



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU

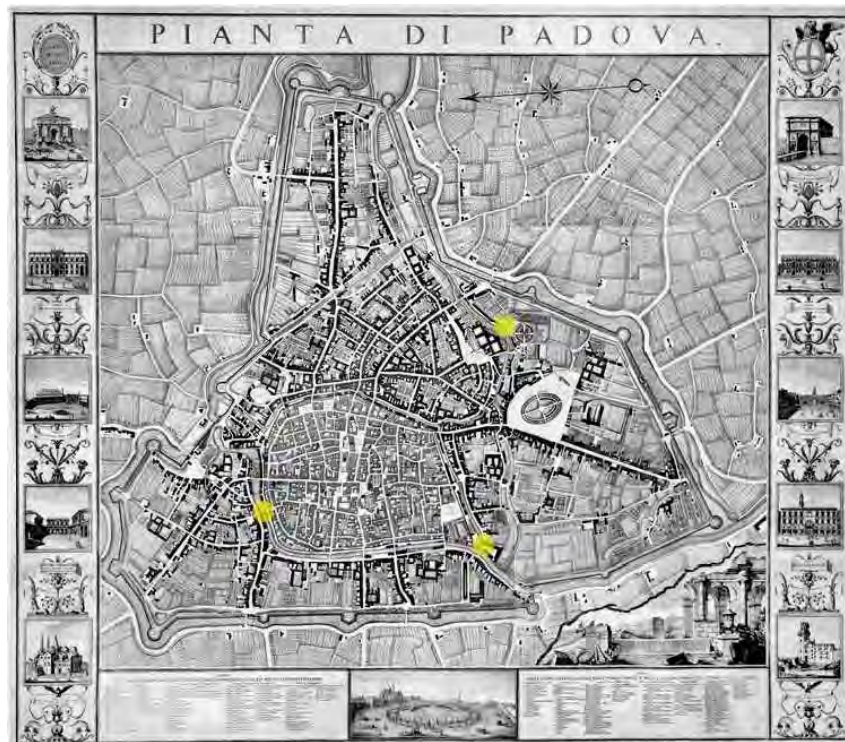


MINISTERO
DELL'INTERNO



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 DELL'OSSERVATORIO</u> RELAZIONE INDAGINI DIAGNOSTICHE		NUMERO 4.3
I PROGETTISTI Ing. Fabio Muraro Arch. Francesco Casini	IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Ing. Roberto Piccolo	IL CAPO SETTORE Ing. Matteo Banfi

Padova - Ponte dell'Osservatorio

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 Ponte dell'Osservatorio in Piazza Accademia Delia, 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.

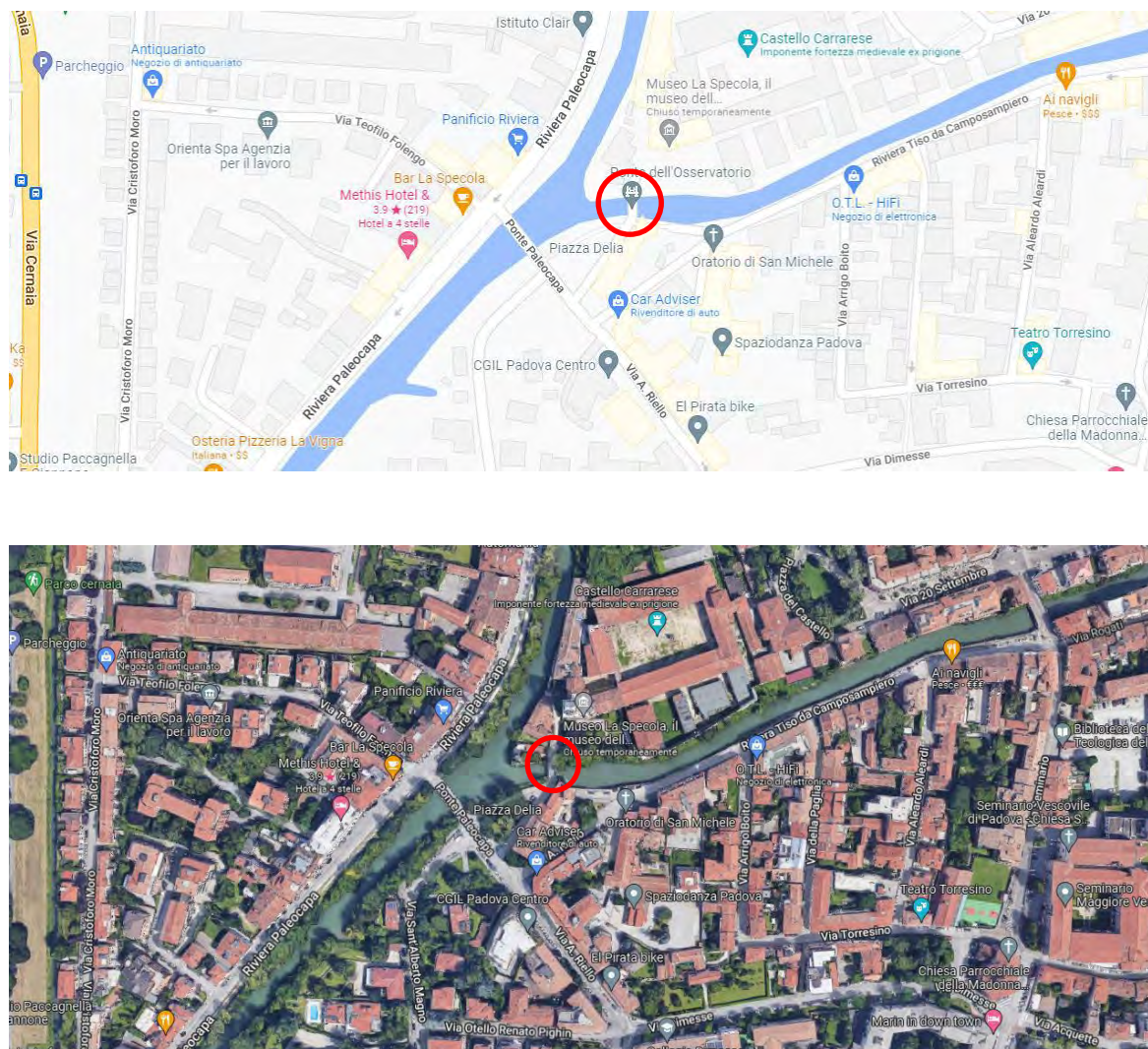


Figura 1.1: vista satellitare della struttura oggetto di indagine, fonte maps.google

2 DESCRIZIONE GENERALE DEL PROGRAMMA DI INDAGINI

Nel giorno 9 Marzo 2022 si è effettuata una campagna di indagini sperimentali presso il Ponte dell'Osservatorio in Piazza Accademia Delia, 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.**).

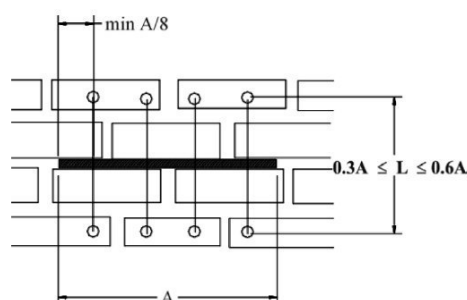


Figura 3.1: schema di disposizione dei sensori

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 .

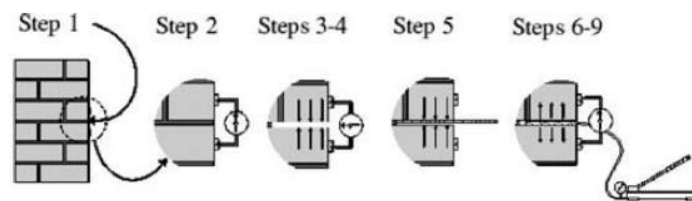


Figura 3.2: sequenza di prova

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.**).

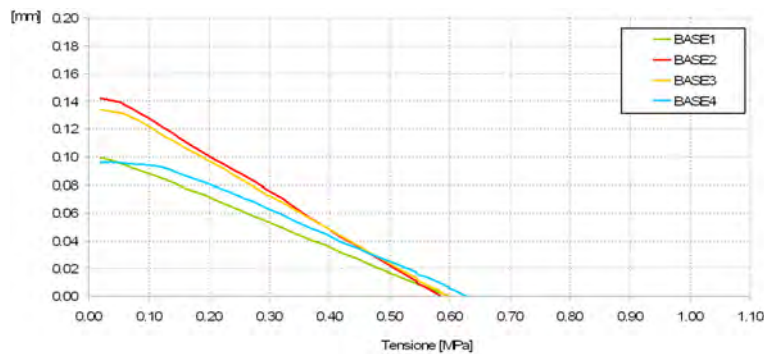


Figura 3.3: rappresentazione tipica dei risultati di una prova di martinetto piatto singolo

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.

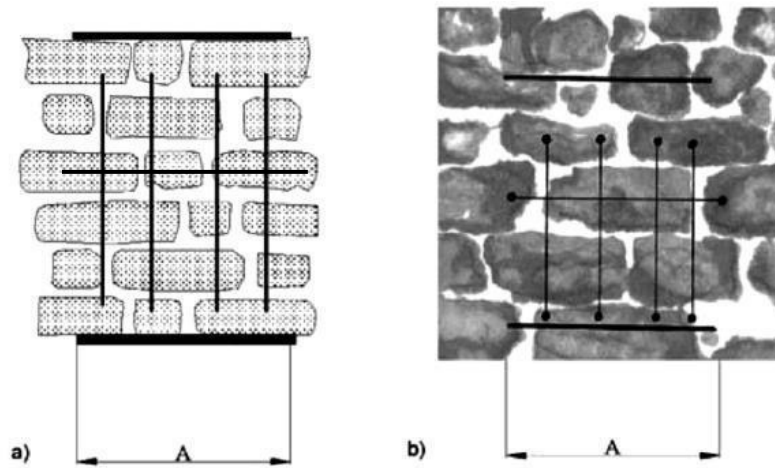


Figura 3.4: Schemi di localizzazione dei tagli e dei sensori; in a) murature in mattoni o in pietra con tessitura regolare, ed in b) muratura in pietra irregolare

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).

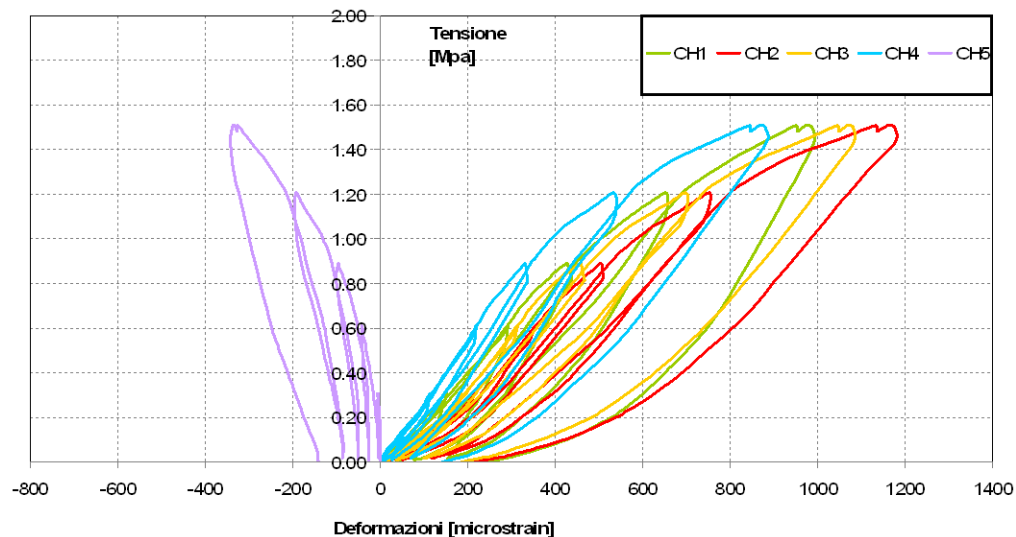


Figura 3.5: rappresentazione tipica dei risultati di una prova di martinetto piatto doppio

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

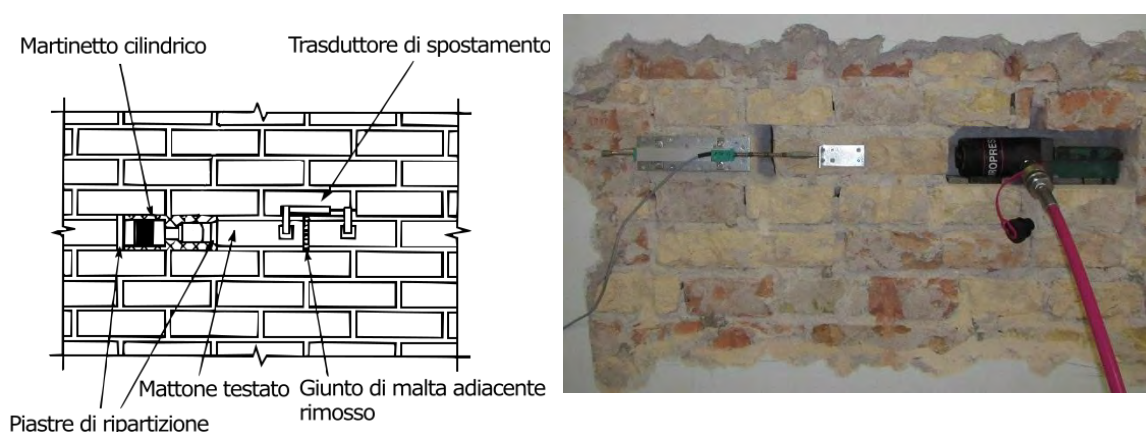


Figura 3.6: set-up di prova

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. C2022/0124

Emendamento del certificato n° ___

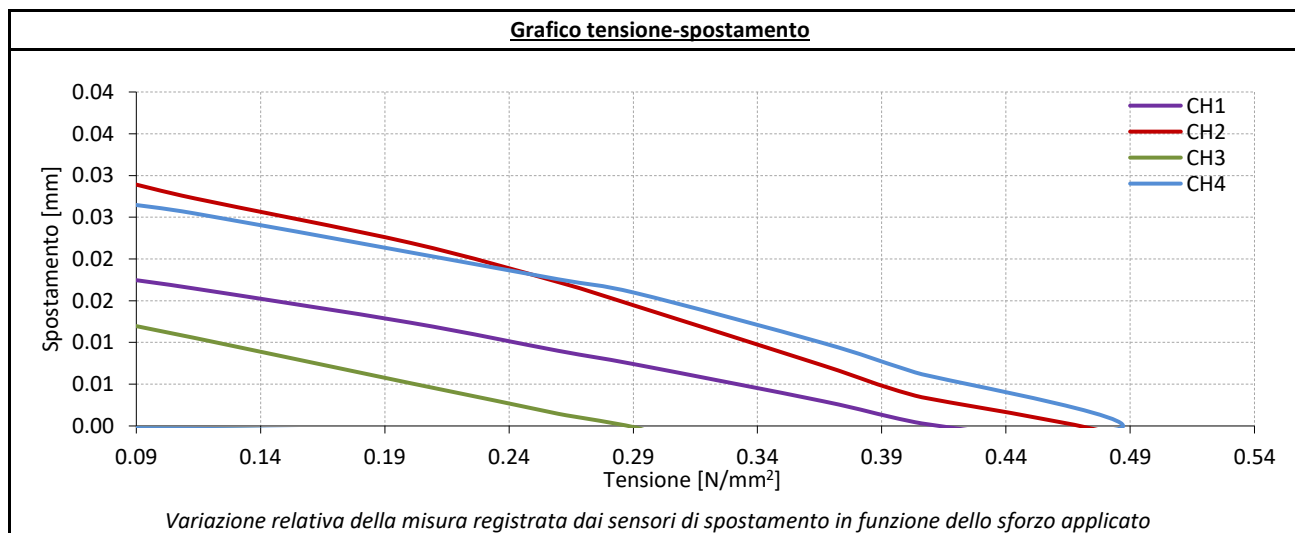
N.Pratica: 142/2021 Cod.commissa: 211202_CPD
 Committente: Comune di Padova
 Richiedente: Ing. Rigon Michele Ruolo ricoperto: Direttore Lavori
 Cantiere: Ponte dell'Osservatorio
 Indirizzo: Piazza Accademia Delia, Padova (PD)

PROVA CON MARTINETTO PIATTO SINGOLO

ASTM C1197-14a

Test n.	MS.01	Data prova:	09/03/2022	Ora prova:	9.30		
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 :	-1°C/70%	Pressione ripristino ⁹ :	4.49		

<p>Schema dei sensori durante la prova</p>	Tensione di compressione in corrispondenza della compensazione della lettura [N/mm²]	
	Sensore 1 (CH1)	0.41
	Sensore 2 (CH2)	0.45
	Sensore 3 (CH3)	0.28
	Sensore 4 (CH4)	0.47
	Media sui sensori (σ locale)	0.40
Note ¹⁰ : ND		



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), 09/03/2022

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. C2022/0124

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 quadrati; [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), 09/03/2022

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. C2022/0125

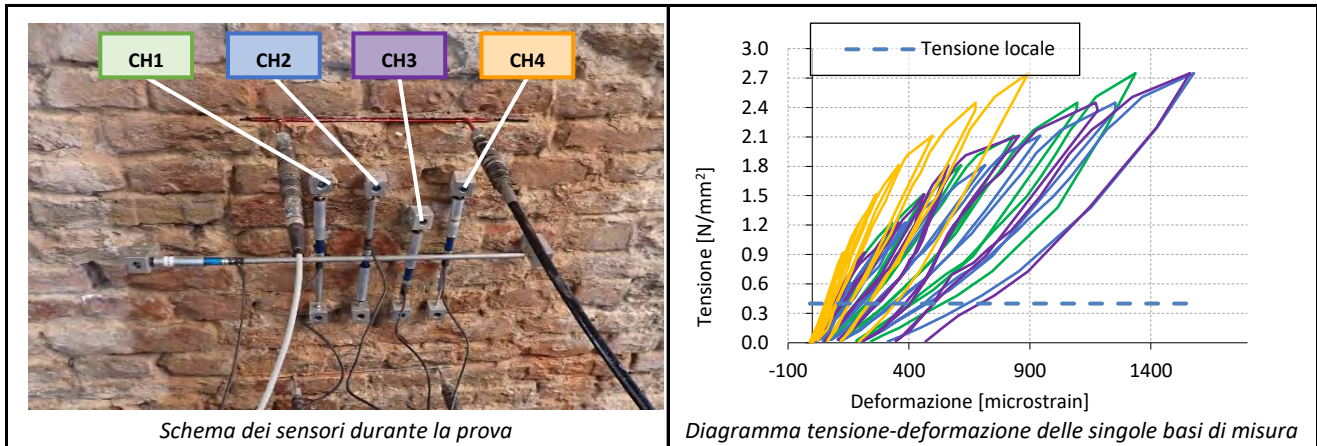
Emendamento del certificato n°__

N.Pratica: 142/2021 Cod.commissa: 211202_CPD
 Committente: Comune di Padova
 Richiedente: Ing. Rigon Michele Ruolo ricoperto: Direttore Lavori
 Cantiere: Ponte dell'Osservatorio
 Indirizzo: Piazza Accademia Delia, Padova (PD)

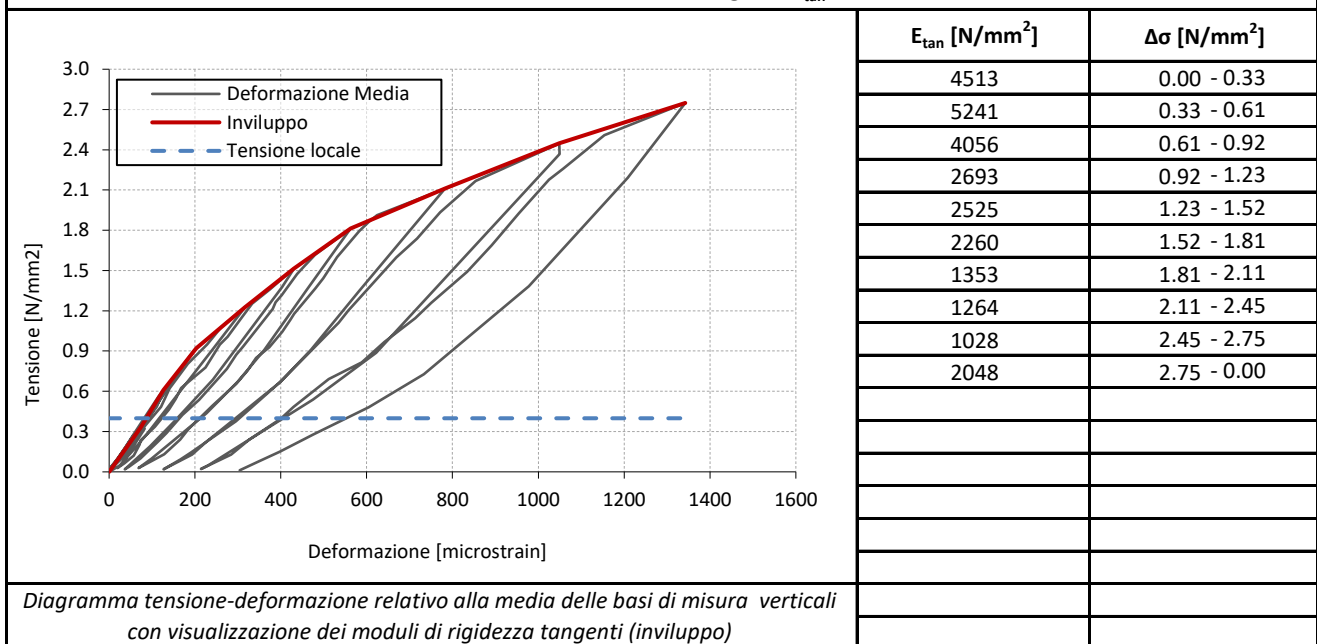
PROVA CON MARTINETTO PIATTO DOPPIO

ASTM C1197-14a

Test n.	MD.01	Data prova:	9/03/2022	Ora prova:	10.15
Lotto martinetti¹:	C	Dim. martinetti²:	350x250 mm	$K_{m,sup}^3 =$	0.9 $K_{a,sup}^4 =$ 1
Tipo muratura⁵:	MP	Data costruzione⁶:	NN	$K_{m,inf}^3 =$	0.9 $K_{a,inf}^4 =$ 1
σ massima applicata [N/mm²]		2.70	step incremento ciclo [N/mm²]		0.30
Utilizzo di spessori⁷:	No	Condiz. ambientali⁸:	-1°C/70%	σ prima fessurazione⁹:	1.4



Moduli di elasticità tangente E_{tan}



Padova (PD), 09/03/2022

Lo sperimentatore

ing. Fabio Pietro Marchesini

Il Direttore del Laboratorio

ing. Casarin Filippo

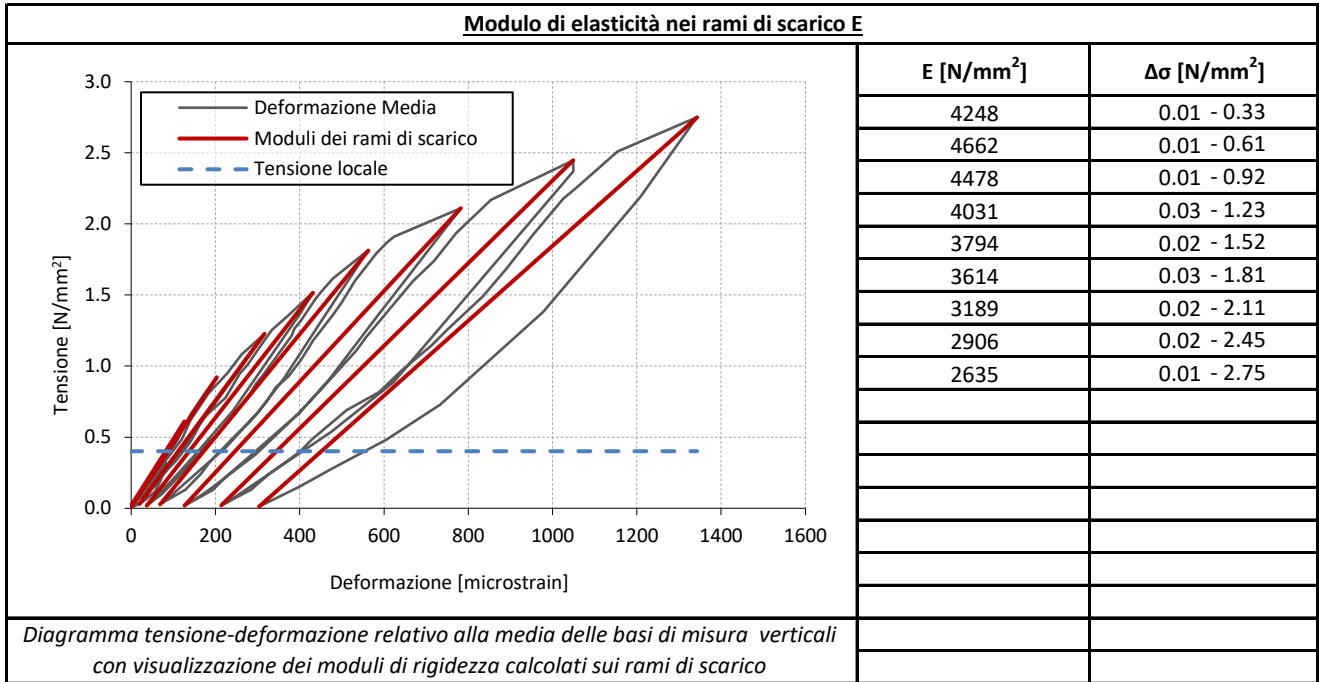
Laboratorio autorizzato ad effettuare e certificare le prove ed i controlli sui materiali da costruzione su strutture e costruzioni esistenti del Settore A e del Settore C della Circolare 633/STC del 03/12/2019, con estensione alle prove facoltative. Per l'elenco completo delle prove ed i controlli per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

CERTIFICATO DI PROVA N. C2022/0125

Emendamento del certificato n° ___

PROVA CON MARTINETTO PIATTO DOPPIO

ASTM C1197-14a



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

Note¹⁰: ND

Osservazioni¹¹: ND

Taglio eseguito mediante mototroncatrice a disco eccentrico (EXP040)

Strumentazione utilizzata: EXP010, EXP033÷EXP045

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 rigidezza 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 sbozzati; [PS] in pietre a spacco regolare; [TI] irregolare in pietra tenera; [TR] regolare in pietra tenera; [LS] in blocchi lapidei squadriati; [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 dello stato di sforzo di prima fessurazione in N/mm² o [NN] non noto
- 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), 09/03/2022

Lo sperimentatore

ing. Fabio Pietro Marchesini

Il Direttore del Laboratorio

ing. Casarin Filippo

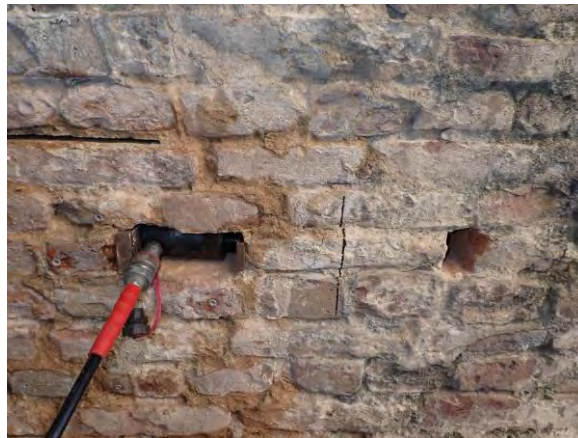
Laboratorio autorizzato ad effettuare e certificare le prove ed i controlli sui materiali da costruzione su strutture e costruzioni esistenti del Settore A e del Settore C della Circolare 633/STC del 03/12/2019, con estensione alle prove facoltative. Per l'elenco completo delle prove ed i controlli per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

CERTIFICATO DI PROVA N. C2022/0126
 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 dell'Osservatorio
 Indirizzo: Piazza Accademia Delia, Padova (PD)

SHOVE TEST
 RILEM 127 MS-D.6

Test n.	SV.01	Data prova	09/03/2022	Materiale ²	M
Tipologia edilizia ¹	MM	Ora prova	11.15	Metodo ³	B


Documentazione fotografica
Risultati

A ⁴	68750 mm ²	τ^7	1.08 N/mm ²
F _{max} ⁵	74.54 kN	$\tau_{0,min}^8$	0.44 N/mm ²
σ_0^6	0.40 N/mm ²	$\tau_{0,max}^9$	0.96 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 09/03/2022
 Lo sperimentatore
 ing. Fabio Pietro Marchesini

Il direttore del Laboratorio
 ing. Filippo Casarin

CERTIFICATO DI PROVA N. C2022/0126

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 09/03/2022

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. C2022/0127
 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 dell'Osservatorio
 Indirizzo: Piazza Accademia Delia, 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	09/03/22	09/03/22	09/03/22	09/03/22	09/03/22	09/03/22				
Ora prova	14.00	14.10	14.15	14.20	15.00	15.15				
Tipo elemento ¹	P	A	A	A	A	P				
Localizzazione ²	-	-	-	-	-	-				
Spessore elemento ³ [cm]	ND	ND	ND	82	ND	ND				
Profondità foro [cm]	116	121	97	82	121	119				
<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 09/03/2022
 Lo sperimentatore
ing. Fabio Pietro Marchesini

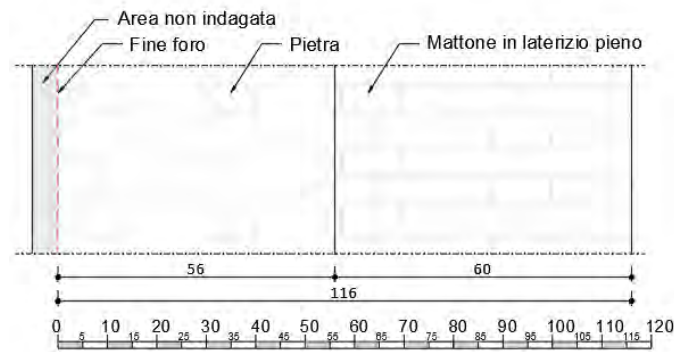
 Il direttore del Laboratorio
ing. Filippo Casarin
Laboratorio autorizzato ad effettuare e certificare le prove ed i controlli sui materiali da costruzione su strutture e costruzioni esistenti del Settore A e del Settore C della Circolare 633/STC del 03/12/2019, con estensione alle prove facoltative. 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. C2022/0127

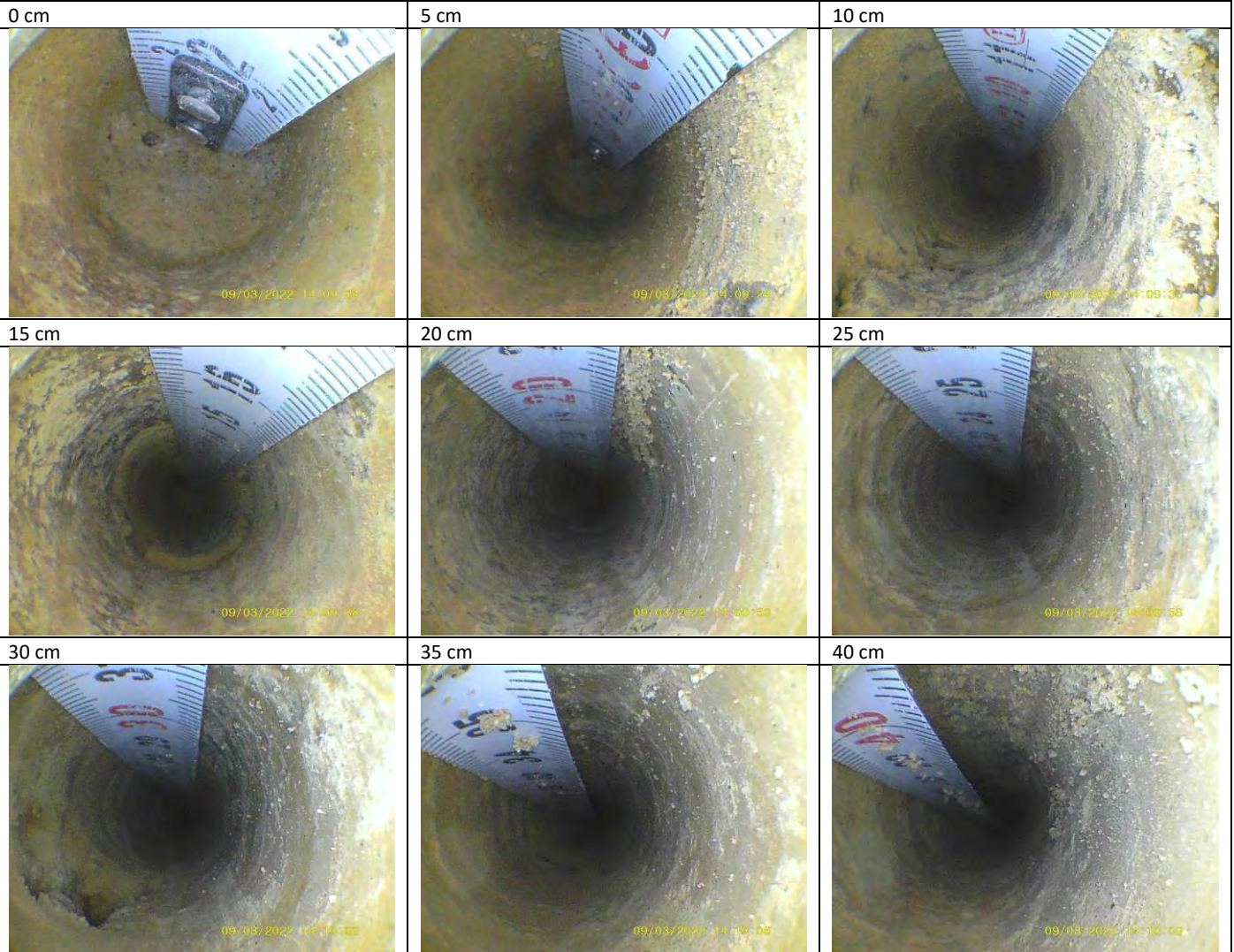
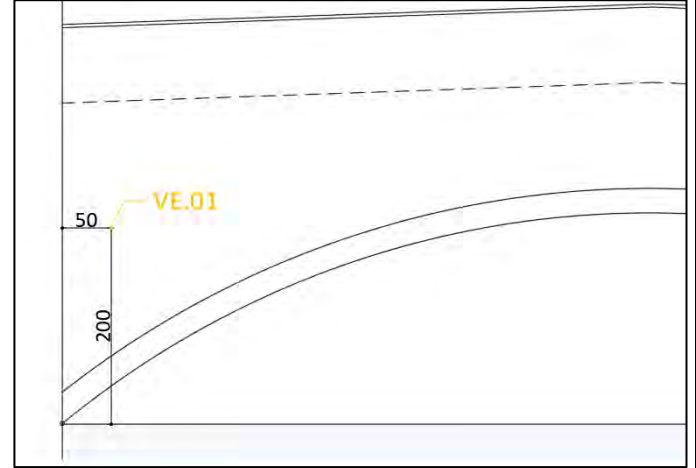
Emendamento del certificato n° ____

VE.01

Stratigrafia rilevata [cm]



Localizzazione dell'elemento



Padova (PD), li 09/03/2022

Lo sperimentatore

ing. Fabio Pietro Marchesini

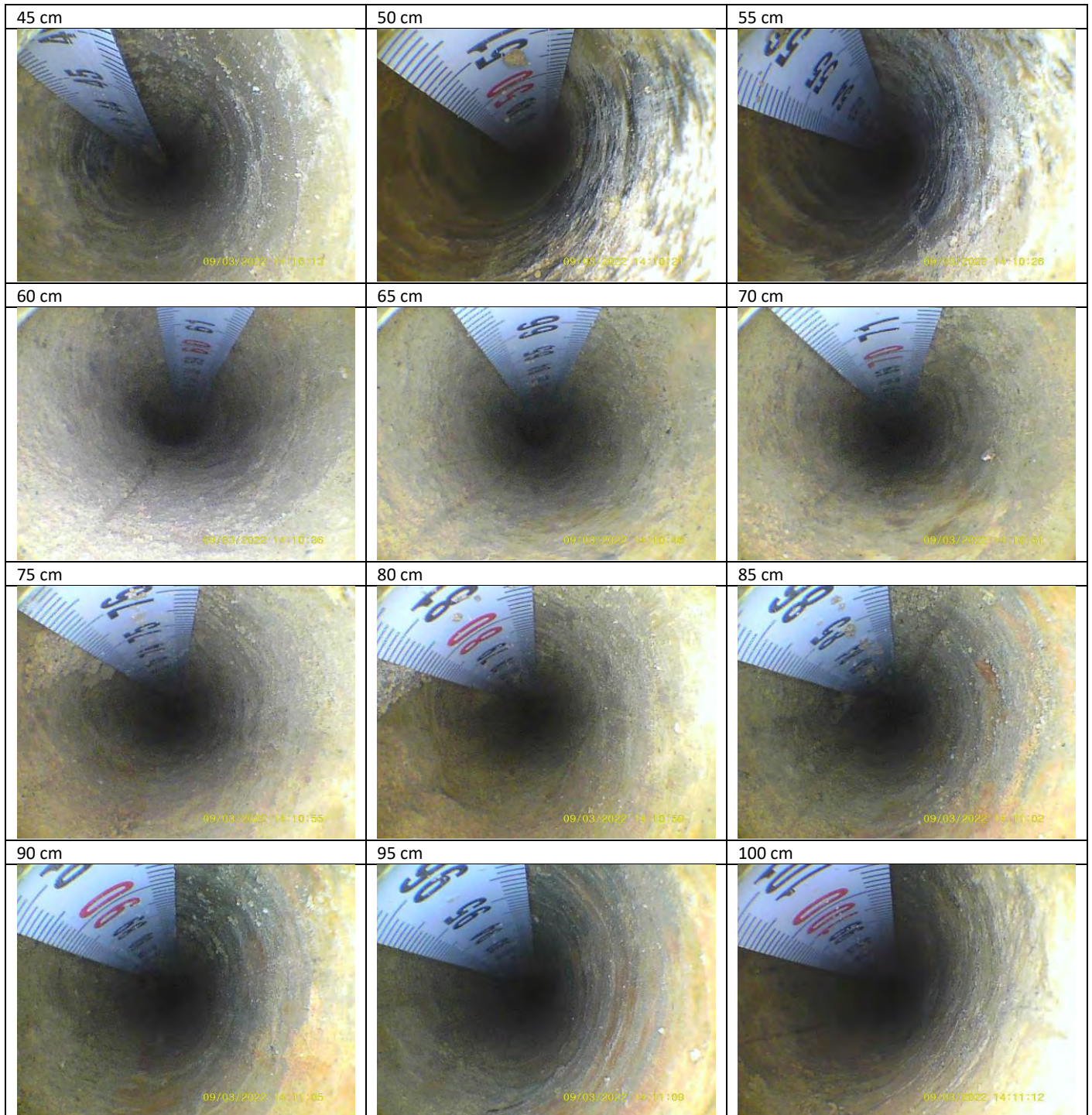
Il direttore del Laboratorio

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. C2022/0127

Emendamento del certificato n° _____



Padova (PD), li 09/03/2022
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. C2022/0127 Emendamento del certificato n° ____

Padova (PD), lì 09/03/2022

Lo sperimentatore

ing. Fabio Pietro Marchesini

Il direttore del Laboratorio

ing. Filippo Casarin

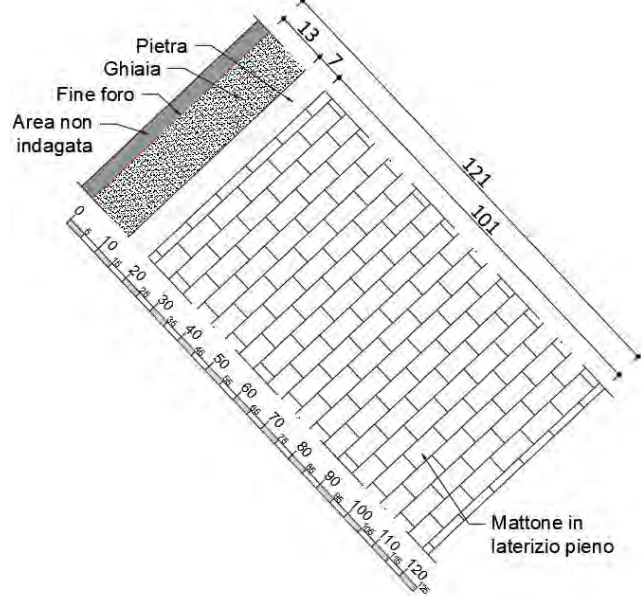
Laboratorio autorizzato ad effettuare e certificare le prove ed i controlli sui materiali da costruzione su strutture e costruzioni esistenti del Settore A e del Settore C della Circolare 633/STC del 03/12/2019, con estensione alle prove facoltative. Per l'elenco completo delle prove ed i controlli per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

CERTIFICATO DI PROVA N. C2022/0127

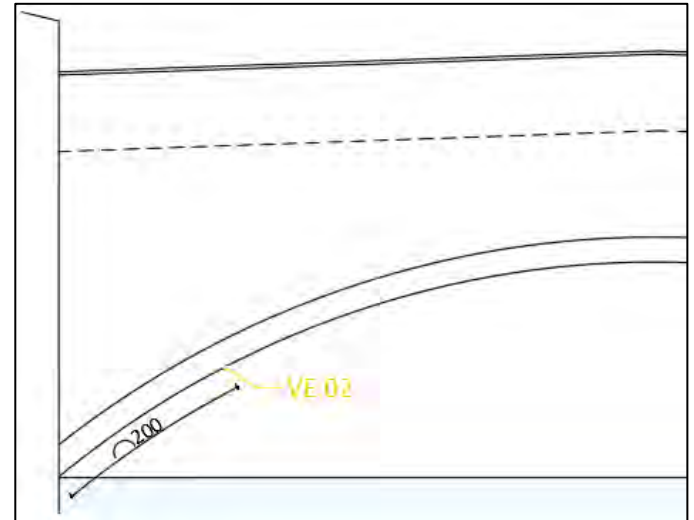
Emendamento del certificato n° ____

VE.02

Stratigrafia rilevata [cm]



Localizzazione dell'elemento



0 cm



5 cm



10 cm



15 cm



20 cm



25 cm



Padova (PD), li 09/03/2022
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. C2022/0127

Emendamento del certificato n° ____



Padova (PD), li 09/03/2022

Lo sperimentatore

ing. Fabio Pietro Marchesini

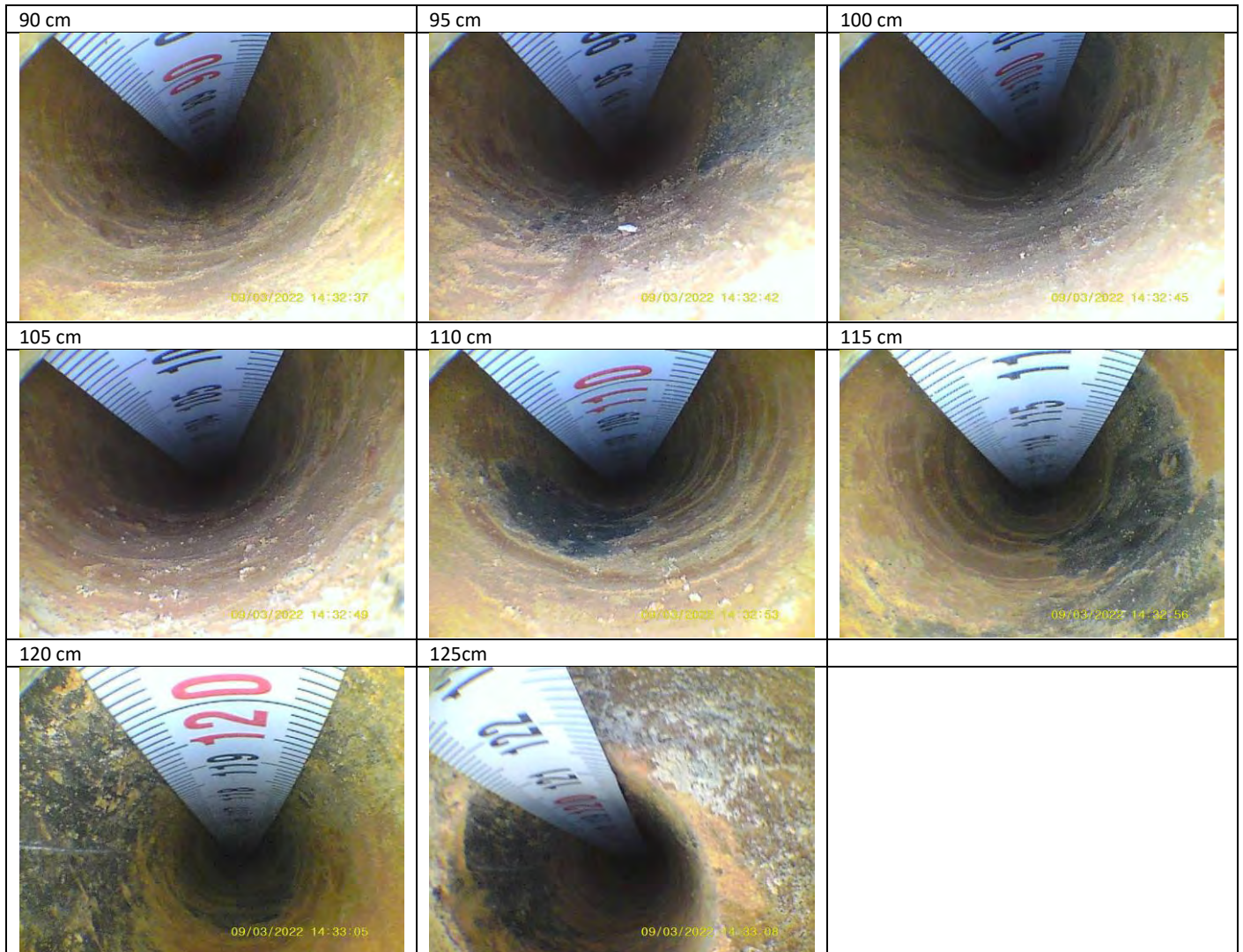
Il direttore del Laboratorio

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. C2022/0127

Emendamento del certificato n° ____



Padova (PD), li 09/03/2022
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. C2022/0127

Emendamento del certificato n° ____

VE.03

<p>Stratigrafia rilevata [cm]</p>			<p>Localizzazione dell'elemento</p>		
<p>0 cm</p>	<p>5 cm</p>	<p>10 cm</p>	<p>15 cm</p>	<p>20 cm</p>	<p>25 cm</p>

Padova (PD), li 09/03/2022

Lo sperimentatore

ing. Fabio Pietro Marchesini

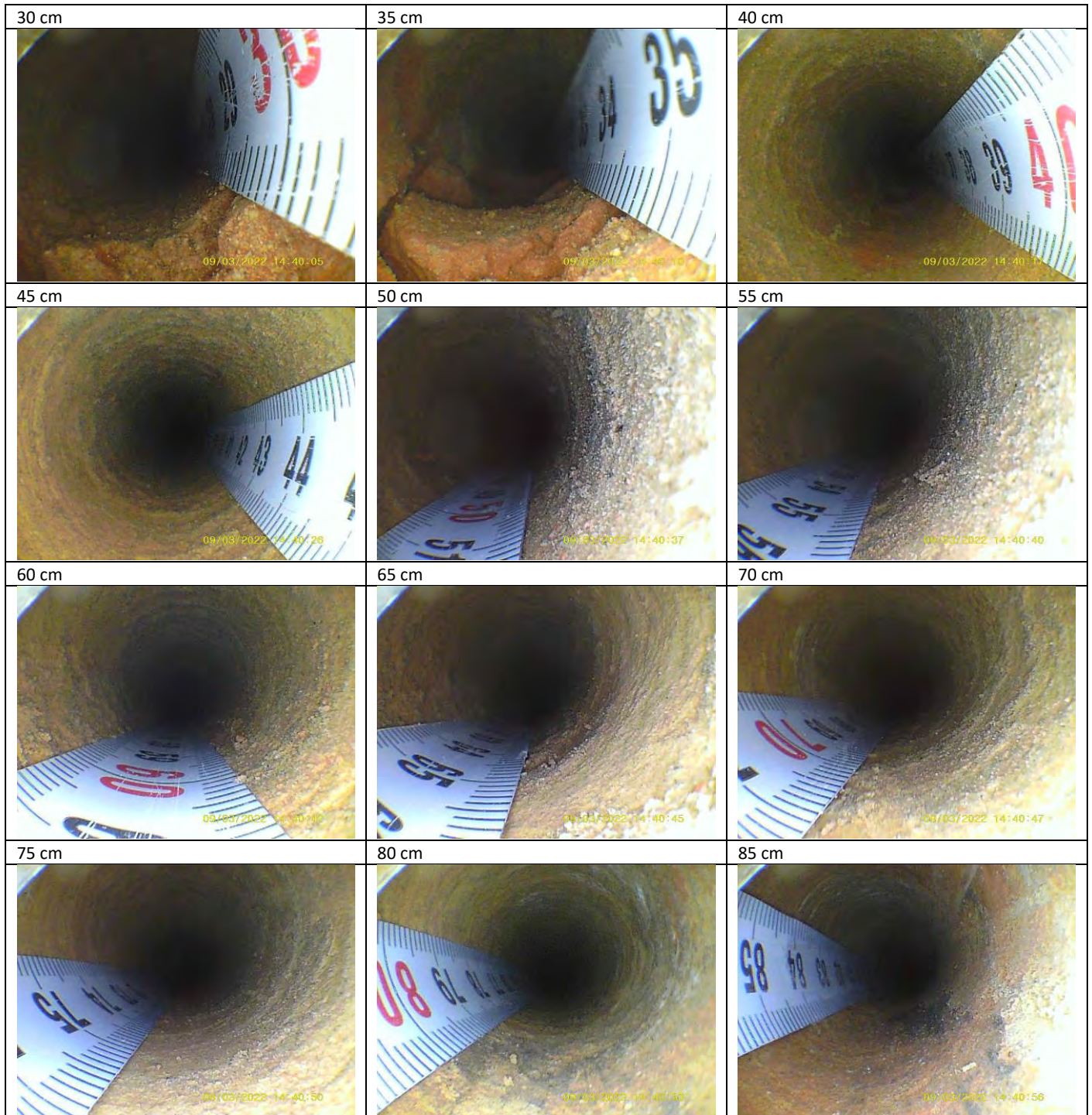
Il direttore del Laboratorio

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. C2022/0127

Emendamento del certificato n° _____



Padova (PD), li 09/03/2022
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. C2022/0127

Emendamento del certificato n° ____

90 cm	95 cm	
		

Padova (PD), lì 09/03/2022

Lo sperimentatore

ing. Fabio Pietro Marchesini

Il direttore del Laboratorio

ing. Filippo Casarin

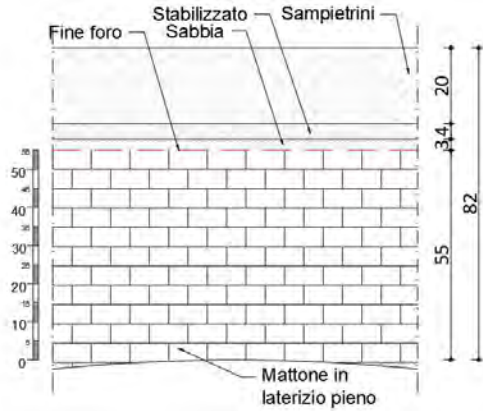
Laboratorio autorizzato ad effettuare e certificare le prove ed i controlli sui materiali da costruzione su strutture e costruzioni esistenti del Settore A e del Settore C della Circolare 633/STC del 03/12/2019, con estensione alle prove facoltative. Per l'elenco completo delle prove ed i controlli per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

CERTIFICATO DI PROVA N. C2022/0127

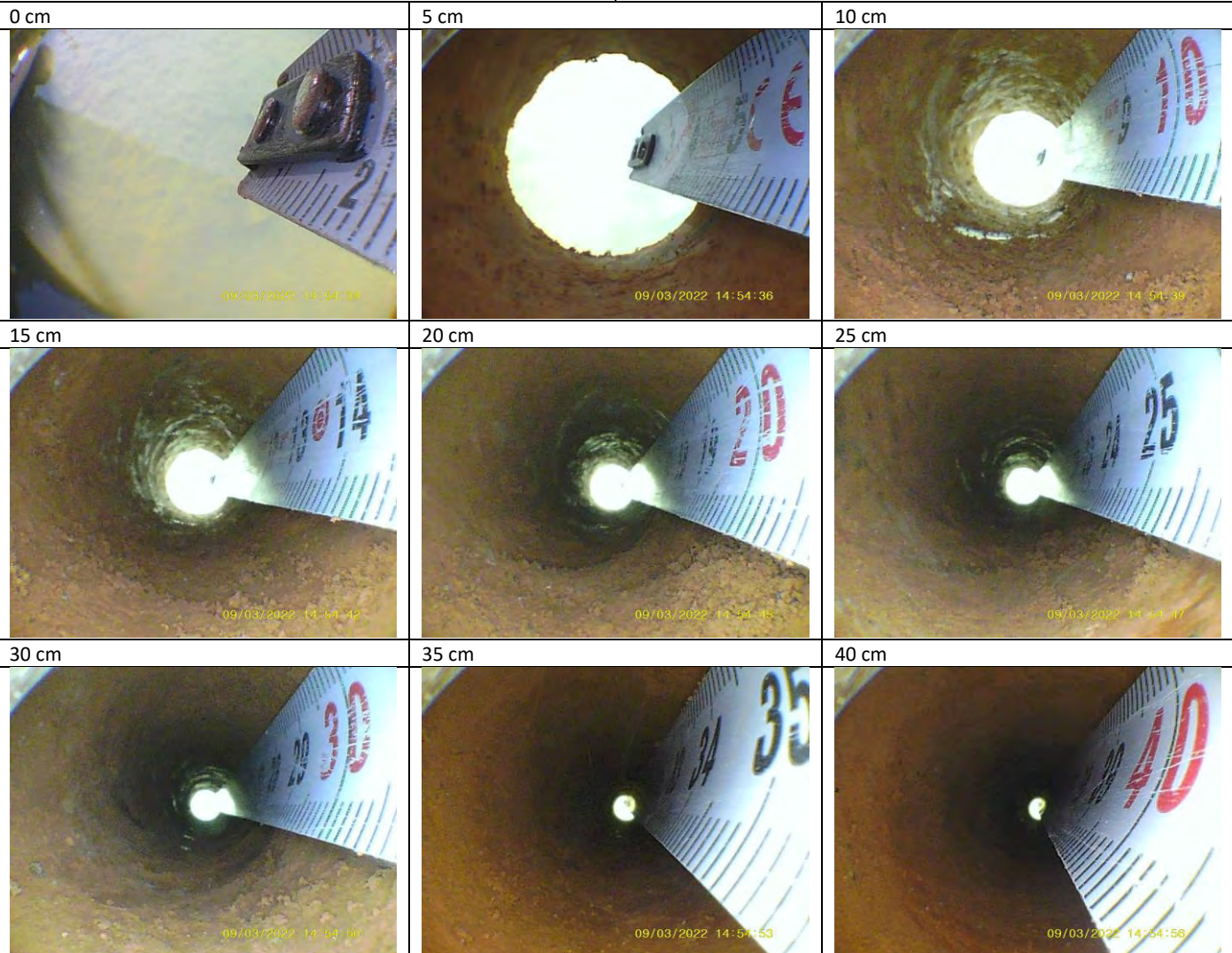
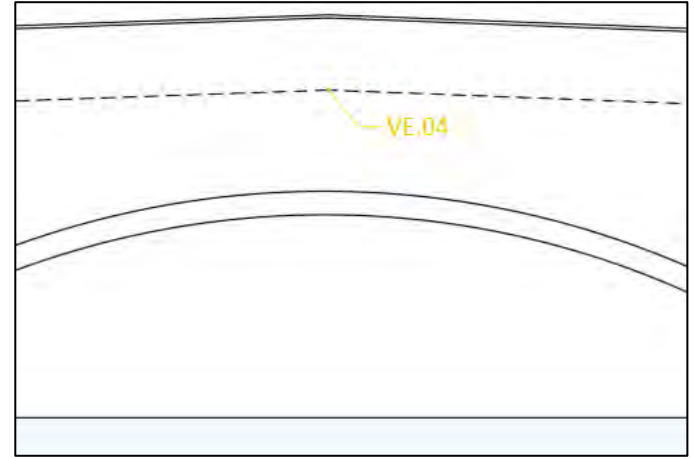
Emendamento del certificato n° ____

VE.04

Stratigrafia rilevata [cm]



Localizzazione dell'elemento









Padova (PD), li 09/03/2022
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. C2022/0127

Emendamento del certificato n° ____

<p>45 cm</p>  <p>09/03/2022 14:54:59</p>	<p>50 cm</p>  <p>09/03/2022 14:55:01</p>	<p>55 cm</p>  <p>09/03/2022 14:55:06</p>
<p>60 cm</p>  <p>09/03/2022 14:55:11</p>	<p>65 cm</p>	<p>70 cm</p>
<p>Scavo superiore</p>		
 <p>09/03/2022 14:58:01</p>	 <p>09/03/2022 14:58:24</p>	

Padova (PD), li 09/03/2022

Lo sperimentatore

ing. Fabio Pietro Marchesini

Il direttore del Laboratorio

ing. Filippo Casarin

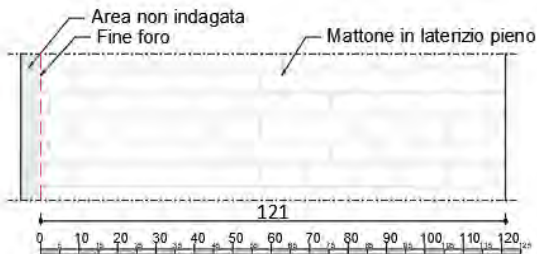
Laboratorio autorizzato ad effettuare e certificare le prove ed i controlli sui materiali da costruzione su strutture e costruzioni esistenti del Settore A e del Settore C della Circolare 633/STC del 03/12/2019, con estensione alle prove facoltative. Per l'elenco completo delle prove ed i controlli per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

CERTIFICATO DI PROVA N. C2022/0127

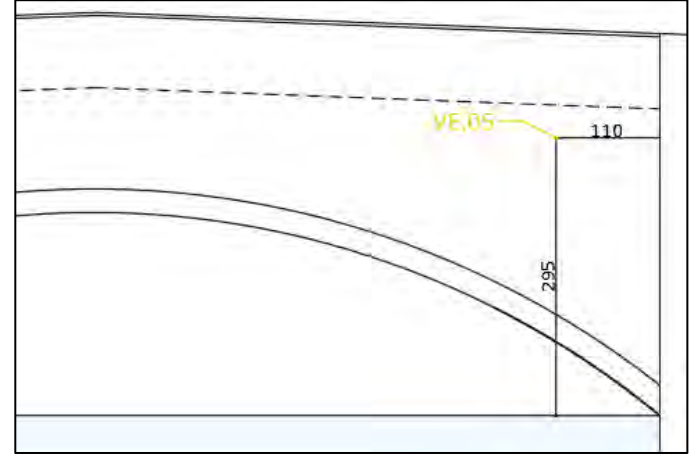
Emendamento del certificato n° ____

VE.05

Stratigrafia rilevata [cm]



Localizzazione dell'elemento



0 cm



5 cm



10 cm



15 cm



20 cm



25 cm



30 cm



35 cm



40 cm



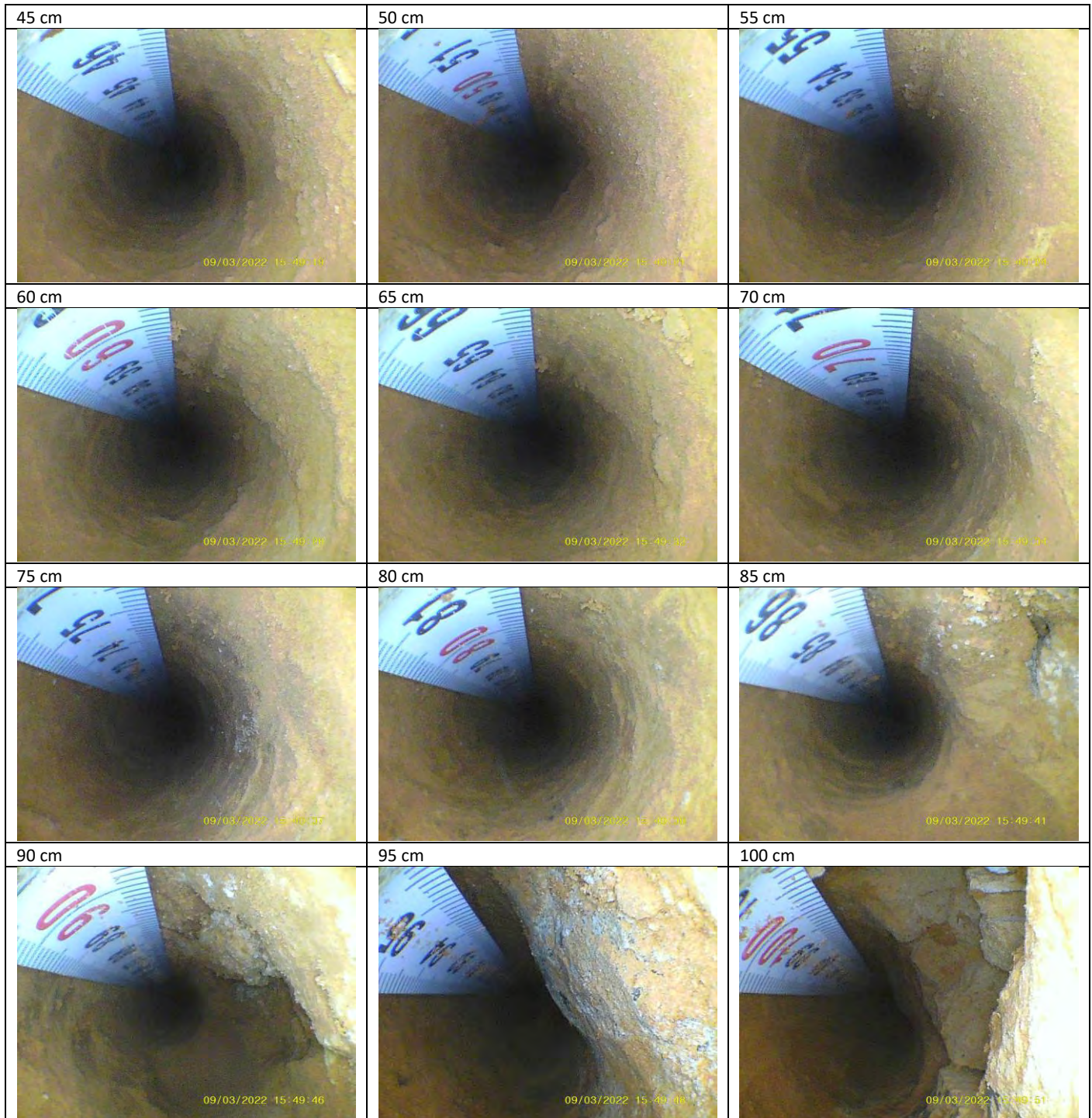
Padova (PD), li 09/03/2022
Lo sperimentatore
ing. Fabio Pietro Marchesini

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. C2022/0127

Emendamento del certificato n° ____



Padova (PD), li 09/03/2022

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. C2022/0127

Emendamento del certificato n° ____

105 cm	110 cm	115 cm
		
120 cm		
		

Padova (PD), li 09/03/2022
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. C2022/0127

Emendamento del certificato n° ____

VE.06

<p>Stratigrafia rilevata [cm]</p>		<p>Localizzazione dell'elemento</p>	
0 cm	5 cm	10 cm	
15 cm	20 cm	25 cm	

Padova (PD), lì 09/03/2022

Lo sperimentatore

ing. Fabio Pietro Marchesini

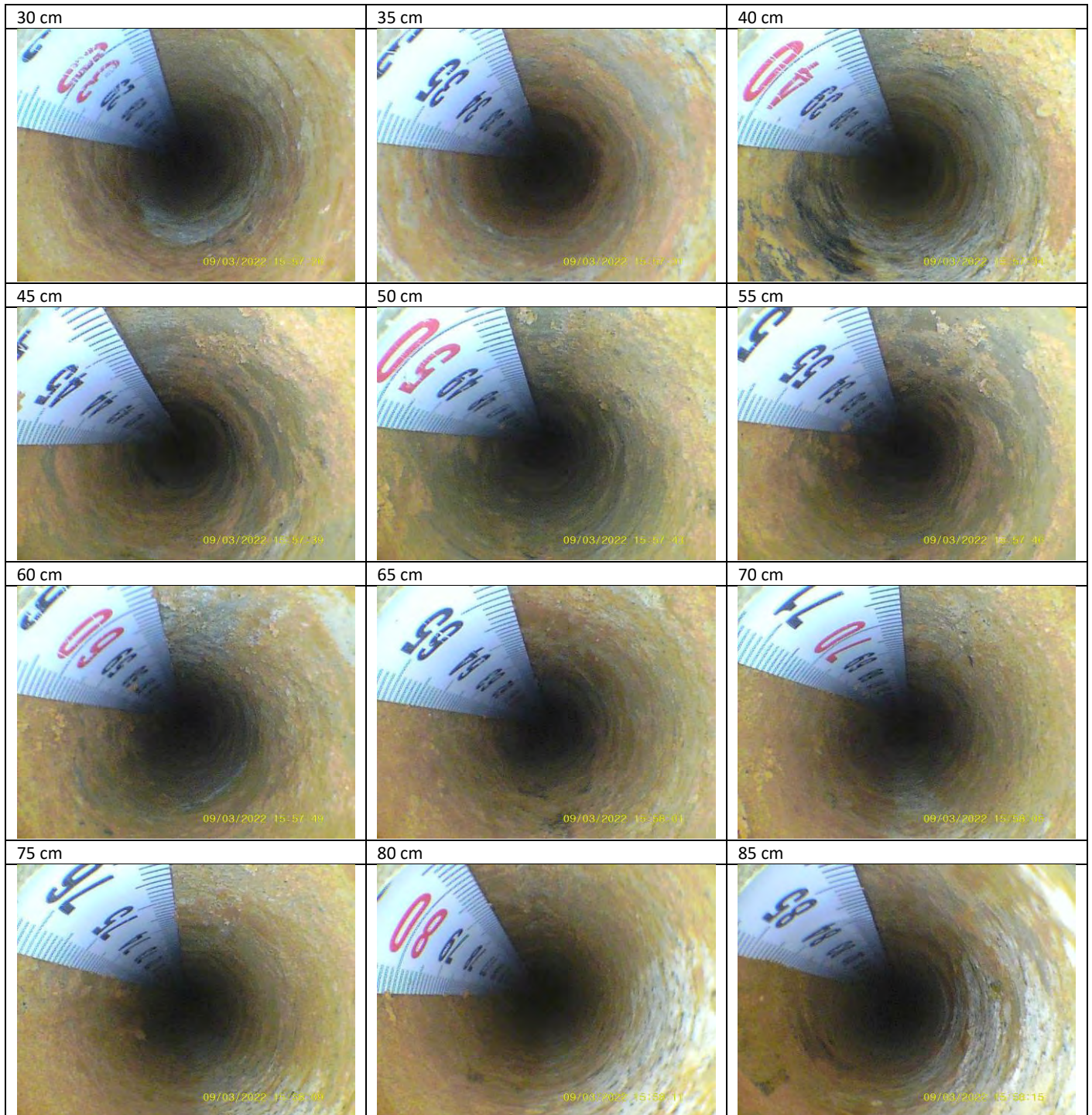
Il direttore del Laboratorio

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. C2022/0127

Emendamento del certificato n° ____



Padova (PD), li 09/03/2022
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. C2022/0127

Emendamento del certificato n° ____

<p>90 cm</p> <p>09/03/2022 15:58:18</p>	<p>95 cm</p> <p>09/03/2022 15:58:33</p>	<p>100 cm</p> <p>09/03/2022 15:58:49</p>
<p>105 cm</p> <p>09/03/2022 15:58:40</p>	<p>110 cm</p> <p>09/03/2022 15:58:43</p>	<p>115 cm</p> <p>09/03/2022 15:58:46</p>
<p>120 cm</p> <p>09/03/2022 15:58:51</p>		

Padova (PD), li 09/03/2022

Lo sperimentatore

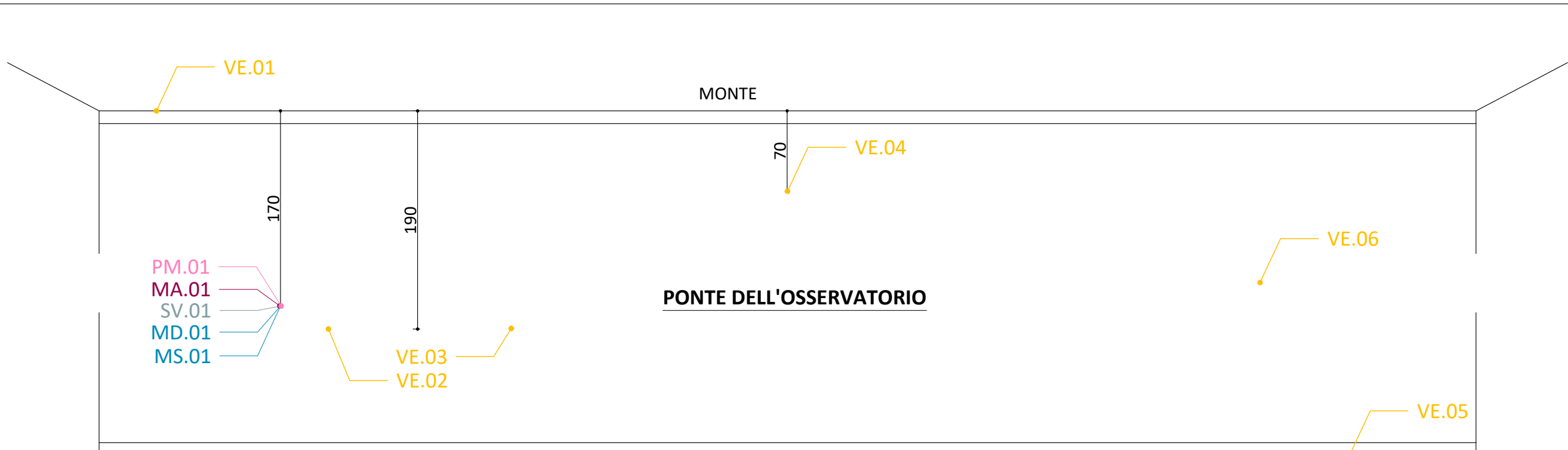
ing. Fabio Pietro Marchesini

Il direttore del Laboratorio

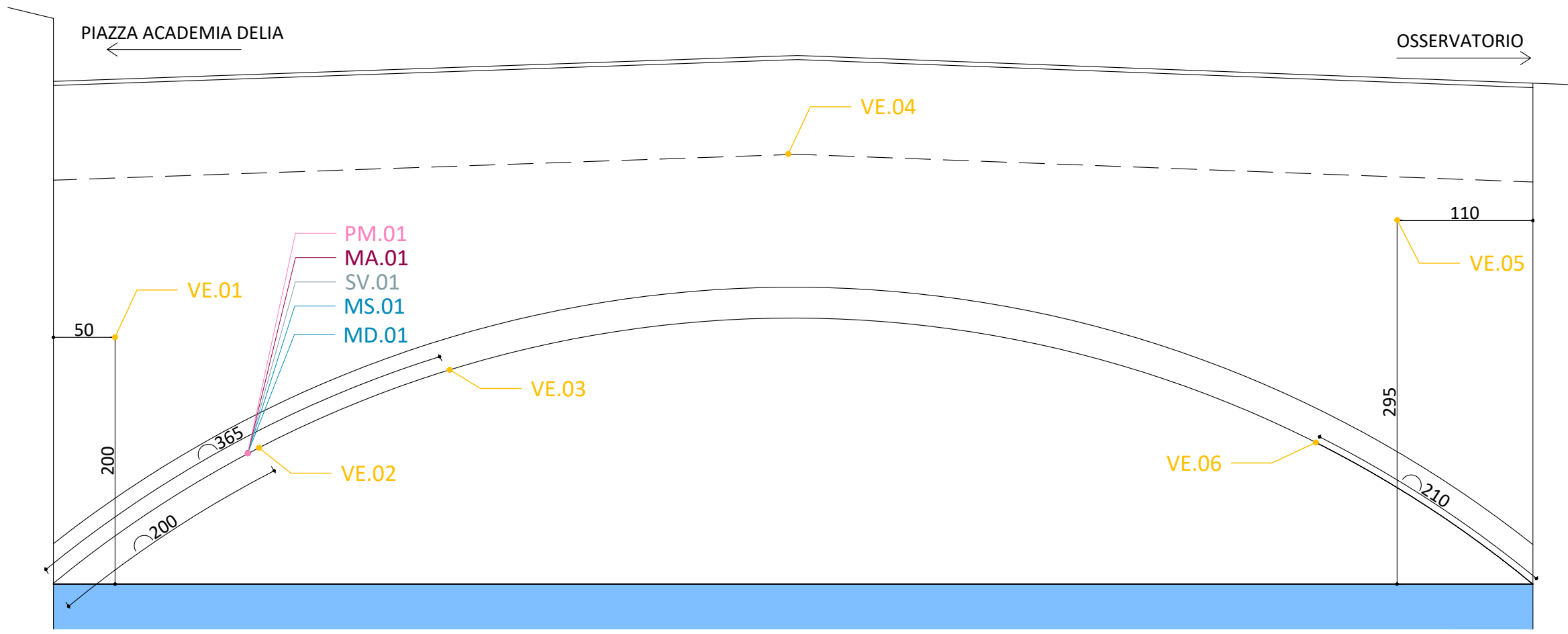
ing. Filippo Casarin

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 PUNDI DI MISURA Pag. 1/1	N. Pratica: 142-2021	Codice Commessa: 211202_CPD	Il direttore del laboratorio: ing. Filippo Casarin Lo sperimentatore: ing. Fabio Pietro Marchesini	  	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
	Committente: Comune di Padova	Ruolo ricoperto: Direttore Lavori			
	Richiedente: Ing. Rigon Michele	Indirizzo: Piazza Accademia Delia - Padova (PD)	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		
	Cantiere: Ponte dell'Osservatorio				

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° 52555	Commessa Job	220625	Data: Date:	10/03/22

Note:
Remarks:

Località del cantiere:
Ponte dell'Osservatorio di Padova (PD)

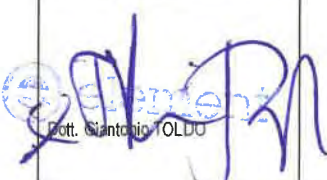
Norme di collaudo:
Standard reference

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 1923	N° 1 mattone pieno	Mattone pieno	--	--	Prelievo ad opera del committente

Responsabile di Laboratorio / Lab Manager	Cliente / Client	Ispettore / Inspector	Ispettore / Inspector
 Dott. Giancarlo TOLDO			



Laboratorio autorizzato dal Ministero dei Lavori Pubblici
 per prove secondo legge 1085/71

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 1923 – N° 1 CAMPIONE DI MATTONE PIENO
Ponte dell'Osservatorio 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 1923 - 1	PM.01	n.d.	22/03/21	282,7	143,1	75,3	693,6	17,15

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 OSSERVATORIO

STUDIO MINERALOGICO-PETROGRAFICO

DELLA MALTA DI ALLETTAMENTO DELLE MURATURE

21 Marzo 2022

Dr. Geol. Davide Melica



COMMITTENTE:

EXPIN srl

via Panà, 56 Ter

Noventa Padovana (PD)



1. PREMESSA

Nell'ambito di una campagna di indagini strutturali condotta presso il "Ponte Osservatorio", 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 biancastro	(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

La malta è costituita da calce aerea carbonatata e da sabbia di fiume, mescolate secondo un rapporto di circa 1:2.5 in volume. La sabbia è composta da clasti di rocce metamorfiche ricche di quarzo, da frammenti calcarei e dolomitici e da granuli di origine vulcanica; tale composizione mineralogica, come pure i rapporti relativi tra i singoli costituenti identificati, sono tipici delle sabbie del Fiume Brenta. In base al colore d'interferenza ed alla presenza di orli di reazione sui clasti dolomitici e sui grani di selce si ritiene che la matrice legante derivi dalla carbonatazione di una calce magnesiaca.

Le dimensioni dell'aggregato sabbioso sono prevalentemente comprese tra 0.15 e 0.4 mm (frazioni *arenacea media* e *arenacea fine*); alcuni clasti tuttavia superano i 3 mm di diametro. Non sono presenti leganti cementizi.



La tabella seguente riporta una sintesi dei caratteri compositivi e tessiturali del campione:

sigla	Legante (L)	Aggregato (A)	Granulometria dell'aggregato (mm)	L:A (in volume)
MA.01	calce aerea (magnesiaca?)	sabbia di fiume	0.04-3.1 prev. 0.15-0.4	1:2.5

Il campione risulta mediamente tenace e tende a disgregarsi; al suo interno, tuttavia, non sono state individuate fasi mineralogiche di neoformazione indicative di processi di degrado chimico in atto.

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 biancastro
- 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	biancastro
4.2.	o dei singoli clasti	grigio, avorio, nero
5	Coesione (valutazione empirica)	media (si spezza e tende a disgregarsi)
6	Fasi secondarie	non riconoscibili

MICROSCOPIA OTTICA SU SEZIONE SOTTILE

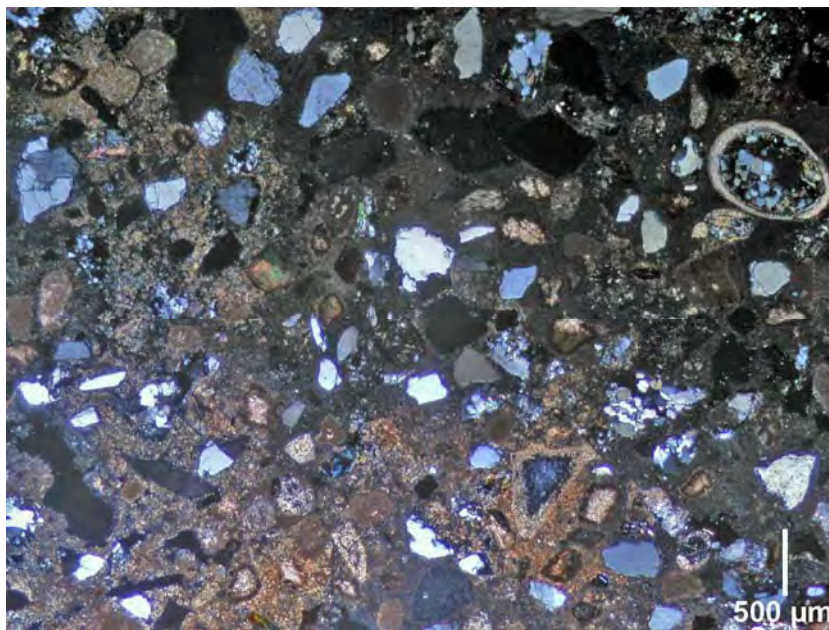
DESCRIZIONE MICROSCOPICA DELLA MATRICE LEGANTE		
1	Composizione mineralogica	La matrice legante presenta un colore d'interferenza grigio-bruno, riferibile con buona probabilità al processo di carbonatazione di una <u>calce aerea magnesiaca</u> .
2	Struttura	omogenea (non si osservano grumi)
3	Tessitura	micritica (cristalli <4 µm)
4	Interazioni con l'aggregato	bordi di reazione sui clasti di dolomia e di selce
5	Vuoti	
5.1.	o tipologia	pori e microcavità
5.2.	o ubicazione	nella matrice (vuoti intergranulari)
5.3.	o % in volume	media (circa 25%)
5.4.	o origine	primaria (originata durante le fasi di presa e di indurimento)



DESCRIZIONE MICROSCOPICA DELL'AGGREGATO																		
1	Granulometria																	
1.1.	o dimensioni (valori indicativi)	<p>Variabile da siltosa grossolana a conglomeratica (0.04-3.1 mm) ma in prevalenza arenacea media e arenacea fine, compresa tra 0.15 e 0.4 mm.</p> <p>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>conglomeratica (> 2 mm)</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>arenacea molto grossolana (1-2 mm)</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>arenacea grossolana (0.5-1 mm)</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>arenacea media (0.25-0.5 mm)</td> <td>30</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>15</td> </tr> <tr> <td>siltosa grossolana (0.031-0.062 mm)</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table>	classi granulometriche	%	conglomeratica (> 2 mm)	5	arenacea molto grossolana (1-2 mm)	-	arenacea grossolana (0.5-1 mm)	15	arenacea media (0.25-0.5 mm)	30	arenacea fine (0.125-0.25 mm)	30	arenacea molto fine (0.062-0.125 mm)	15	siltosa grossolana (0.031-0.062 mm)	5
classi granulometriche	%																	
conglomeratica (> 2 mm)	5																	
arenacea molto grossolana (1-2 mm)	-																	
arenacea grossolana (0.5-1 mm)	15																	
arenacea media (0.25-0.5 mm)	30																	
arenacea fine (0.125-0.25 mm)	30																	
arenacea molto fine (0.062-0.125 mm)	15																	
siltosa grossolana (0.031-0.062 mm)	5																	
1.2.	o classazione	medio-alta (basso assortimento granulometrico)																
2	Forma (sfericit� e arrotondamento)	contorni angolosi o sub-angolosi; 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 silicatica e carbonatica; 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 metamorfiche ricche di quarzo associato a feldspati e/o a miche (<i>gneiss, scisti, quarziti, filladi</i>); ogni costituente compare anche in singoli cristalli</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td>• frammenti di rocce sedimentarie carbonatiche classificabili come dolomie cristalline, calcari micritici (<i>Biancone</i>) e calcari marnosi (<i>Scaglia Rossa</i>)</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>• frammenti di rocce vulcaniche effusive (<i>porfidi quarziferi</i>)</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>• frammenti di rocce vulcaniche intrusive (rocce granitiche); i cristalli di feldspati alcalini sono spesso alterati in sericite o caolino</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>• grani di selce</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table>	tipo mineralogico o petrografico	%	• frammenti di rocce metamorfiche ricche di quarzo associato a feldspati e/o a miche (<i>gneiss, scisti, quarziti, filladi</i>); ogni costituente compare anche in singoli cristalli	35	• frammenti di rocce sedimentarie carbonatiche classificabili come dolomie cristalline, calcari micritici (<i>Biancone</i>) e calcari marnosi (<i>Scaglia Rossa</i>)	30	• frammenti di rocce vulcaniche effusive (<i>porfidi quarziferi</i>)	15	• frammenti di rocce vulcaniche intrusive (rocce granitiche); i cristalli di feldspati alcalini sono spesso alterati in sericite o caolino	15	• grani di selce	5				
tipo mineralogico o petrografico	%																	
• frammenti di rocce metamorfiche ricche di quarzo associato a feldspati e/o a miche (<i>gneiss, scisti, quarziti, filladi</i>); ogni costituente compare anche in singoli cristalli	35																	
• frammenti di rocce sedimentarie carbonatiche classificabili come dolomie cristalline, calcari micritici (<i>Biancone</i>) e calcari marnosi (<i>Scaglia Rossa</i>)	30																	
• frammenti di rocce vulcaniche effusive (<i>porfidi quarziferi</i>)	15																	
• frammenti di rocce vulcaniche intrusive (rocce granitiche); i cristalli di feldspati alcalini sono spesso alterati in sericite o caolino	15																	
• grani di selce	5																	
7	Rapporto legante/aggregato	1:2.5 in volume																



CONCLUSIONI		
1	Definizione del tipo di impasto	La malta è stata confezionata con <u>calce aerea</u> e <u>sabbia di fiume</u> , secondo un rapporto legante/aggregato stimato intorno a 1:2.5 in volume. L'aggregato sabbioso, polimineralico, appartiene a rocce metamorfiche (gneiss, scisti, quarziti, filladi), sedimentarie (calcari, dolomie) e vulcaniche (porfidi quarziferi, graniti); le sue dimensioni ricadono prevalentemente tra 0.15 e 0.4 mm.
2	Stato di conservazione	Il campione risulta mediamente tenace in relazione ad un discreto contenuto di vuoti e di microfessure.



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 DELL'OSSERVATORIO -***

ELABORATO
RELAZIONE GEOLOGICA E DI RISPOSTA SISMICA DI SITO

DATA:
marzo 2022

COMMESSA:
002.2 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 dell'Osservatorio".

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. 25.0 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.

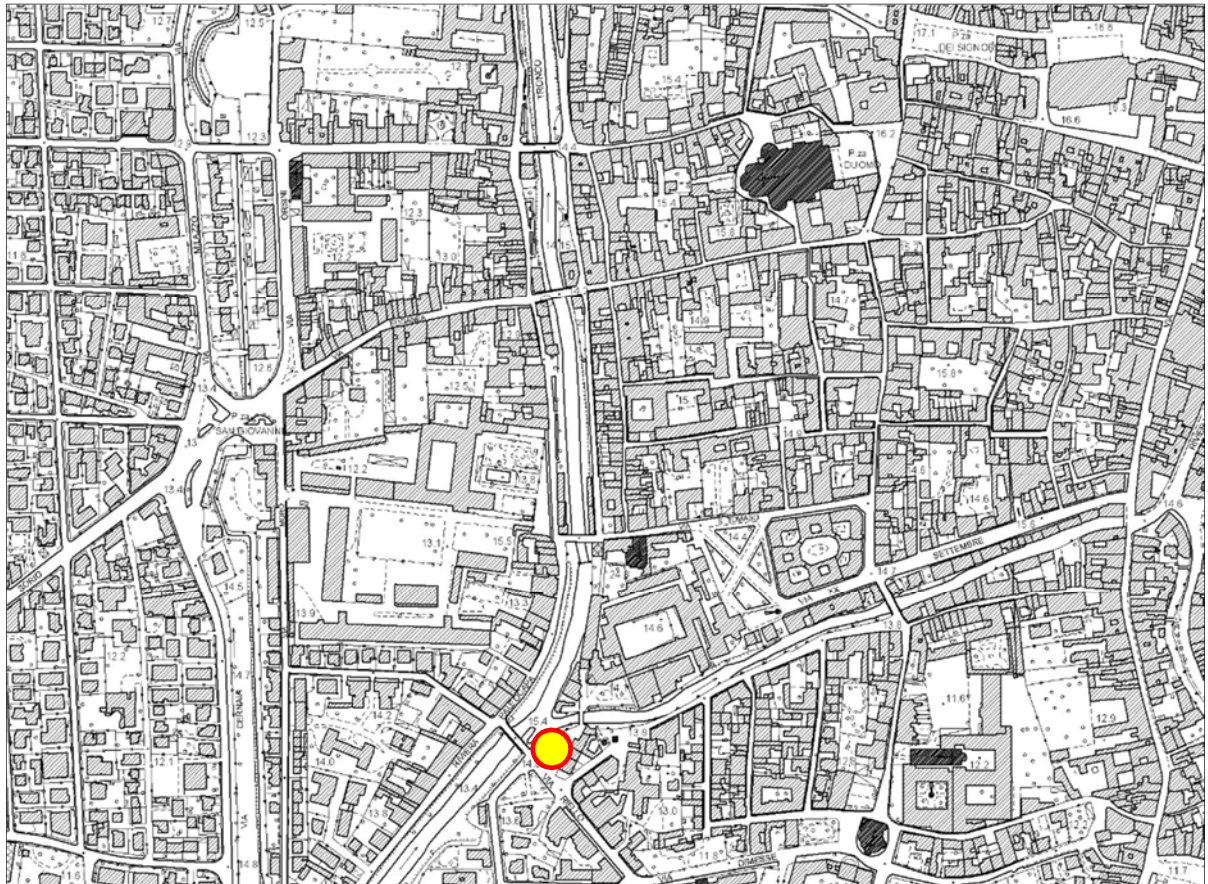


Fig. 1 Estratto Foglio 126150 "Padova Nord" CTR 1:10.000 con evidenziata l'area di indagine



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'avanpaese 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.

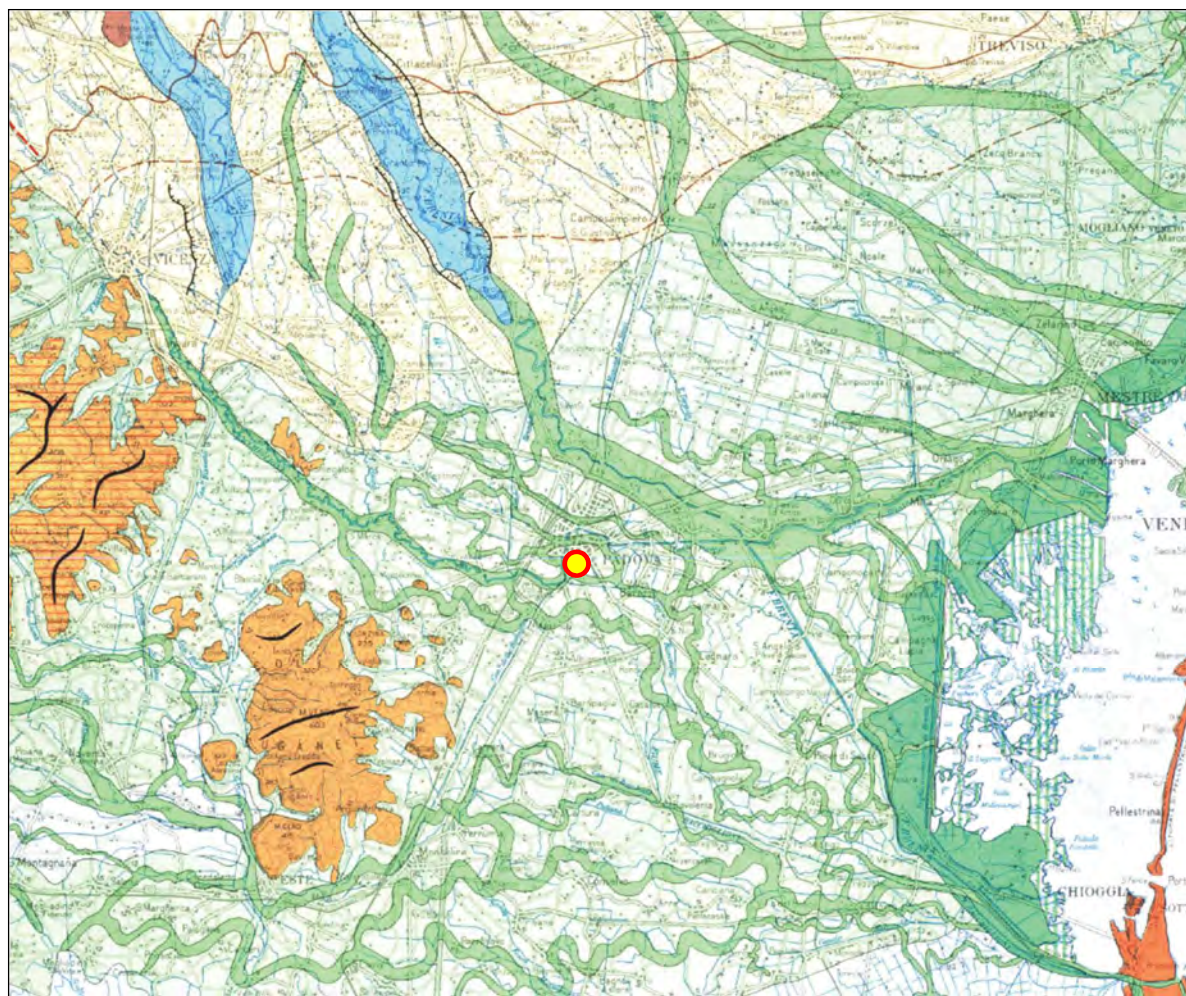
La Pianura Veneta, di cui fa parte il territorio in esame, è costituita quindi da una coltre di depositi alluvionali del Quaternario, senza soluzione di continuità, di origine essenzialmente fluviale – fluvioglaciali.

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 rinvengono 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.

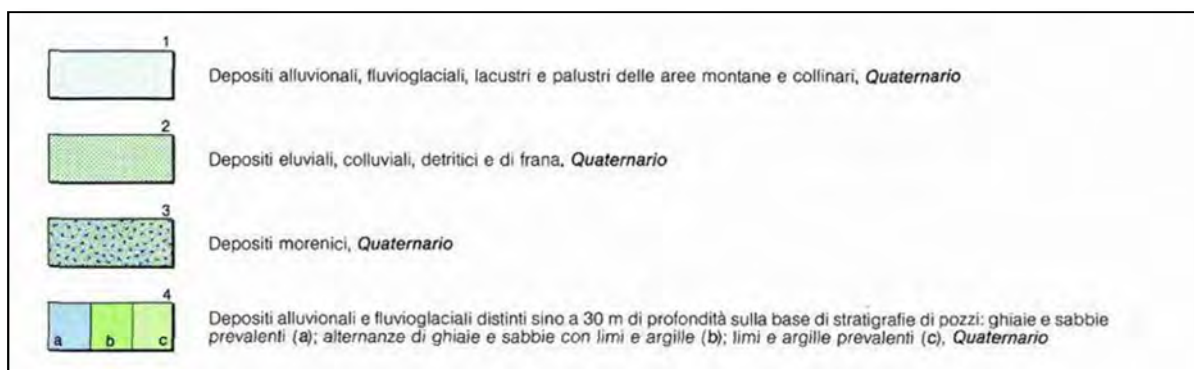
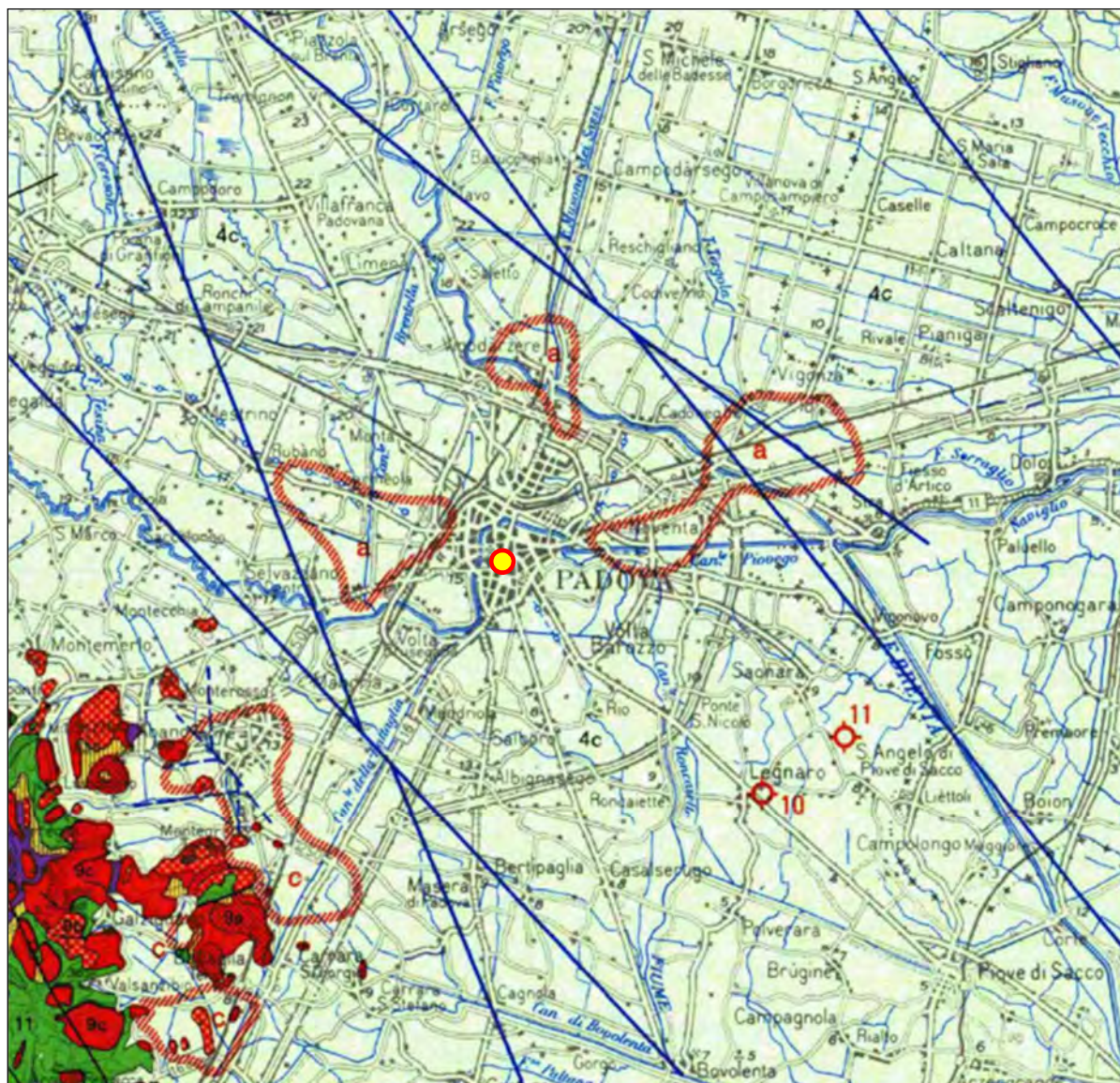


Figura 4 - Estratto della Carta Geologica del Veneto 1:250.000

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.

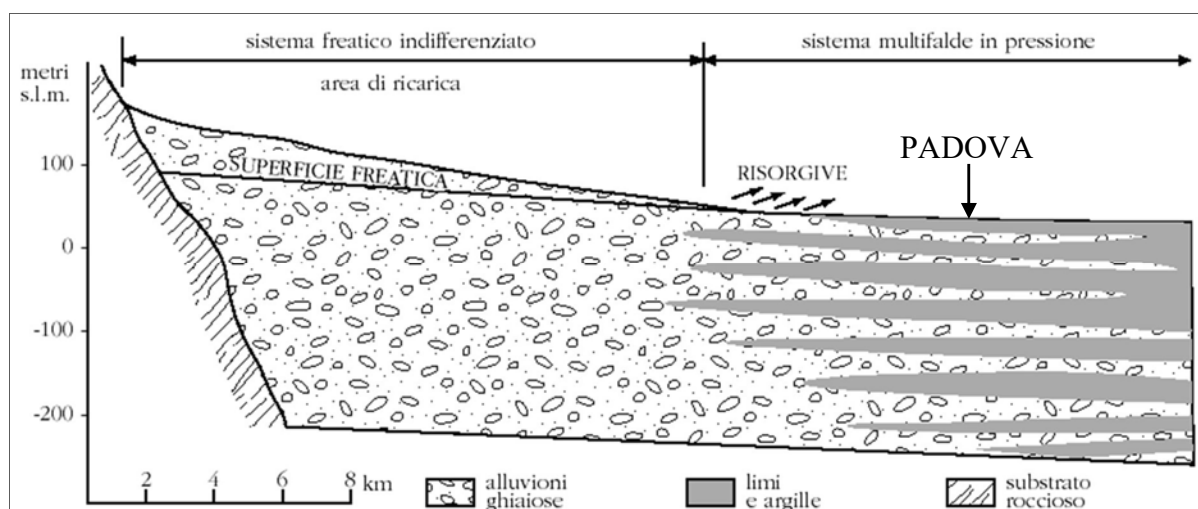


Figura 5 - Schema idrogeologico della Pianura Veneta

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.

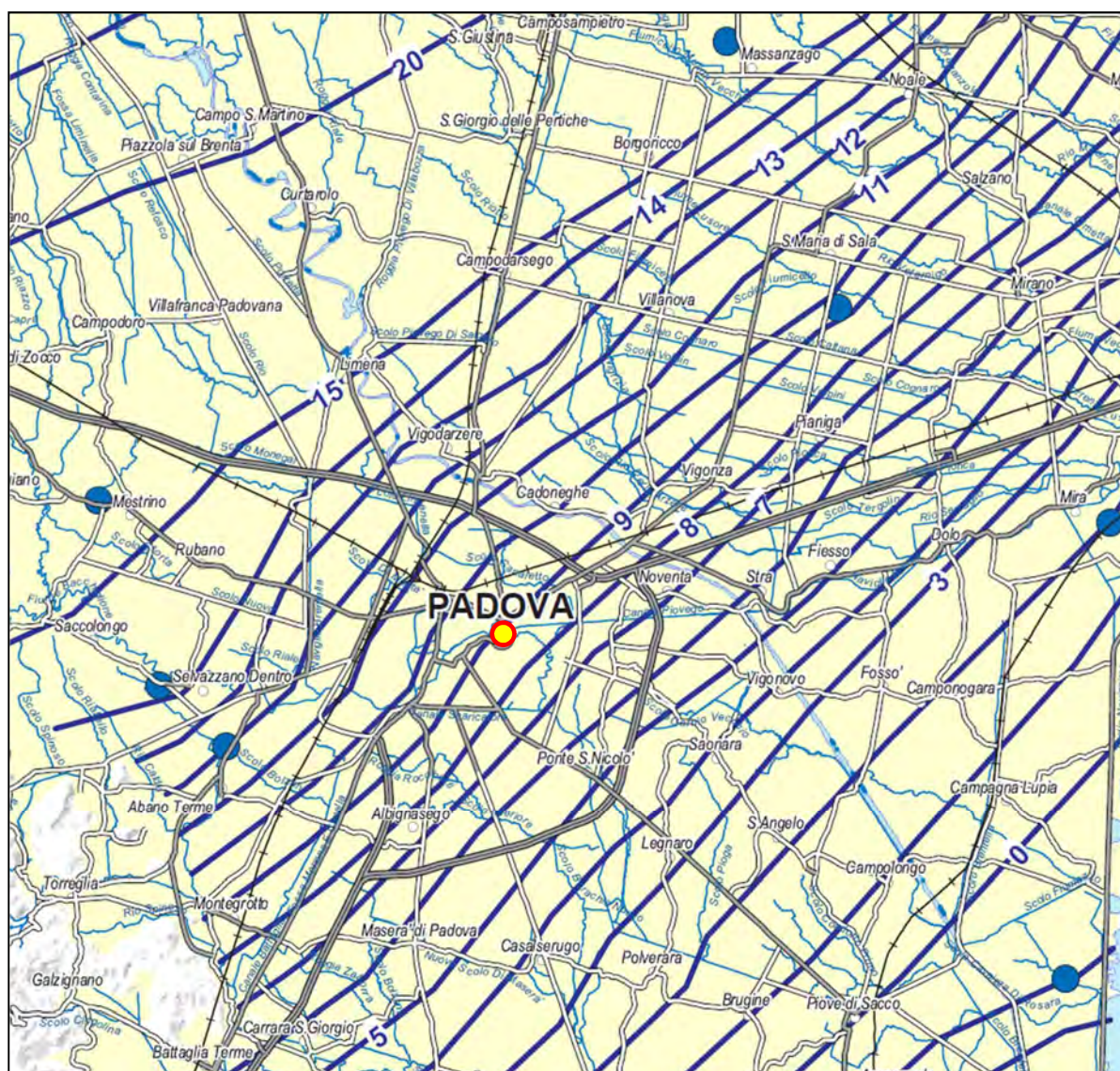


Figura 6 – Estratto della Carta delle Isofreatiche della Regione Veneto

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.

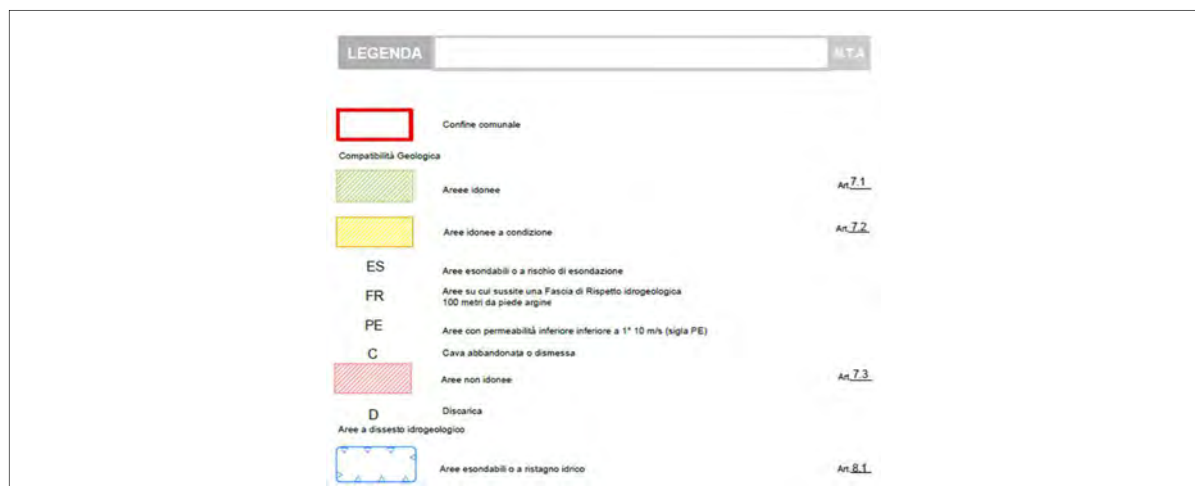
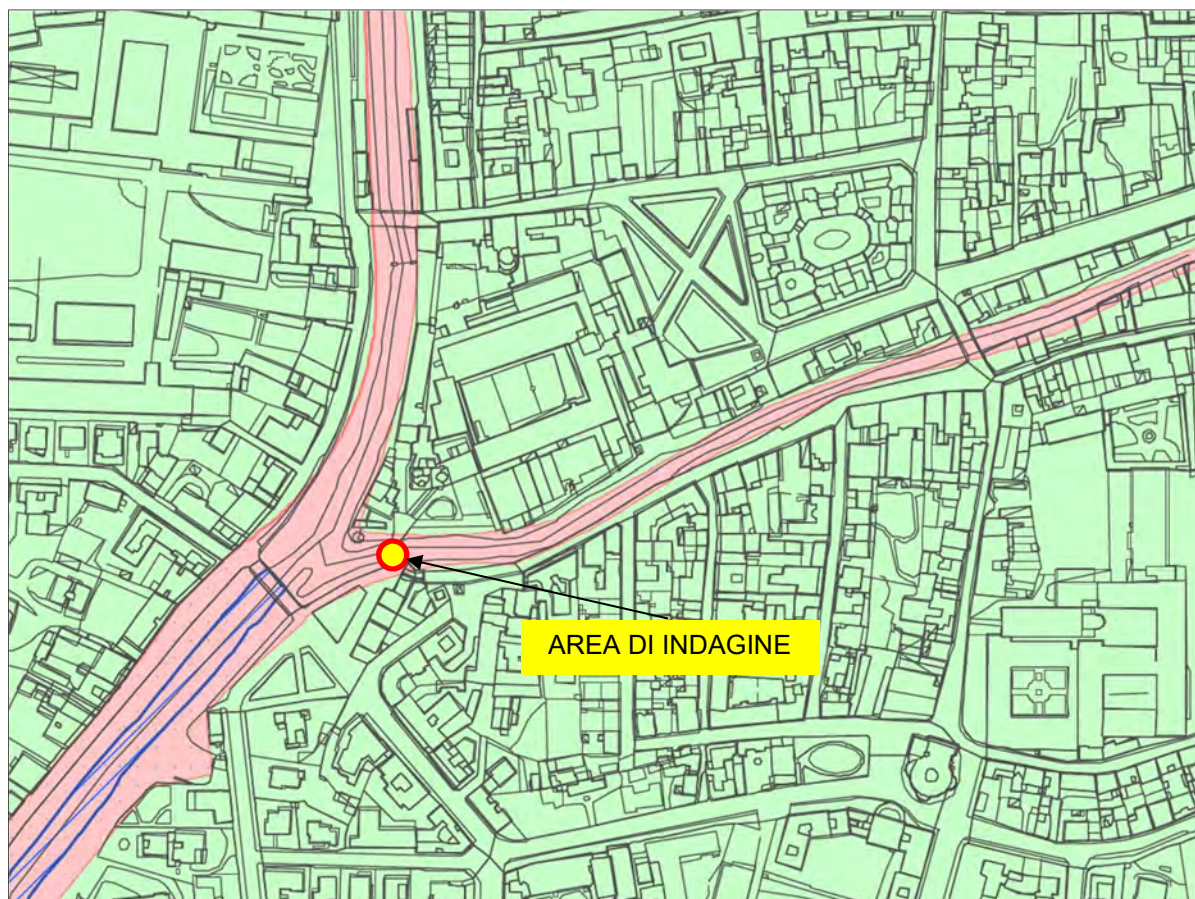


Figura 7 Estratto “Carta della Compatibilità Geologica” - PAT Comune di Padova, con evidenziata l’area di indagine

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

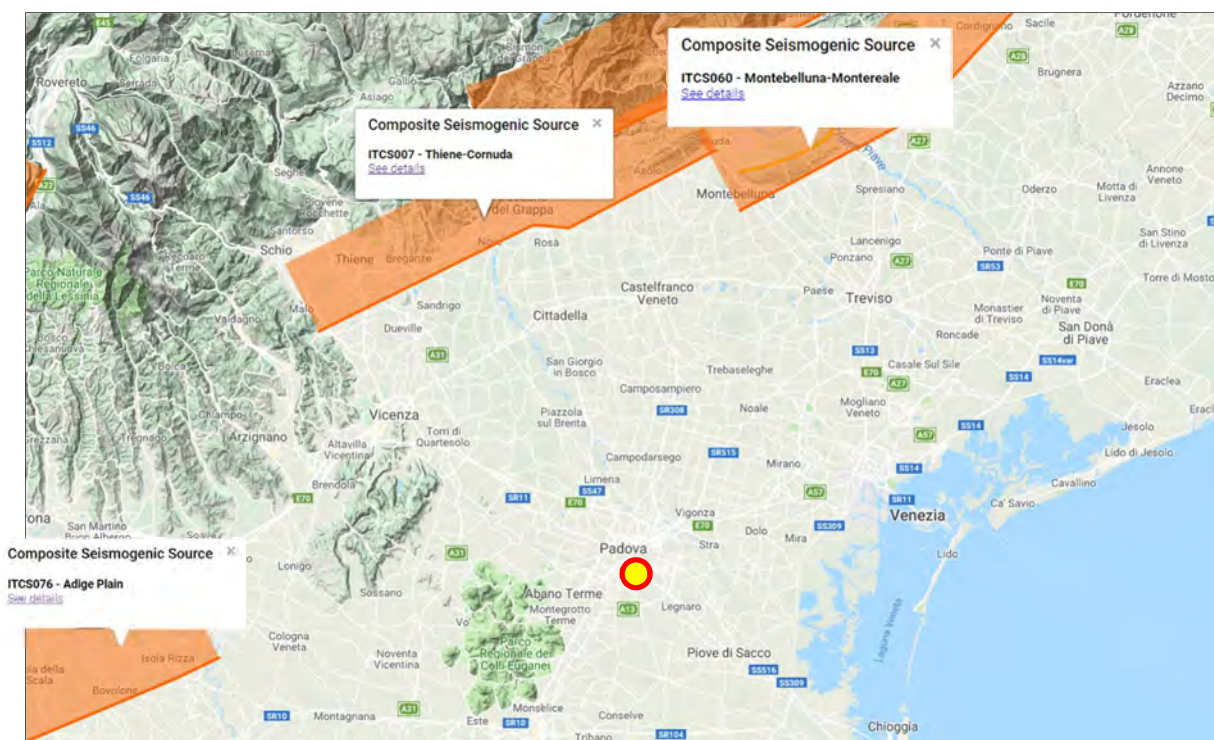


Figura 8 - Database of Individual Seismogenic Sources - INGV

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	$0,25 < ag \leq 0,35 \text{ g}$	0,35 g
2	$0,15 < ag \leq 0,25 \text{ g}$	0,25 g
3	$0,05 < ag \leq 0,15 \text{ g}$	0,15 g
4	$ag \leq 0,05 \text{ g}$	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).

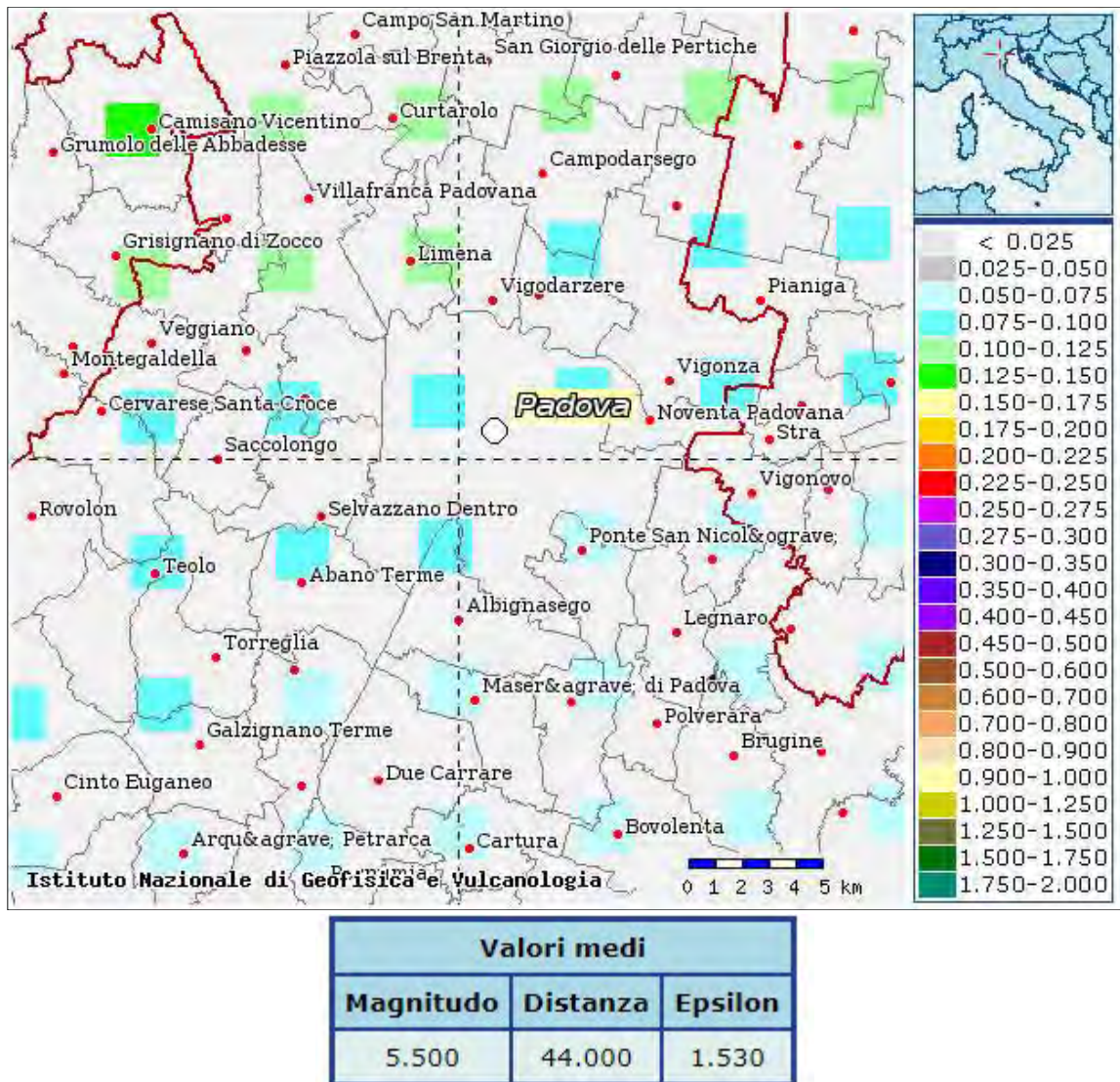


Figura 9 - Mappa interattiva di pericolosità sismica e valore medio di magnitudo attesa- INGV del 10% in 50 anni

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.

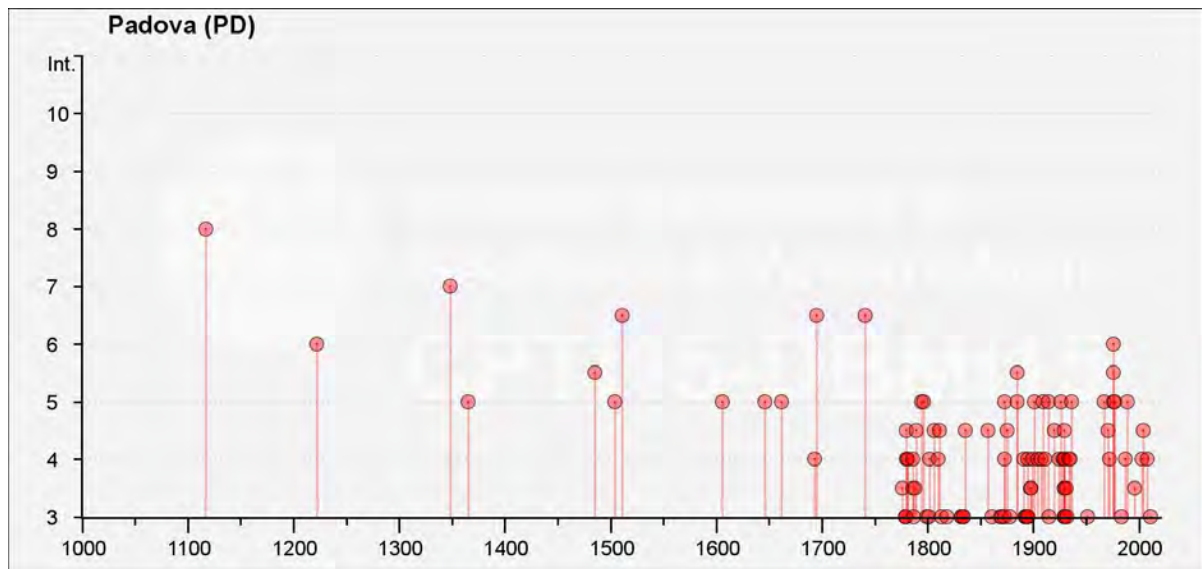


Figura 10 - Database Macrosismico Italiano 2015

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 25.0 metri da p.c.

Prima dell'esecuzione della prova è stato realizzato un saggio con escavatore fino alla profondità di circa 1.8 metri da p.c. per la verifica diretta della presenza di eventuali sottoservizi e per rimuovere il riporto antropico grossolano



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
PRESCAVO	p.c.	1.8	1.8	-	-
1	1.8	2.2	0.4	60.5	riporto
2	2.2	4.8	2.6	8.9	coesivo
3	4.8	11.0	6.2	85.3	granulare
4	11.0	12.6	1.6	10.1	coesivo
5	12.6	18.6	6.0	28.4	alternanze
6	18.6	22.8	3.2	105.5	granulare
7	22.8	25.0	2.2	34.0	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, al di sotto di uno strato di terreno frammisto a riporto granulare antropico misto (**STRATO 1**), dalla presenza di terreni di natura coesiva a bassa consistenza fino alla profondità di 4.8 metri da p.c. (**STRATO 2**), al di sotto si trovano terreni di natura granulare a media consistenza (**STRATO 3**), fino alla profondità di 11.0 metri da p.c. seguiti da terreni nuovamente coesivi a bassa consistenza fino a 12.60 metri da p.c. (**STRATO 4**).

Da questa quota si rinviene una fitta alternanza di terreni coesivi a consistenza bassa con terreni granulari a media consistenza fino a 18.6 metri da p.c. (**STRATO 5**).

Di seguito si trovano terreni di natura granulare a consistenza medio-elevata (**STRATO 6**) seguiti nuovamente terreni granulari a bassa consistenza fino al termine della prova eseguita (**STRATO 7**).

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 non è stato possibile misurare il livello dell'acqua all'interno del foro di prova, per il franamento delle pareti del foro di prova alla quota di 2.00 metri da p.c., profondità alla quale il foro risultava comunque asciutto.

Prova penetrometrica	Profondità acqua in foro [m dal p.c.]
CPT 1	secco fino a -2.00 metri da p.c.

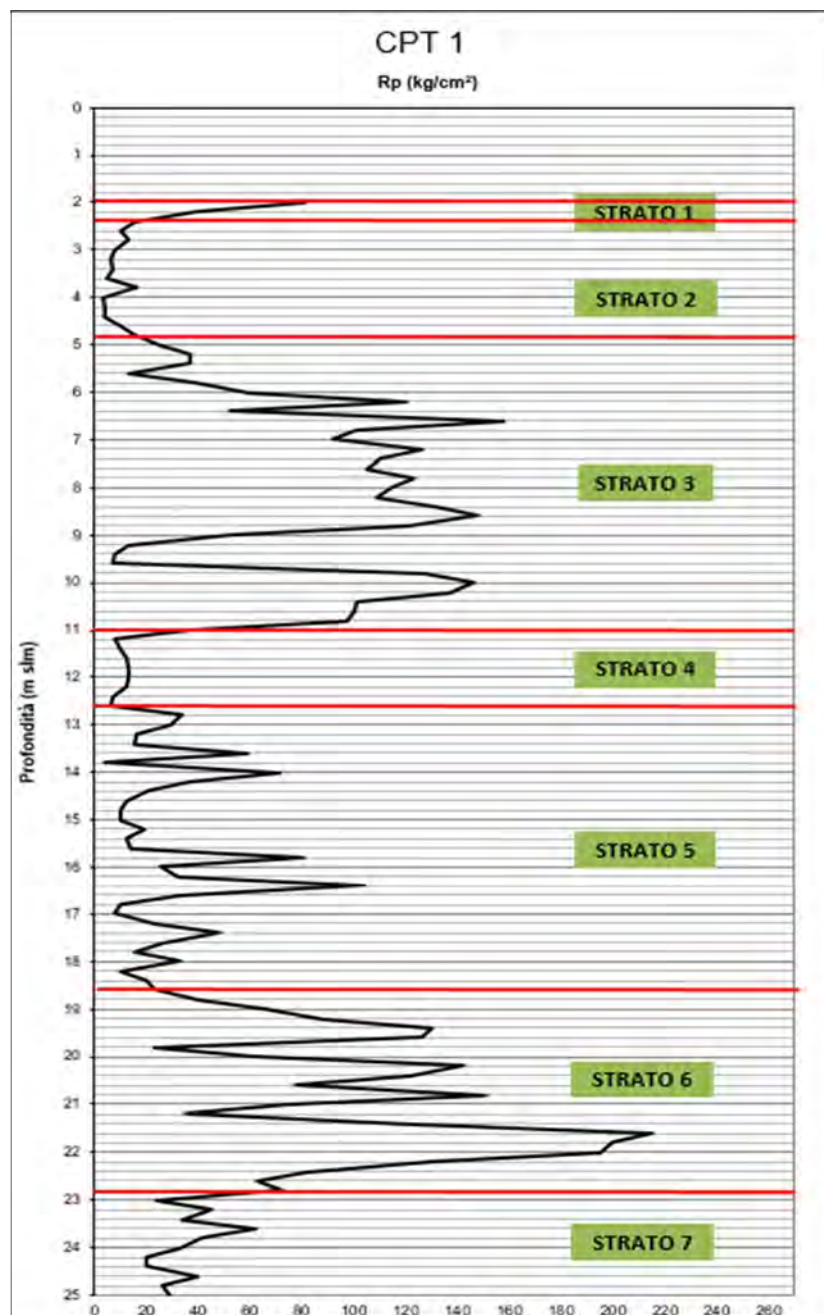


Figura 13 - Valori Rp della prova eseguita

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** (*Magnitude 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 0.125 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
2.2	8.0	6.0	161.5	2.5	2.0	1.7	92.3	1.0	0.2	0.0	3.2	NO	0.0	Molto basso
2.4	11.9	8.0	53.4	3.9	2.5	1.7	73.1	1.0	0.1	0.1	2.2	NO	0.0	Molto basso
2.6	15.7	9.8	58.1	4.9	2.6	1.7	53.6	1.0	0.1	0.1	1.6	NO	0.0	Molto basso
2.8	19.6	11.7	65.5	6.8	2.6	1.7	79.5	1.0	0.1	0.1	2.1	NO	0.0	Molto basso
3.0	23.3	13.5	59.3	9.8	2.8	1.7	65.5	1.0	0.1	0.1	1.7	NO	0.0	Molto basso
3.2	26.9	15.2	40.9	7.9	2.8	1.7	54.3	1.0	0.1	0.1	1.5	NO	0.0	Molto basso
3.4	30.6	16.9	42.3	6.9	2.8	1.7	56.6	1.0	0.1	0.1	1.5	NO	0.0	Molto basso
3.6	34.2	18.5	27.8	9.5	3.0	1.7	61.9	1.0	0.1	0.1	1.6	NO	0.0	Molto basso
3.8	38.2	20.5	53.4	5.6	2.6	1.7	96.5	1.0	0.2	0.1	2.5	NO	0.0	Molto basso
4.0	41.6	21.9	14.2	9.4	3.2	1.7	54.9	1.0	0.1	0.1	1.4	NO	0.0	Molto basso
4.2	45.1	23.5	17.7	4.7	2.9	1.7	46.2	1.0	0.1	0.1	1.3	NO	0.0	Molto basso
4.4	48.6	25.0	16.5	11.9	3.2	1.7	74.3	1.0	0.1	0.1	1.7	NO	0.0	Molto basso
4.6	52.4	26.9	28.1	3.0	2.6	1.7	63.2	1.0	0.1	0.1	1.5	NO	0.0	Molto basso
4.8	56.3	28.8	39.1	4.6	2.7	1.7	97.4	1.0	0.2	0.1	2.4	NO	0.0	Molto basso
5.0	60.4	31.0	45.3	4.4	2.6	1.7	142.5	1.0	0.3	0.1	5.1	NO	0.0	Molto basso
5.2	64.7	33.4	64.2	0.8	2.0	1.7	82.7	1.0	0.1	0.1	1.9	NO	0.0	Molto basso
5.4	68.9	35.5	62.2	2.2	2.3	1.7	118.4	1.0	0.2	0.1	3.4	NO	0.0	Molto basso
5.6	72.7	37.4	34.2	3.8	2.6	1.7	83.2	1.0	0.1	0.1	2.0	NO	0.0	Molto basso
5.8	77.1	39.8	60.3	1.3	2.2	1.6	94.4	1.0	0.2	0.1	2.3	NO	0.0	Molto basso
6.0	81.4	42.1	91.8	1.2	2.0	1.5	117.3	1.0	0.2	0.1	3.4	NO	0.0	Molto basso
6.2	85.7	44.5	177.9	1.7	1.9	1.5	209.6	1.0	0.9	0.1	13.9	NO	0.0	Molto basso
6.4	89.8	46.7	76.1	2.1	2.2	1.5	129.8	1.0	0.3	0.1	4.2	NO	0.0	Molto basso
6.6	94.1	49.0	222.7	1.3	1.7	1.4	236.3	1.0	1.3	0.1	19.6	NO	0.0	Molto basso
6.8	98.2	51.2	139.8	1.7	2.0	1.4	175.1	0.9	0.6	0.1	8.7	NO	0.0	Molto basso
7.0	102.5	53.5	124.7	0.7	1.7	1.4	131.1	0.9	0.3	0.1	4.4	NO	0.0	Molto basso
7.2	106.9	55.9	166.8	1.3	1.8	1.3	189.4	0.9	0.7	0.1	10.8	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
7.4	111.0	58.0	143.0	2.4	2.1	1.3	199.7	0.9	0.8	0.1	12.4	NO	0.0	Molto basso
7.6	115.1	60.2	134.1	1.7	2.0	1.3	170.9	0.9	0.5	0.1	8.3	NO	0.0	Molto basso
7.8	119.4	62.5	153.9	1.5	1.9	1.3	183.8	0.9	0.7	0.1	10.0	NO	0.0	Molto basso
8.0	123.5	64.7	141.6	2.2	2.0	1.2	192.2	0.9	0.7	0.1	11.3	NO	0.0	Molto basso
8.2	127.8	67.0	132.0	1.3	1.9	1.2	156.2	0.9	0.4	0.1	6.6	NO	0.0	Molto basso
8.4	132.2	69.4	155.6	0.5	1.6	1.2	149.2	0.9	0.4	0.1	6.0	NO	0.0	Molto basso
8.6	136.3	71.6	173.0	2.0	2.0	1.2	214.6	0.9	1.0	0.1	15.4	NO	0.0	Molto basso
8.8	140.6	73.9	139.4	0.2	1.5	1.2	115.4	0.9	0.2	0.1	3.4	NO	0.0	Molto basso
9.0	144.7	76.1	60.9	2.1	2.3	1.1	115.4	0.9	0.2	0.1	3.4	NO	0.0	Molto basso
9.2	148.6	78.0	16.2	5.4	3.0	1.3	119.8	0.9	0.2	0.1	3.7	NO	0.0	Molto basso
9.4	152.3	79.8	9.6	5.1	3.1	1.3	98.3	0.9	0.2	0.1	2.6	NO	0.0	Molto basso
9.6	156.0	81.5	8.2	19.1	3.6	1.2	157.0	0.9	0.4	0.1	6.8	NO	0.0	Molto basso
9.8	160.2	83.7	137.7	1.8	2.0	1.1	177.1	0.9	0.6	0.1	9.3	NO	0.0	Molto basso
10.0	164.5	86.0	155.9	1.4	1.9	1.1	182.4	0.9	0.6	0.1	10.1	NO	0.0	Molto basso
10.2	168.8	88.4	144.5	1.7	2.0	1.1	179.3	0.9	0.6	0.1	9.8	NO	0.0	Molto basso
10.4	173.1	90.7	105.5	0.9	1.9	1.0	121.8	0.9	0.2	0.1	4.0	NO	0.0	Molto basso
10.6	177.4	93.1	103.2	0.8	1.8	1.0	117.3	0.9	0.2	0.1	3.7	NO	0.0	Molto basso
10.8	181.7	95.4	98.9	0.8	1.9	1.0	114.3	0.9	0.2	0.1	3.5	NO	0.0	Molto basso
11.0	185.8	97.6	38.2	2.5	2.5	1.0	102.3	0.9	0.2	0.1	2.9	NO	0.0	Molto basso
11.2	189.6	99.4	7.7	6.4	3.3	1.0	100.6	0.9	0.2	0.1	2.9	NO	0.0	Molto basso
11.4	193.4	101.2	9.4	5.1	3.2	1.0	98.0	0.9	0.2	0.1	2.8	NO	0.0	Molto basso
11.6	197.3	103.1	11.1	6.0	3.1	1.0	110.1	0.9	0.2	0.1	3.4	NO	0.0	Molto basso
11.8	201.2	105.1	11.8	7.9	3.2	1.0	126.8	0.9	0.3	0.1	4.5	NO	0.0	Molto basso
12.0	205.1	107.0	11.6	7.1	3.2	0.9	120.4	0.9	0.2	0.1	4.0	NO	0.0	Molto basso
12.2	208.9	108.9	10.5	4.3	3.1	0.9	93.9	0.8	0.2	0.1	2.6	NO	0.0	Molto basso
12.4	212.6	110.6	5.9	6.0	3.4	0.9	91.1	0.8	0.2	0.1	2.5	NO	0.0	Molto basso
12.6	216.3	112.3	4.9	16.1	3.7	0.9	121.6	0.8	0.2	0.1	4.2	NO	0.0	Molto basso
12.8	220.4	114.5	32.8	1.8	2.4	0.9	82.5	0.8	0.1	0.1	2.3	NO	0.0	Molto basso
13.0	224.5	116.6	24.0	3.9	2.8	0.9	115.9	0.8	0.2	0.1	3.9	NO	0.0	Molto basso
13.2	228.5	118.6	12.9	3.9	3.0	0.8	95.2	0.8	0.2	0.1	2.8	NO	0.0	Molto basso
13.4	232.4	120.6	11.8	4.8	3.1	0.8	102.3	0.8	0.2	0.1	3.1	NO	0.0	Molto basso
13.6	236.5	122.8	46.7	5.5	2.7	0.8	180.7	0.8	0.6	0.1	11.0	NO	0.0	Molto basso
13.8	240.1	124.3	2.7	37.7	4.1	0.8	132.1	0.8	0.3	0.1	5.2	NO	0.0	Molto basso
14.0	244.2	126.5	63.6	1.8	2.2	0.9	111.4	0.8	0.2	0.1	3.7	NO	0.0	Molto basso
14.2	248.3	128.7	27.9	5.2	2.8	0.8	142.9	0.8	0.4	0.1	6.3	NO	0.0	Molto basso
14.4	252.3	130.7	15.4	5.4	3.0	0.8	117.1	0.8	0.2	0.1	4.1	NO	0.0	Molto basso
14.6	256.2	132.7	8.5	7.0	3.3	0.8	107.4	0.8	0.2	0.1	3.5	NO	0.0	Molto basso
14.8	260.0	134.5	6.9	14.8	3.6	0.7	133.5	0.8	0.3	0.1	5.5	NO	0.0	Molto basso
15.0	263.8	136.4	6.8	10.6	3.5	0.7	117.3	0.8	0.2	0.1	4.2	NO	0.0	Molto basso
15.2	267.9	138.4	13.1	7.0	3.1	0.7	125.3	0.8	0.3	0.1	4.8	NO	0.0	Molto basso
15.4	271.7	140.3	8.0	6.1	3.3	0.7	100.2	0.8	0.2	0.1	3.2	NO	0.0	Molto basso
15.6	275.7	142.3	9.2	5.2	3.2	0.7	98.3	0.8	0.2	0.1	3.1	NO	0.0	Molto basso
15.8	280.0	144.6	67.0	0.5	1.9	0.8	78.8	0.8	0.1	0.1	2.4	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
16	284.1	146.8	16.2	8.6	3.1	0.7	149.4	0.7	0.4	0.1	7.4	NO	0.0	Molto basso
16.2	288.2	148.9	20.6	3.5	2.8	0.7	105.3	0.7	0.2	0.1	3.6	NO	0.0	Molto basso
16.4	292.5	151.3	84.7	0.7	1.9	0.8	98.2	0.7	0.2	0.1	3.2	NO	0.0	Molto basso
16.6	296.7	153.5	20.6	4.6	2.9	0.7	121.0	0.7	0.2	0.1	4.7	NO	0.0	Molto basso
16.8	300.5	155.4	5.8	4.3	3.3	0.6	80.9	0.7	0.1	0.1	2.5	NO	0.0	Molto basso
17	304.3	157.2	4.5	20.8	3.8	0.6	129.0	0.7	0.3	0.1	5.5	NO	0.0	Molto basso
17.2	308.6	159.5	13.7	1.8	2.8	0.6	69.6	0.7	0.1	0.1	2.2	NO	0.0	Molto basso
17.4	312.7	161.7	38.9	2.3	2.5	0.8	100.2	0.7	0.2	0.1	3.5	NO	0.0	Molto basso
17.6	316.8	163.8	15.1	3.2	2.9	0.6	91.4	0.7	0.2	0.1	3.0	NO	0.0	Molto basso
17.8	320.8	165.8	8.4	2.1	3.0	0.6	67.1	0.7	0.1	0.0	2.2	NO	0.0	Molto basso
18	325.0	168.1	18.8	4.7	2.9	0.6	117.3	0.7	0.2	0.0	4.7	NO	0.0	Molto basso
18.2	328.8	169.9	5.3	3.2	3.2	0.6	71.8	0.7	0.1	0.0	2.3	NO	0.0	Molto basso
18.4	332.8	172.0	11.0	4.7	3.1	0.6	98.9	0.7	0.2	0.0	3.5	NO	0.0	Molto basso
18.6	336.9	174.1	12.5	12.2	3.3	0.6	156.6	0.7	0.4	0.0	9.1	NO	0.0	Molto basso
18.8	341.0	176.3	21.8	2.6	2.7	0.6	91.7	0.7	0.2	0.0	3.2	NO	0.0	Molto basso
19	345.1	178.4	35.2	3.6	2.6	0.6	127.6	0.7	0.3	0.0	5.8	NO	0.0	Molto basso
19.2	349.5	180.8	66.2	0.8	2.0	0.7	85.7	0.7	0.1	0.0	3.0	NO	0.0	Molto basso
19.4	353.8	183.1	96.2	1.1	1.9	0.7	118.8	0.7	0.2	0.0	5.1	NO	0.0	Molto basso
19.6	357.9	185.3	92.8	3.0	2.3	0.7	170.0	0.7	0.5	0.0	11.7	NO	0.0	Molto basso
19.8	362.0	187.4	11.6	8.6	3.2	0.5	130.6	0.6	0.3	0.0	6.3	NO	0.0	Molto basso
20.0	366.1	189.6	46.2	2.1	2.4	0.7	102.8	0.6	0.2	0.0	4.0	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
PRESCAVO	1.80	--	--	--	--	--	--	--	--
1	2.20	I	--	--	1.9	2.2	79.3	35.2	152.3
2	4.80	C	0.5	42.4	1.8	1.9	--	--	--
3	11.00	I	--	--	1.9	2.2	68.2	32.2	216.3
4	12.60	C	0.6	46.7	1.9	1.9	--	--	--
5	18.60	C+I	0.7	46.0	2.0	2.1	18.5	25.0	76.5
6	22.80	I	--	--	1.8	2.1	55.7	30.0	271.3
7	25.00	I	--	112.2	1.8	2.1	15.8	25.2	93.5

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, non è stata rilevata la presenza di falda fino alla profondità di 2.00 metri da p.c. Non è stato possibile eseguire una misura diretta più in profondità per il franamento delle pareti del foro di prova.

Borgoricco, 25 marzo 2022

Dott. Geol. Sergio Drago



➤ **UBICAZIONE INDAGINI IN SITO**



TAVOLA 1	COMUNE DI PADOVA (PD) - "PONTE DELL' OSSERVATORIO"
	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 dell' Osservatorio**

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):	foro chiuso

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	0,00		0,00
0,80	0,00	0,00	0,10	0,00		0,00
1,00	0,00	0,00	0,10	0,00		0,00
1,20	0,00	0,00	0,30	0,00		0,00
1,40	0,00	0,00	0,30	0,00		0,00
1,60	0,00	0,00	0,30	0,00		0,00
1,80	0,00	0,00	0,30	0,70	0,40	233,30
2,00	81,00	91,00	81,30	0,50	162,60	0,60
2,20	40,00	48,00	40,40	1,00	40,40	2,50
2,40	15,00	30,00	15,40	0,60	25,70	3,90
2,60	10,00	19,00	10,40	0,50	20,80	4,80
2,80	13,00	20,00	13,40	0,90	14,90	6,70
3,00	8,00	22,00	8,40	0,80	10,50	9,50
3,20	6,00	18,00	6,60	0,50	13,20	7,60
3,40	7,00	14,00	7,60	0,50	15,20	6,60
3,60	5,00	12,00	5,60	0,50	11,20	8,90
3,80	16,00	24,00	16,60	0,90	18,40	5,40
4,00	3,00	17,00	3,60	0,30	12,00	8,30
4,20	4,00	9,00	4,70	0,20	23,50	4,30
4,40	4,00	7,00	4,70	0,50	9,40	10,60
4,60	10,00	17,00	10,70	0,30	35,70	2,80
4,80	15,00	19,00	15,70	0,70	22,40	4,50
5,00	25,00	35,00	25,70	1,10	23,40	4,30
5,20	37,00	53,00	37,80	0,30	126,00	0,80
5,40	37,00	41,00	37,80	0,80	47,30	2,10
5,60	13,00	25,00	13,80	0,50	27,60	3,60
5,80	38,00	45,00	38,80	0,50	77,60	1,30
6,00	60,00	68,00	60,80	0,70	86,90	1,20
6,20	120,00	130,00	121,00	2,00	60,50	1,70
6,40	52,00	82,00	53,00	1,10	48,20	2,10
6,60	158,00	174,00	159,00	2,00	79,50	1,30
6,80	101,00	131,00	102,00	1,70	60,00	1,70
7,00	92,00	118,00	93,00	0,60	155,00	0,60
7,20	126,00	135,00	127,10	1,70	74,80	1,30
7,40	110,00	136,00	111,10	2,60	42,70	2,30
7,60	105,00	144,00	106,10	1,80	58,90	1,70
7,80	123,00	150,00	124,10	1,90	65,30	1,50
8,00	115,00	144,00	116,10	2,50	46,40	2,20
8,20	109,00	146,00	110,20	1,40	78,70	1,30
8,40	131,00	152,00	132,20	0,70	188,90	0,50
8,60	148,00	158,00	149,20	2,90	51,40	1,90
8,80	121,00	165,00	122,20	0,30	407,30	0,20
9,00	53,00	57,00	54,20	1,10	49,30	2,00
9,20	13,00	29,00	14,40	0,70	20,60	4,90
9,40	8,00	18,00	9,40	0,40	23,50	4,30
9,60	7,00	13,00	8,40	1,30	6,50	15,50
9,80	127,00	146,00	128,40	2,30	55,80	1,80
10,00	146,00	180,00	147,40	2,10	70,20	1,40

Note e osservazioni:

Committente: **Expin srl**

Località: **Padova (PD) - Ponte dell' Osservatorio**

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):	foro chiuso

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	137,00	168,00	138,50	2,30	60,20	1,70
10,40	101,00	136,00	102,50	0,90	113,90	0,90
10,60	100,00	114,00	101,50	0,80	126,90	0,80
10,80	97,00	109,00	98,50	0,80	123,10	0,80
11,00	37,00	49,00	38,50	0,90	42,80	2,30
11,20	8,00	21,00	9,70	0,50	19,40	5,20
11,40	10,00	18,00	11,70	0,50	23,40	4,30
11,60	12,00	20,00	13,70	0,70	19,60	5,10
11,80	13,00	24,00	14,70	1,00	14,70	6,80
12,00	13,00	28,00	14,70	0,90	16,30	6,10
12,20	12,00	25,00	13,80	0,50	27,60	3,60
12,40	7,00	14,00	8,80	0,40	22,00	4,50
12,60	6,00	12,00	7,80	0,90	8,70	11,50
12,80	34,00	48,00	35,80	0,60	59,70	1,70
13,00	29,00	38,00	30,80	1,10	28,00	3,60
13,20	16,00	33,00	17,90	0,60	29,80	3,40
13,40	15,00	24,00	16,90	0,70	24,10	4,10
13,60	59,00	70,00	60,90	3,20	19,00	5,30
13,80	4,00	52,00	5,90	1,30	4,50	22,00
14,00	71,00	90,00	72,90	1,30	56,10	1,80
14,20	37,00	56,00	39,10	1,90	20,60	4,90
14,40	21,00	49,00	23,10	1,10	21,00	4,80
14,60	12,00	28,00	14,10	0,80	17,60	5,70
14,80	10,00	22,00	12,10	1,40	8,60	11,60
15,00	10,00	31,00	12,10	1,00	12,10	8,30
15,20	19,00	34,00	21,20	1,30	16,30	6,10
15,40	12,00	32,00	14,20	0,70	20,30	4,90
15,60	14,00	25,00	16,20	0,70	23,10	4,30
15,80	80,00	91,00	82,20	0,40	205,50	0,50
16,00	25,00	31,00	27,20	2,10	13,00	7,70
16,20	32,00	64,00	34,30	1,10	31,20	3,20
16,40	104,00	120,00	106,30	0,70	151,90	0,70
16,60	33,00	44,00	35,30	1,50	23,50	4,20
16,80	10,00	33,00	12,30	0,40	30,80	3,30
17,00	8,00	14,00	10,30	1,50	6,90	14,60
17,20	23,00	46,00	25,50	0,40	63,80	1,60
17,40	48,00	54,00	50,50	1,10	45,90	2,20
17,60	26,00	43,00	28,50	0,80	35,60	2,80
17,80	15,00	27,00	17,50	0,30	58,30	1,70
18,00	33,00	37,00	35,50	1,50	23,70	4,20
18,20	10,00	32,00	12,60	0,30	42,00	2,40
18,40	20,00	25,00	22,60	0,90	25,10	4,00
18,60	23,00	36,00	25,60	2,70	9,50	10,50
18,80	40,00	80,00	42,60	1,00	42,60	2,30
19,00	65,00	80,00	67,60	2,30	29,40	3,40
19,20	88,00	123,00	90,80	0,70	129,70	0,80
19,40	130,00	141,00	132,80	1,40	94,90	1,10
19,60	126,00	147,00	128,80	3,70	34,80	2,90
19,80	23,00	78,00	25,80	1,90	13,60	7,40
20,00	62,00	90,00	64,80	1,30	49,80	2,00

Note e osservazioni:

Committente: *Expin srl*

Località: *Padova (PD) - Ponte dell' Osservatorio*

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):	foro chiuso

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)
20,20	142,00	161,00	144,90	1,30	111,50	0,90
20,40	122,00	141,00	124,90	1,80	69,40	1,40
20,60	77,00	104,00	79,90	1,30	61,50	1,60
20,80	151,00	171,00	153,90	1,70	90,50	1,10
21,00	75,00	100,00	77,90	2,30	33,90	3,00
21,20	35,00	70,00	38,00	3,10	12,30	8,20
21,40	123,00	170,00	126,00	0,70	180,00	0,60
21,60	215,00	225,00	218,00	2,90	75,20	1,30
21,80	200,00	243,00	203,00	2,40	84,60	1,20
22,00	195,00	231,00	198,00	2,70	73,30	1,40
22,20	130,00	171,00	133,20	2,50	53,30	1,90
22,40	82,00	119,00	85,20	3,90	21,80	4,60
22,60	63,00	121,00	66,20	1,30	50,90	2,00
22,80	72,00	91,00	75,20	2,20	34,20	2,90
23,00	24,00	57,00	27,20	1,50	18,10	5,50
23,20	45,00	68,00	48,30	1,50	32,20	3,10
23,40	34,00	56,00	37,30	1,30	28,70	3,50
23,60	62,00	82,00	65,30	1,40	46,60	2,10
23,80	41,00	62,00	44,30	1,30	34,10	2,90
24,00	33,00	53,00	36,30	1,50	24,20	4,10
24,20	20,00	43,00	23,50	1,70	13,80	7,20
24,40	20,00	45,00	23,50	0,90	26,10	3,80
24,60	40,00	54,00	43,50	1,10	39,50	2,50
24,80	26,00	42,00	29,50	1,10	26,80	3,70
25,00	29,00	45,00	32,50	0,00		0,00

Note e osservazioni:

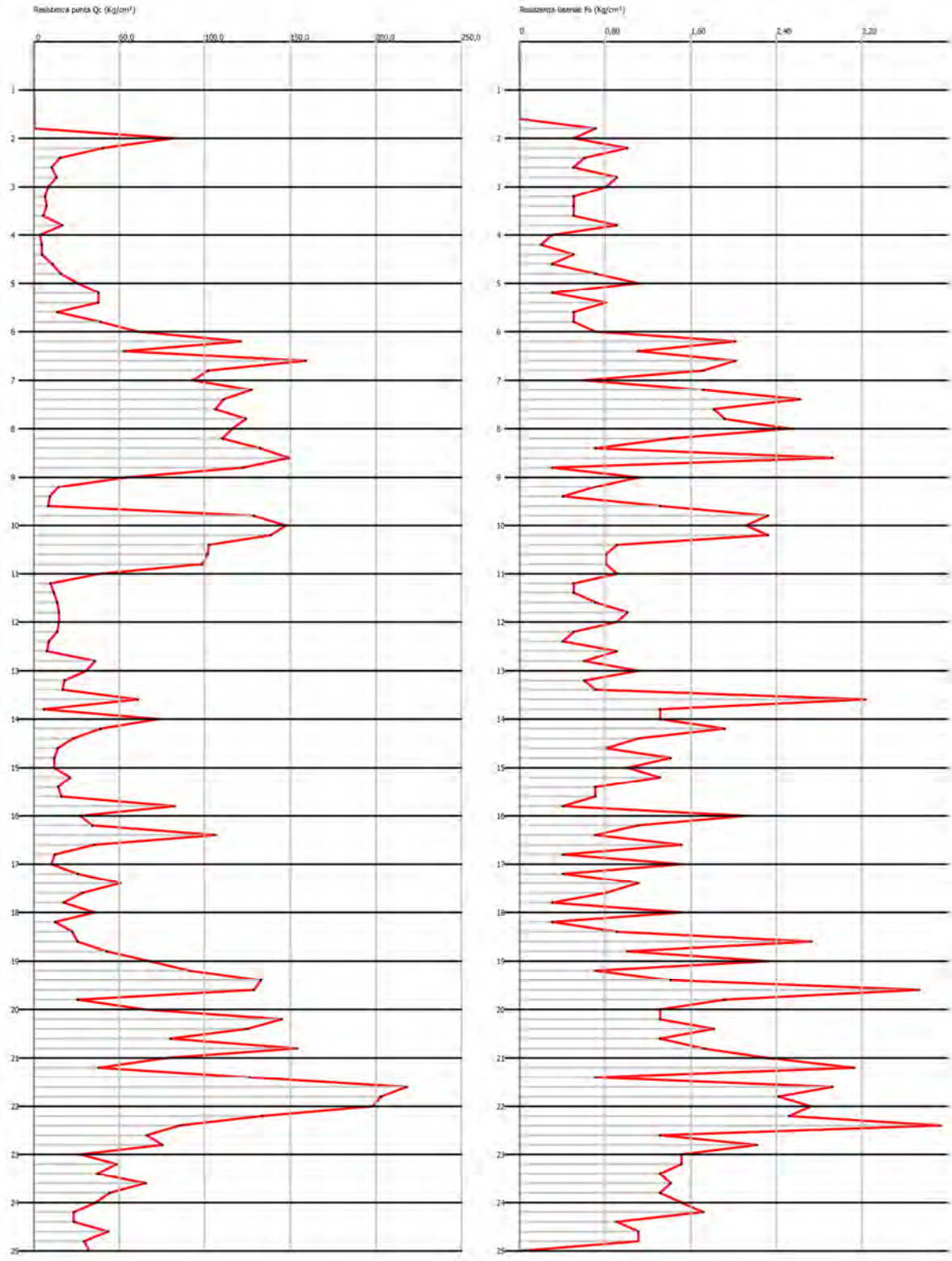
Committente: Expin srl

Località: Padova (PD) - Ponte dell' Osservatorio

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
2,00	81,3	0,5	1,9	Incoerente	Sabbie
2,20	40,4	1,0	2,1	Incoerente- Coesivo	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
2,40	15,4	0,6	1,9	Coesivo	Argille sabbiose e limose
2,60	10,4	0,5	1,9	Coesivo	Argilla inorganica di media consistenza
2,80	13,4	0,9	1,9	Coesivo	Argille organiche e terreni misti
3,00	8,4	0,8	1,8	Coesivo	Argille organiche e terreni misti
3,20	6,6	0,5	1,8	Coesivo	Argille organiche e terreni misti
3,40	7,6	0,5	1,8	Coesivo	Argille organiche e terreni misti
3,60	5,6	0,5	1,8	Coesivo	Argille organiche e terreni misti
3,80	16,6	0,9	1,9	Coesivo	Argilla inorganica compatta
4,00	3,6	0,3	1,7	Coesivo	Argille organiche e terreni misti
4,20	4,7	0,2	1,7	Coesivo	Argilla inorganica tenera
4,40	4,7	0,5	1,7	Coesivo	Argille organiche e terreni misti
4,60	10,7	0,3	1,9	Coesivo	Argille sabbiose e limose
4,80	15,7	0,7	1,9	Coesivo	Argilla inorganica compatta
5,00	25,7	1,1	2,0	Incoerente	Argille sabbiose e limose
5,20	37,8	0,3	1,9	Incoerente	Sabbie
5,40	37,8	0,8	1,9	Incoerente	Sabbie
5,60	13,8	0,5	1,9	Coesivo	Argille sabbiose e limose
5,80	38,8	0,5	1,9	Incoerente	Sabbie
6,00	60,8	0,7	1,9	Incoerente	Sabbie
6,20	121,0	2,0	2,0	Incoerente	Sabbie addensate o cementate
6,40	53,0	1,1	1,9	Incoerente	Sabbie
6,60	159,0	2,0	2,0	Incoerente	Sabbie addensate o cementate
6,80	102,0	1,7	2,0	Incoerente	Sabbie addensate o cementate
7,00	93,0	0,6	1,9	Incoerente	Sabbie
7,20	127,1	1,7	2,0	Incoerente	Sabbie addensate o cementate
7,40	111,1	2,6	2,3	Incoerente	Sabbie
7,60	106,1	1,8	2,0	Incoerente	Sabbie addensate o cementate
7,80	124,1	1,9	2,0	Incoerente	Sabbie addensate o cementate
8,00	116,1	2,5	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
8,20	110,2	1,4	2,0	Incoerente	Sabbie addensate o cementate
8,40	132,2	0,7	2,0	Incoerente	Sabbie addensate o cementate
8,60	149,2	2,9	2,0	Incoerente	Sabbie addensate o cementate
8,80	122,2	0,3	2,0	Incoerente	Sabbie addensate o cementate
9,00	54,2	1,1	1,9	Incoerente	Sabbie
9,20	14,4	0,7	1,9	Coesivo	Argilla inorganica compatta
9,40	9,4	0,4	1,8	Coesivo	Argilla inorganica di media consistenza
9,60	8,4	1,3	1,8	Coesivo	Argille organiche e terreni misti
9,80	128,4	2,3	2,0	Incoerente	Sabbie addensate o cementate
10,00	147,4	2,1	2,0	Incoerente	Sabbie addensate o cementate
10,20	138,5	2,3	2,0	Incoerente	Sabbie addensate o cementate
10,40	102,5	0,9	2,0	Incoerente	Sabbie addensate o cementate
10,60	101,5	0,8	2,0	Incoerente	Sabbie addensate o cementate
10,80	98,5	0,8	2,0	Incoerente	Sabbie addensate o cementate
11,00	38,5	0,9	2,1	Incoerente	Sabbie
11,20	9,7	0,5	1,8	Coesivo	Argilla inorganica compatta
11,40	11,7	0,5	1,9	Coesivo	Argilla inorganica compatta
11,60	13,7	0,7	1,9	Coesivo	Argilla inorganica compatta
11,80	14,7	1,0	1,9	Coesivo	Argille organiche e terreni misti
12,00	14,7	0,9	1,9	Coesivo	Argilla inorganica compatta
12,20	13,8	0,5	1,9	Coesivo	Argille sabbiose e limose
12,40	8,8	0,4	1,8	Coesivo	Argilla inorganica di media consistenza
12,60	7,8	0,9	1,8	Coesivo	Argille organiche e terreni misti
12,80	35,8	0,6	1,9	Incoerente	Sabbie
13,00	30,8	1,1	2,0	Incoerente	Sabbie
13,20	17,9	0,6	1,9	Coesivo	Argille sabbiose e limose
13,40	16,9	0,7	1,9	Coesivo	Argilla inorganica compatta
13,60	60,9	3,2	2,2	Incoerente	Argille sabbiose e limose
13,80	5,9	1,3	1,7	Coesivo	Argille organiche e terreni misti
14,00	72,9	1,3	1,9	Incoerente	Sabbie
14,20	39,1	1,9	2,1	Incoerente	Sabbie
14,40	23,1	1,1	2,0	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta
14,60	14,1	0,8	1,9	Coesivo	Argilla inorganica compatta
14,80	12,1	1,4	1,9	Coesivo	Argille organiche e terreni misti

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm ²)	fs Media (Kg/cm ²)	Gamma Medio (t/m ³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
15,00	12,1	1,0	1,9	Coesivo	Argille organiche e terreni misti
15,20	21,2	1,3	2,0	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta
15,40	14,2	0,7	1,9	Coesivo	Argilla inorganica compatta
15,60	16,2	0,7	1,9	Coesivo	Argilla inorganica compatta
15,80	82,2	0,4	1,9	Incoerente	Sabbie
16,00	27,2	2,1	2,0	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta
16,20	34,3	1,1	2,1	Incoerente	Sabbie
16,40	106,3	0,7	2,0	Incoerente	Sabbie addensate o cementate
16,60	35,3	1,5	2,1	Incoerente-Coesivo	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
16,80	12,3	0,4	1,9	Coesivo	Argille sabbiose e limose
17,00	10,3	1,5	1,8	Coesivo	Argille organiche e terreni misti
17,20	25,5	0,4	1,9	Incoerente	Sabbie
17,40	50,5	1,1	2,1	Incoerente	Sabbie
17,60	28,5	0,8	2,0	Incoerente-Coesivo	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
17,80	17,5	0,3	1,8	Coesivo	Sabbie Sciolte
18,00	35,5	1,5	2,1	Incoerente-Coesivo	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
18,20	12,6	0,3	1,9	Coesivo	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
18,40	22,6	0,9	2,0	Coesivo	Argille sabbiose e limose
18,60	25,6	2,7	2,0	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta
18,80	42,6	1,0	2,1	Incoerente	Sabbie
19,00	67,6	2,3	2,2	Incoerente	Sabbie
19,20	90,8	0,7	1,9	Incoerente	Sabbie
19,40	132,8	1,4	2,0	Incoerente	Sabbie addensate o cementate
19,60	128,8	3,7	2,3	Incoerente	Sabbie
19,80	25,8	1,9	2,0	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta
20,00	64,8	1,3	1,9	Incoerente	Sabbie
20,20	144,9	1,3	2,0	Incoerente	Sabbie addensate o cementate
20,40	124,9	1,8	2,0	Incoerente	Sabbie addensate o cementate
20,60	79,9	1,3	1,9	Incoerente	Sabbie
20,80	153,9	1,7	2,0	Incoerente	Sabbie addensate o cementate
21,00	77,9	2,3	2,2	Incoerente	Sabbie
21,20	38,0	3,1	2,1	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta
21,40	126,0	0,7	2,0	Incoerente	Sabbie addensate o cementate
21,60	218,0	2,9	2,0	Incoerente	Sabbie addensate o cementate
21,80	203,0	2,4	2,0	Incoerente	Sabbie addensate o cementate
22,00	198,0	2,7	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
22,20	133,2	2,5	2,0	Incoerente	Sabbie addensate o cementate
22,40	85,2	3,9	2,2	Incoerente	Argille sabbiose e limose
22,60	66,2	1,3	1,9	Incoerente	Sabbie
22,80	75,2	2,2	2,2	Incoerente	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
23,00	27,2	1,5	2,0	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta
23,20	48,3	1,5	2,1	Incoerente	Sabbie
23,40	37,3	1,3	2,1	Incoerente	Sabbie
23,60	65,3	1,4	2,2	Incoerente	Sabbie
23,80	44,3	1,3	2,1	Incoerente	Sabbie
24,00	36,3	1,5	2,1	Incoerente	Sabbie
24,20	23,5	1,7	2,0	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta
24,40	23,5	0,9	2,0	Coesivo	Argille sabbiose e limose
24,60	43,5	1,1	2,1	Incoerente	Sabbie
24,80	29,5	1,1	2,0	Incoerente	Sabbie
25,00	32,5	0,0	1,9	Incoerente	Sabbie

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
10	2,00	I	--	--	122,0	411,4	0,7	1,9	2,2	90,9	37,0	203,3
11	2,20	CI	2,4	1500,8	80,8	268,3	1,3	2,1	2,2	64,2	33,0	101,0
12	2,40	C	0,9	561,8	48,3	148,8	>9	1,9	2,0	--	--	--
13	2,60	C	0,6	372,9	44,3	117,1	7,9	1,9	1,9	--	--	--
14	2,80	C	0,8	484,7	48,1	136,7	>9	1,9	2,0	--	--	--
15	3,00	C	0,5	296,5	39,6	102,8	>9	1,8	1,9	--	--	--
16	3,20	C	0,4	228,5	33,8	88,7	7,1	1,8	1,9	--	--	--
17	3,40	C	0,4	265,3	37,2	96,7	6,8	1,8	1,9	--	--	--
18	3,60	C	0,3	189,7	29,9	80,2	6,6	1,7	1,8	--	--	--
19	3,80	C	0,9	601,6	47,6	155,8	>9	1,9	2,0	--	--	--
20	4,00	C	0,2	113,5	20,9	61,2	3,7	1,7	1,7	--	--	--
21	4,20	C	0,2	154,2	26,1	72,1	2,4	1,7	1,8	--	--	--
22	4,40	C	0,2	153,7	26,1	72,1	6,0	1,7	1,8	--	--	--
23	4,60	C	0,6	378,1	44,9	119,2	3,5	1,9	1,9	--	--	--
24	4,80	C	0,9	564,9	48,2	150,6	7,9	1,9	2,0	--	--	--
25	5,00	I	--	--	128,5	203,5	<0,5	1,8	2,1	35,5	28,0	64,3
26	5,20	I	--	--	113,4	257,6	2,3	1,9	2,2	48,1	29,8	94,5
27	5,40	I	--	--	113,4	257,6	2,5	1,8	2,1	47,5	29,7	94,5
28	5,60	C	0,8	490,9	48,3	139,2	5,0	1,9	2,0	--	--	--
29	5,80	I	--	--	116,4	261,8	2,7	1,9	2,2	47,1	29,5	97,0
30	6,00	I	--	--	91,2	344,4	1,5	1,9	2,2	62,0	31,6	152,0
31	6,20	I	--	--	181,5	524,5	1,0	1,9	2,2	85,0	34,9	302,5
32	6,40	I	--	--	79,5	316,7	1,8	1,8	2,1	56,1	30,7	132,5
33	6,60	I	--	--	238,5	619,7	0,8	1,9	2,2	93,2	36,0	397,5
34	6,80	I	--	--	153,0	472,5	1,1	1,8	2,1	77,4	33,7	255,0
35	7,00	I	--	--	139,5	446,6	1,2	1,9	2,2	73,7	33,1	232,5
36	7,20	I	--	--	190,7	540,5	1,0	1,9	2,2	83,9	34,6	317,8
37	7,40	I	--	--	166,7	497,8	1,1	1,8	2,1	78,6	33,8	277,8
38	7,60	I	--	--	159,2	484,0	1,2	1,8	2,1	76,4	33,4	265,3
39	7,80	I	--	--	186,2	532,7	1,1	1,9	2,2	81,3	34,1	310,3
40	8,00	I	--	--	174,2	511,4	1,1	1,8	2,1	78,5	33,7	290,3
41	8,20	I	--	--	165,3	495,4	1,2	1,9	2,2	76,2	33,3	275,5
42	8,40	I	--	--	198,3	553,6	1,1	1,9	2,2	81,9	34,1	330,5
43	8,60	I	--	--	223,8	596,1	1,0	1,8	2,1	85,6	34,6	373,0
44	8,80	I	--	--	183,3	527,7	1,2	1,9	2,2	78,3	33,5	305,5
45	9,00	I	--	--	81,3	321,1	3,0	1,8	2,1	49,9	29,4	135,5
46	9,20	C	0,7	500,1	48,4	142,9	4,7	1,9	2,0	--	--	--
47	9,40	C	0,4	312,0	42,2	110,1	2,6	1,8	1,9	--	--	--
48	9,60	C	0,4	273,9	39,6	102,8	8,3	1,8	1,9	--	--	--
49	9,80	I	--	--	192,6	543,9	1,2	1,8	2,1	78,0	33,4	321,0
50	10,00	I	--	--	221,1	591,7	1,1	1,9	2,2	82,3	33,9	368,5
51	10,20	I	--	--	207,8	569,6	1,2	1,9	2,2	79,8	33,6	346,3
52	10,40	I	--	--	153,8	473,9	1,4	1,9	2,2	69,0	32,0	256,3
53	10,60	I	--	--	152,3	471,1	1,5	1,9	2,2	68,3	31,8	253,8
54	10,80	I	--	--	147,8	462,5	1,5	1,9	2,2	66,8	31,6	246,3
55	11,00	I	--	--	115,5	260,5	<0,5	1,8	2,1	34,1	26,9	96,3
56	11,20	C	0,4	316,7	42,9	112,2	2,8	1,8	1,9	--	--	--
57	11,40	C	0,6	391,1	46,5	125,8	2,8	1,9	1,9	--	--	--

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey
58	11,60	C	0,7	465,4	48,2	138,6	3,8	1,9	2,0	--	--	--
59	11,80	C	0,7	502,2	48,4	144,7	5,4	1,9	2,0	--	--	--
60	12,00	C	0,7	501,6	48,4	144,7	4,8	1,9	2,0	--	--	--
61	12,20	C	0,7	467,1	48,3	139,2	2,6	1,9	2,0	--	--	--
62	12,40	C	0,4	279,0	40,7	105,7	2,0	1,8	1,9	--	--	--
63	12,60	C	0,3	240,9	37,8	98,2	4,6	1,8	1,9	--	--	--
64	12,80	I	--	--	107,4	249,2	<0,5	1,8	2,1	28,7	25,9	89,5
65	13,00	I	--	--	92,4	227,3	<0,5	1,8	2,1	23,2	25,1	77,0
66	13,20	C	0,9	617,6	46,0	163,2	2,9	1,9	2,0	--	--	--
67	13,40	C	0,8	579,4	47,3	157,5	3,4	1,9	2,0	--	--	--
68	13,60	I	--	--	91,4	344,8	<0,5	1,8	2,1	45,7	28,3	152,3
69	13,80	C	0,2	165,4	31,1	82,8	6,1	1,7	1,8	--	--	--
70	14,00	I	--	--	109,4	384,8	<0,5	1,8	2,1	51,3	29,1	182,3
71	14,20	I	--	--	117,3	263,0	<0,5	1,8	2,1	29,6	25,9	97,8
72	14,40	C	1,2	808,3	46,2	190,7	5,0	2,0	2,1	--	--	--
73	14,60	C	0,7	470,1	48,4	141,0	3,6	1,9	2,0	--	--	--
74	14,80	C	0,5	394,4	47,0	128,5	6,2	1,9	1,9	--	--	--
75	15,00	C	0,5	393,7	47,0	128,5	4,4	1,9	1,9	--	--	--
76	15,20	C	1,1	734,3	42,4	180,9	5,6	2,0	2,0	--	--	--
77	15,40	C	0,7	471,0	48,4	141,6	3,0	1,9	2,0	--	--	--
78	15,60	C	0,8	545,4	47,9	153,5	2,9	1,9	2,0	--	--	--
79	15,80	I	--	--	123,3	414,1	<0,5	1,9	2,2	52,9	29,1	205,5
80	16,00	C	1,4	956,5	54,4	210,7	8,5	2,0	2,1	--	--	--
81	16,20	I	--	--	102,9	242,8	<0,5	1,8	2,1	22,3	24,7	85,8
82	16,40	I	--	--	159,5	484,6	2,0	1,9	2,2	60,8	30,2	265,8
83	16,60	CI	1,9	1257,9	70,6	247,1	<0,5	2,1	2,1	22,7	24,7	88,3
84	16,80	C	0,5	394,6	47,2	129,7	1,5	1,9	1,9	--	--	--
85	17,00	C	0,4	319,0	44,2	116,4	5,8	1,8	1,9	--	--	--
86	17,20	I	--	--	127,5	202,6	<0,5	1,9	2,2	10,8	22,9	63,8
87	17,40	I	--	--	75,8	307,5	<0,5	1,8	2,1	34,0	26,3	126,3
88	17,60	CI	1,5	999,3	57,0	216,8	<0,5	2,0	2,1	14,1	23,4	71,3
89	17,80	C	0,8	586,1	46,6	160,9	1,1	1,9	2,0	--	--	--
90	18,00	CI	1,9	1260,4	71,0	247,9	<0,5	2,1	2,1	21,1	24,4	88,8
91	18,20	C	0,5	400,9	47,5	131,7	1,0	1,9	1,9	--	--	--
92	18,40	C	1,1	775,2	45,2	188,2	3,2	2,0	2,1	--	--	--
93	18,60	C	1,3	887,0	51,2	203,0	>9	2,0	2,1	--	--	--
94	18,80	I	--	--	127,8	277,2	<0,5	1,8	2,1	26,4	25,1	106,5
95	19,00	I	--	--	101,4	367,5	<0,5	1,8	2,1	42,0	27,3	169,0
96	19,20	I	--	--	136,2	440,1	<0,5	1,9	2,2	51,9	28,7	227,0
97	19,40	I	--	--	199,2	555,2	1,8	1,9	2,2	64,7	30,5	332,0
98	19,60	I	--	--	193,2	544,9	1,9	1,8	2,1	63,4	30,3	322,0
99	19,80	C	1,3	889,6	51,6	204,0	6,3	2,0	2,1	--	--	--
100	20,00	I	--	--	97,2	358,1	<0,5	1,8	2,1	39,3	26,8	162,0
101	20,20	I	--	--	217,4	585,6	1,7	1,9	2,2	66,7	30,8	362,3
102	20,40	I	--	--	187,4	534,8	2,1	1,9	2,2	61,4	30,0	312,3
103	20,60	I	--	--	119,9	407,0	<0,5	1,9	2,2	45,8	27,7	199,8
104	20,80	I	--	--	230,9	607,5	1,7	1,9	2,2	68,1	30,9	384,8
105	21,00	I	--	--	116,9	400,8	<0,5	1,8	2,1	44,5	27,5	194,8
106	21,20	C	2,0	1341,8	76,0	258,5	>9	2,1	2,2	--	--	--
107	21,40	I	--	--	189,0	537,6	2,2	1,9	2,2	60,6	29,8	315,0
108	21,60	I	--	--	327,0	751,5	1,3	1,9	2,2	79,2	32,5	545,0
109	21,80	I	--	--	304,5	719,5	1,4	1,9	2,2	76,5	32,1	507,5
110	22,00	I	--	--	297,0	708,6	1,4	1,9	2,2	75,4	31,9	495,0
111	22,20	I	--	--	199,8	556,2	2,1	1,8	2,1	61,6	29,9	333,0
112	22,40	I	--	--	127,8	423,3	<0,5	1,8	2,1	46,0	27,6	213,0
113	22,60	I	--	--	99,3	362,8	<0,5	1,8	2,1	37,2	26,3	165,5
114	22,80	I	--	--	112,8	392,2	<0,5	1,8	2,1	41,3	26,9	188,0
115	23,00	C	1,3	929,8	54,4	210,7	4,3	2,0	2,1	--	--	--
116	23,20	I	--	--	72,5	299,3	<0,5	1,8	2,1	25,7	24,6	120,8
117	23,40	I	--	--	111,9	255,5	<0,5	1,8	2,1	16,6	23,3	93,3
118	23,60	I	--	--	98,0	359,8	<0,5	1,8	2,1	35,6	26,0	163,3
119	23,80	I	--	--	132,9	283,9	<0,5	1,8	2,1	22,0	24,1	110,8
120	24,00	I	--	--	108,9	251,3	<0,5	1,8	2,1	15,0	23,0	90,8

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey
121	24,20	C	1,1	786,1	47,0	192,7	4,6	2,0	2,1	--	--	--
122	24,40	C	1,1	785,3	47,0	192,7	2,4	2,0	2,1	--	--	--
123	24,60	I	--	--	130,5	280,7	<0.5	1,8	2,1	20,6	23,8	108,8
124	24,80	I	--	--	147,5	221,4	<0.5	1,8	2,1	7,1	21,9	73,8
125	25,00	I	--	--	97,5	234,9	<0.5	0,0	0,0	10,2	22,3	81,3

➤ **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

Per incarico e su indicazione della società Expin srl, è stato eseguito uno studio geofisico atto alla definizione della relativa risposta sismica locale e delle caratteristiche sismo-stratigrafiche dei terreni 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 dell'Osservatorio".

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 rigidità 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.

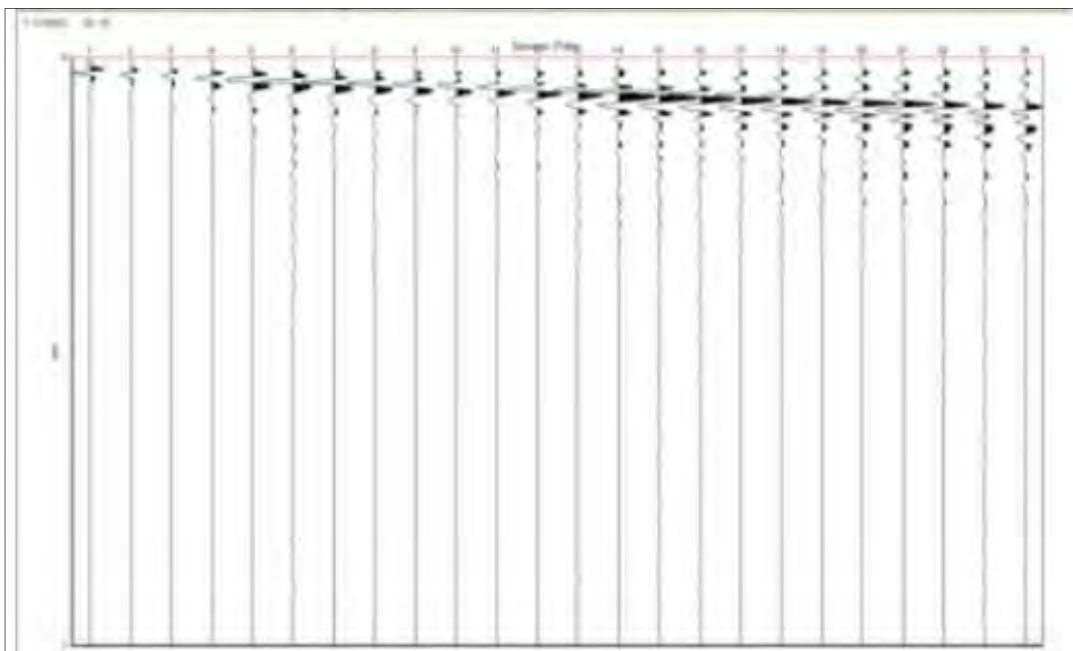


Figura 1: Sismogramma esempio per acquisizione MASW

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.

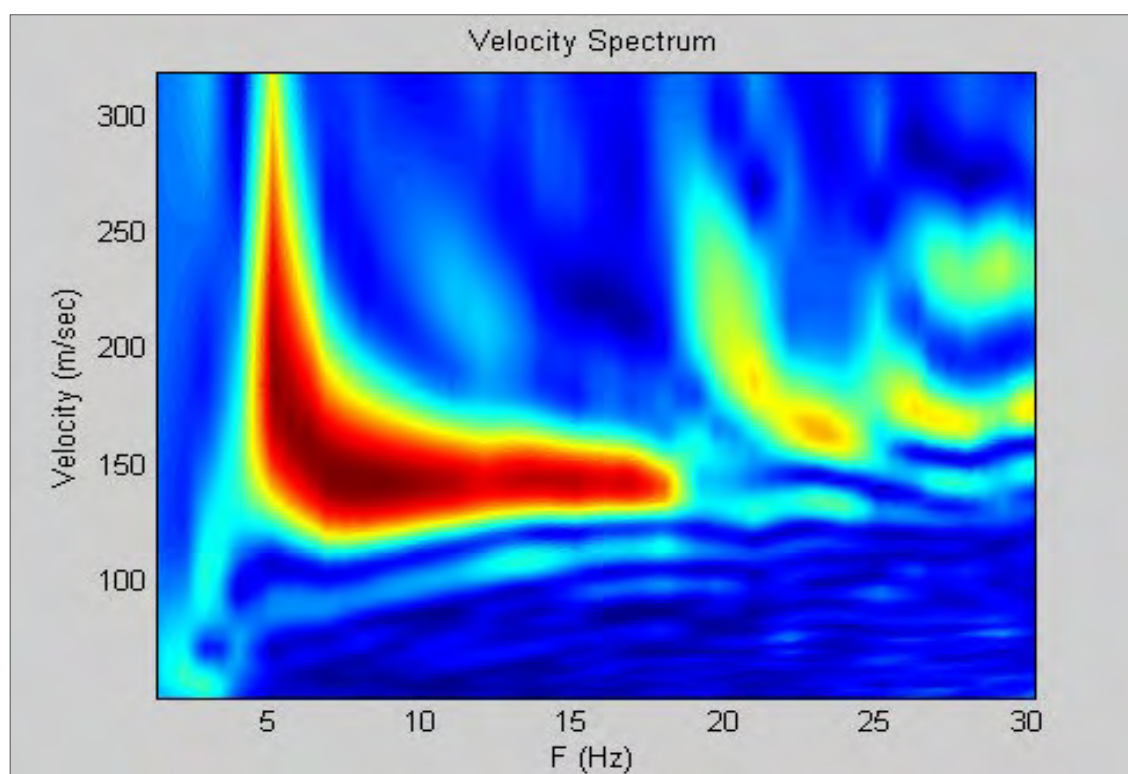


Figura 2: Metodo "Phase shift" per l'inversione della curva di dispersione.

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

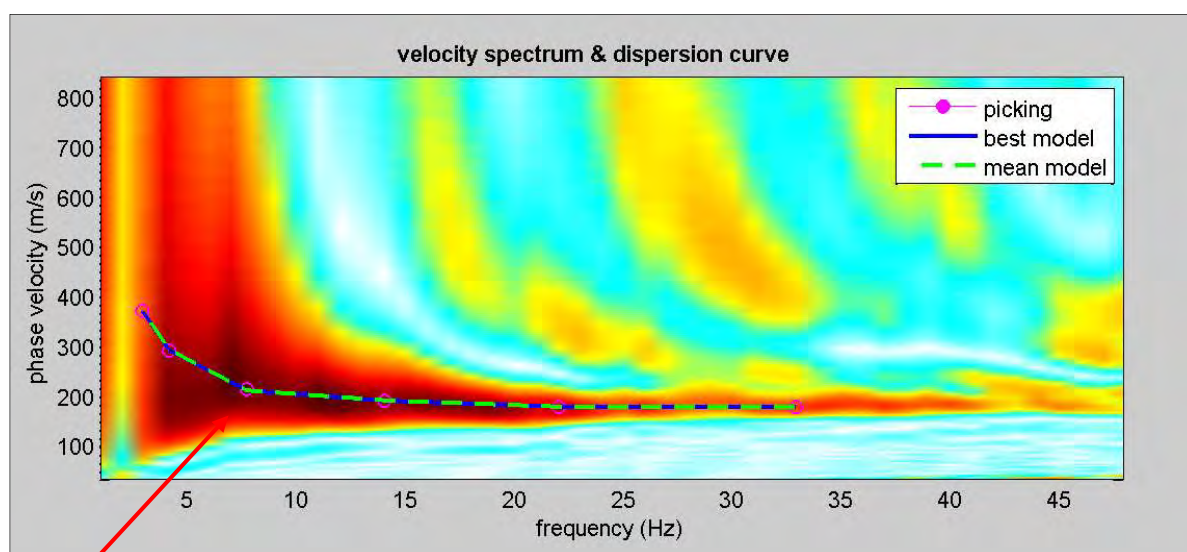
2.3 Interpretazione geofisica con tecnica Masw - "Vs equivalente"

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

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.

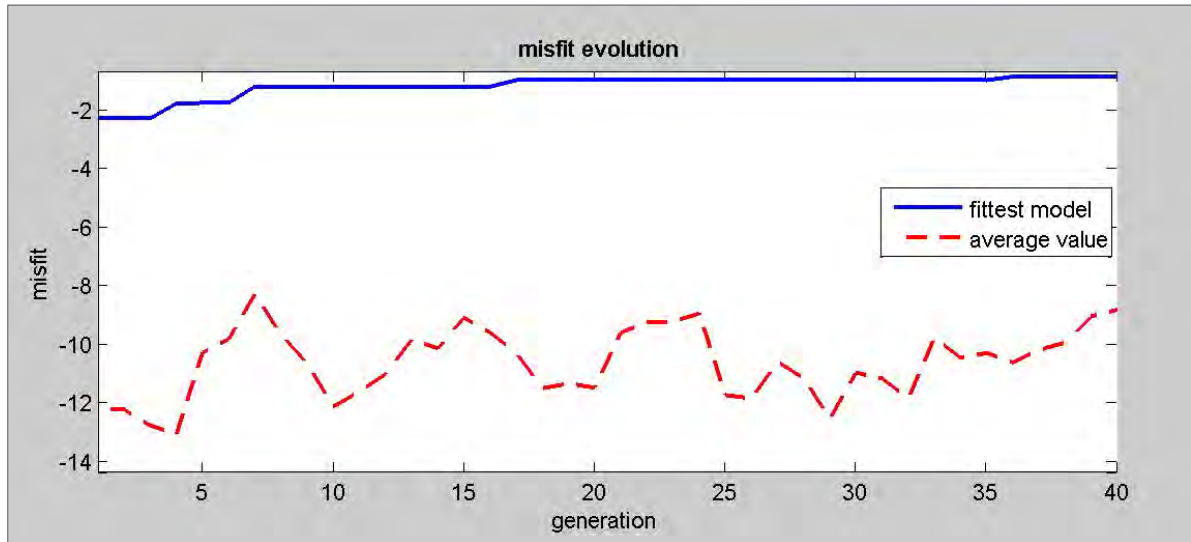


Figura 5: Confronto tra la curva di dispersione sperimentale e quella teorica.

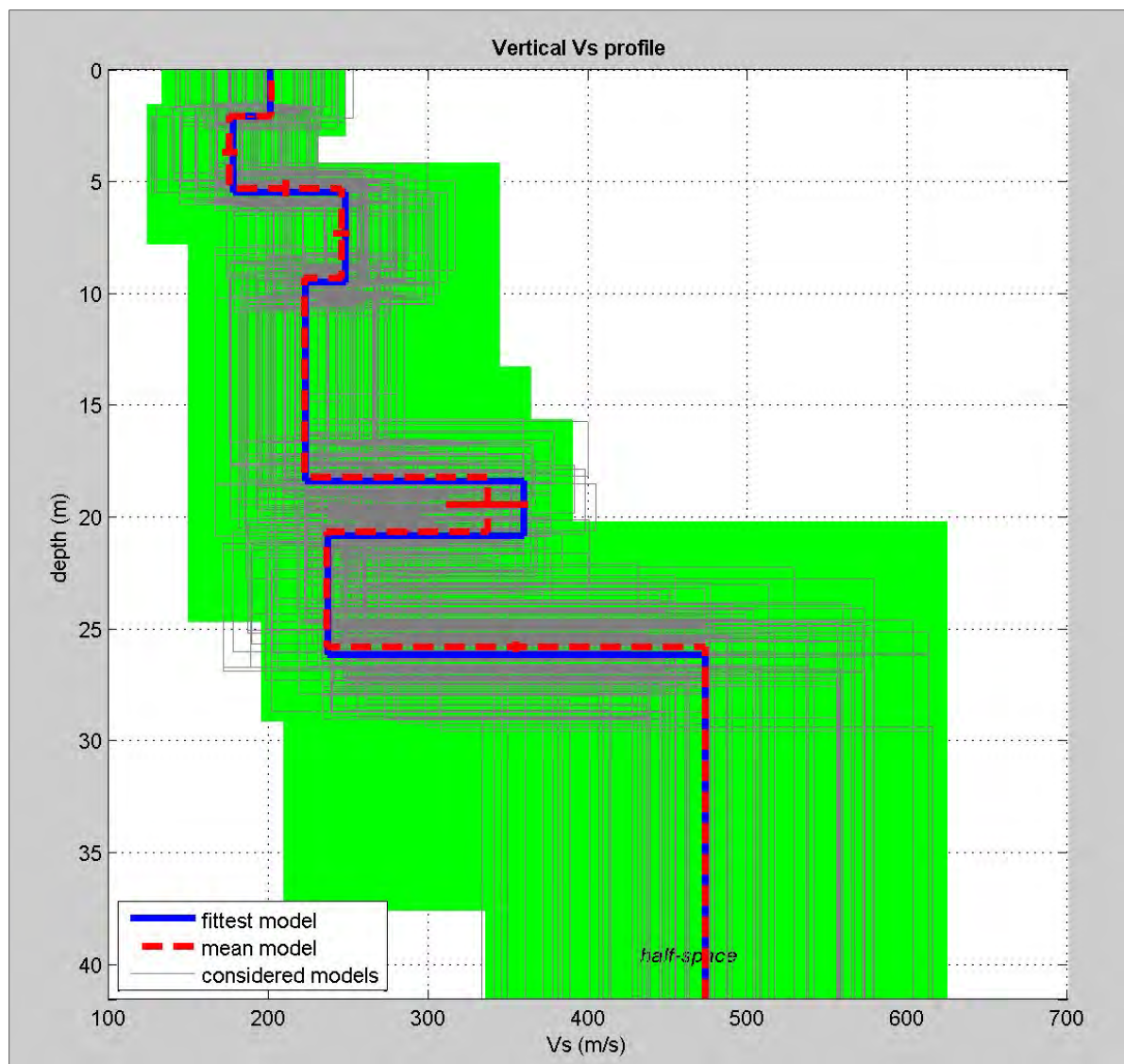


Figura 6: Profilo di velocità delle onde S stimato nel sito in esame.

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	402	202	2.1
2	368	176	3.2
3	528	246	4.0
4	465	223	8.9
5	772	337	2.4
6	511	237	5.1
7	879	473	Inf.

VS eq = 244 m/s

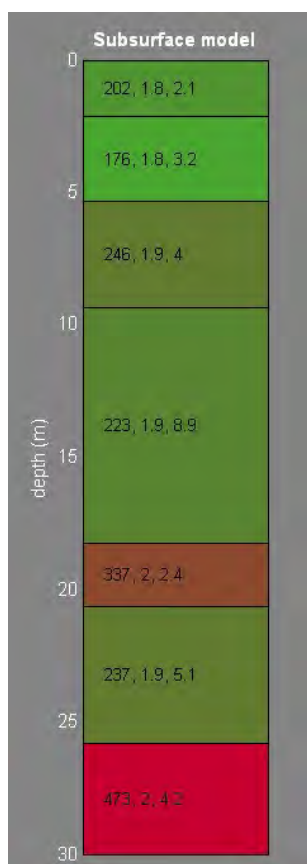
Suolo di tipo C

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): 202, 176, 246, 223, 337, 237, 473;

Spessori (m): 2.1, 3.2, 4.0, 8.9, 2.4, 5.1;

Stima VP (m/sec): 402, 368, 528, 465, 772, 511, 879;

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

Stima densità (gr/cm³): 1.83, 1.81, 1.90, 1.87, 1.99, 1.89, 2.02;

Stima modulo di Poisson: 0.33, 0.35, 0.36, 0.35, 0.38, 0.36, 0.30;

Stima modulo di taglio (MPa): 75, 56, 115, 93, 226, 106, 453;

Stima modulo di compressione (MPa): 197, 171, 376, 280, 885, 352, 959;

Stima modulo di Young (MPa): 199, 152, 313, 251, 625, 290, 1173;

Stima modulo di Lamé (MPa): 147, 133, 300, 218, 734, 281, 658.

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

2.4 Indagine tromografica del rumore sismico - HVSR

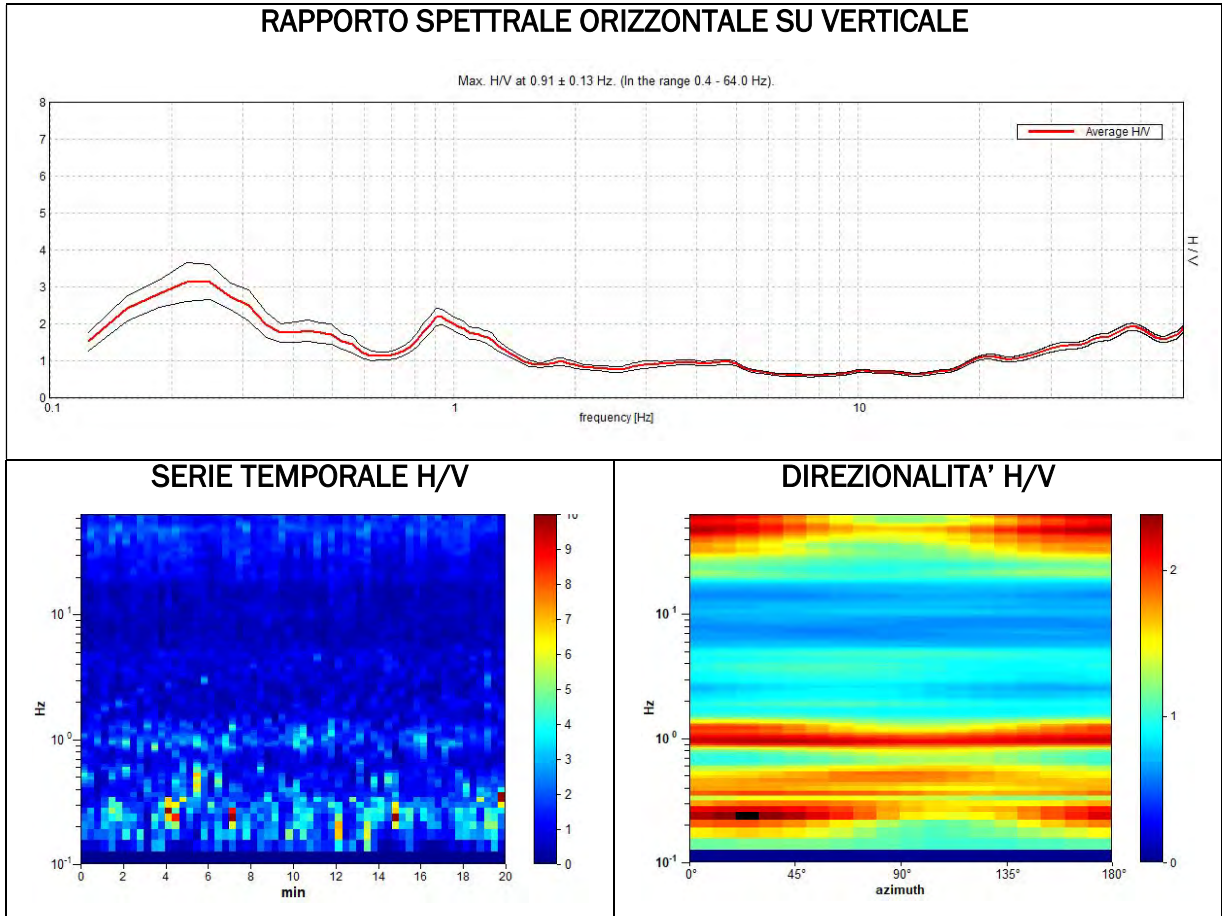
Le misure di campagna sono state eseguite il mese di Marzo 2022. E' stata eseguita n.1 registrazione di vibrazione e rumore sismico, ubicata nell'area di progetto.

Caratteristiche tecniche indagini eseguite:

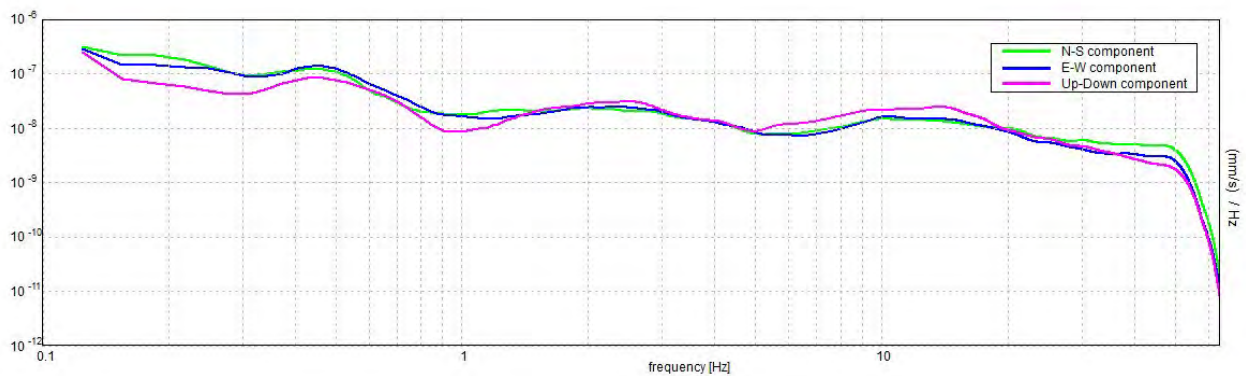
- **Strumentazione impiegata.** Tutte le registrazioni del rumore sismico e vibrazioni sono state effettuate con il tromografo digitale TROMINO, progettato specificatamente per l'acquisizione del rumore sismico ambientale e/o vibrazioni indotte. Si tratta di un apparecchio portatile tutto-in-uno di 10 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 07:28:37 End recording: 20/03/22 07:48:37
 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%



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



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

Max. H/V at 0.91 ± 0.13 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	0.91 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	1087.5 > 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 44 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 $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.469 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.20 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0.14273 < 0.05		
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.12935 < 0.13594	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.2316 < 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 0.91 ± 0.13 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):

Freq. Naturale edificio ≈ 10 Hz / numero piani

E' la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura:

Freq. naturale edificio \approx Freq. fondamentale di risonanza del sito

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

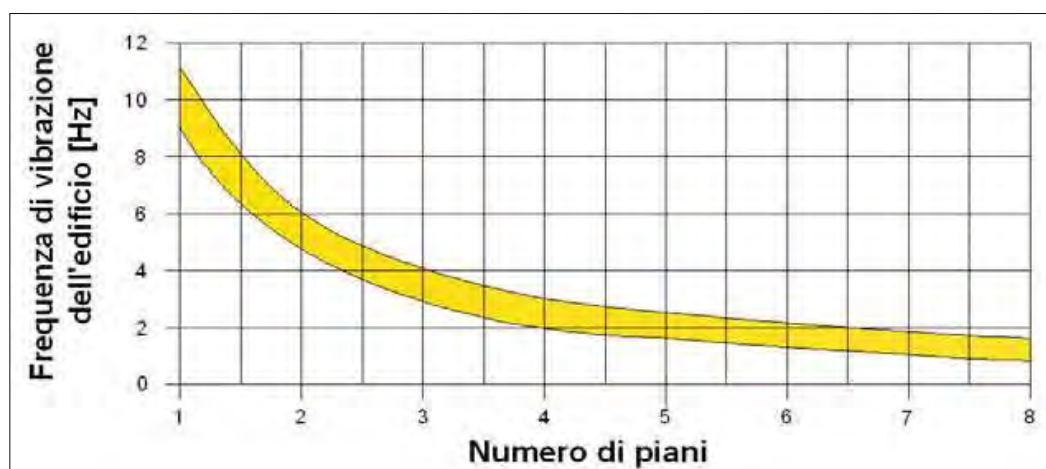


Figura 8: Frequenza di vibrazione di un edificio in funzione del N. di piani.

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:	0,030 g
Fo:	2,511		Tc*:	0,210 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento:	63	%		
Tr:	35	[anni]	ag:	0,032 g
Fo:	2,521		Tc*:	0,221 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento:	10	%		
Tr:	332	[anni]	ag:	0,072 g
Fo:	2,629		Tc*:	0,327 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento:	5	%		
Tr:	682	[anni]	ag:	0,093 g
Fo:	2,629		Tc*:	0,344 [s]

Coefficienti Sismici :

SLO:

Ss:	1,500	Cc:	1,760	St:	1,000		
Kh:	0,009	Kv:	0,005	Amax:	0,447	Beta:	0,200

SLD:

Ss:	1,500	Cc:	1,730	St:	1,000		
Kh:	0,010	Kv:	0,005	Amax:	0,473	Beta:	0,200

SLV:

Ss:	1,500	Cc:	1,520	St:	1,000		
Kh:	0,022	Kv:	0,011	Amax:	1,062	Beta:	0,200

SLC:

Ss:	1,500	Cc:	1,490	St:	1,000		
Kh:	0,028	Kv:	0,014	Amax:	1,372	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

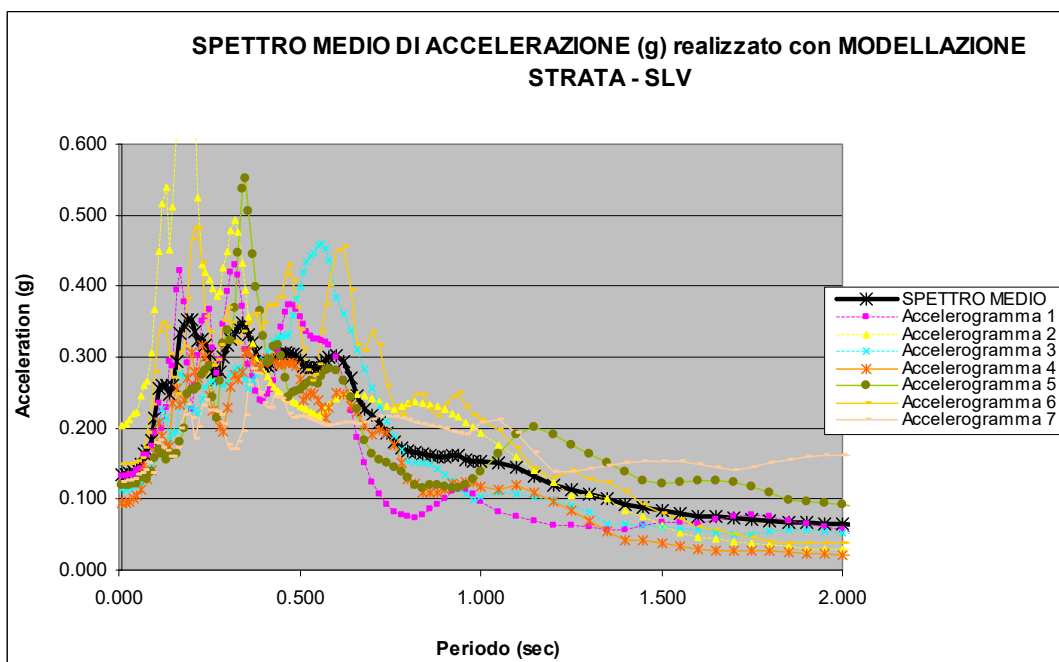
Un passaggio fondamentale per analizzare la risposta sismica locale è la definizione del modello geologico e sismico del sito. Infatti dall'insieme delle indagini geognostiche e sismiche effettuate, corredate da dati di bibliografia locale, risulta il seguente modello:

Profondità (m)	Vs (m/s)
0.0 - 2.1 m	202
2.1 - 5.3 m	176
5.3 - 9.3 m	246
9.3 - 18.2 m	223
18.2 - 20.6 m	337
20.6 - 25.7 m	237
25.7 - 66.2 m	405
66.2 - 141.2 m	525
Inf.	750-800

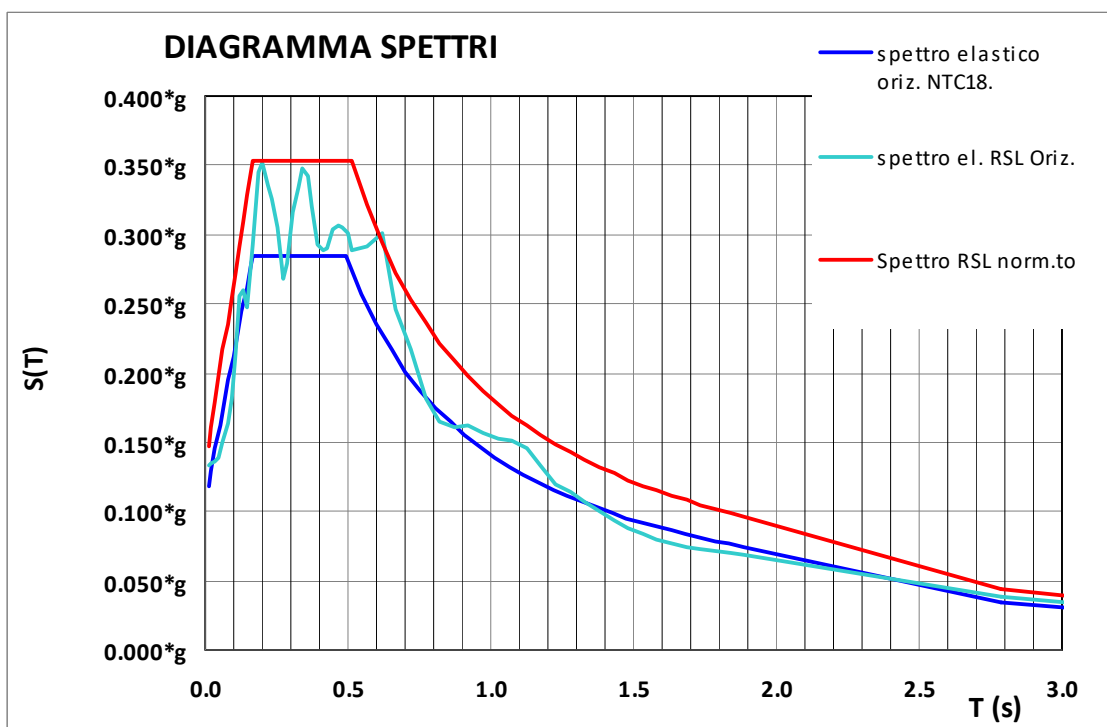
Il bedrock sismico è stato impostato nell'elaborazione a profondità di circa 141.2 metri dal p.c. in base ai risultati delle prove HVSR eseguite in sito in modalità congiunta con le prove MASW.

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.

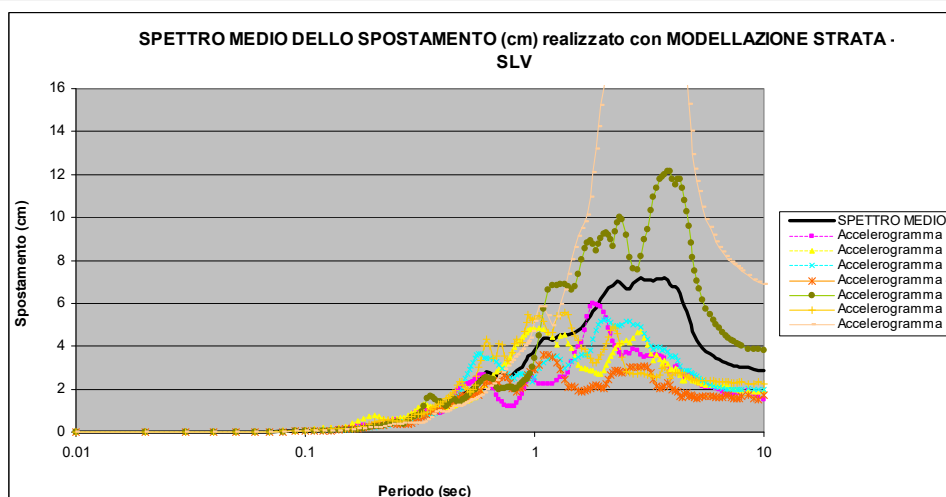
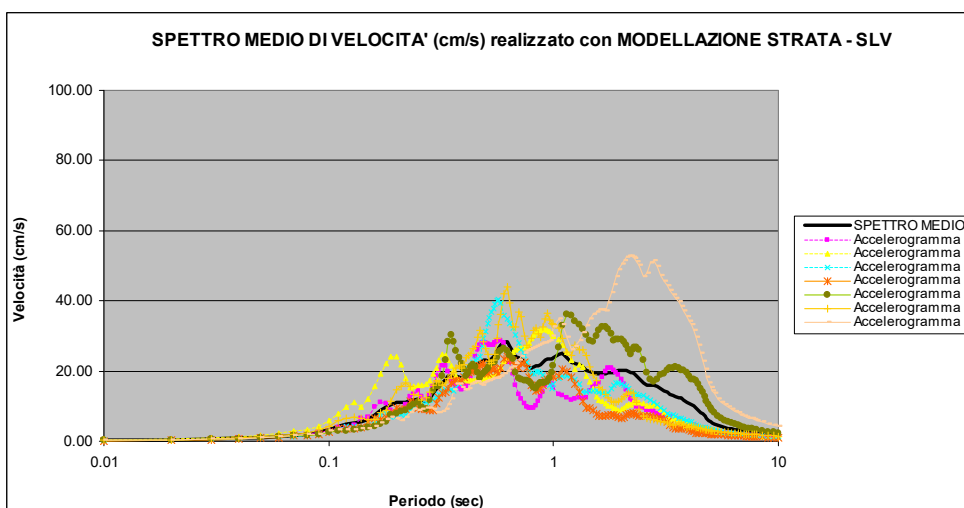
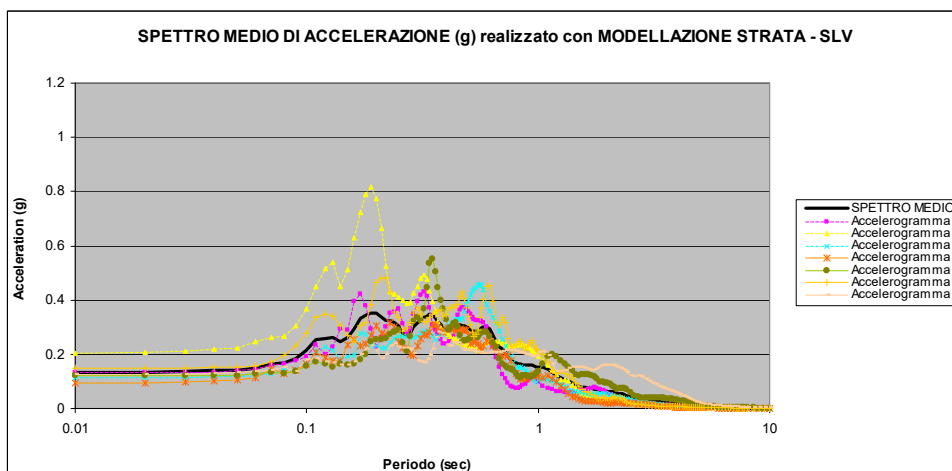


Lo spettro di progetto utilizzato per le verifiche sismiche locali, quindi, sarà quello mediato su quelli derivati da ciascuno dei 7 moti di input di riferimento (accelerogrammi naturali). Inoltre, come ben descritto in figura sottostante, lo spettro di risposta elastico (realizzato da modellazione 1D)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



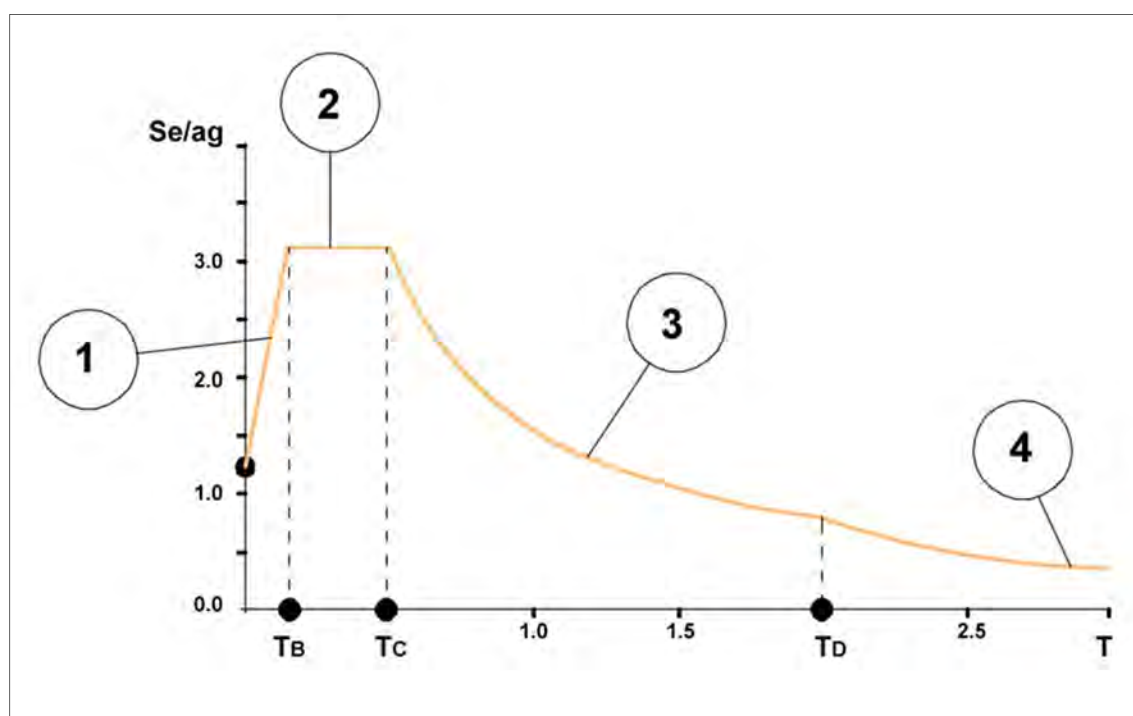
Spettri di risposta elastici per le componenti orizzontali (confronto fra il metodo semplificato NTC - categoria suolo C - e spettro realizzato con modellazione Strata, normalizzato totale)

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 (a_g , a_{max} , T_B , T_C , T_D , T_C^* , F_0 , 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		0,072*g
amplificazione spettrale massima	Fo		2,629
periodo di inizio del tratto a velocità costante	TC*	s	0,327
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		1,518
periodo ad accelerazione costante	TB	s	0,166
periodo a velocità costante	Tc	s	0,497
periodo a spostamento costante	TD	s	1,888
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		0,072*g
amplificazione spettrale massima	Fo		2,629
smorzamento	η		1,000
amplificazione sismica max locale (da grafico)	Se(T) max		0,353*g

Parametri dipendenti:

coeff. di amplificazione locale (NTC18 eq. 3.2.4)	$=Se(max)/ag*\eta*Fo$	S _{RSL}	1,864
accelerazione orizzontale massima al sito		a max	0,151*g
periodo caratteristico (leggere da grafico)		T _B = s	0,166
periodo caratteristico (leggere da grafico)		T _C = s	0,516
periodo caratteristico (NTC2018 formula 3.2.9)		T _D =	1,888

AZIONE SISMICA RSL

SPETTRO NORMALIZZATO ICMS DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE

SPETTRO :

RSL SISMA ORIZZONTALE SLV

Dati:

accelerazione orizzontale massima al sito	a max		0,125*g
amplificazione spettrale massima	Fo		2,322
periodo di inizio del tratto a velocità costante	TC*	s	0,550
categoria di sottosuolo	Cat. Suolo		C
	Cat. Topog.		T1
coeff. di amplificazione stratigrafica	Ss		1,731
coeff. di amplificazione topografica	ST		1,000
coeff. di amplificazione totale	S	=Ss * ST=	1,731
coeff. funzione della cat. di sottosuolo	Cc		1,000
periodo ad accelerazione costante	TB	s	0,183
periodo a velocità costante	Tc	s	0,550
periodo a spostamento costante	TD	s	2,098
fattore smorzamento (se smorz. visc. $\xi=5\%$ -> $\eta =1$)	η		1,000
fattore di struttura SLU	q		-
periodo della struttura	T	s	-

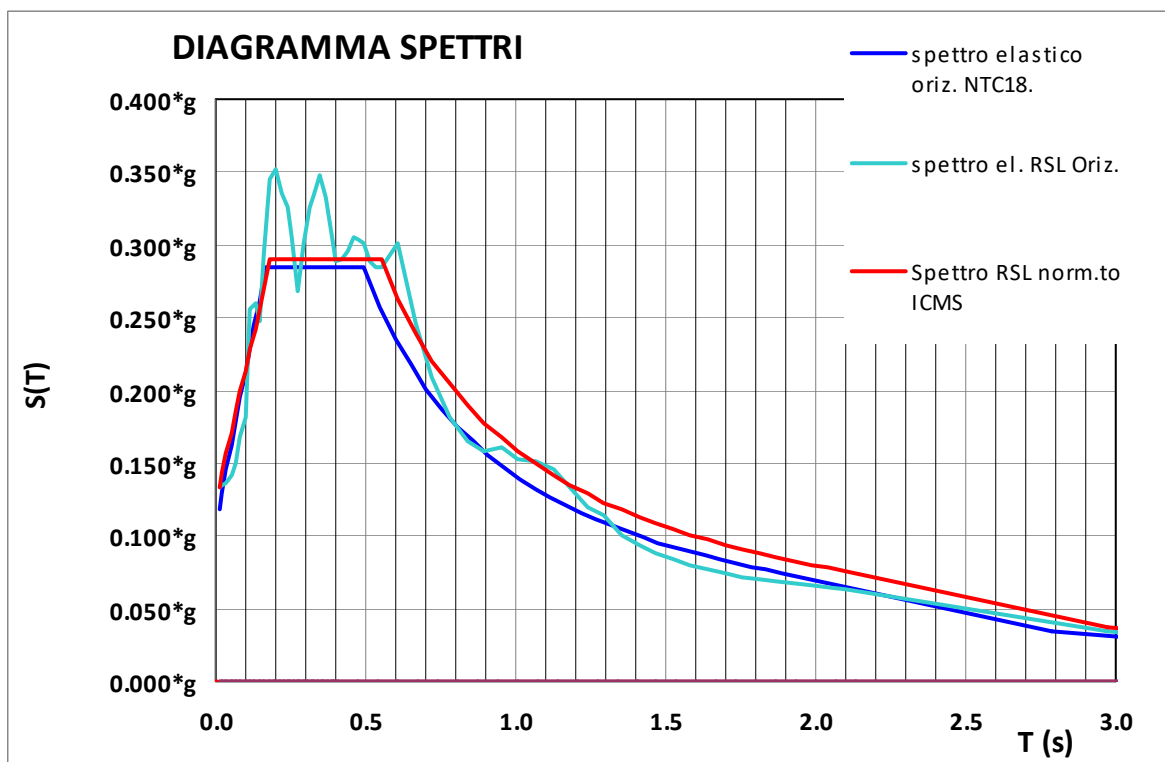
Normalizzazione ICMS Spettro Risposta Sismica Locale

Parametri indipendenti:

accelerazione orizzontale massima al sito	ag /g		0,125*g
amplificazione spettrale massima	Fo		2,322
smorzamento	η		1,000
amplificazione sismica max locale (da grafico)	Se(T) max		0,353*g
amplificazione sismica media locale (da grafico)	Se(T) media		0,289*g

Parametri dipendenti:

coeff. di amplificazione locale (NTC18 eq. 3.2.4)	=Se(max)/ag* η *Fo	S _{RSL}	1,731
periodo caratteristico (leggere da grafico)	T _B =	s	0,183
periodo caratteristico (leggere da grafico)	T _C =	s	0,550
periodo caratteristico (NTC2018 formula 3.2.9)	T _D =		2,098



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.

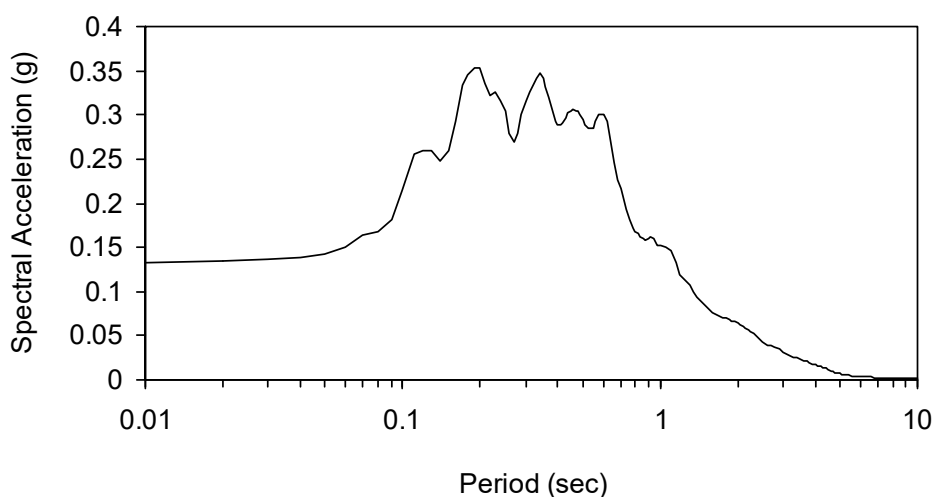
Sulla base dei calcoli condotti con modellazione Strata i valori sono qui mostrati:

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)
0.353

PGA (g)

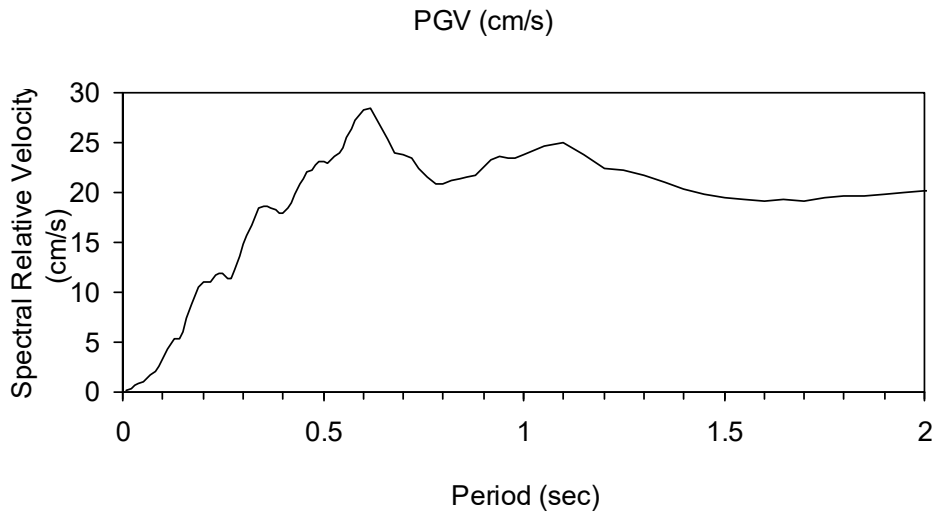


Massima Velocità PGV (cm/s):

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)
28.376



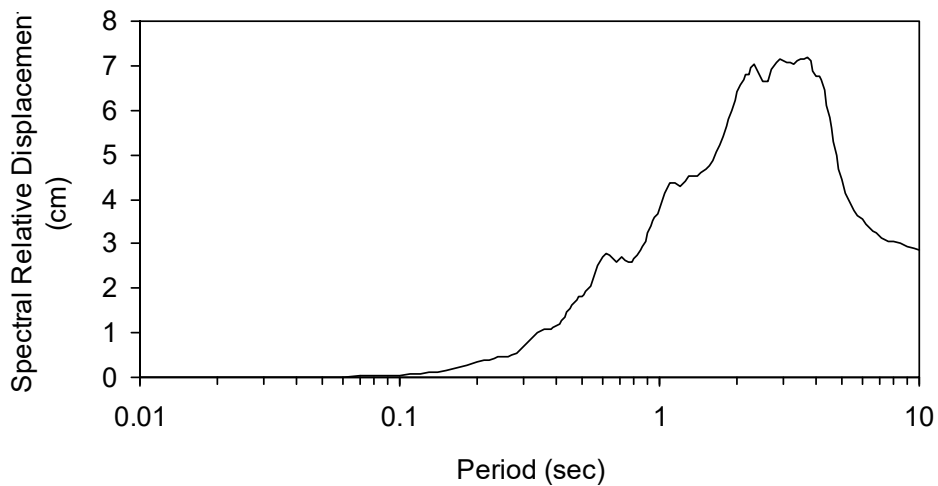
Massimo Spostamento PGD (cm):

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)
7.197

PGD (cm)



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	1.582	2.188	2.110	1.677	2.467
ACC 2	1.343	1.928	2.040	1.431	2.121
ACC 3	1.684	2.278	2.158	1.787	2.486
ACC 4	1.663	2.171	1.996	1.782	2.312
ACC 5	1.644	2.015	2.037	1.712	2.229
ACC 6	1.150	1.724	2.098	1.224	2.139
ACC 7	1.413	1.897	1.992	1.491	2.071
MEDIA (logaritmica)	1.485	2.020	2.061	1.573	2.255
MEDIA	1.497	2.029	2.062	1.586	2.261

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	0.134	0.19	0.353	0.37	0.320	0.55	0.285
0.02	0.134	0.20	0.352	0.38	0.307	0.56	0.292
0.03	0.136	0.21	0.335	0.39	0.293	0.57	0.296
0.04	0.139	0.22	0.323	0.40	0.288	0.58	0.301
0.05	0.142	0.23	0.325	0.41	0.288	0.60	0.301
0.06	0.149	0.24	0.316	0.42	0.290	0.62	0.293
0.07	0.163	0.25	0.305	0.43	0.296	0.64	0.270
0.08	0.167	0.26	0.279	0.44	0.303	0.66	0.246
0.09	0.182	0.27	0.268	0.45	0.305	0.68	0.226
0.10	0.215	0.28	0.279	0.46	0.307	0.70	0.218
0.11	0.256	0.29	0.301	0.47	0.304	0.72	0.209
0.12	0.259	0.30	0.317	0.48	0.305	0.74	0.193
0.13	0.260	0.31	0.325	0.49	0.301	0.76	0.181
0.14	0.247	0.32	0.334	0.50	0.295	0.78	0.171
0.15	0.260	0.33	0.342	0.51	0.288	0.80	0.167
0.16	0.293	0.34	0.348	0.52	0.286	0.82	0.165
0.17	0.334	0.35	0.342	0.53	0.284	0.84	0.163
0.18	0.345	0.36	0.332	0.54	0.284	0.86	0.161

T (sec)	a (g)	T (sec)	a (g)	T (sec)	a (g)	T (sec)	a (g)	T (sec)	a (g)
0.88	0.158	1.60	0.077	2.60	0.040	4.40	0.013	7.20	0.002
0.90	0.160	1.65	0.075	2.70	0.038	4.50	0.012	7.40	0.002
0.92	0.162	1.70	0.072	2.80	0.036	4.60	0.011	7.60	0.002
0.94	0.161	1.75	0.071	2.90	0.034	4.70	0.010	7.80	0.002
0.96	0.156	1.80	0.070	3.00	0.032	4.80	0.009	8.00	0.002
0.98	0.153	1.85	0.068	3.10	0.030	4.90	0.008	8.50	0.002
1.00	0.153	1.90	0.067	3.20	0.028	5.00	0.007	9.00	0.001
1.05	0.151	1.95	0.066	3.30	0.026	5.10	0.007	9.50	0.001
1.10	0.145	2.00	0.064	3.40	0.025	5.20	0.006	10.00	0.001
1.15	0.133	2.05	0.063	3.50	0.023	5.40	0.005		
1.20	0.120	2.10	0.061	3.60	0.022	5.60	0.005		
1.25	0.114	2.15	0.059	3.70	0.021	5.80	0.004		
1.30	0.107	2.20	0.057	3.80	0.020	6.00	0.004		
1.35	0.100	2.25	0.055	3.90	0.018	6.20	0.004		
1.40	0.093	2.30	0.053	4.00	0.017	6.40	0.003		
1.45	0.088	2.35	0.051	4.10	0.016	6.60	0.003		
1.50	0.083	2.40	0.048	4.20	0.015	6.80	0.003		
1.55	0.080	2.50	0.043	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 0.91 ± 0.13 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Borgoricco, marzo 2022

Dott. Geol. Pier Giorgio Spadon



Dott. Geol. Sergio Drago

