

Dinali dott. Alberto - GEOLOGO

*Via Ceresina, 52 – 35030 Selvazzano D. (Pd)
tel. 338/4381010 – email a.dinali@tin.it*

Codice Fiscale DNLLRT65L08L840K
Partita IVA 04772680288

REGIONE VENETO

PROVINCIA DI PADOVA

COMUNE DI CITTADELLA

PIANO URBANISTICO ATTUATIVO DI VIA CAVIN LUNGO

Z.T.O. C3/137 Residenziali nei nuclei “art. 106”

NUOVA COSTRUZIONE DI UN FABBRICATO AD USO RESIDENZIALE

VALUTAZIONE DI MICROZONAZIONE SISMICA

(O.P.C.M. 52 del 20.02.2013 – D.G.R. n. 1572 del 3.10.2013)

COMMITTENTE: Sig. BROTTTO FERRUCCIO

Selvazzano D., li 14 giugno 2023

Dott. Geol. Alberto Dinali



- 1 – PREMESSA ED INQUADRAMENTO URBANISTICO
- 2 – INDAGINI SISMICA E PENETROMETRICA ESEGUITE IN SITO
- 3 – DEFINIZIONE DI MICROZONAZIONE SISMICA
- 4 – CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE DEL SITO
- 5 – CARATTERISTICHE GEOLOGICHE DEL SITO
- 6 – CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE DEL SITO
- 7 – ANALISI SISMICA LOCALE DEL COMUNE DI CITTADELLA
- 8 – RIASSUNTO DATI GEOTECNICI E GEOFISICI PER IL LOTTO IN ESAME
- 9 – CONCLUSIONI

Allegati:

- Inquadramento generale e particolare su ortofoto
- Estratto di mappa alla scala 1:2000
- Estratto di P.I. del Comune di Cittadella alla scala 1:5000
- Planimetria del lotto di progetto con ubicazione delle indagini eseguite

1 – PREMESSA ED INQUADRAMENTO URBANISTICO

La presente relazione tecnica, ha lo scopo di esporre uno studio del tipo di Microzonazione Sismica di Livello I, ai sensi dell'OPCM 52 del 20.02.2013 e della DGR n. 1572 del 3.10.2013, dell'intervento previsto dal PUA sito in via Cavin Lungo ed identificato catastalmente al Fg. 18 part. 1314.

L'ambito interessa una superficie catastale di 900,18 m² che attualmente si configura come un unico lotto non edificato con superficie a verde, classificato dall'attuale P.I. del Comune di Cittadella come Z.T.O. C3/137 Residenziali nei nuclei "art. 106".

La presente relazione espone le modalità di acquisizione e di elaborazione dei dati geologici, geotecnici, sismici e cartografici adottati nella realizzazione dello studio di Microzonazione Sismica di Primo Livello, ed illustra la cartografia tematica prodotta secondo lo schema logico e le norme richiesti dagli ICMS 2008 e dalle Linee guida per l'esecuzione di studi di Microzonazione Sismica della Regione Veneto (DGR n. 1572 del 3.10.2013, all. A).

2 - INDAGINI SISMICA E PENETROMETRICA ESEGUITE IN SITO

Un'indagine sismica del tipo HVSr è stata eseguita nel sito di progetto, al fine di caratterizzare dal punto di vista sismico il sottosuolo dell'area in esame. Lo scopo dell'indagine è stata la caratterizzazione sismica del sottosuolo e, in particolare, l'individuazione delle discontinuità sismiche nonché la profondità del bedrock geofisico.

Sono state inoltre stimate le velocità di propagazione delle onde di taglio ($V_{s,eq}$) come espressamente richiesto dalla normativa vigente (NTC), e le frequenze di vibrazione del terreno.

A tal fine è stata eseguita una registrazione di rumore sismico ambientale a stazione singola in seguito elaborata con la tecnica di Nakamura (HVSr)

La tecnica sismica passiva (tecnica dei rapporti spettrali o H.V.S.R., Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è totalmente non invasiva, molto rapida, si può applicare ovunque e non richiede nessun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazione esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque.

I risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo sono:

- la frequenza caratteristica di risonanza del sito che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale. Si dovranno adottare adeguate precauzioni nel costruire edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di "doppia risonanza" estremamente pericoloso per la stabilità degli stessi;
- la frequenza fondamentale di risonanza di un edificio, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso. In seguito sarà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito (free field) e capire se in caso di sisma la struttura potrà essere o meno a rischio;
- la velocità media delle onde di taglio V_s calcolata tramite un apposito codice di calcolo. È necessario, per l'affidabilità del risultato, conoscere la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia (prova penetrometrica, sondaggio, ecc.) e riconoscibile nella curva H/V. Sarà quindi possibile calcolare la $V_{s,eq}$ e la relativa categoria di sottosuolo come esplicitamente richiesto dalle NTC;
- la stratigrafia del sottosuolo con un range di indagine compreso tra 0,5 e 700 m di profondità anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 metri. Il principio su cui si basa la presente tecnica, in termini di stratigrafia del sottosuolo, è rappresentato dalla definizione di strato inteso come unità distinta da

quelle sopra e sottostante per un contrasto d'impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un tromometro digitale della ditta Sara s.r.l. modello "**Tromino Geobox**". Lo strumento racchiude al suo interno tre velocimetri elettrodinamici ortogonali tra loro ad alta definizione con intervallo di frequenza compreso tra 0.1 e 256 Hz.

Dati riepilogativi:

Numero tracce:	3
Durata registrazione:	1200 s
Frequenza di campionamento:	300,00 Hz
Numero campioni:	360000
Direzioni tracce:	Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale

La prospezione sismica e le elaborazioni dei dati, sono state svolte dallo scrivente.

Per una corretta ricostruzione sismica del sottosuolo e una buona stima delle onde Vs è necessario adottare una modellizzazione numerica che può essere rappresentata dalla seguente equazione [3.2.1 delle NTC]:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} \quad [3.2.1]$$

$V_{s,eq}$ = valore di velocità equivalente delle onde di taglio [m/s]; H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s (30 m in caso di V_{s30}); h_i = spessore dello strato i – esimo [m]; v_i = velocità delle onde Vs all'interno dello strato i – esimo [m/s]. Le elaborazioni e i risultati dell'indagine geofisica eseguita tramite tecnica Tromino, sono riportati in allegato.

In via indicativa, al fine di correlare le velocità delle onde di taglio ad un tipo di suolo, si riportano di seguito i valori tabulati da *Borcherdt (1992; 1994)* assieme a quelli ottenuti sperimentalmente in diversi ambienti sedimentari da altri autori (*Ibs von Seht e Wohlenberg, 1999; Delgado et al., 2000 a, b; Parolai et al., 2002; Scherbaum et al., 2003; D'Amico et al., 2004, 2006; Hinzen et al., 2004*).

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

Allo scopo di ottenere una conferma dai dati bibliografici di quella che è la stratigrafia del terreno nel lotto di progetto, è stata eseguita anche n. 1 prova penetrometrica dinamica (DPM), che è stata condotta fino alla profondità massima di - 1.80 m dal piano campagna locale, profondità alla quale ci si è dovuti arrestare per rifiuto strumentale (*massima resistenza del sottosuolo oltre cui non è stato possibile procedere, per la presenza di strati granulari formati da ghiaie sabbiose con ciottoli di elevato addensamento*).

L'ubicazione della prova penetrometrica è pure riportata nella planimetria allegata. Come quota di riferimento è stata considerata la quota media del piano campagna locale.

La prova è stata eseguita con un penetrometro dinamico di tipo medio (DPM - mod. Deep Drill).

Il metodo di indagine utilizzato consiste nel misurare quanti colpi di maglio (30 Kg), cadente da un'altezza di 20 cm, sono necessari per infiggere nel terreno una batteria di aste ($\varnothing = 20$ mm, peso = 2.4 Kg/ml) aventi in testa una punta conica (angolo 60° e $A = 10$ cm²) per una profondità di 10 cm.

La resistenza dinamica del terreno viene calcolata mediante una curva di taratura tipica dello strumento considerato e ricavata dalla formula modificata degli "Olandesi".

Il numero di colpi $N(10)$ è stato caricato su un programma di calcolo che ha operato:

- a) la diagrammazione dei colpi in funzione della profondità
- b) l'elaborazione di un "modello meccanico".

3 – DEFINIZIONE DI MICROZONAZIONE SISMICA

Secondo quanto ricordato dalla *DGR. n. 1572 del 03.09.2013*, i numerosi eventi sismici accaduti in Italia negli ultimi anni, hanno reso maggiormente evidente la pericolosità sismica del territorio italiano.

L'osservazione degli effetti dei terremoti degli ultimi decenni, ha evidenziato, inoltre, che i danni alle costruzioni a seguito di eventi sismici si manifestano con differenze notevoli in centri abitati posti anche a piccole distanze tra loro. Le cause di queste situazioni, oltre alla differente tipologia costruttiva, vanno ricercate in una diversa pericolosità sismica locale, accentuata dalle differenti modalità di propagazione delle onde sismiche, funzione delle caratteristiche geometriche, elastico-acustiche e di instabilità di suolo e sottosuolo.

La microzonazione è la suddivisione di un dato territorio in zone aventi differenti risposte alle azioni sismiche attese al sito per effetto delle condizioni locali. La microzonazione sismica ha lo scopo di riconoscere ad una scala sufficientemente di dettaglio le condizioni di sito che possono modificare sensibilmente le caratteristiche del moto sismico atteso o possono produrre effetti cosismici rilevanti (*fratture, frane, liquefazioni, ...*) per le costruzioni e le infrastrutture.

In sostanza lo studio di microzonazione restituisce una mappa del territorio nella quale sono indicate:

1) le zone in cui il moto sismico viene amplificato (e su quali frequenze questa amplificazione avviene) a causa delle caratteristiche morfologiche, strutturali, stratigrafiche, geofisiche e geotecniche dei terreni.

2) le zone in cui sono presenti, o , suscettibili di attivazione, dissesti o deformazioni del suolo dovuti al sisma o incrementati da esso.

Gli “*effetti di amplificazione locale*” che possono portare a sollecitazioni nelle strutture notevolmente amplificate rispetto a quelle che si avrebbero se l'edificio fosse fondato su roccia o terreno duro pianeggiante. Infatti, se il sottosuolo fosse costituito da terreno rigido (*velocità $V_s > 800$ m/s*), delimitato da una superficie limite orizzontale, la pericolosità sismica del sito dipenderebbe solo dalla grandezza dell'evento sismico e dalla distanza della sorgente sismica.

Invece possiamo avere:

- effetti stratigrafici (al passaggio tra bedrock e depositi superficiali si possono sviluppare risonanze, dissipazioni, variazioni delle pressioni interstiziali, scadimento delle proprietà geotecniche);

- effetti di bordo (riflessioni o rifrazioni delle onde sismiche ai bordi di depositi con geometria irregolare o propagazioni tra materiali a diversa rigidezza);

- effetti topografici (focalizzazioni dell'energia sismica legati alla morfologia superficiale o sepolta che suscita amplificazioni dell'ampiezza delle onde sismiche).

Lo studio delle problematiche sopra descritte, è oggetto della microzonazione sismica.

Il miglioramento della conoscenza in materia prodotto dagli studi di microzonazione sismica può contribuire concretamente, insieme a quelli sulla vulnerabilità ed esposizione, all'ottimizzazione delle risorse rese disponibili per interventi mirati alla mitigazione del rischio sismico.

La Regione Veneto, in una prima fase sperimentale di verifica dell'applicabilità delle linee guida regionali, ha deciso di procedere all'avvio degli Studi di Microzonazione Sismica nei comuni già inseriti in zona sismica 1 e 2 e quelli per cui il territorio è in tutto o in parte caratterizzato da valori di accelerazione sismica massima al suolo superiori a 0,175 g di cui all'OPCM 3519/2006.

Le nuove Linee Guida per la Microzonazione Sismica (*ICMS 2008*) vanno applicate agli studi di microzonazione sismica a corredo degli strumenti di pianificazione urbanistica comunale (PAT, PI e loro varianti di cui alla L.R. 11/2004).

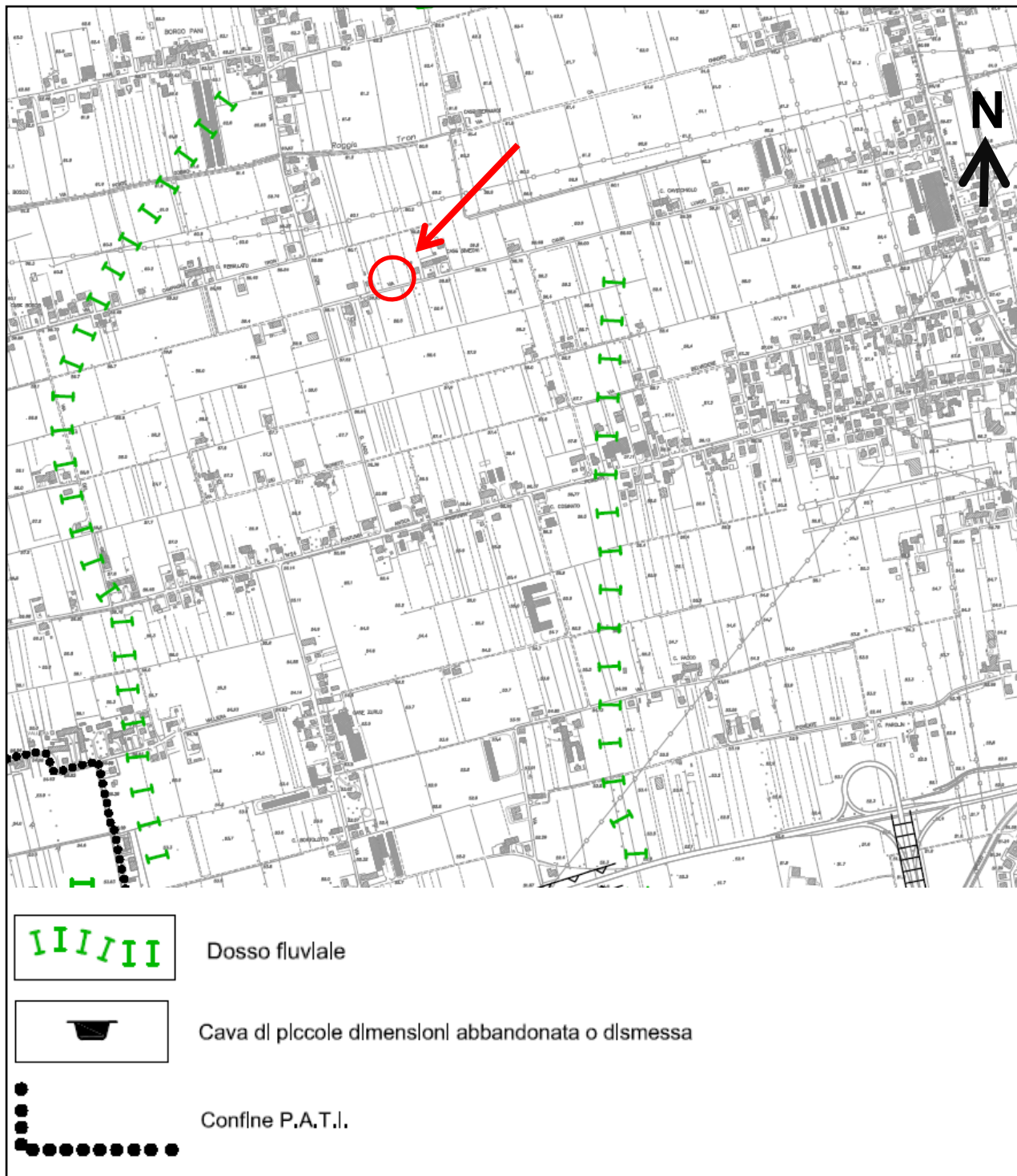
Anche i Piani Urbanistici Attuativi (PUA), nei Comuni i cui strumenti urbanistici di livello superiore non contengano studi sismici, devono essere dotati di specifici studi di microzonazione sismica.

La metodologia prevede tre livelli di approfondimento con grado di dettaglio in ordine crescente:

- LIVELLO I: si applica in sede di PAT e consente di delineare gli scenari della pericolosità sismica e di identificare le parti del territorio comunale suscettibili di effetti sismici locali:
- LIVELLO II: si applica in sede di PI a tutte le parti del territorio suscettibili di amplificazione sismica individuati nella precedente fase e per le quali si prevedono trasformazioni urbanistiche del territorio che comportano un incremento dei carichi urbanistici/insediativi e per il territorio compreso nel perimetro del "centro abitato" così come previsti dalla normativa vigente;
- LIVELLO III: si applica in sede di PI per le scelte di trasformazione urbanistica nelle aree con particolari criticità geologiche, geomorfologiche e geotecniche. Si applica altresì alle aree in cui è prevista la realizzazione di opere di rilevante interesse pubblico.

4 - CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE DEL SITO

L'area d'intervento, si trova in una porzione di pianura alluvionale nel territorio comunale di Cittadella in un settore a nord ovest verso il Comune di Tezze sul Brenta, e dall'esame della cartografia ufficiale, si nota come i terreni si trovano ad una quota media di circa 58 metri s.l.m.



Estratto della Carta Geomorfologica allegata al P.A.T.I. "Alta Padovana"

Gli ambiti territoriali ove viene a collocarsi la pianura alluvionale nel territorio di Cittadella e che comprende anche altri Comuni dell'Alta Padovana, è costituita dall'ampia conoide di deposito del Brenta, la quale si raccorda in parte a ovest con le alluvioni dell'Astico-Tesina e ad Est con i depositi del Piave: si rinvenivano pertanto soprattutto le forme fluviali tipiche della Pianura Veneta, come conseguenza del deposito e accumulo di sedimenti provenienti dalla catena alpina e prealpina.

La genesi è collegata alla perdita di energia di trasporto dei sedimenti da parte dei fiumi principali (Brenta) con deposito di ghiaie, sabbie e limi argillosi a formare la conoide a partire dalla zona pedemontana fino alla medio-bassa pianura, e più di recente dagli sviluppi dell'idrografia superficiale con processi di tracimazione ed esondazione di rami fluviali a lento decorso, ed a bassa energia che permette la sedimentazione di materiale più fine come limi sabbiosi e argillosi: questi ultimi sono tendenzialmente a una quota più bassa rispetto ai dossi fluviali.

La pendenza della pianura degradante da NNO verso SSE è variabile tra 0.50% - 0.65% tra il confine nord P.A.T.I. ed il lineamento passante per i centri abitati di Fontaniva, Cittadella e Galliera, 0.20% - 0.30% tra questo lineamento e il confine sud del primo ambito e 0.10% - 0,05% nel territorio comunale di Campo San Martino.

Dall'esame infine della *Carta Geomorfologica* allegata al P.A.T.I. "*Alta Padovana*" alla scala 1:15.000 – elaborato c 05 03 del 2009 riportante le forme del terreno, dissesti ed opere di difesa di cui è presente un estratto a pagina precedente, si nota come l'intervento in questione non viene a ricadere in nessuna zona di particolare criticità dal punto di vista geomorfologico, a parte la vicinanza ad alcuni dossi fluviali che testimoniano antiche divagazioni fluviali del fiume Brenta.

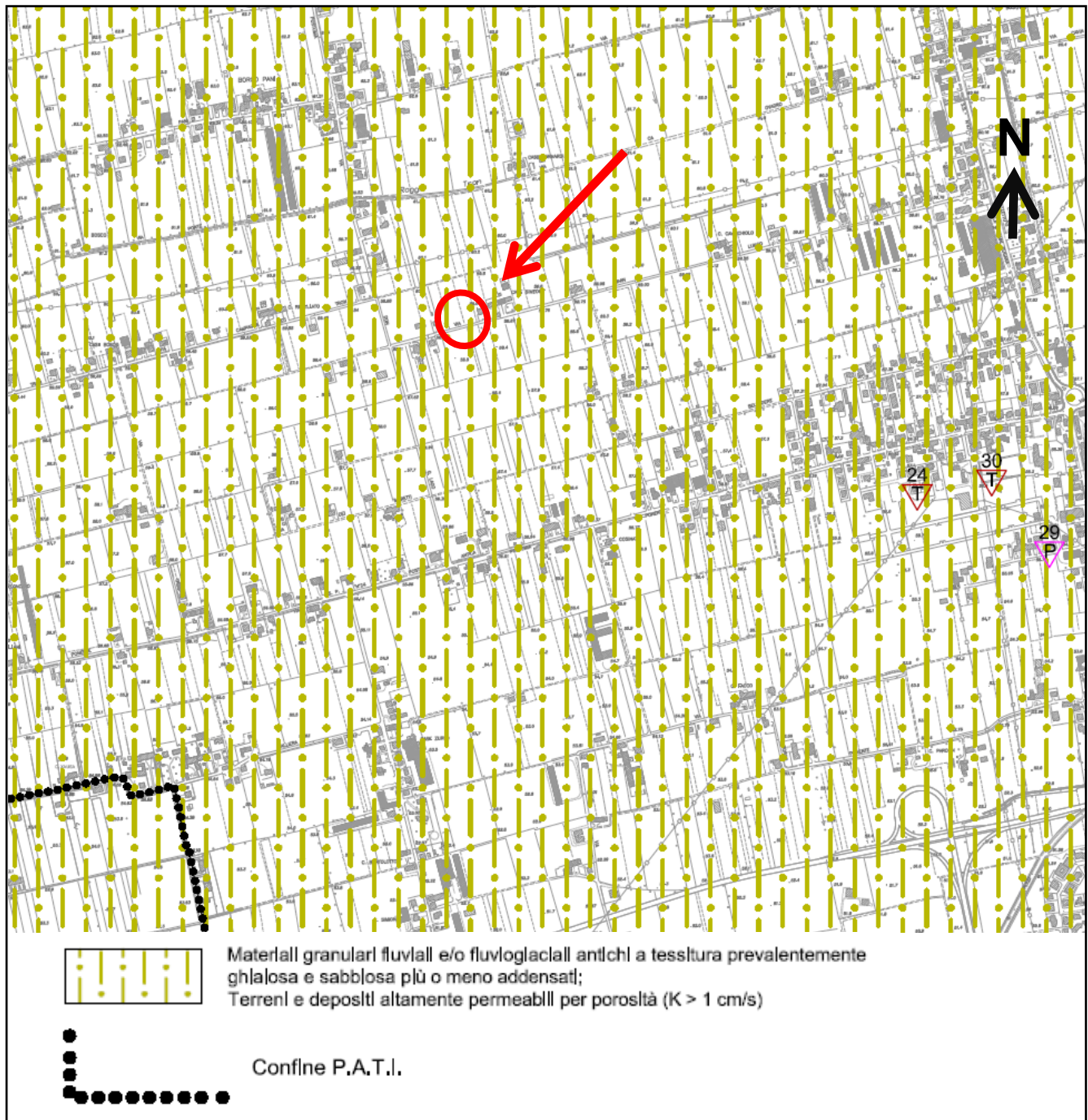
Il rilevamento di superficie nell'area dell'edificio di progetto, inoltre, non ha evidenziato la presenza di zone di instabilità, di erosione superficiale o di precarietà geomorfologica. Allo stato attuale non vi sono inoltre processi morfogenici o dissesti in atto e/o potenziali.

5 - CARATTERISTICHE GEOLOGICHE DEL SITO

La pianura alluvionale Veneta è costituita da un materasso quaternario, con uno spessore che arriva anche a centinaia di metri, formatosi grazie agli apporti solidi dei principali fiumi alpini: il Brenta, il Piave, l'Adige e il Tagliamento. Dal punto di vista generale, i terreni quaternari della pianura a nord di Padova sono costituiti da materiali detritici continentali di deposito alluvionale e fluvio-glaciale, molto variabili dal punto di vista granulometrico e tessiturale, geneticamente legati alla sovrapposizione ed interdigitazione delle conoidi dei corsi d'acqua principali, in particolare quella del fiume Brenta, che si raccorda ad ovest con le alluvioni dell'Astico-Tesina e ad est con la conoide del Piave.

Il settore di pianura quindi coperto dal Comune di Cittadella insieme a quello dei Comuni di Fontaniva, Galliera e Tombolo, si inserisce nella Media Pianura Veneta, caratterizzata da depositi alluvionali "recenti" del fiume Brenta prevalentemente ghiaiosi e sabbiosi nella parte più settentrionale ove viene a collocarsi l'intervento oggetto del presente studio, che si alternano a sabbie limose nella zona centrale e meridionale del Comune.

Dall'esame della Relazione Geologica allegata al P.A.T.I. "*Alta Padovana*" e della *Carta Litologica* allegata sempre al medesimo P.A.T.I. alla scala 1:15.000 – elaborato c 05 01 del 2009 di cui è presente a pagina seguente un estratto, si nota come l'intervento in questione si trova in un settore dal punto di vista litologico classificato come: "zone a prevalenza di ghiaie e sabbie antiche, localmente cementate, dotate di buone/ottime caratteristiche geotecniche. Sono presenti in tutto il territorio di Galliera Veneta, la parte Nord di Cittadella, Fontaniva e Tombolo. Nella Carta Litologica sono colorate con puntinato / tratteggio giallo-verde e classificate come Materiali granulari fluviali e/o fluvioglaciali a tessitura prevalentemente ghiaiosa e sabbiosa più o meno addensati."

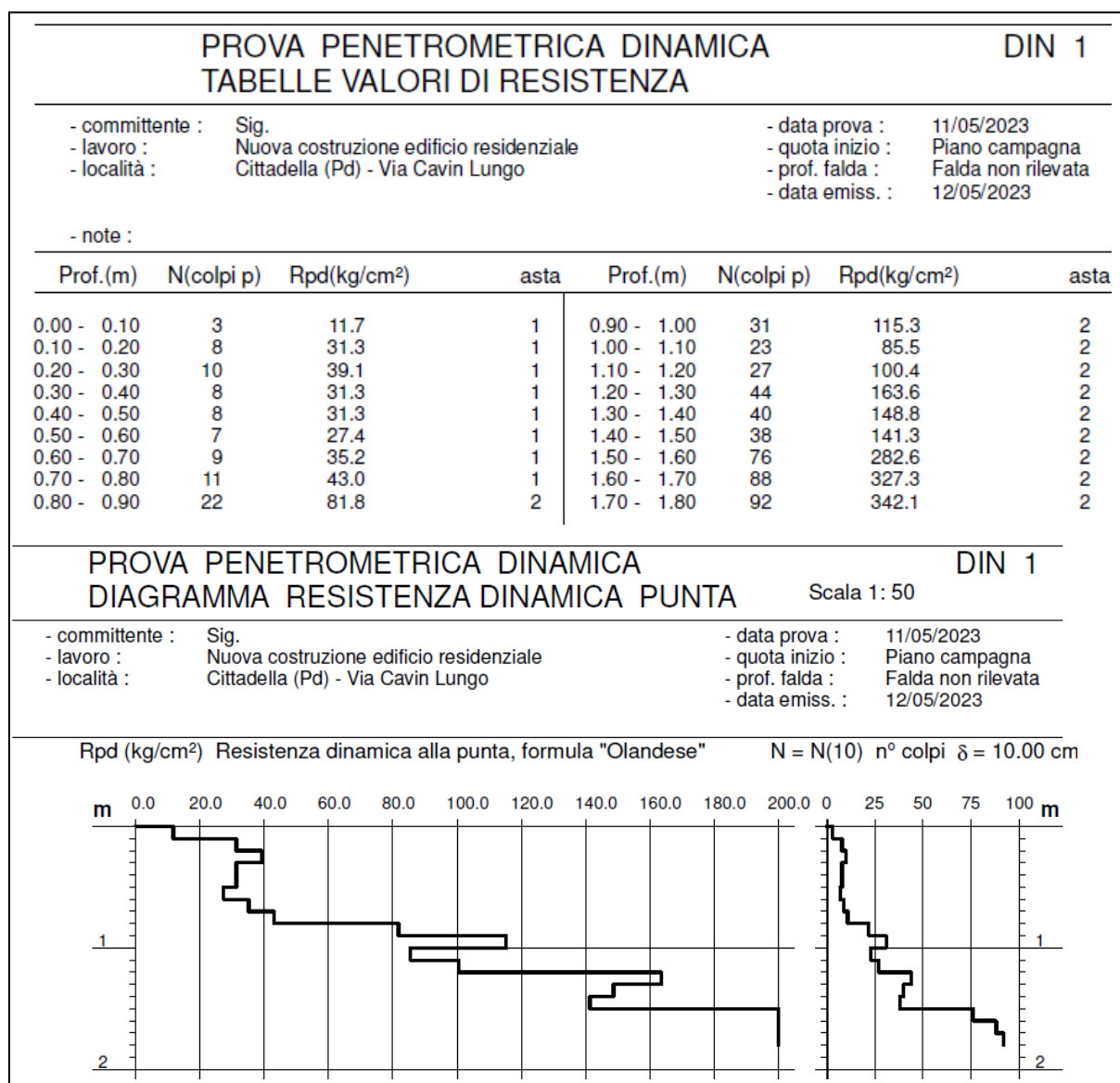


Estratto della Carta Litologica allegata al P.A.T.I. "Alta Padovana"

Con riferimento altresì alla prova penetrometrica svolta a cura dello scrivente all'interno del lotto di progetto, il terreno può essere suddiviso nella seguente stratigrafia locale riportata a pagina seguente:

Stratigrafia locale indagine DINI:

Strato	Profondità (m)	Natura terreno
1	da p.c. a - (0.80)	Terreno superficiale limoso – argilloso di medio alta consistenza in prevalenza, talora misto a ghiaie sabbiose e ciottoli
2	da - (0.80) a - (1.50)	Ghiaie sabbiose grossolane con ciottoli in matrice argillosa
3	oltre - (1.50)	Ghiaie e ghiaie sabbiose con ciottoli e clasti di elevato addensamento, crescente con la profondità



Valori e diagramma indagine penetrometrica eseguita nel lotto di progetto



Foto esecuzione indagine penetrometrica sul lotto di progetto

6 - CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE DEL SITO

Dal punto di vista idrogeologico il territorio del Comune di Cittadella si colloca a cavallo del limite superiore della fascia delle risorgive, in zona di Media Pianura alluvionale: pertanto gli acquiferi sono costituiti prevalentemente da materiali ghiaiosi e sabbiosi, e sono indifferenziati fino a quando non intervengono le stratificazioni di natura fine, poco permeabile (limi e argille), presenti a partire dalla fascia sud del territorio del primo ambito del P.A.T.I. A sud del limite nord delle risorgive, inizia invece la differenziazione dell'acquifero freatico, in un sistema multifalde alloggiate in orizzonti granulari permeabili e separate da livelli di terreni più fini, praticamente impermeabili.

La prima falda, alloggiata nei livelli permeabili presenti nei primi metri dal piano campagna, presenta caratteristiche sia di tipo freatico che risaliente, in funzione della permeabilità dei terreni. Si ha un acquifero freatico (condizioni di falda libera) in presenza di materiali sabbiosi, permeabili, mentre se è presente una copertura impermeabile o poco permeabile (terreni limosi-argillosi-sabbiosi) si hanno condizioni di subartesianesimo (falda risaliente).

In generale l'alimentazione del sistema di falde presenti avviene attraverso l'acquifero indifferenziato posto a monte della linea delle risorgive ove viene anche a collocarsi l'intervento di progetto, il quale a sua volta viene ricaricato in gran parte dalle perdite in alveo del fiume Brenta.

In base agli studi e ai rilevamenti effettuati sulle falde acquifere dell'alta e media pianura veneta, la cosiddetta "linea delle risorgive" attraversa il territorio del P.A.T.I. sviluppandosi da Ovest-Nord-Ovest a Est-Sud-Est lungo i comuni di Fontaniva, Cittadella e Tombolo con andamento curvilineo.

Le falde idriche dell'acquifero indifferenziato sono alimentate prevalentemente dalle dispersioni idriche che si verificano lungo l'alveo del Brenta, mentre immediatamente a valle della linea delle risorgive, il fenomeno si inverte, il fiume diventa l'asse drenante della falda più superficiale.

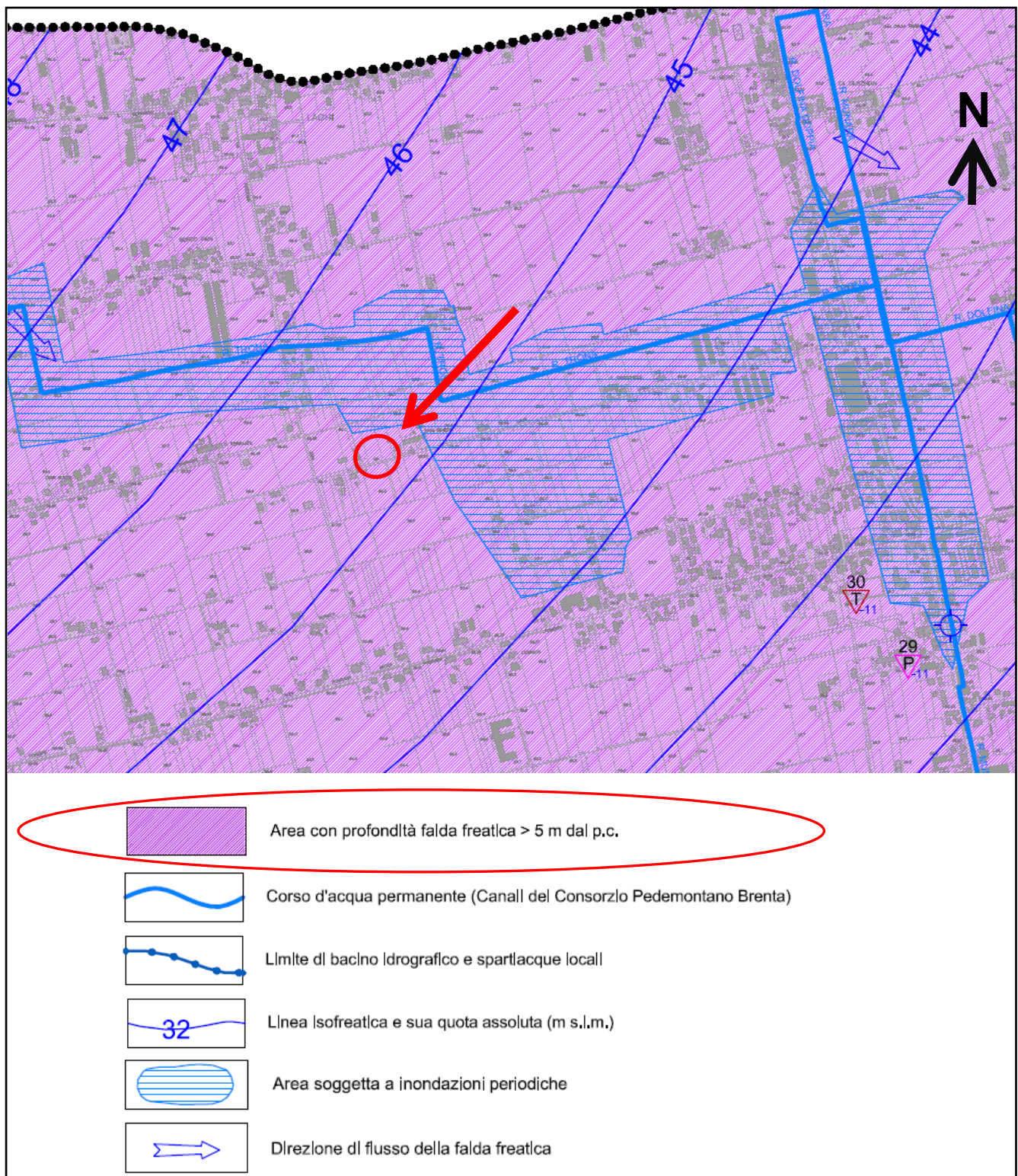
Le oscillazioni della superficie della falda sono ridotte e stimate mediamente attorno ad 1.0 m e 2.0 m nella fascia centro meridionale a sud dei centri abitati di Fontaniva, Cittadella e Tombolo, e variabili fino a (4 ÷ 5) m nella zona di acquifero indifferenziato ghiaioso molto permeabile ove viene a collocarsi l'intervento in questione.

Come valori di profondità di falda maggiore di 5.0 m, si sono riscontrati in tutto il comune di Galliera Veneta, nella parte nord di Tombolo, in tutta l'area nord rimanente del comune di Cittadella comprendente l'abitato e nella zona centro - nord del comune di Fontaniva al di sopra del terrazzo pleistocenico. *(Come riportato anche nella Relazione Geologica, Geomorfologica ed Idrogeologica allegata al P.A.T.I. "Alta Padovana" del maggio 2009).*

Durante l'esecuzione dell'indagine in situ eseguita a cura dello scrivente in data 11 maggio 2023, **non è stata rilevata la presenza di terreni saturi** *(almeno fino alla profondità massima qui investigata di - 1.80 metri dal piano campagna dove ci si è dovuti arrestare per rifiuto strumentale).*

Tale situazione, risulterebbe coerente con quanto riportato nella "Carta Idrogeologica" (anno 2009) allegata al P.A.T.I. "Alta Padovana" *(Elaborato c 05 02)* di cui è presente un estratto a pagina precedente, ove si può notare come l'intervento in questione viene a collocarsi in una zona classificata come: "area con profondità falda freatica maggiore di 5 metri dal p.c."

Come livello stimabile di profondità di falda nella zona ove viene a trovarsi l'intervento di progetto, possiamo considerare una profondità di **- 13.00 metri** circa dal piano campagna locale, visto che veniamo a trovarci ad una quota di 58.00 metri sul livello mare mentre l'isofreatica più vicina espressa in quota assoluta (*vd. pagina 13*) è la 45.00 metri s.l.m., (quindi 58.00 m. - 45.00 m. = 13.00 metri di profondità calcolati).

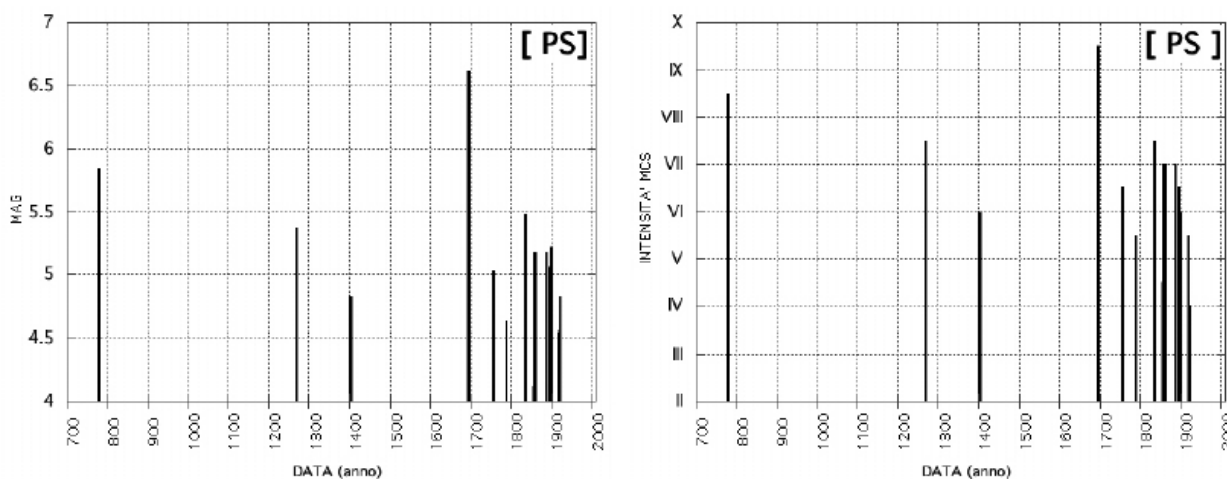


Estratto della Carta Idrogeologica allegata al P.A.T.I. "Alta Padovana"

7 – ANALISI SISMICA LOCALE DEL COMUNE DI CITTADELLA

7.1. Sismicità del sito

Questa regione, identificata dal distretto sismico Pedemontana Sud (da *Distretti sismici del Veneto*, M. Sugan E L. Peruzza, 2011) si estende dall'altopiano di Asiago fino alla zona pedemontana del margine del Cansiglio. In questo settore è presente la Flessura Pedemontana, elemento dal quale prendono il nome sia questo distretto, sia il contiguo elemento (Pedemontana Nord) a NO; essi sono stati analizzati separatamente, privilegiando le interpretazioni che ritengono le strutture verso nord abbiano raggiunto una configurazione tettonica quasi definitiva (Zanferrari *et al.*, 1982), e individuano invece nella porzione meridionale le potenziali sorgenti di terremoti distruttivi (Galadini *et al.*, 2005; Burrato *et al.*, 2008, 2009; Poli *et al.*, 2008). Il distretto Pedemontana Sud si estende a SE alla zona di pianura, approssimativamente ad includere la fascia delle risorgive; lungo la catena, il sistema strutturale è troncato bruscamente ad ovest dagli allineamenti disposti NO-SE del Sistema Schio-Vicenza, verso est da elementi paleogeografici riconducibili alla strutturazione della Piattaforma Friulana (margine occidentale del massiccio del Cansiglio); i limiti scelti non includono questi elementi.



Sismicità storica nel tempo del distretto Pedemontana Sud (PS); fonte dati CPTI04 criticamente rivisto (Molin *et al.*, 2008). Visualizzazione in magnitudo (sn) e intensità epicentrale (dx). MAG indica la magnitudo equivalente a M_w indicata in catalogo.

Historical seismicity in the Pedemontana Sud (PS) district: data taken from CPTI04 (CPTI Working Group, 2004), critically revised according to Molin *et al.* (2008). Left) magnitude vs. time; MAG is M_w in the original catalogue; right) epicentral intensity vs. time.

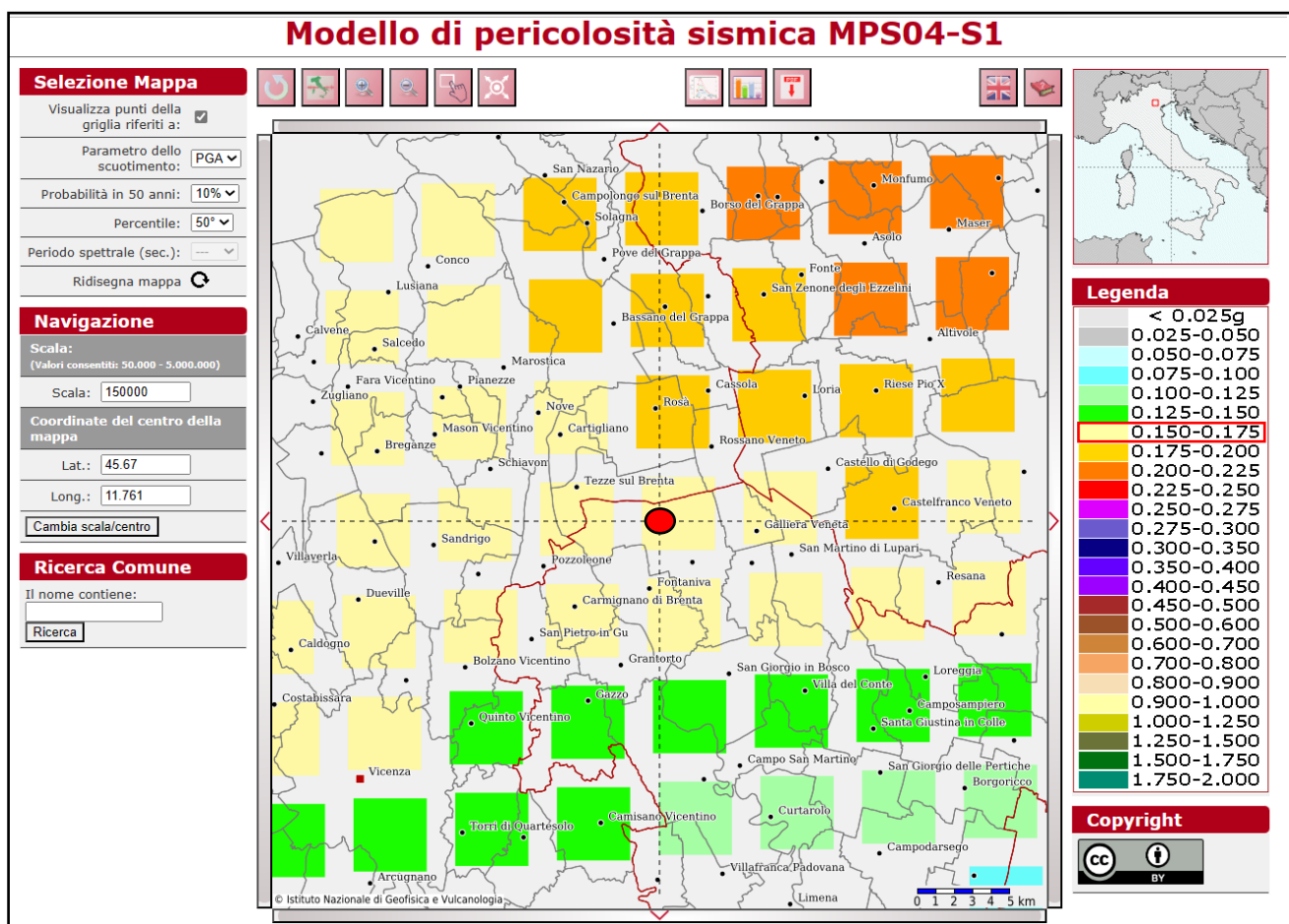
Il distretto Pedemontana Sud è una zona interessata storicamente da un evento distruttivo, e numerosi eventi che hanno superato la soglia del danno ($I_0=VI$ MCS), documentati in modo abbastanza affidabile sin dal XIII secolo. Risale al 25 febbraio 1695 l'evento più energetico ($I_0=IX-X$ MCS, $M_w=6,61$), la cui magnitudo derivata da dati macrosismici è comparabile ai massimi eventi registrati nell'area friulana a seguito del terremoto del 1776. Localizzato nell'Asolano, l'evento ha raggiunto la soglia della distruzione coinvolgendo pesantemente l'area compresa tra Bassano del Grappa e Valdobbiadene. Le ipotesi genetiche relative a questo terremoto sono molto dibattute; il piano quotato è ben rappresentato nella direzione della pianura, ma nessuna informazione è riferita alle zone montuose. E' questo un tipico effetto della diversa accessibilità alle fonti documentarie contemporanee all'evento; il territorio della pedemontana risultava infatti controllato dall'amministrazione territoriale della Repubblica di Venezia, i cui confini all'epoca del terremoto passavano poco a nord della zona di Asolo, mentre il resto del territorio era sotto la giurisdizione dell'Impero Austro-Ungarico. Studi su fonti austriache sono in corso in

questi ultimi anni, e porteranno presumibilmente ad un quadro del danneggiamento più documentato verso nord.

Dal punto di vista della neotettonica è in atto un processo di sollevamento causato da compressione con forte raccorciamento crostale che raggiunge valori massimi nel Friuli centrale. Le strutture neotettoniche più importanti sono rappresentate in primo luogo dai sovrascorrimenti orientati ENE-OSO e subordinatamente da *back-thrust* e faglie subverticali con componenti più o meno rilevanti di trascorrenza orientate NO-SE (Zanferrari *et al.*, 1982). In questo distretto, DISS, versione 3.1.1, identifica due sorgenti composite, denominate Thiene-Cornuda (ITCS007), che si estende dalla città di Schio a Cornuda, e Montebelluna-Montereale (ITCS060), dallo sbocco in pianura del fiume Piave, a quello del torrente Cellina. Entrambe le sorgenti composite rappresentano segmenti di sovrascorrimenti vergenti a S-SE, implicati nella sismogenesi degli eventi maggiori fino a profondità modeste (7-9 km) e frammentati da elementi trasversali.

7.2. Pericolosità sismica di base

Sulla base dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri nr.3274/2003 – “*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*” - inserisce il Comune di Cittadella nella classe 3 con grado di accelerazione orizzontale al suolo (a_g) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni compresa tra $(0.05 \div 0.15)$ g e con accelerazione orizzontale di ancoraggio allo spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) pari a 0.15 g.



Modello di pericolosità sismica MPS04-S1 – da I.N.G.V.

Con riferimento invece al testo dell'Ordinanza PCM 3519 del 28 aprile 2006 "*Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone*", il sito in studio risulta caratterizzato da un valore di A_g , con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi di Cat. A, compreso **tra 0,125g e 0,150g**.

Secondo altresì la nuova zonizzazione, che è stata approvata il 15.05.2021 in base alla D.G.R. n° 244 del 9 marzo 2021, il Veneto è stato suddiviso in 3 zone sismiche che prima erano 4, ed il Comune di Cittadella è stato inserito in zona 2 con probabilità di superamento del 10% in 50 anni tra 0.15 e 0.25 g.

7.3. Categoria di sottosuolo e condizioni topografiche

La pericolosità sismica di base costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche. La determinazione è stata eseguita secondo l'approccio semplificato previsto dal § 3.2.2 delle NTC, con i seguenti risultati:

Classificazione della categoria di sottosuolo secondo quanto previsto nella tabella 3.2.II delle NTC 17.01.2018: il sottosuolo, a partire dal livello del piano di posa delle fondazioni, può essere assimilato a categoria '**B**':

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

Classificazione delle condizioni topografiche secondo quanto previsto nella tabella 3.2.III delle NTC agg. 17.01.2018: la superficie topografica può essere classificata come appartenente alla categoria T1 (superfici pianeggianti, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$), in quanto il sito presenta tutta una superficie pianeggiante.

A tale proposito non sussistono nel sito in esame effetti di amplificazione del moto sismico dovuti alla topografia, in particolare per irregolarità morfologiche quali rilievi allungati, scarpate di altezza maggiore a 30 m, pendii con inclinazione maggiore di 15° .

Si ricorda infine che la categoria "B" del sottosuolo qui presente, è stata definita in dettaglio in seguito ai risultati dell'indagine sismica (H.V.S.R.) eseguita a cura dello scrivente nel lotto di progetto, ed i cui risultati sono riportati in par. 7.6 della presente relazione da pag. 20 in poi.

7.4. Determinazione dello spettro di risposta

Le norme stabiliscono che il modello di riferimento per la descrizione del moto sismico in un punto della superficie del suolo (nel nostro caso il sito di progetto) è costituito dallo spettro di risposta elastico. Lo spettro di risposta elastico in accelerazione $S_e(T)$ è espresso da una forma spettrale (spettro normalizzato), riferita ad uno smorzamento convenzionale del 5%, moltiplicata per il valore della accelerazione orizzontale massima a_g su sito di riferimento rigido orizzontale. Sia la forma spettrale che il valore di a_g variano al variare della probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} .

La forma dello spettro di risposta elastico delle componenti orizzontali dipende da alcuni parametri (S , T_B , T_C e T_D), che variano in funzione del tipo di sottosuolo, ove S rappresenta un fattore che tiene conto del profilo stratigrafico del suolo di fondazione (categoria del suolo di fondazione - S_s) e della topografia S_T , ove $S = S_s \times S_T$, e T_B , T_C e T_D sono i periodi (s) che separano i diversi rami dello spettro.

A questo punto volendo usare il programma di calcolo che fornisce gli **spettri di risposta** rappresentativi delle componenti (orizzontali e verticale) delle azioni sismiche di progetto per il sito in esame è necessario fornire i seguenti parametri di input:

1. Coordinate geografiche sito: Longitudine λ_{ED50} : 11,76132° Latitudine ϕ_{ED50} : 45,66951°
2. Vita nominale della struttura: $V_N \geq 50$ anni
3. Classe d'uso: classe II
4. Coefficiente d'uso: $C_u = 1$
5. Periodo di riferimento: $V_R = 50$ anni
6. Categoria sottosuolo: B
7. Categoria topografica: T1
8. Coefficiente di smorzamento viscoso equivalente: **5%**

Il risultato, in termini dei parametri utilizzati per la definizione delle forme spettrali, è sintetizzato nella tabella di seguito:

	SL	P_{VR}	T_R	a_g	F_o	T_c^*	S	Tb	T_c	T_D	F_v
sle	Operatività	81%	30	0,441	2,48	0,24	1,20	0,12	0,35	1,78	0,70
sle	Danno	63%	50	0,590	2,48	0,25	1,20	0,12	0,36	1,84	0,81
slu	Salv. Vita	10%	475	1,662	2,39	0,30	1,20	0,14	0,42	2,26	1,31
slu	Collasso	5%	975	2,186	2,40	0,31	1,19	0,14	0,43	2,47	1,51

In particolare:

- Vita di riferimento, $V_R = 50$ anni
- Tempo di ritorno SLV, $T_r = 475$ anni
- Tempo di ritorno SLD, $T_r = 50$ anni
- Accelerazione orizzontale massima attesa sul bedrock, $a_g/g = \mathbf{0.170}$
- Accelerazione orizzontale massima attesa nel sito, $A_{max} = a_g/g \cdot S = 0.170 \cdot 1.20 = \mathbf{0.204}$

Data l'accelerazione orizzontale massima attesa, si riportano in allegato gli spettri di progetto in termini di pseudo-accelerazione in funzione del periodo di vibrazione, conformi al D.M. 14/01/2008 per suolo B, e per un valore del fattore di struttura q allo SLV (per es. $q=3$), funzione della capacità dissipativa anelastica del fabbricato.

In termini di spettro di progetto, l'accelerazione orizzontale cui sarà sottoposto il fabbricato varierà sia in funzione della struttura e dei materiali costituenti che dell'altezza dal piano di posa fondazioni.

L'azione del sisma si traduce in accelerazioni nel sottosuolo (effetto cinematico).

Dallo spettro di risposta e dai parametri da esso ricavati, si ottiene il **coefficiente sismico** K_{hk} :

Inerzia del terreno $K_{hk} = \beta_s \times S \times a_g/g = 0.28 \times 1.2 \times 0.170 =$	0,057
Coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima β_s (Tab. 7.11.I del NTU)	0,28

7.5 Comportamento del terreno granulare sotto l'azione dei carichi ciclici (sisma)

L'obiettivo del presente paragrafo è quello di capire lo stato di addensamento dei terreni granulari presenti e, conseguentemente, valutare la loro suscettibilità alla liquefazione.

La causa principale di tale fenomeno è dovuta alla nascita di sovrappressioni interstiziali, indotte dalle sollecitazioni di taglio cicliche, che provocano un comportamento simile a quello di un fluido.

Questi terreni, che si trovano in condizioni non drenate, subiscono, a seguito dell'azione delle onde sismiche di tipo S (trasversali), una perdita di resistenza al taglio, per la quale non sono più garantite le condizioni di stabilità, fino al raggiungimento di una nuova configurazione d'equilibrio compatibile con la nuova, diminuita, resistenza.

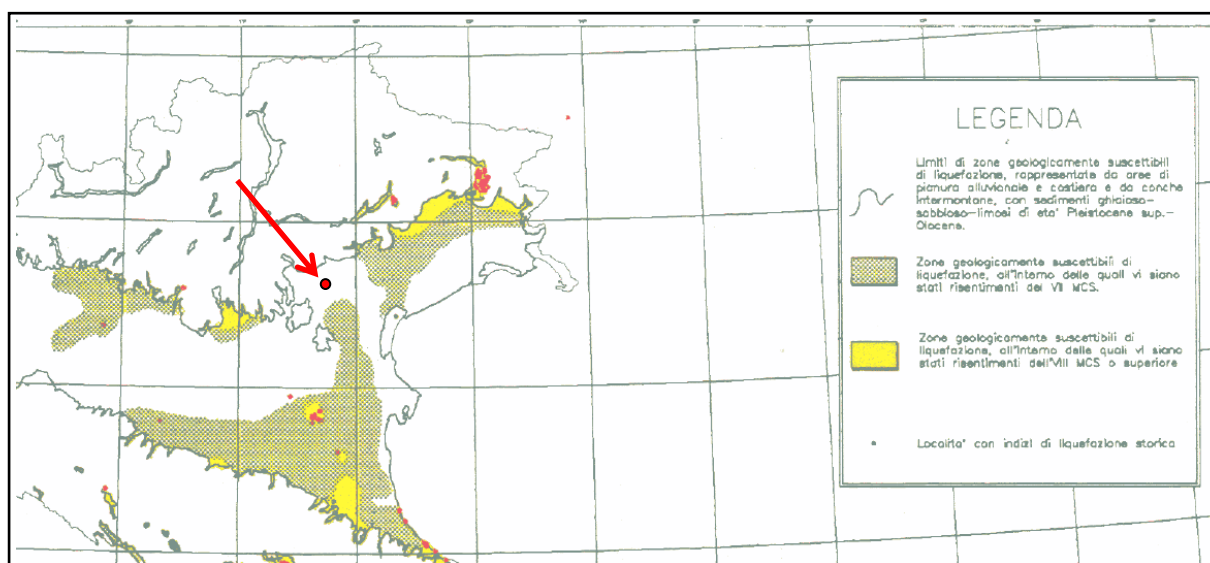
Durante la liquefazione le tensioni tangenziali mobilizzanti, indotte dal terremoto, incrementano le pressioni neutre in modo tale da rendere nulle le tensioni efficaci e quindi annullando la resistenza al taglio.

Il meccanismo di azione della liquefazione è così rapido che induce una riduzione di pressione efficace ad indice dei vuoti costante e dipende dallo stato di addensamento del terreno; per i terreni sciolti la riduzione di volume produce un incremento delle pressioni idrauliche mentre per i terreni densi il comportamento è inverso. Ne consegue che i terreni granulari sciolti sono suscettibili del fenomeno della liquefazione.

L'obiettivo del presente paragrafo è quindi quello di capire lo stato di addensamento dei terreni granulari presenti e, conseguentemente, valutare la loro suscettibilità alla liquefazione.

Il rischio dei terreni alla liquefazione appare minimo/trascurabile nelle zone del territorio oggetto di studio con terreni ove si è verificata l'assenza di acqua di falda (stimata a - 13.00 m. dal p.c.), e la presenza di terreno superficiale in prevalenza coesivo e successivamente misto a sabbie e ghiaie per i primi 1.80 metri di profondità circa di sottosuolo, a cui fanno seguito la presenza di strati ghiaioso sabbiosi con ciottoli di elevato addensamento.

Infine in seguito alla consultazione della Carta d'Italia della Rappresentazione delle aree suscettibili a liquefazione (tratta da ISMES - Istituto Sperimentale Modelli e Strutture), si evince come la zona di progetto non rientra all'interno di aree geologicamente e sismicamente suscettibili di liquefazione, e che storicamente siano state interessate da un fenomeno di questo tipo.



Mappa zone suscettibili a liquefazione (da ISMES - Istituto Sperimentale Modelli e Strutture)

Parametri sismici e spettri di risposta

Coordinate geografiche della località in esame				
Input da Comuni d'Italia	LON	LAT	Tolleranza	
Località	[°]	[°]	[°]	[km]
	11,761	45,670	0,001	0,136

Coordinate geografiche dei 4 punti del reticolo				
ID	LON	LAT	DIST [°]	[km]
11631	11,775	45,673	0,010	1,133
11630	11,704	45,672	0,040	4,467
11853	11,777	45,623	0,048	5,318
11852	11,705	45,622	0,062	6,868

VITA DELLA STRUTTURA

Vita nominale V_N 50 [anni]

Classe d'uso C_u II

Vita di riferimento V_R 50 [anni]

CARATTERISTICHE SISMICHE TERRENO

Topografia T1

Coeff. topografico S_T 1,0

Categoria suolo B

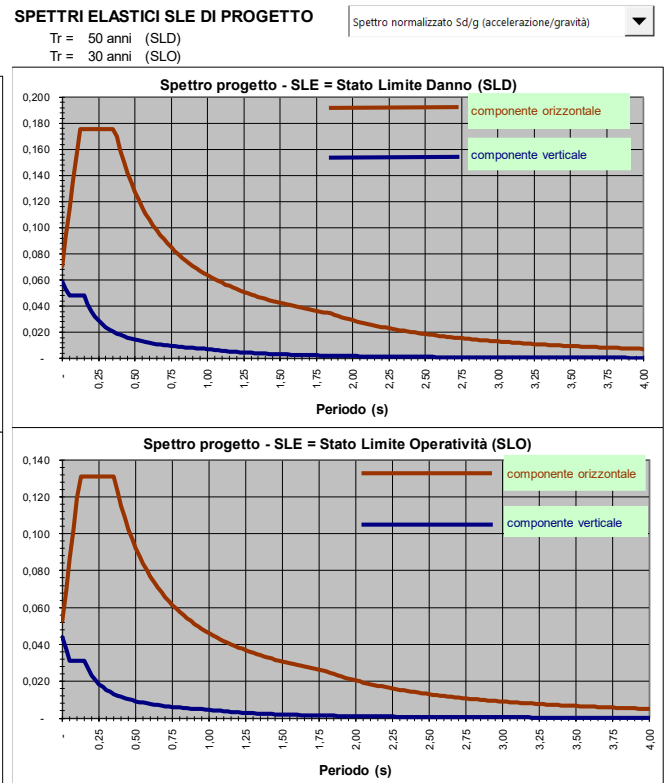
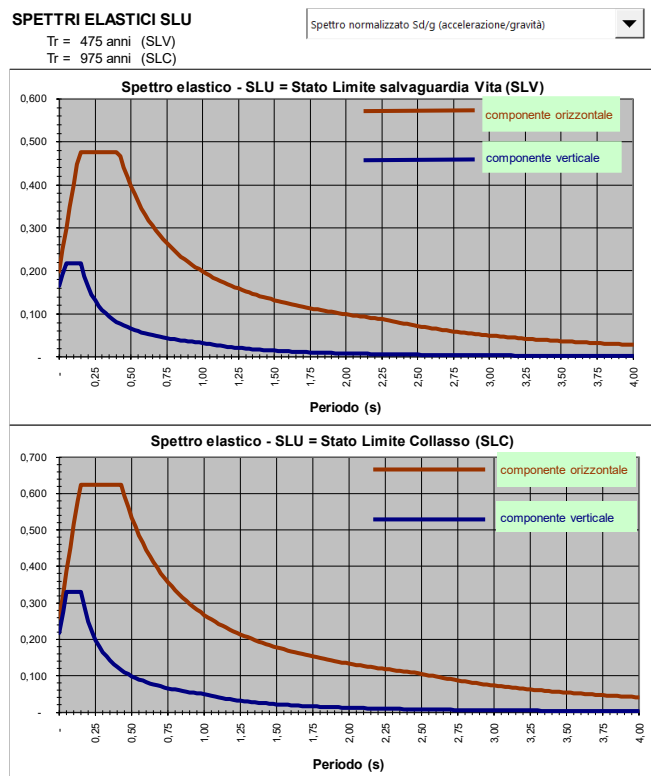
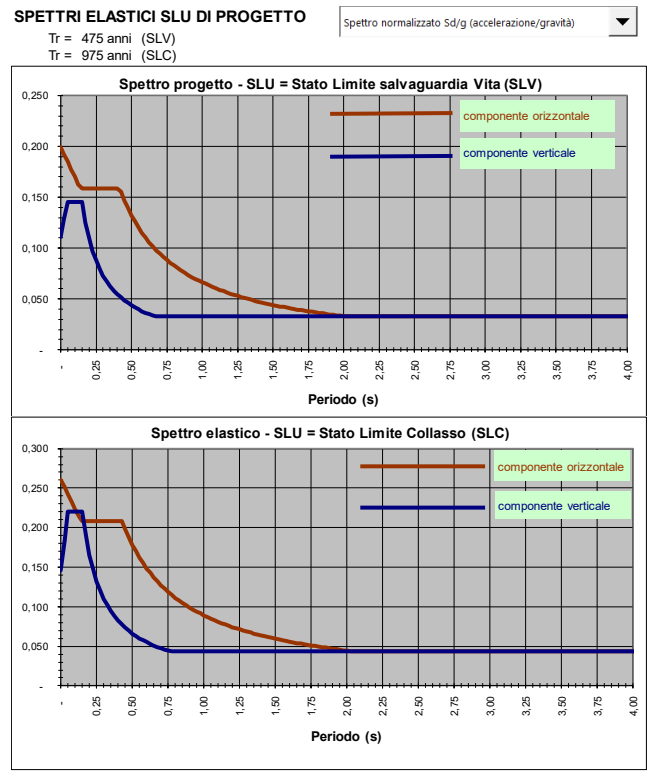
	SL	P_{IR}	T_R	a_g	F_a	T_c^*	S	Tb	T_c	T_D	F_v
sle Operatività	81%	30	0,441	2,48	0,24	1,20	0,12	0,35	1,78	0,70	
sle Danno	63%	50	0,590	2,48	0,25	1,20	0,12	0,36	1,84	0,81	
slu Salv. Vita	10%	475	1,662	2,39	0,30	1,20	0,14	0,42	2,26	1,31	
slu Collasso	5%	975	2,186	2,40	0,31	1,19	0,14	0,43	2,47	1,51	

SMORZAMENTO E FATTORE DI STRUTTURA

Smorzamento viscoso equivalente: $\xi = 5,0$

Behavior factor adottato: $q = 3,00$ ← sisma orizzontale

Behavior factor adottato: $q = 1,50$ ← sisma verticale



7.6 Analisi sismica del tipo HVSr

La tecnica dei rapporti spettrali o HVSr (Nakamura, 1989) è completamente non invasiva, molto rapida, si può applicare ovunque e non necessita di nessun tipo di perforazione, né di stendimento di cavi, né di energizzazioni esterne diverse dal rumore ambientale.



Sismografo triassiale in dotazione con sensori ortogonali da 4,5 Hz e convertitore A/D 24 bit

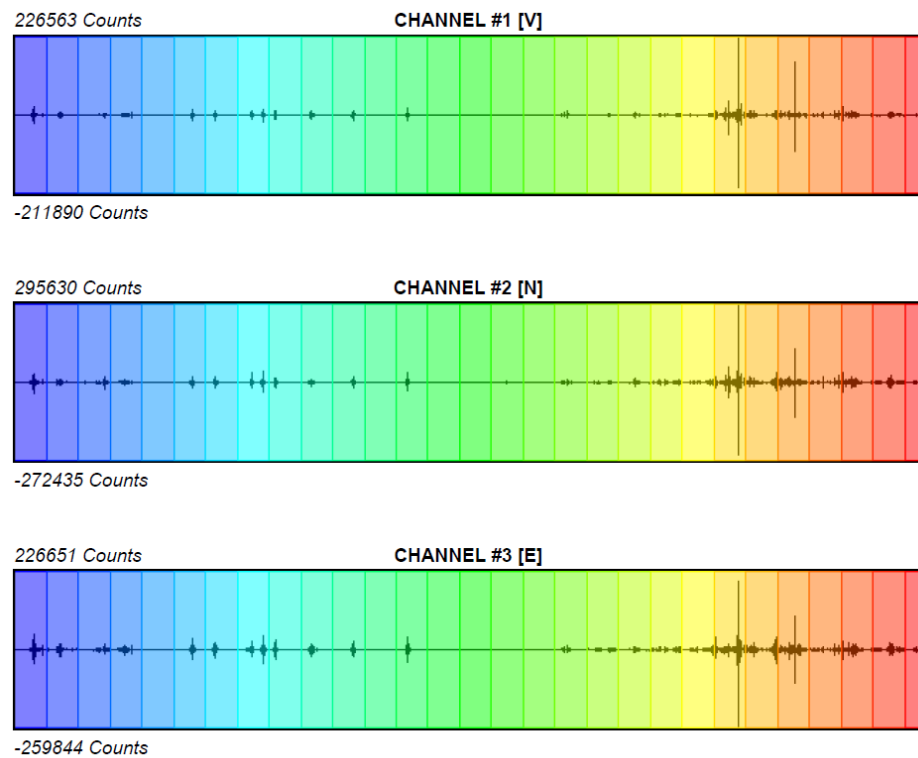
Nome progetto: Indagine HVSr
Committente: Comune di Cittadella
Cantiere: Nuova costruzione di edificio unifamiliare
Località: Via Cavin Lungo - Cittadella (Pd)
Data: 11/05/2023 - ore 10.35.37

Tracce in Input

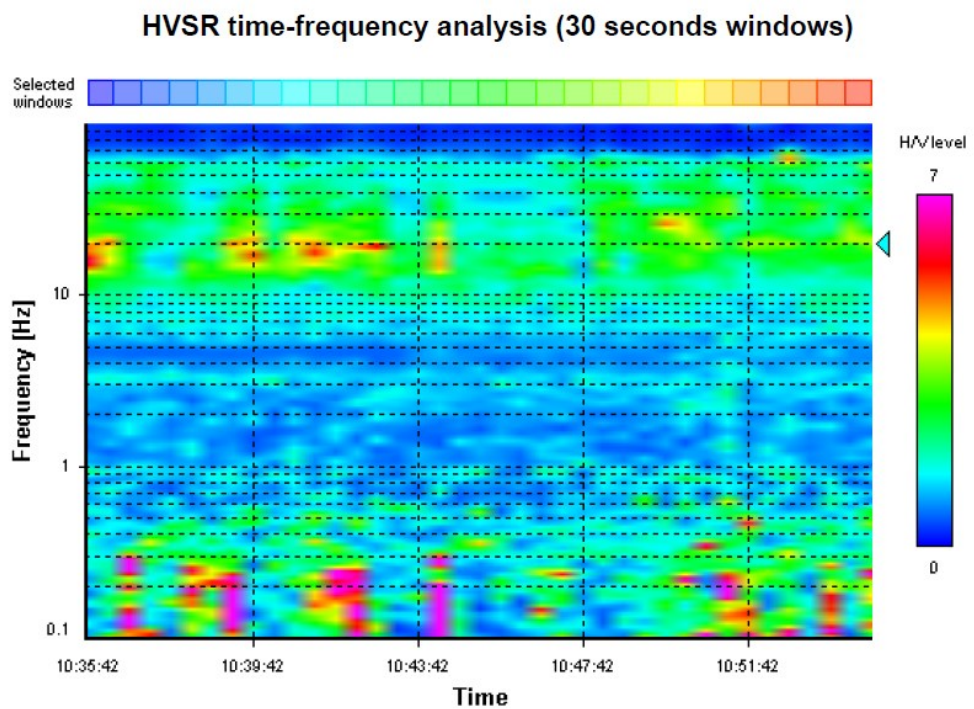
Dati riepilogativi:

Numero tracce:	3
Durata registrazione:	1200 s
Frequenza di campionamento:	300 Hz
Numero campioni:	360000
Direzioni tracce:	Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale

Grafici tracce della terna di sensori ortogonali:

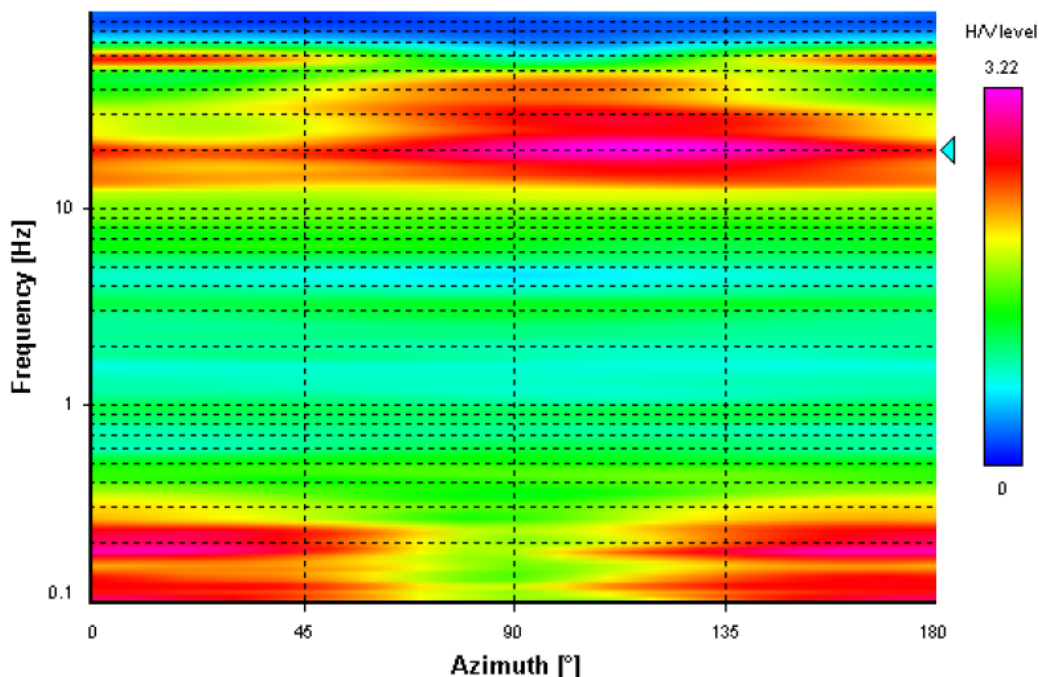


L'acquisizione temporale evidenzia una certa rumorosità di fondo discreta intervallata da alcuni eventi distinti (traffico veicolare)



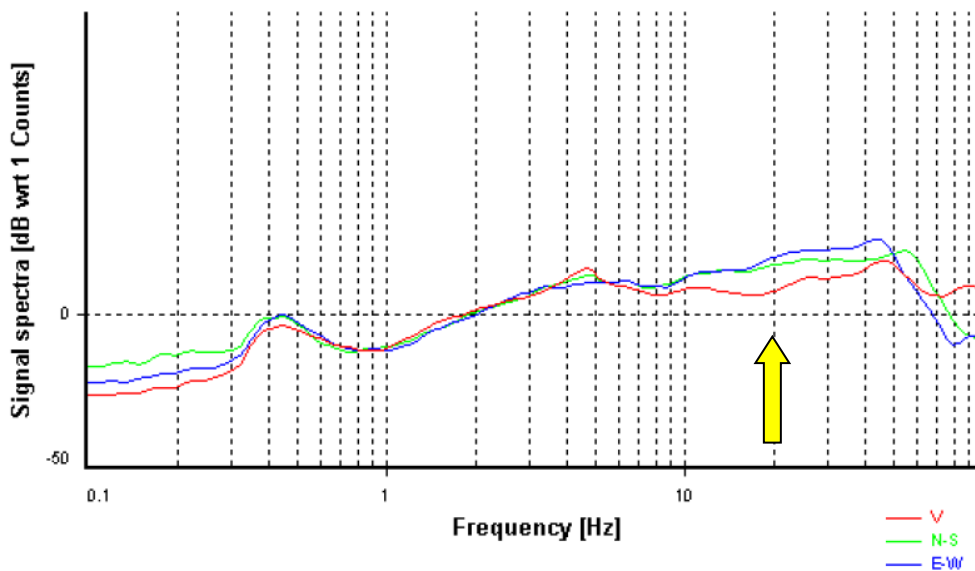
Stabilità del segnale (serie temporale H/V); si nota una certa continuità nel tempo in particolare del picco a circa 20 Hz

HVSR directional analysis



Direzionalità del segnale (si nota un evidente segnale a 20 Hz circa che risulta non polarizzato pertanto di probabile natura litologica)

Signal spectra average



HVSR: Spettri dei singoli sensori; in rosso sensore verticale, in blu e verde sensori orizzontali; le differenze tra le ampiezze di spettro tra i sensori orizzontali e quello verticale determinano i massimi della funzione H/V; laddove tutte le componenti subiscono un aumento dell'ampiezza spettrale si è in presenza di transienti, mentre il picco litologico è riconoscibile laddove le componenti orizzontali aumentano mentre quella verticale contestualmente diminuisce (freccia gialla)

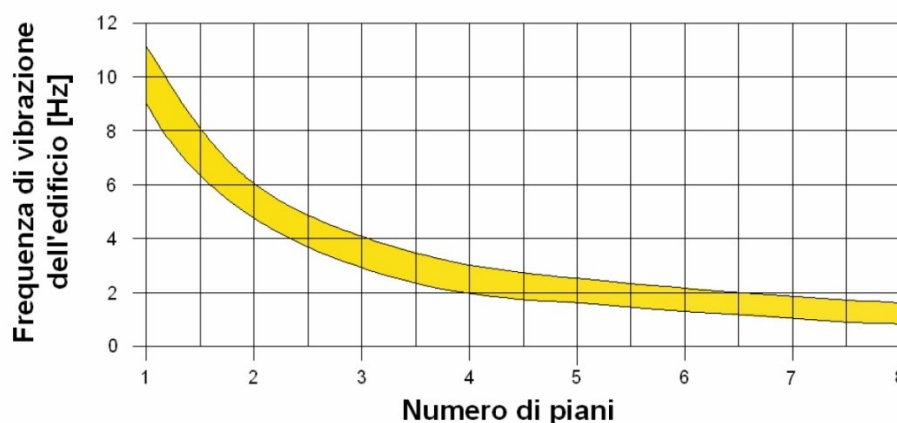
Tale tecnica costituisce una parte importante nella valutazione del rischio sismico di un determinato sito perché permette di calcolarne la frequenza fondamentale o frequenza di risonanza.

La **frequenza caratteristica di risonanza** di un sito rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici/strutture in termini di risposta sismica locale. Si dovranno quindi adottare adeguate precauzioni nell'edificare edifici aventi la medesima frequenza di vibrazione del terreno per evitare effetti di “doppia risonanza”, estremamente pericolosi.

La **frequenza fondamentale di risonanza** di una struttura può essere misurata eseguendo le misurazioni all'interno della stessa. In seguito sarà possibile confrontarla con quella del terreno su cui sorge per comprendere al meglio il rischio sismico a cui è sottoposto l'edificio in caso di sisma. Infatti la pericolosità è dovuta per l'effetto della doppia risonanza terreno – struttura (esistente o di progetto) laddove risultino coerenti i valori della frequenza di sito e quelli della struttura in analisi, per la quale il periodo fondamentale, se non direttamente misurato, può essere preliminarmente stimato dalla relazione:

$$T_{ed} \approx Ch^{3/4} \approx n/10$$

dove: T_{ed} è il periodo dell'edificio, h è la sua altezza ed n è il numero di piani; mentre il parametro $C = 0,050$ (edifici in muratura), $C = 0.075$ (edifici in muratura e calcestruzzo), $C = 0.085$ (edifici a telaio in calcestruzzo).



Le vibrazioni sismiche ambientali (rumore sismico) sono onde sismiche di bassa energia con ampiezze dell'ordine di 10^{-4} - 10^{-2} mm (Okada, 2003). In riferimento al contenuto in frequenza, il rumore sismico è anche chiamato microtremore se contiene alte frequenze (in genere maggiori di 0.5 Hz) e microsisma per basse frequenze. Per quanto riguarda l'origine del rumore sismico, è certo che le sorgenti dei microsismi sono le perturbazioni atmosferiche sugli oceani che si propagano come onde superficiali sui continenti, mentre le sorgenti dei microtremori sono le attività antropiche come il traffico veicolare, le attività industriali etc. e si propagano come onde superficiali di Rayleigh. Le misure puntuali di rumore sismico possono essere utilizzate per la stima sia degli effetti di sito (funzione di amplificazione), sia degli effetti sulle costruzioni nel rispetto della normativa che ne stabilisce la soglia massima (UNI9916).

In relazione agli effetti di sito, l'analisi delle misure di rumore sismico può essere condotta con tre metodi:

- Spettri di Fourier
- Rapporti spettrali
- Rapporti spettrali H/V

Tra questi quello che sembra fornire i risultati migliori è quello dei Rapporti spettrali H/V noto anche come metodo HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) o metodo di Nakamura.

La tecnica dei rapporti spettrali H/V consiste nel calcolo del rapporto degli spettri di Fourier del rumore nel piano orizzontale H (generalmente lo spettro H viene calcolato come media degli spettri di Fourier delle componenti orizzontali NS ed EW) e della componente verticale V. Il metodo è applicabile alle misure di rumore registrate in una singola stazione posta su sedimenti. Il metodo è stato introdotto da scienziati giapponesi agli inizi degli anni '70, tra i quali Nogoshi e Igarashi (1971) e Shiono et al. (1979), che indagarono sul significato fisico del rapporto H/V e mostrarono la sua relazione diretta con la curva di ellitticità delle onde di Rayleigh. Essi conclusero che il picco massimo di ampiezza si verifica alla frequenza di risonanza fondamentale della copertura di terreni. Nel 1989, Nakamura propose in inglese il rapporto H/V come stima affidabile della funzione di trasferimento delle onde S per un dato sito. Le argomentazioni usate da Nakamura sono estremamente qualitative e si basano sull'ipotesi che i microtremori siano originati da sorgenti molto locali, come il traffico vicino al sismometro, e siano onde di Rayleigh che si propagano in un solo strato su un semispazio. Tale tecnica, ampiamente utilizzata da anni nel settore sismologico, di recente viene sempre più impiegata in campo geotecnico / ingegneristico per derivare i seguenti parametri:

- la frequenza fondamentale di risonanza F_0 dei terreni presenti nel sottosuolo;
- la stima del profilo del terreno in termini delle velocità V_s e V_p e della densità e quindi delle velocità V_s nei primi 30 m (ed oltre) dal piano campagna, attraverso opportuni metodi di inversione;
- la frequenza fondamentale di risonanza di una struttura e i relativi modi di vibrare.

ELABORAZIONE HVSR

Rapporto spettrale H/V

Strumento: SARA SR04-GEOBOX 4.5 Hz

Formato dati: 16 byte

Fondo scala [mV]: 51

Inizio registrazione: 11/05/2022 - ore 10.35.37

Fine registrazione: 11/05/2022 10:55:37

Nomi canali: NORTH-SOUTH; EAST-WEST; UP-DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h 20' 00"

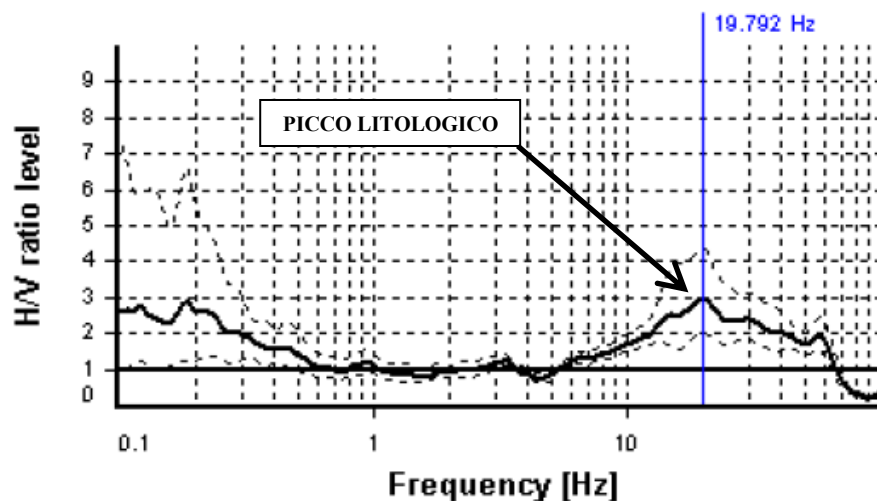
Analizzato 99.68% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 300 Hz

Lunghezza finestre: 60 s

Tipo di liscio: Konno-Ohmachi

Liscio: 5%

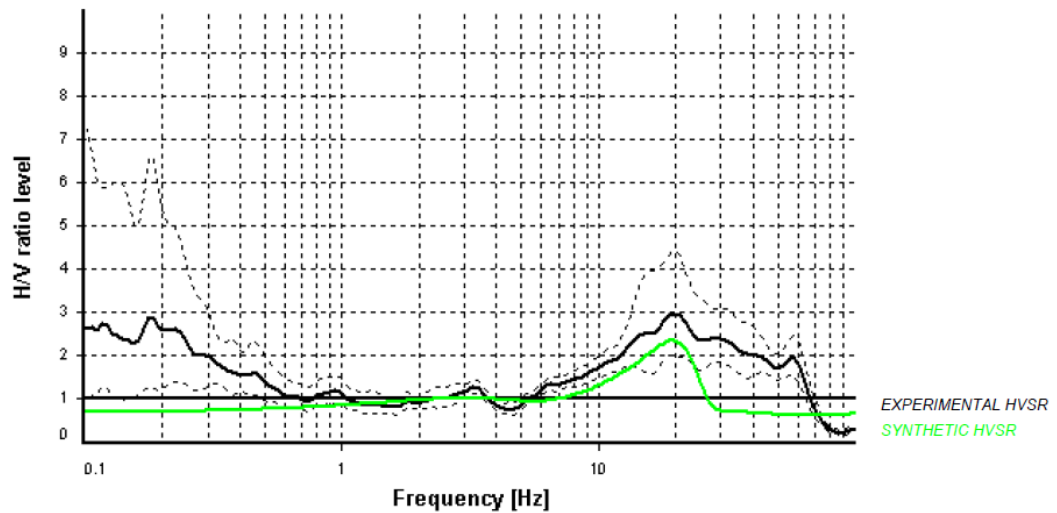
Risultati:**CRITERI SESAME**Grafici rapporto spettrale H/V

HVSr curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	29 valid windows (length > 0.51 s) out of 29	OK
$n_c(f_0) > 200$	23737.4 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 29	OK
HVSr peak clarity criteria		
$\exists f \text{ in } [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	8.21434 Hz	OK
$\exists f^+ \text{ in } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	62.94989 Hz	OK
$A_0 > 2$	2.97 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	4.52% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	4.85131 >= 0.98958	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.49568 < 1.58	OK
Overall criteria fulfillment		OK

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

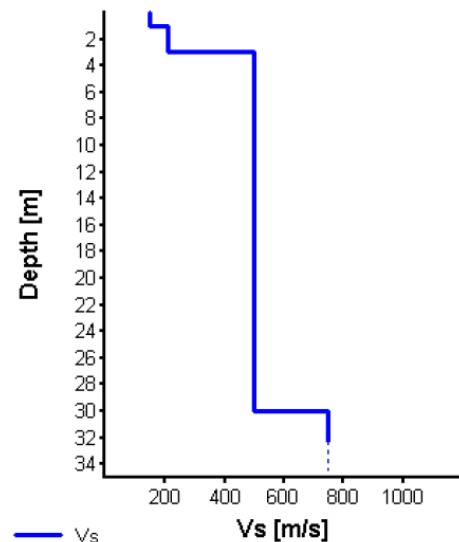
Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30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

Synthetic HVSR modelling



Fitting della curva H/V sperimentale; corrispondenza tra la curva sperimentale (in nero) e la curva di sintesi (in verde)

H [m]	D [m]	Vp [m/s]	Vs [m/s]	ρ [kg/m ³]
1	1	281	150	1800
2	3	393	210	1800
27	30	935	500	1800
-	> 30	1403	750	1800



$V_{s_{eq}} 30 = 427$ m/s (Offset = 0 m)

Modello sismostratigrafico HVSR e Profilo di Vs mediante inversione
(curva migliore corrispondente ai valori di confidenza più bassi)

Analisi dei risultati

La modellazione in onde di taglio, indica la presenza di una successione di sismostrati con velocità di taglio crescenti in profondità (non sono presenti inversioni di velocità).

Si riscontrano, in generale, un primo sismo-strato superficiale dello spessore di circa 1.00 metro con valori di $V_s = 150$ m/s corrispondente a terreno limoso-argilloso consistente talora misto a ghiaie e sabbie, poi altro sismo-strato con $V_s = 210$ m/s e spessore stimato in circa 2.00 m corrispondente a terreno ghiaioso-sabbioso in matrice argillosa tendente a divenire sempre più addensato andando in profondità. In successione si registra un incremento delle velocità delle onde di taglio fino a 500 m/s per la presenza di ghiaie e ghiaie sabbiose grossolane con ciottoli sempre con addensamento crescente andando in profondità, per uno spessore di circa 27 metri. L'ammasso roccioso più o meno compatto o quel materiale che, dal punto di vista sismico, si comporta come tale (ghiaie, talora cementate / conglomerati: bedrock geofisico – $V_s \approx 750$ m/s) è individuabile ad una profondità maggiore di 30 metri.

Per quanto riguarda l'analisi della curva H/V si evince quanto segue:

La curva H/V presenta dei picchi non molto evidenti (ampiezza del rapporto $H/V < 3.0$).

Vi è altresì la presenza di un picco un po' più evidente alla frequenza di circa 20 Hz correlabile con un contrasto superficiale, al passaggio quindi tra la copertura superficiale limoso-sabbioso-argillosa con inclusi ghiaiosi, e le ghiaie vere e proprie sottostanti (profondità di $2.50 \div 3.00$ metri).

Nella tabella precedente (SESAME Criteria) è illustrato la qualità del segnale acquisito in base al progetto SESAME (Linee guida 2005). Per l'affidabilità della Curva HVSR devono essere positivi i primi tre parametri mentre per avere un chiaro e pulito segnale del picco massimo devono essere soddisfatti almeno cinque dei sei criteri successivi.

La frequenza fondamentale di sito è quindi determinabile con precisione poiché sono soddisfatti tutti i criteri del protocollo SESAME per un picco chiaro ed isolato, che può essere identificato nel picco a $f_0 = 20.205 \pm 4.851$ Hz. Tale valore è di interesse ingegneristico per strutture elevate (maggiori di 6 piani).

STIMA $V_{s(eq)}$

Dai profili sismo stratigrafici è possibile calcolare il parametro V_s (eq), ai sensi del D.M. 17/01/2018, attraverso la seguente espressione, quindi stimare la categoria del suolo di fondazione:

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

dove h_i e $V_{s,i}$ indicano lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i-esimo per un totale di N strati presenti nei 30 metri superiori e H la profondità del substrato definito come la formazione costituito da roccia o terreno molto rigido caratterizzato da $V_s > 800$ m/s (se tale substrato è a profondità maggiori di 30 m allora $H = 30$). La proposta della nuova normativa conclude che il sito verrà classificato sulla base del valore di V_s (eq) eliminando di fatto le categorie S1 e S2 per le quali si dovrà ricorrere ad una analisi sismica di livello 3 (Risposta Sismica Locale). Viene eliminata inoltre la possibilità di ricavare la categoria del sottosuolo mediante N_{spt30} e $Cu30$; sostanzialmente viene enfatizzata l'importanza del parametro V_s che com'è noto è il parametro geofisico che meglio rappresenta la variabilità geotecnica dei materiali geologici presenti nel sottosuolo.

In base alle determinazioni svolte, si evince che la velocità media delle onde di taglio fino alla profondità di 30 m dal piano campagna (p.c.), e dalle quote di – 1.00 m e di – 2.00 m risulta:

Valore Vs eq dal p.c.: 427 m/s $\pm$ 20%

Valore Vs eq a -1.00 m dal p.c.: 463 m/s $\pm$ 20%

Valore Vs eq a -2.00 m dal p.c.: 488 m/s $\pm$ 20%

Il valore numerico del parametro di cui sopra permette di stimare la seguente categoria sismica del suolo di fondazione:

Categoria	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra <u>360 m/s e 800 m/s</u>
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.



Foto piazzamento dello strumento per esecuzione indagine HVSR sul lotto di progetto

8 – RIASSUNTO DATI GEOTECNICI E GEOFISICI PER IL LOTTO IN ESAME

Da indagini geologiche eseguite su zone limitrofe all'area in esame, e dall'esame dell'indagine penetrometrica eseguita al centro dell'edificio di progetto, si osserva una discreta omogeneità della successione stratigrafica: è presente infatti un livello superficiale di carattere argilloso talora con inclusi ghiaiosi di spessore variabile tra 0,50 m a 1,00 m circa a partire dal piano campagna. Al di sotto si trovano terreni di natura incoerente, costituiti in prevalenza da sabbie ghiaiose o ghiaie sabbiose.

Dalla carta delle isofreatiche, si è riscontrato come il livello piezometrico si trova al di sotto del lotto di progetto, stimato alla profondità di circa 13.00 m dal piano campagna.

Inoltre si può ritenere e lo si è verificato da indagine HVSR eseguita nel lotto di progetto, che la categoria sismica del sottosuolo è di Tipo B.

A tale categoria, come definito nella tab. 3.2.II del D.M. 17/01/2018, appartengono *rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $v_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).*

9 – CONCLUSIONI

L'area in esame, dall'analisi di quanto espresso nei capitoli precedenti, presenta una sostanziale uniformità morfologica e geolitologica. Le coperture sedimentarie sono poco differenziate sia nei caratteri tessiturali, che nelle geometrie.

Le valutazioni sullo spessore dei sedimenti di pianura sono state condotte attraverso considerazioni di carattere generale desumibili dalla letteratura scientifica nota, che si ritengono sufficientemente affidabili per lo studio in questione, correlate con l'esecuzione di una prova penetrometrica dinamica e di una prova sismica del tipo HVSR.

Andando più nel particolare, esaminando eventuali effetti di amplificazione locale si riscontra che:

effetti dovuti alla stratigrafia: nel caso in esame, data la granulometria prevalentemente ghiaiosa dei terreni sotto falda e la profondità elevata del livello piezometrico (stimato a circa 13.00 m dal piano campagna), non si rende necessaria la verifica della suscettibilità alla liquefazione del terreno di fondazione.

effetti di bordo: non essendo presenti nell'area depositi con geometria irregolare e/o con materiali a diversa rigidità, le riflessioni o rifrazioni delle onde sismiche ai bordi di tali depositi non sono rilevanti.

effetti topografici: non sono stati considerati gli effetti di amplificazione topografica poiché l'area interessata dallo Studio di Microzonazione di Primo Livello interessa unicamente un'area di pianura.

Non si riscontrano infine pertanto particolari caratteristiche del sito che possano generare effetti di amplificazione sismica locale, e quanto riportato nella presente relazione, risulta coerente con quanto descritto nello studio di *Microzonazione Sismica – Relazione Illustrativa di II° e III° livello del Comune di Cittadella* alla data del 22.07.2022.

Selvazzano D., lì 14 giugno 2023

Dott. Geol. Alberto Dinali

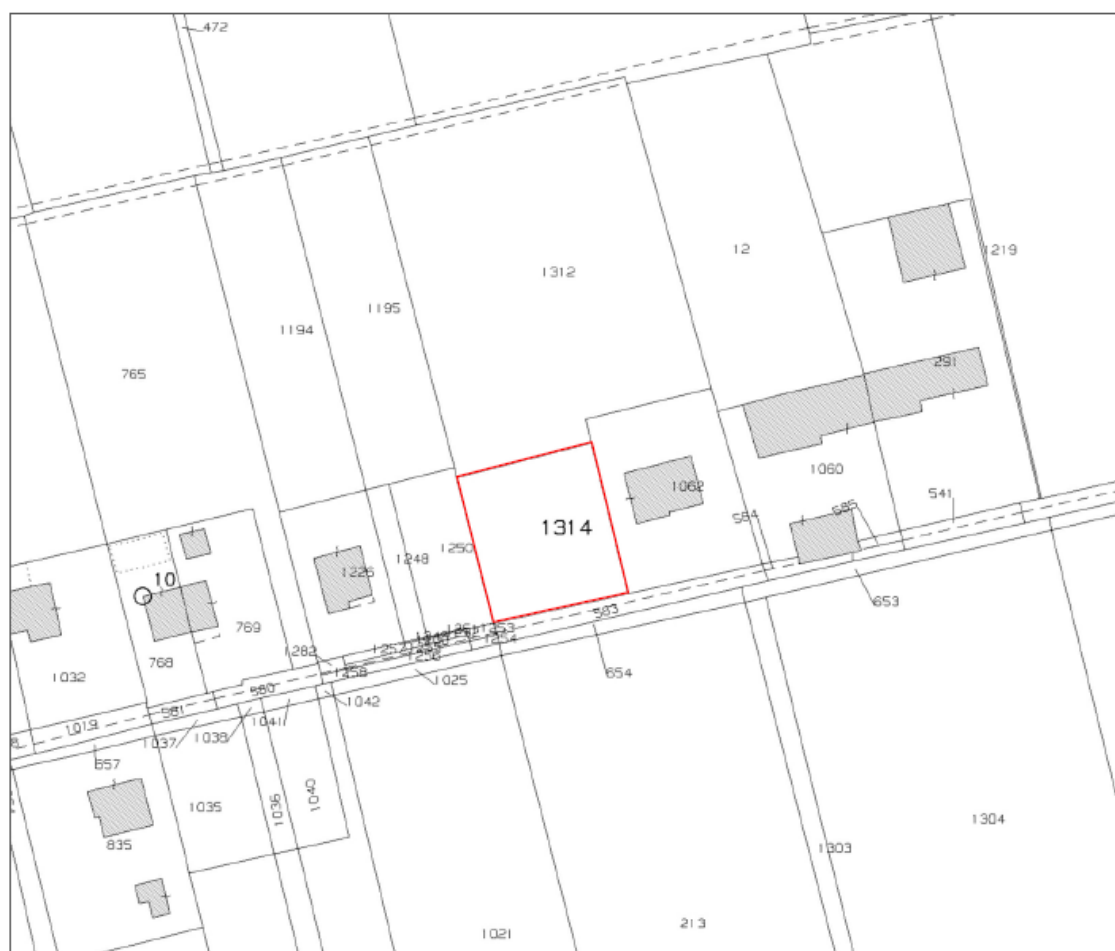


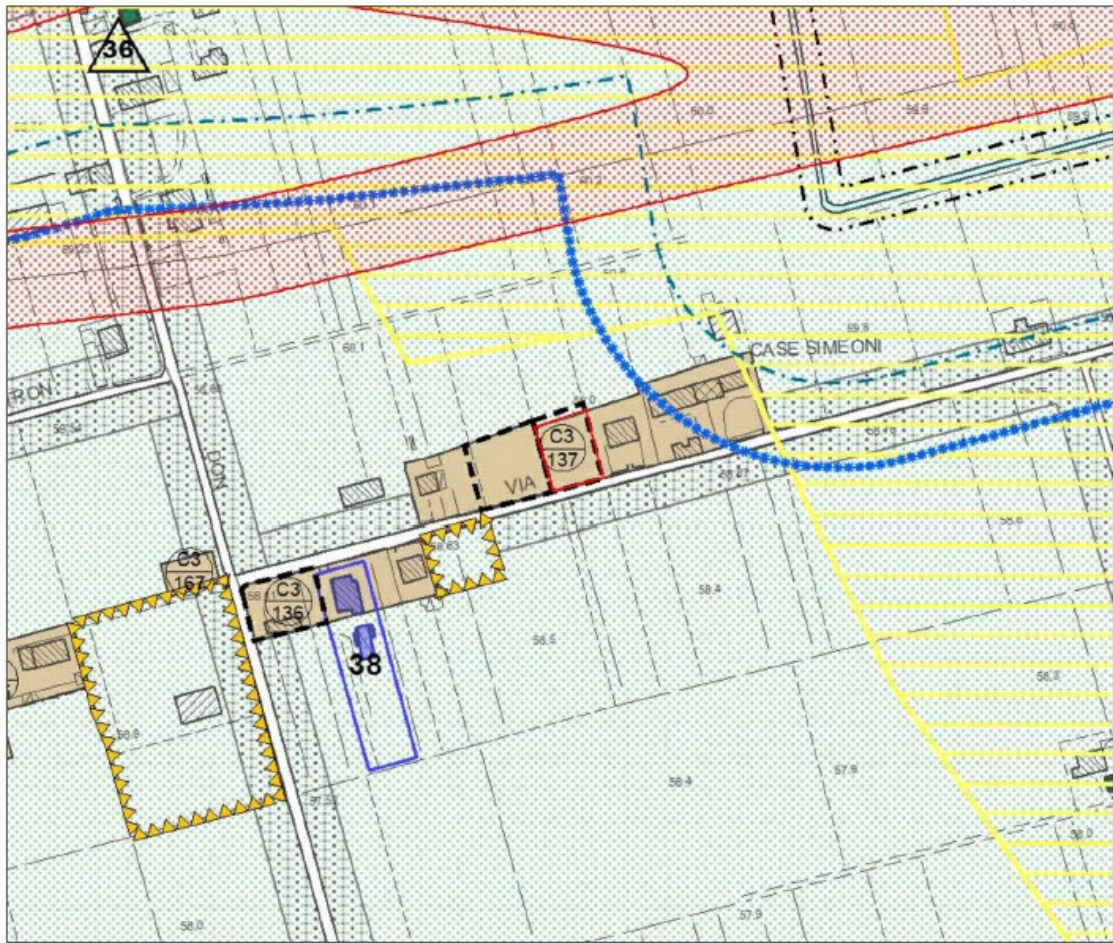


Inquadramento generale su ortofoto (da Google Maps)



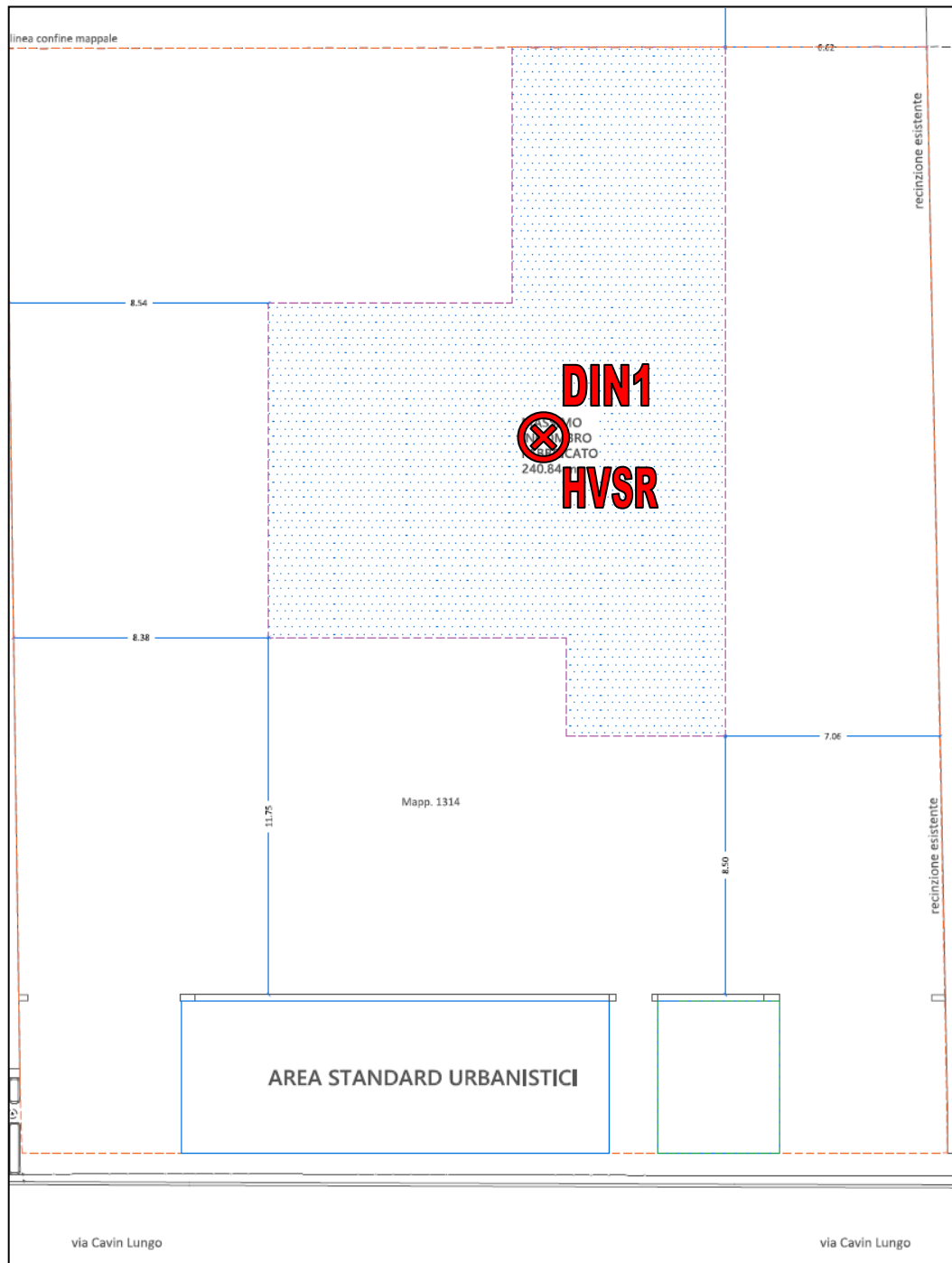
Inquadramento particolare su ortofoto (da Google Maps)





ESTRATTO P.I. 1:5000
Z.T.O. C3/137 Residenziali nei nuclei "art. 106"
Comparto Urbanistico "art. 13"





**Planimetria del lotto di progetto con ubicazione delle indagini eseguite
(DIN = prova penetrometrica – HVSr = indagine sismica)**

DICHIARAZIONE DI ASSENSO DEI TERZI TITOLARI DI ALTRI DIRITTI REALI
(assenso a presentare pratiche edilizie SUE/SUAP)

La sottoscritta PIEROBON DANIELA, nata a CITTADELLA (PD) il 28/03/1960 cod. fisc;
PRBDNL60C68C743Z, residente a CITTADELLA (PD) in Via CAVIN LUNGO n°50/1, in relazione alla
pratica edilizia PUA CAVIN LUNGO sull'area edificabile sita a CITTADELLA (PD) in Via CAVIN LUNGO
contraddistinto al catasto al foglio 18 mapp 1314 consapevole della responsabilità penale, in caso di
falsità in atti e di dichiarazione mendace, ai sensi degli articoli 48 e 76 del DPR 28/12/2000 n. 445,

DICHIARA

di essere titolare del seguente diritto reale, sull'immobile oggetto della richiesta

(1) COMPROPRIETARIO

(1) Indicare se: com - proprietario / Usufruttuario / affittuario/ Titolare di diritto d'uso o di abitazione / Enfiteuta/
Affittuario agrario/ Titolare di servitù prediale / Superficiario/ Concessionario di terre incolte /Concessionario beni
demaniali / Beneficiario di provvedimento giurisdizionale o amministrativo.

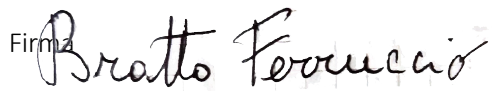
AUTORIZZA

come previsto dalla modulistica regionale, sezione "titolarità dell'intervento",

Il Sig. BROTTTO FERRUCCIO., nato a CITTADELLA (PD) il 10/06/1957 cod. fisc;
BRTFRC57H10C743L, residente CITTADELLA (PD) in Via CAVIN LUNGO n°50/1, titolare del seguente
diritto di comunione volontaria sull'immobile oggetto della Richiesta

a presentare la Pratica edilizia relativa all'immobile come sopra identificato, che dichiara di aver
visionato e di condividerne il contenuto.

Firma 

Firma 

Ai sensi dell'art. 38, comma 3, del DPR 28/12/2000 n. 445, alla presente dichiarazione viene allegata la copia di un documento
d'identità valido del sottoscrittore.

Nel caso di inoltro di pratica digitale, questa dichiarazione deve essere firmata con firma autografa, scansionata e firmata
digitalmente dal procuratore, per attestarne la conformità all'originale cartaceo.