Topog. | | T1 |
| coeff. di amplificazione stratigrafica | Ss | | 1,623 |
| coeff. di amplificazione topografica | ST | | 1,000 |
| coeff. di amplificazione totale | S | =Ss * ST= | 1,623 |
| coeff. funzione della cat. di sottosuolo | Cc | | 1,000 |
| periodo ad accelerazione costante | TB | s | 0,128 |
| periodo a velocità costante | Tc | s | 0,384 |
| periodo a spostamento costante | TD | s | 2,074 |
| fattore smorzamento (se smorz. visc. $\xi=5\%$ -> $\eta =1$) | η | | 1,000 |
| fattore di struttura SLU | q | | - |
| periodo della struttura | T | s | - |

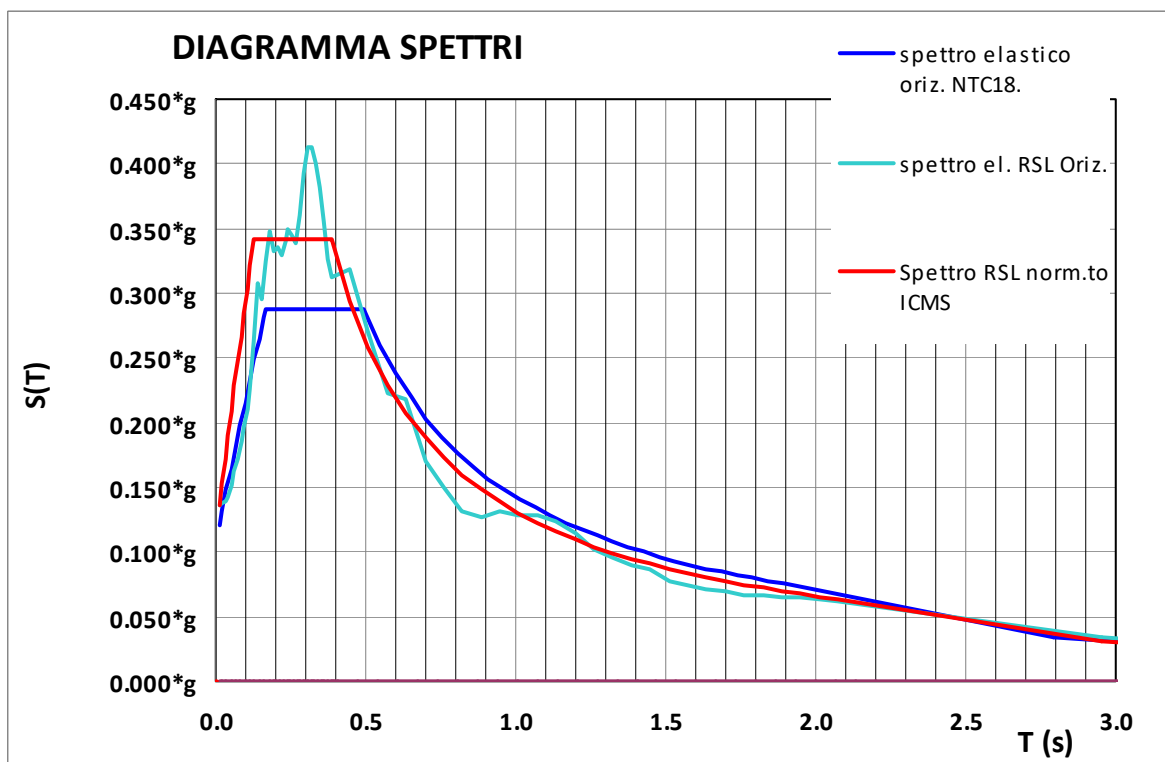
Normalizzazione ICMS Spettro Risposta Sismica Locale

Parametri indipendenti:

| | | | |
|--|-------------|--|----------------|
| accelerazione orizzontale massima al sito | ag /g | | 0,119*g |
| amplificazione spettrale massima | Fo | | 2,882 |
| smorzamento | η | | 1,000 |
| amplificazione sismica max locale (da grafico) | Se(T) max | | 0,416*g |
| amplificazione sismica media locale (da grafico) | Se(T) media | | 0,342*g |

Parametri dipendenti:

| | | | |
|---|-----------------------|-----------|-------|
| coeff. di amplificazione locale (NTC18 eq. 3.2.4) | $=Se(max)/ag*\eta*Fo$ | S_{RSL} | 1,623 |
| periodo caratteristico (leggere da grafico) | $T_B =$ | s | 0,128 |
| periodo caratteristico (leggere da grafico) | $T_C =$ | s | 0,384 |
| periodo caratteristico (NTC2018 formula 3.2.9) | $T_D =$ | | 2,074 |



Spettri di risposta elastici per le componenti orizzontali (confronto fra il metodo semplificato NTC - categoria suolo C - e spettro realizzato con modellazione Strata, normalizzato ICMS)

Non esistono obblighi normativi e/o regolamentari per la scelta di un metodo di normalizzazione rispetto ad un altro, si ritiene preferibile l'opzione n.3 (Normalizzazione ICMS) per due motivi:

1. migliore coerenza statistica dell'approccio, infatti l'elevazione e l'ampiezza del plateau sono determinate sulla base del valore medio in pseudoaccelerazione ed in pseudovelocità nell'intorno significativo del valore spettrale di picco, mentre la normalizzazione totale, dovendo inglobare tutto lo spettro, tende a sovrastimare il tratto iniziale dello spettro, compreso il valore di a_{max} (corrispondente all'ancoraggio dello spettro).
2. unico metodo di normalizzazione per il quale si abbia un riferimento normativo (Ordinanza n.55 del 24/04/2018, emanata dal Commissario Straordinario per la ricostruzione – Sisma 2016).

Tutte le elaborazioni indicate hanno fornito risultati che possono essere così riassunti sulla base dei dati richiesti dalla normativa.

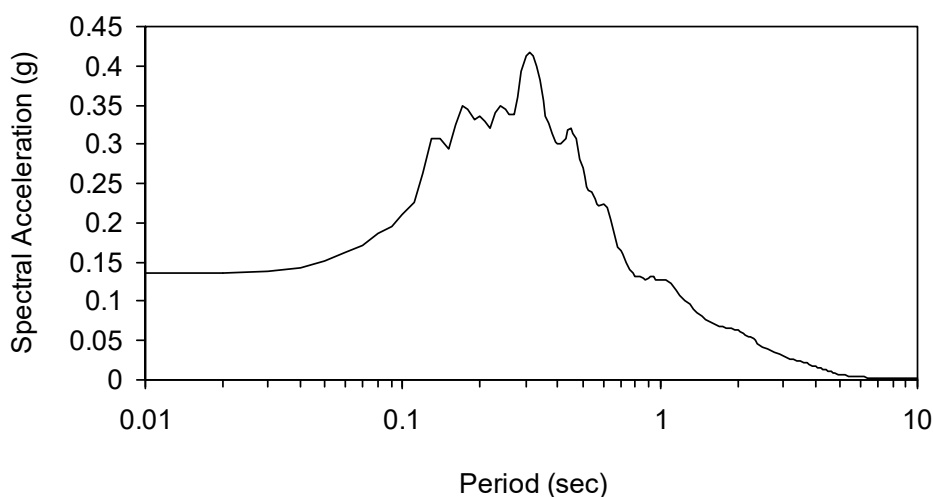
Sulla base dei calcoli condotti con modellazione Strata i valori sono qui mostrati:

Massima accelerazione PGA (g):

Picco più alto (in valore assoluto) registrato per l'accelerazione, calcolato generalmente per una delle componenti orizzontali (PGHA) e per la componente verticale (PGVA). Tra le due è più utile la PGHA perché l'accelerazione orizzontale è strettamente legata alle forze dinamiche indotte sulle strutture da un sisma.

| |
|----------------|
| PGA (g) |
| 0.416 |

PGA (g)

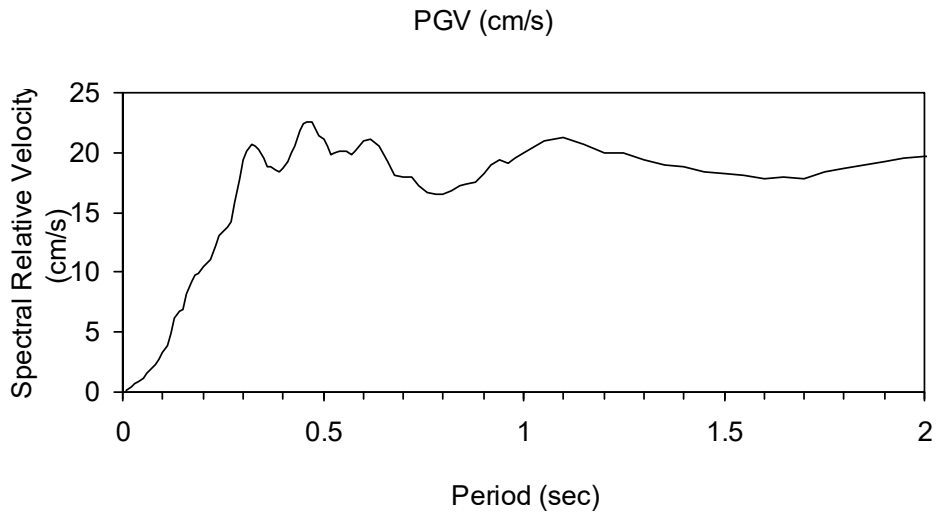


Massima Velocità PGV (cm/s):

Picco più alto (in valore assoluto) registrato per la velocità e viene calcolato generalmente per una delle componenti orizzontali (PGHV).

È utile perché essendo la velocità meno sensibile alle componenti del moto di alta frequenza, serve a caratterizzare l'ampiezza del moto sismico alla frequenze intermedie ed è perciò utile a indicare il potenziale di danneggiamento per tutte quelle strutture sensibili al campo delle frequenze intermedie (edifici alti, flessibili, ponti).

| |
|-------------------|
| PGV (cm/s) |
| 22.617 |

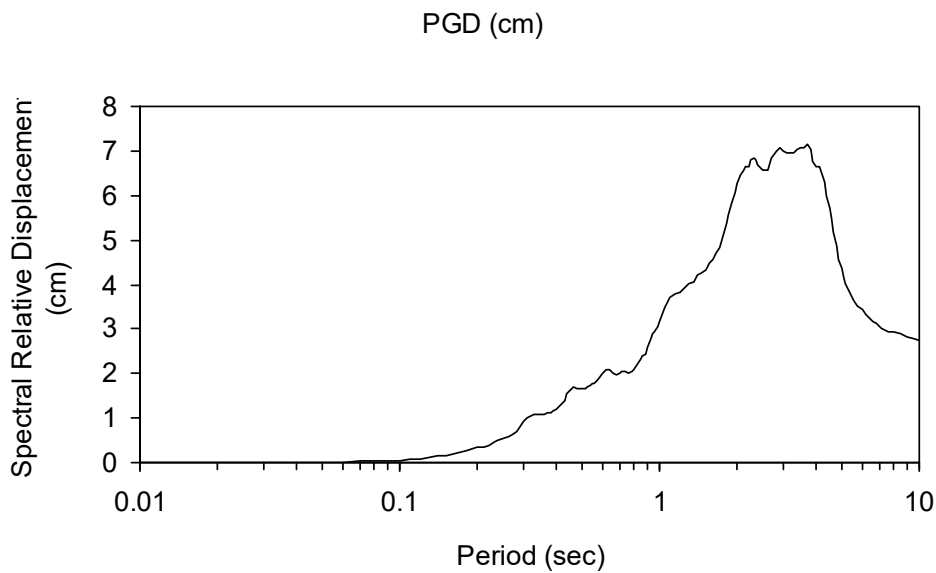


Massimo Spostamento PGD (cm):

Picco più alto (in valore assoluto) registrato per spostamento.

È utile perché essendo lo spostamento associato alle componenti in bassa frequenza del moto, serve a caratterizzare l'ampiezza del moto sismico alle basse frequenze.

| |
|-----------------|
| PGD (cm) |
| 7.142 |



Fattori di amplificazione Fa e Fv:

Essi forniscono informazioni quantitative sull'entità dell'amplificazione dello spettro di risposta dovuta alle peculiari caratteristiche geologiche, geofisiche e geotecniche della microzona in esame, rispetto allo spettro di riferimento derivante dalla pericolosità di base, per i diversi intervalli di periodo di vibrazione presi in considerazione.

Per ogni input sismico, i valori di **Fa** sono stati ottenuti come rapporti tra l'integrale dello spettro elastico in pseudo-accelerazione di output e l'integrale dello spettro elastico in pseudo-accelerazione di input, nei tre intervalli di periodo 0.1-0.5, 0.4-0.8, 0.7-1.1 s. Per ciascun insieme di input sismici e per ciascun intervallo di periodi è stato calcolato poi separatamente il fattore di amplificazione medio relativo al sito.

Una zona stabile, non soggetta ad amplificazione, risulta con $Fa = 1$ in tutti e tre gli intervalli di periodo.

Mentre il fattore di amplificazione **Fv** (intensità spettrale di Housner SI/SI_0) è un parametro che a differenza della PGA descrive meglio il contenuto energetico di un terremoto ed è, quindi, direttamente correlabile al danno subito dalle strutture. In termini numerici, rappresenta il rapporto tra l'integrale dello spettro di risposta in pseudo-velocità in input ed output nei due intervalli di periodo 0.1-0.5, 0.5-1.0 s.

| | Fa (0.1-0.5) | Fa (0.4-0.8) | Fa (0.7-1.1) | Fv (0.1-0.5) | Fv (0.5-1.0) |
|-------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| ACC 1 | 1.668 | 1.949 | 1.731 | 1.754 | 2.061 |
| ACC 2 | 1.473 | 1.709 | 1.630 | 1.574 | 1.732 |
| ACC 3 | 1.662 | 1.808 | 1.642 | 1.743 | 1.867 |
| ACC 4 | 1.710 | 1.805 | 1.645 | 1.788 | 1.814 |
| ACC 5 | 1.625 | 1.699 | 1.679 | 1.684 | 1.737 |
| ACC 6 | 1.462 | 1.747 | 1.716 | 1.567 | 1.856 |
| ACC 7 | 1.441 | 1.650 | 1.560 | 1.522 | 1.672 |
| MEDIA (logaritmica) | 1.574 | 1.765 | 1.657 | 1.659 | 1.816 |
| MEDIA | 1.577 | 1.767 | 1.658 | 1.662 | 1.820 |

Per completezza di informazione, si allega lo spettro numerico di risposta sismica locale che ha dato i valori più elevati:

| T (sec) | a (g) | T (sec) | a (g) | T (sec) | a (g) | T (sec) | a (g) |
|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| 0.01 | 0.136 | 0.19 | 0.332 | 0.37 | 0.326 | 0.55 | 0.235 |
| 0.02 | 0.137 | 0.20 | 0.336 | 0.38 | 0.313 | 0.56 | 0.230 |
| 0.03 | 0.139 | 0.21 | 0.330 | 0.39 | 0.303 | 0.57 | 0.223 |
| 0.04 | 0.142 | 0.22 | 0.321 | 0.40 | 0.300 | 0.58 | 0.222 |
| 0.05 | 0.151 | 0.23 | 0.339 | 0.41 | 0.302 | 0.60 | 0.224 |
| 0.06 | 0.162 | 0.24 | 0.350 | 0.42 | 0.304 | 0.62 | 0.219 |
| 0.07 | 0.171 | 0.25 | 0.344 | 0.43 | 0.307 | 0.64 | 0.205 |
| 0.08 | 0.186 | 0.26 | 0.338 | 0.44 | 0.319 | 0.66 | 0.187 |
| 0.09 | 0.196 | 0.27 | 0.337 | 0.45 | 0.320 | 0.68 | 0.170 |
| 0.10 | 0.210 | 0.28 | 0.361 | 0.46 | 0.315 | 0.70 | 0.165 |
| 0.11 | 0.226 | 0.29 | 0.392 | 0.47 | 0.306 | 0.72 | 0.160 |
| 0.12 | 0.262 | 0.30 | 0.413 | 0.48 | 0.294 | 0.74 | 0.150 |
| 0.13 | 0.306 | 0.31 | 0.416 | 0.49 | 0.280 | 0.76 | 0.140 |
| 0.14 | 0.307 | 0.32 | 0.413 | 0.50 | 0.270 | 0.78 | 0.136 |
| 0.15 | 0.295 | 0.33 | 0.400 | 0.51 | 0.259 | 0.80 | 0.132 |
| 0.16 | 0.325 | 0.34 | 0.382 | 0.52 | 0.245 | 0.82 | 0.131 |
| 0.17 | 0.348 | 0.35 | 0.356 | 0.53 | 0.241 | 0.84 | 0.132 |
| 0.18 | 0.346 | 0.36 | 0.336 | 0.54 | 0.239 | 0.86 | 0.129 |

| T (sec) | a (g) | T (sec) | a (g) | T (sec) | a (g) | T (sec) | a (g) | T (sec) | a (g) |
|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| 0.88 | 0.127 | 1.60 | 0.071 | 2.60 | 0.039 | 4.40 | 0.012 | 7.20 | 0.002 |
| 0.90 | 0.129 | 1.65 | 0.070 | 2.70 | 0.038 | 4.50 | 0.011 | 7.40 | 0.002 |
| 0.92 | 0.132 | 1.70 | 0.067 | 2.80 | 0.036 | 4.60 | 0.010 | 7.60 | 0.002 |
| 0.94 | 0.132 | 1.75 | 0.067 | 2.90 | 0.034 | 4.70 | 0.009 | 7.80 | 0.002 |
| 0.96 | 0.128 | 1.80 | 0.067 | 3.00 | 0.031 | 4.80 | 0.009 | 8.00 | 0.002 |
| 0.98 | 0.128 | 1.85 | 0.065 | 3.10 | 0.029 | 4.90 | 0.008 | 8.50 | 0.002 |
| 1.00 | 0.128 | 1.90 | 0.065 | 3.20 | 0.027 | 5.00 | 0.007 | 9.00 | 0.001 |
| 1.05 | 0.128 | 1.95 | 0.064 | 3.30 | 0.026 | 5.10 | 0.006 | 9.50 | 0.001 |
| 1.10 | 0.124 | 2.00 | 0.063 | 3.40 | 0.025 | 5.20 | 0.006 | 10.00 | 0.001 |
| 1.15 | 0.115 | 2.05 | 0.062 | 3.50 | 0.023 | 5.40 | 0.005 | | |
| 1.20 | 0.107 | 2.10 | 0.060 | 3.60 | 0.022 | 5.60 | 0.005 | | |
| 1.25 | 0.102 | 2.15 | 0.058 | 3.70 | 0.021 | 5.80 | 0.004 | | |
| 1.30 | 0.096 | 2.20 | 0.055 | 3.80 | 0.020 | 6.00 | 0.004 | | |
| 1.35 | 0.090 | 2.25 | 0.054 | 3.90 | 0.018 | 6.20 | 0.003 | | |
| 1.40 | 0.086 | 2.30 | 0.052 | 4.00 | 0.017 | 6.40 | 0.003 | | |
| 1.45 | 0.081 | 2.35 | 0.050 | 4.10 | 0.016 | 6.60 | 0.003 | | |
| 1.50 | 0.078 | 2.40 | 0.047 | 4.20 | 0.015 | 6.80 | 0.003 | | |
| 1.55 | 0.075 | 2.50 | 0.042 | 4.30 | 0.014 | 7.00 | 0.003 | | |

5. Conclusioni

La tecnica geofisica utilizzata durante questo lavoro ha permesso di ottenere i seguenti risultati di seguito brevemente riassunti:

- E' stata classificata la zona di studio come suolo di tipo C.
- Sono stati calcolati e forniti gli spettri di risposta sismica locale del sito in oggetto.
- Sono stati forniti i parametri dinamici di calcolo per la progettazione in zona sismica.
- E' stata fornita la massima accelerazione PGA (g), velocità PGV (cm/s) e spostamento PGD (cm), ed i fattori di amplificazione Fa e Fv.
- Sono state fornite le normalizzazioni degli spettri di risposta.

Si sottolinea come l'utilizzo dei risultati derivanti dal presente studio di RSL sia a discrezione del Progettista; è possibile infatti avvalersi dello spettro di RSL o impiegare una delle categorie di sottosuolo previste dalle NTC 2018 (qualora questa risulti maggiormente cautelativa rispetto ai risultati RSL).

L'analisi HVSR su sito ha ottenuto i seguenti risultati:

- Picco H/V a 0.94 ± 0.18 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Borgoricco, marzo 2022

Dott. Geol. Pier Giorgio Spadon



Dott. Geol. Sergio Drago

