

[illegible]

INDICE

1. PREMESSA.....	3
1.1. Normativa di riferimento	3
2. INQUADRAMENTO DEL SITO	4
2.1. Inquadramento geografico	4
2.2. Contesto geologico e geomorfologico	5
2.3. Inquadramento idrogeologico	6
2.4. Inquadramento sismico	8
2.5. Faglie capaci.....	12
2.6. Vincoli di carattere geologico.....	15
3. INDAGINE GEOGNOSTICA.....	16
3.1. Prove penetrometriche	16
3.2. Indagine sismica	19
3.2.1. Indagine MASW	19
3.2.2. Indagine HVSr.....	20
4. MODELLO LITOSTRATIGRAFICO	22
5. MODELLO SISMICO.....	23
5.1. Azione sismica di base.....	23
5.2. Definizione della categoria topografica	24
5.3. Risultati dell'indagine MASW	24
5.4. Verifica alla liquefazione	25

RELAZIONE GEOLOGICA

RISTRUTTURAZIONE E MIGLIORAMENTO SISMICO DELLA PALAZZINA DEL PREFETTO
DEL COMPLESSO "CASERMA REGINATO" SITO IN VIA PRACCHIUSSO A UDINE
PROGETTO ESECUTIVO

R.T.P.:

Sinergo Spa
Phoenix Archeologia Srl
Elisa Sirombo

RELAZIONE GEOLOGICA

1. PREMESSA

Il presente documento costituisce la relazione geologica del **progetto esecutivo la ristrutturazione ed il miglioramento sismico della Palazzina del prefetto del complesso "Caserma Reginato", sita in via Pracchiuso n. 16 a Udine.**

Il compendio denominato Ex "Caserma Reginato" è destinato ad ospitare i nuovi uffici della Prefettura – Ufficio territoriale del Governo di Udine. Inoltre, sempre nell'ambito dello stesso compendio, è previsto di allocare, nella palazzina adiacente al chiostro, il nuovo alloggio del Prefetto di Udine.

Gli interventi previsti riguardano il consolidamento delle strutture, l'efficientamento energetico, la ristrutturazione completa degli interni e degli esterni nonché la realizzazione completa dei nuovi impianti al fine di adibire la palazzina ad uso residenziale.

Per la caratterizzazione geologica e sismica del sottosuolo in esame è stata eseguita dalla società "Geologia Tecnica s.a.s" di Este (PD) un'indagine in sito con l'esecuzione delle seguenti attività:

- 1 prova di sismica passiva con metodo Nakamura HVSR
- 1 prova di sismica attiva con metodo MASW
- 2 prove penetrometriche dinamiche fino alla prof. max di 4,40 m dal p.c..

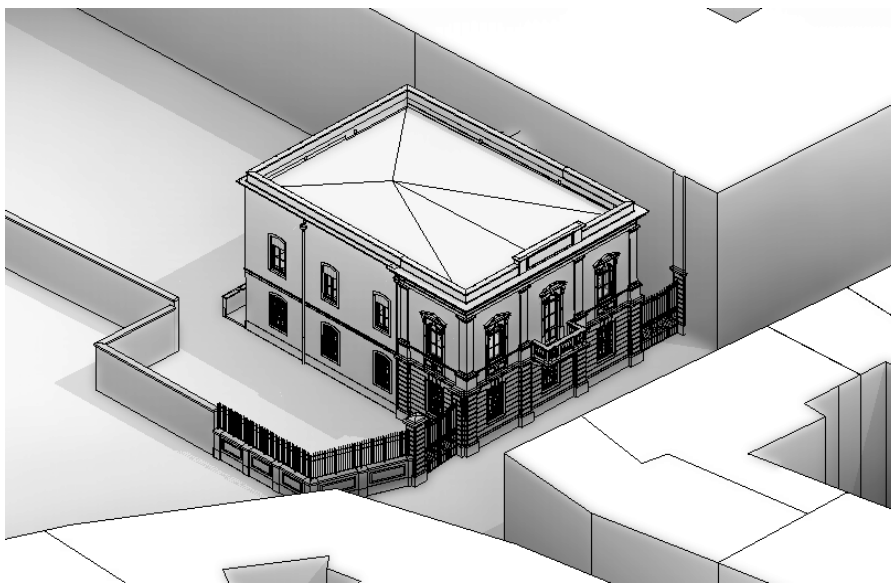


Figura1 - Veduta tridimensionale del progetto

1.1. Normativa di riferimento

Il D.M. 17.01.2018 "Aggiornamento Norme tecniche per le costruzioni", al paragrafo 6.1.2 delle N.T.C. 2018 si specifica che "le scelte progettuali devono tener conto delle prestazioni attese dalle opere, dei caratteri geologici del sito e delle condizioni ambientali. I risultati dello studio rivolto alla caratterizzazione e modellazione geologica, dedotti da specifiche indagini, devono essere esposti in una specifica relazione geologica." In linea quindi con la normativa viene presentata la modellazione geologica del sito, ottenuta unificando tutte le informazioni disponibili relative alla caratterizzazione del sottosuolo.

2. INQUADRAMENTO DEL SITO

2.1. Inquadramento geografico

Come anticipato in premessa il palazzo oggetto di intervento è parte del complesso "Caserma Reginato", ex ospedale militare, sita in via Pracchiuso n. 16 nel centro storico di Udine.

L'ambito di intervento comprende la palazzina esistente di due piani fuori terra e le pertinenze esterne. L'edificio ha l'affaccio sud (prospetto principale) verso via Pracchiuso, ed è ubicata ad est del chiostro dell'ex ospedale. L'edificio è isolato tuttavia presenta un volume vetrato al primo piano collegato all'ex ospedale sul lato est.

L'area rientra nella carta tecnica regionale 1:5000 elemento 066112 Udine (Figura 3).



Figura 2 – Inquadramento del sito su ortofoto

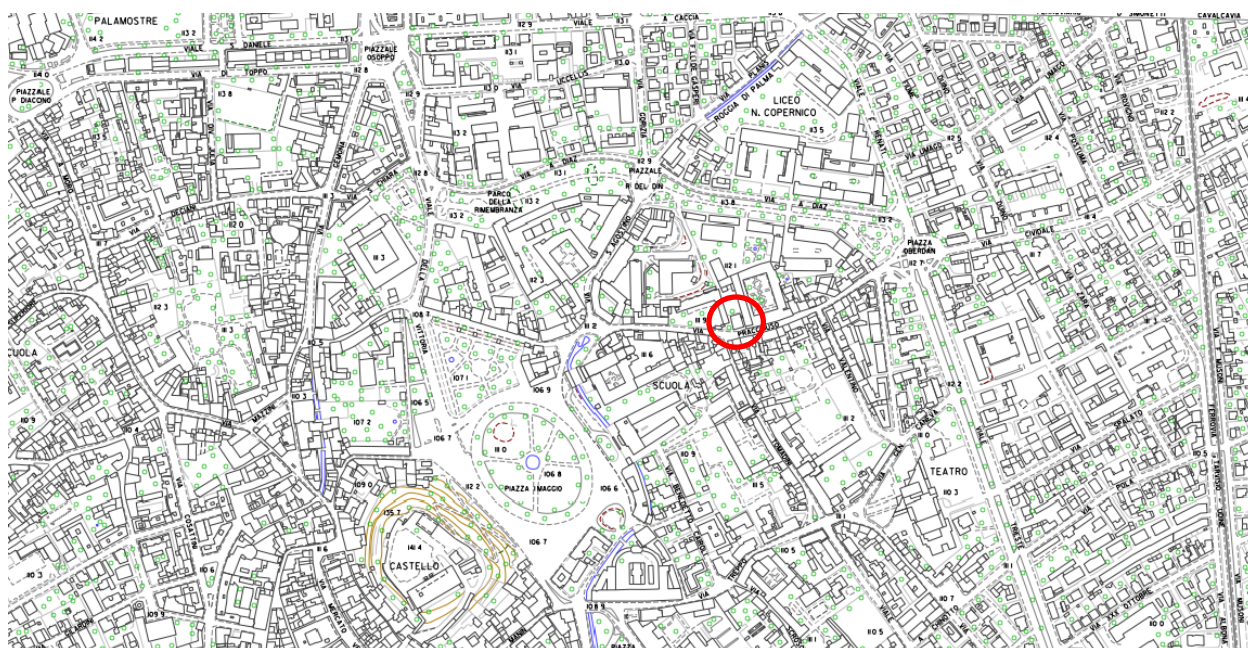


Figura 3 – Stralcio carta CTR 1:5000 con indicata l'area in esame

2.2. Contesto geologico e geomorfologico

La Pianura Friulana corrisponde ad una zona strutturalmente depressa, riempita da depositi continentali neozoici. Quasi al centro della Pianura affiorano i piccoli lembi miocenici di Pozzuolo e Variano che, unitamente agli stessi sedimenti rinvenuti nel sottosuolo di Organo, hanno un orientamento tale da far ritenere la presenza di un lineamento strutturale ampio e complesso a direzione ONO-ESE. A nord degli affioramenti miocenici di Pozzuolo-Variano giace il lembo prewürmiano di Udine il quale viene a trovarsi sul prolungamento dell'anticlinale di Buttrio.

Il territorio oggetto di indagine occupa una porzione dell'Alta Pianura friulana e deve la sua origine ai sedimenti fluvioglaciali ed alluvionali depositati nel würmiano dagli scaricatori drenanti il complesso glaciale ed i cui relitti sono individuabili negli attuali torrenti Torre e Cormor.

Vengono definiti "fluvioglaciali" quei sedimenti trasportati e deposti dalle correnti generate dall'acqua di fusione glaciale. Sono costituiti principalmente da ghiaia e sabbia ed in subordine da limo ed argilla (la frazione fine è di norma inferiore al 20 %). Questi depositi costituiscono la maggior parte del bacino dei Tresemane marcandone il legame con l'idrografia collegata all'apparato glaciale würmiano. I depositi fluvioglaciali sono parzialmente coperti da materiali alluvionali di origine più recente e pertinenti alle antiche superfici di spaglio dei torrenti Cormor, ad occidente, e Torre ad oriente. Per quanto riguarda la litologia circa l'80% dei clasti che compongono questi depositi è di origine carbonatica. Le dimensioni degli elementi grossolani, caratterizzati da un elevato grado di arrotondamento, sono estremamente variabili; le classi granulometriche più rappresentate sono comunque quelle comprese fra gli intervalli 2÷6 e 10÷15 cm. Localmente tali depositi si presentano debolmente cementati e possono passare gradualmente a conglomerati nei livelli inferiori. Il conglomerato si localizza ad una profondità dal piano di campagna superiore a 30 m. Questi orizzonti, la cui successione è differente da zona a zona creando così entro il materasso alluvionale una certa anisotropia strutturale, sono legati all'alterazione delle soprastanti ghiaie. Le acque, che si infiltrano dalla superficie e che attraversano la coltre alluvionale, compiono evidenti azioni chimiche di cementazione per l'abbandono dei carbonati di calcio e magnesio solubilizzati nell'attraversare la massa ghiaiosa. Il livello in oggetto raggiunge spessori considerevoli. Depositi con frazioni limose ed argillose in abbondanza si riscontrano principalmente nella parte centro meridionale della città che spazia grossomodo fra la Ferrovia – Stazione, via Lumignacco a occidente, Area Partidor a sud e viale Palmanova a oriente.

Questi depositi si possono riscontrare, ma con livelli contenuti (1-2m) anche localmente nella parte nord occidentale, forse testimonianze del ritiro dei ghiacciai e l'insorgere dell'idrografia collegata che trasporta materiali più fini.

Al centro della città si erge il colle del Castello costituito in gran parte da materiali fluvioglaciali e testimonianza di fasi di alluvionamento e seguente terrazzamento alla fine dell'ultima glaciazione.

C'è da ricordare infine dell'antico fossato che cingeva la città. Ora esistono poche tracce trasformate essenzialmente in canali. Il suo riempimento con vari materiali di riporto nasce dal sorgere ed allargarsi della città. È stato mantenuto graficamente nella carta a ricordo della sua presenza sotterranea nella previsione di eventuali futuri rimodellamenti o rifacimenti del tessuto edilizio urbano.

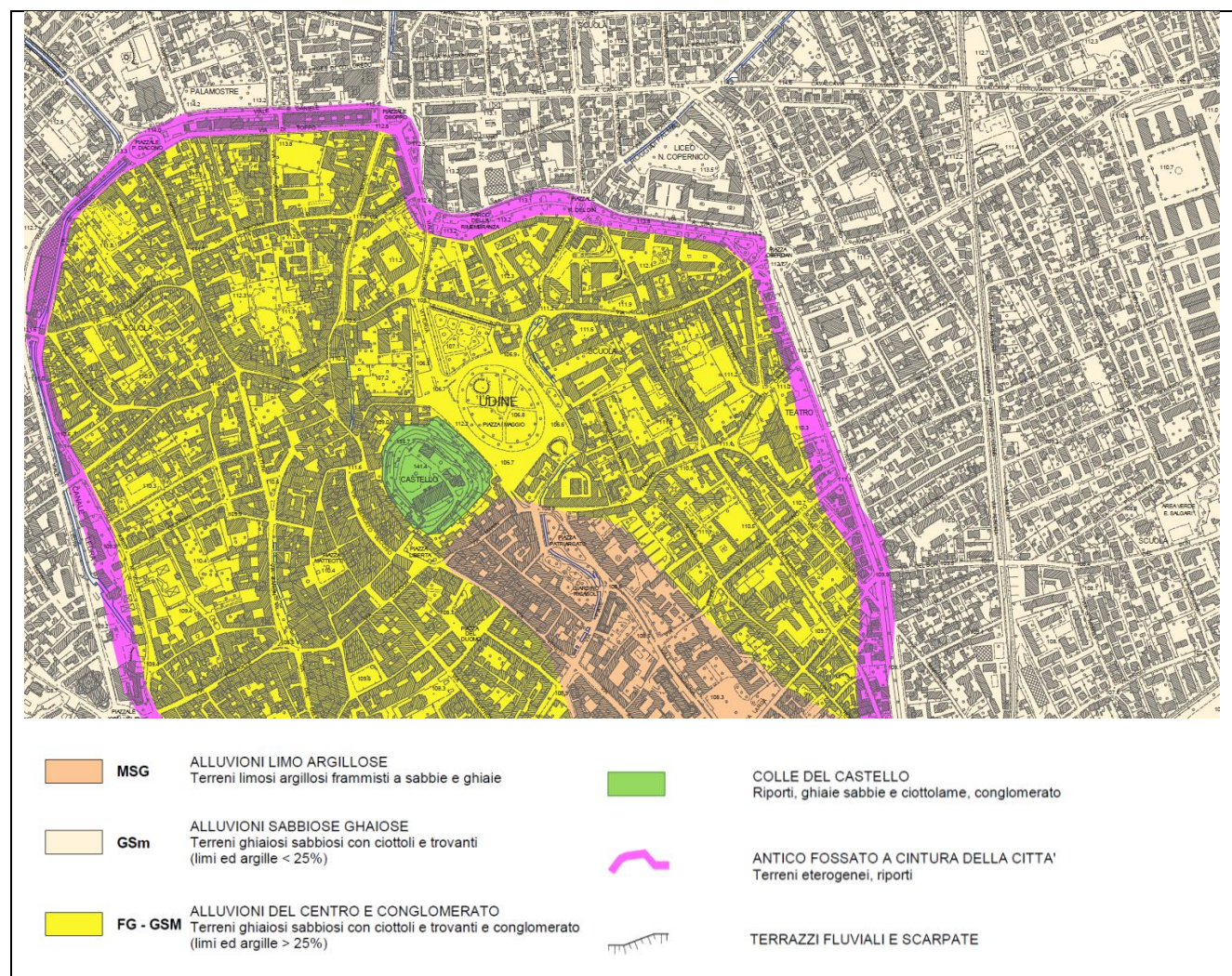


Figura 4 – Stralcio della Carta geologica allegata al PRGC di Udine

2.3. Inquadramento idrogeologico

Il territorio del Comune di Udine è attraversato dal basso corso del T. Torre che segna il confine orientale e il corso del Torrente Cormor ad occidente, essi formano la rete idrografica primaria. I corsi d'acqua minori sono il Rio Tresemane, le rogge di Palma e Udine ed il "Roiello" che con il Canale Ledra intersecano da nord a sud l'intero territorio comunale.

Il principale apporto idrico agli acquiferi della pianura è dato, oltre che dalle precipitazioni e dagli apporti profondi dai massicci calcarei, dalle perdite di subalveo dei fiumi Isonzo, Natisone, Torre, Tagliamento, e di altri corsi d'acqua minori, le cui acque, nell'Alta pianura, sono state regimate tramite apporti derivanti dal Tagliamento. In riferimento alla carta degli acquiferi del Friuli V.Giulia, il territorio comunale di Udine si colloca nella zona dell'Alta Pianura centro-orientale.

Risulta un generale abbassamento del livello di falda, più cospicuo nella zona settentrionale della pianura, laddove anche la variazione tra escursioni massime e minime è più elevata. Nella parte meridionale la tendenza all'abbassamento è meno marcata.

Le misure del livello idrico, effettuate nel corso di studi precedenti, permettono di affermare che la falda freatica, nell'intero territorio comunale, si pone a grandi profondità, variabili dai 35-44 m s.m.m. (tra -60 e -70 m da p.c.) nei periodi magra e 38-54 m s.m.m. (tra -50 e -60 m da p.c.).



Figura 5 – Principali unità fisiografiche del bacino idrogeologico del Friuli Venezia Giulia

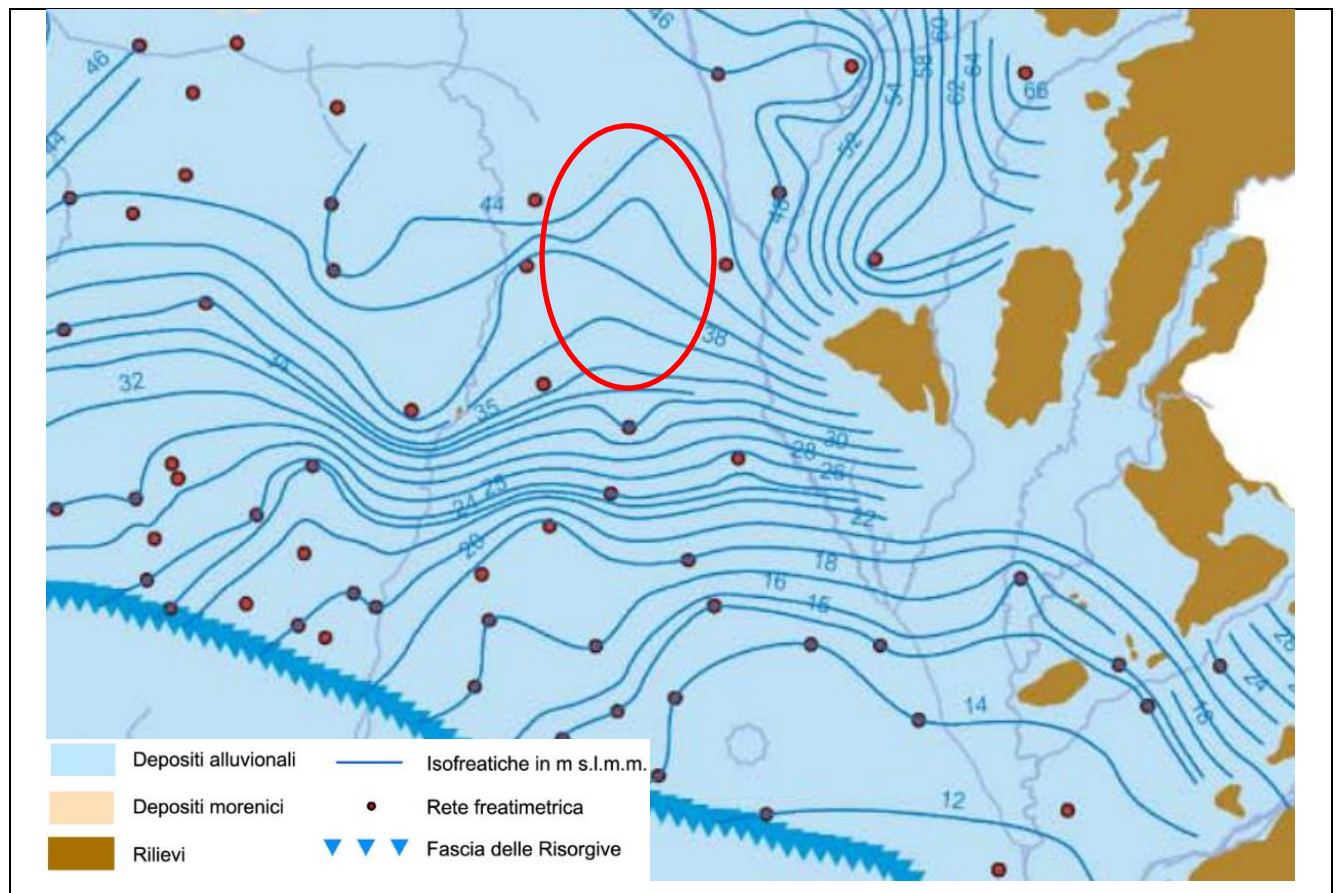


Figura 6 – Livello minimo della falda (anno 2000)

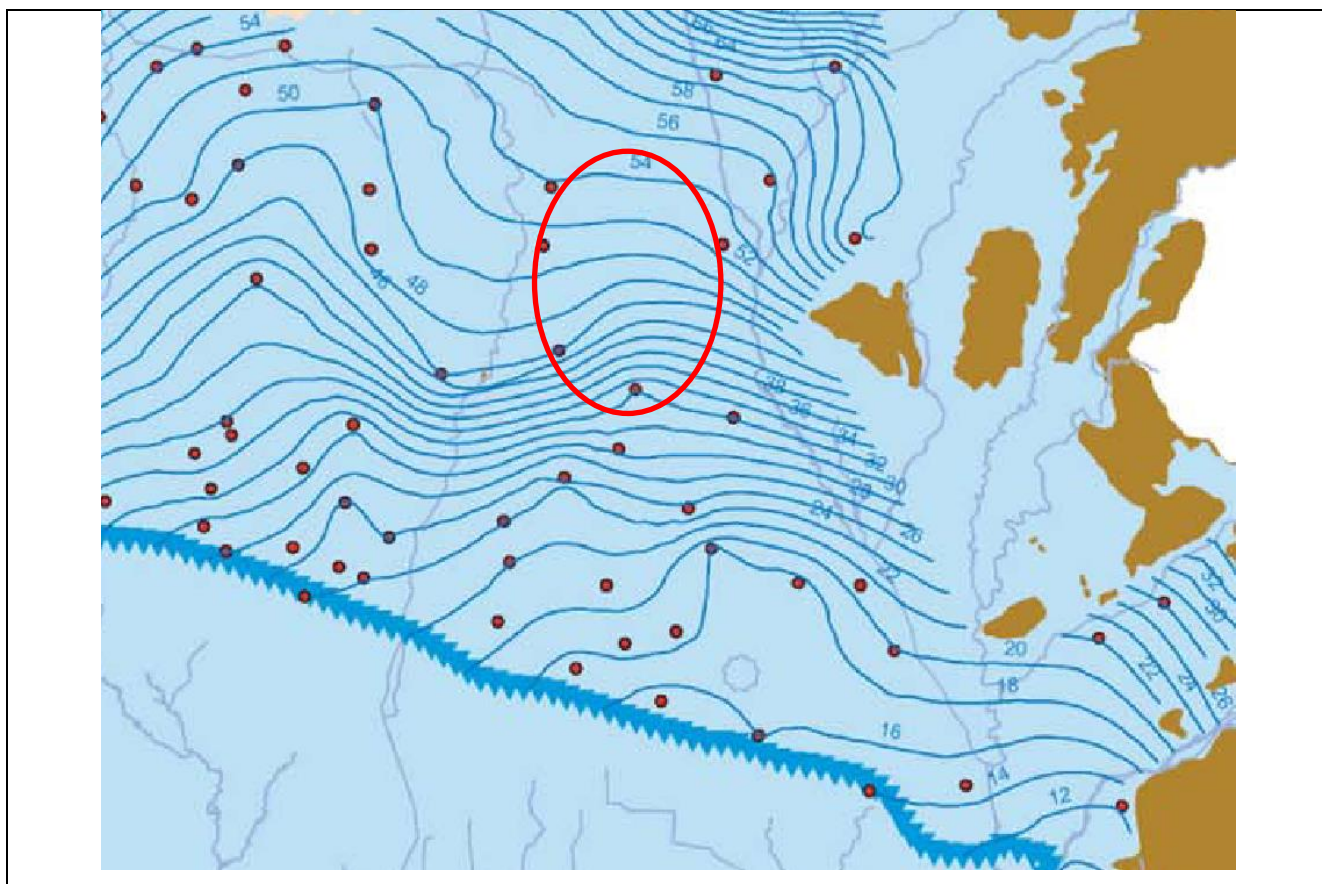


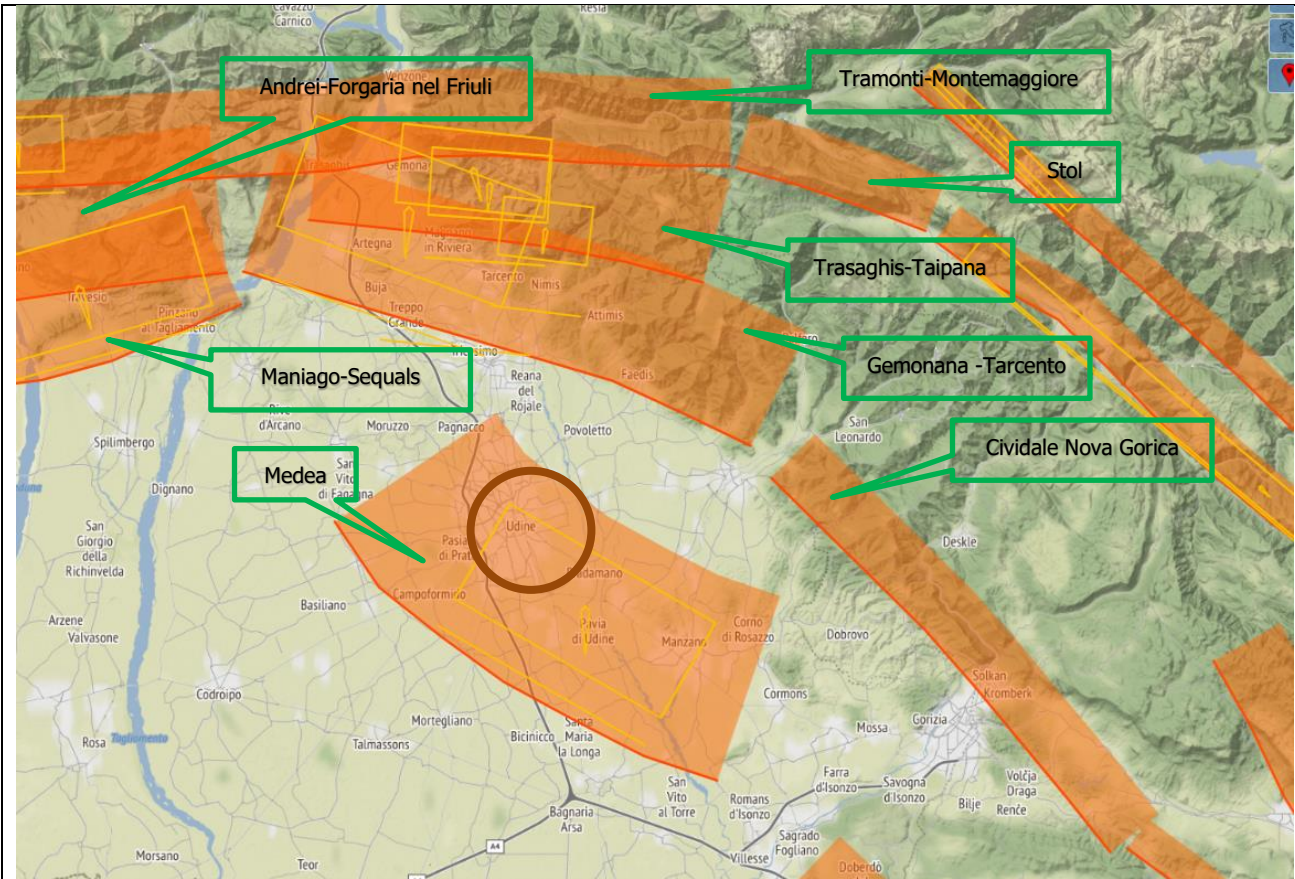
Figura 7 – Livello massimo della falda (anno 2013)

2.4. Inquadramento sismico

Dal punto di vista sismogenetico sono individuate le seguenti sorgenti (Figura 8):

- Sistema composito "Medea" in cui si individua la sorgente "Medea" (ITIS126) caratterizzata da una magnitudo (M_w) 6.4;
- Sistema Cividale-Nova Gorica (ISC005) caratterizzata da una magnitudo (M_w) di 6.8.
- Sistema Gemona-Tarcento (ITC066) caratterizzata da una magnitudo (M_w) di 6.5.
- Sistema Trasaghis-Taipana (ITC061) caratterizzata da una magnitudo (M_w) di 6.3.
- Sistema Tramonti-Montemaggiore (ITC064) caratterizzata da una magnitudo (M_w) di 6.2.
- Sistema Stol (SICS003) caratterizzata da una magnitudo (M_w) di 6.1.
- Sistema Maniago-Sequals (ITCS062) caratterizzata da una magnitudo (M_w) di 6.5.
- Sistema Andreis-Forgaria nel Friuli (ITCS071) caratterizzata da una magnitudo (M_w) di 6.7.

I terremoti storici sono riportati nella Figura 9 che comprende gli eventi principali (≥ 4 grado scala MCS) dall'anno 1000.



PARAMETRIC INFORMATION			
Parameter	Quality	Evidence	
Location [Lat/Lon]	46.01 / 13.30	LD	Based on geological data from various Authors.
Length [km]	16.0	EJ	Inferred from geological data constrained by seismological considerations.
Width [km]	9.0	EJ	Inferred from geological data constrained by seismological considerations.
Min depth [km]	1.5	LD	Based on geological data from various Authors.
Max depth [km]	6.7	LD	Based on geological data from various Authors.
Strike [deg]	300	LD	Based on geological data from various Authors.
Dip [deg]	35	LD	Based on geological data from various Authors.
Rake [deg]	120	LD	Based on geological and geodetic data.
Slip Per Event [m]	1.00	ER	Calculated from Mo using the relationship from Hanks and Kanamori (1979).
Slip rate [mm/y] min...max	0.1400... 0.2100	LD	Based on subsurface geological data.
Recurrence [y] min... max	4761... 7142	EJ	Inferred from slip rate and average displacement.
Magnitude [Mw]	6.4	ER	Calculated using the relationships from Wells and Coppersmith (1994).

Sorgente "Medea"

PARAMETRIC INFORMATION			
Parameter	Quality	Evidence	
Min depth [km]	1.0	EJ	Inferred from geologic and regional structural setting.
Max depth [km]	9.0	EJ	Inferred from geologic and regional structural setting.
Strike [deg] min... max	300...335	OD	Based on geologic and geomorphological field data.
Dip [deg] min... max	40...85	OD	Based on geologic and structural field data and geomorphological observations.
Rake [deg] min... max	120...180	OD	Based on interpretation of microkinematic field data and seismological data.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.1000... 0.5000	EJ	Inferred from geodetic and geodynamic data.
Max Magnitude [Mw]	6.8	ER	Estimated from Leonard's (2014) scaling relations.

LD=Literature Data; OD=Original Data; ER=Empirical Relationship; AR=Analytical Relationship; EJ=Expert Judgement

Sistema Cividale-Noca Gorica

PARAMETRIC INFORMATION			
Parameter		Quality	Evidence
Min depth [km]	2.0	LD	Based on geological and seismological data from various authors.
Max depth [km]	8.0	LD	Based on geological and seismological data from various authors.
Strike [deg] min... max	270...300	LD	Based on geological and seismological data from various authors.
Dip [deg] min... max	30...40	LD	Based on geological and seismological data from various authors.
Rake [deg] min... max	90...110	LD	Based on geological and geodetic data.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.2900... 0.7200	EJ	Inferred from regional geological data from Galadini et al. (2005).
Max Magnitude [Mw]	6.5	ER	Estimated from Leonard's (2014) scaling relations.
LD=Literature Data; OD=Original Data; ER=Empirical Relationship; AR=Analytical Relationship; EJ=Expert Judgement			

Gemona-Tarcento

PARAMETRIC INFORMATION			
Parameter		Quality	Evidence
Min depth [km]	1.0	EJ	Inferred from geological and geomorphological observations.
Max depth [km]	5.5	EJ	Inferred from geological and geomorphological observations.
Strike [deg] min... max	250...285	EJ	Inferred from geological and geomorphological observations.
Dip [deg] min... max	30...45	EJ	Inferred from geological and geomorphological observations.
Rake [deg] min... max	80...100	EJ	Inferred from geological and geodetic data.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.2900... 0.7200	EJ	Inferred from regional geological data from Galadini et al. (2005).
Max Magnitude [Mw]	6.2	ER	Estimated from Leonard's (2014) scaling relations.
LD=Literature Data; OD=Original Data; ER=Empirical Relationship; AR=Analytical Relationship; EJ=Expert Judgement			

Tramonti-Montemaggiore

PARAMETRIC INFORMATION			
Parameter		Quality	Evidence
Min depth [km]	1.0	EJ	Inferred from geological and geomorphological observations.
Max depth [km]	7.0	EJ	Inferred from geological and geomorphological observations.
Strike [deg] min... max	275...310	OD	Based on geological and geomorphological observations.
Dip [deg] min... max	45...70	OD	Based on geological and geomorphological observations.
Rake [deg] min... max	120...145	OD	Based on geological and geodetic data.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.1000... 0.2000	EJ	Inferred from geodynamic data and geological considerations.
Max Magnitude [Mw]	6.1	ER	Estimated from Leonard's (2014) scaling relations.
LD=Literature Data; OD=Original Data; ER=Empirical Relationship; AR=Analytical Relationship; EJ=Expert Judgement			

Stol

PARAMETRIC INFORMATION			
Parameter		Quality	Evidence
Min depth [km]	1.0	LD	Based on geological data from various authors.
Max depth [km]	7.0	LD	Based on geological data from various authors.
Strike [deg] min... max	245...275	LD	Based on geological data from Galadini et al. (2005).
Dip [deg] min... max	30...40	LD	Based on geological data from various authors.
Rake [deg] min... max	80...100	LD	Based on geological and geodetic data.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.2900... 0.7200	EJ	Inferred from regional geological data from Galadini et al. (2005).
Max Magnitude [Mw]	6.5	ER	Estimated from Leonard's (2014) scaling relations.
LD=Literature Data; OD=Original Data; ER=Empirical Relationship; AR=Analytical Relationship; EJ=Expert Judgement			

Maniago-Sequals

PARAMETRIC INFORMATION			
Parameter		Quality	Evidence
Min depth [km]	0.5	OD	Based on geological data from various authors.
Max depth [km]	7.5	OD	Based on geological data from various authors.
Strike [deg] min... max	230...265	OD	Based on geological data from various authors.
Dip [deg] min... max	30...40	OD	Based on geological data from various authors.
Rake [deg] min... max	80...100	OD	Based on geological and geodetic data.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.2900... 0.7200	EJ	Inferred from regional geological data from Galadini et al. (2005).
Max Magnitude [Mw]	6.7	ER	Estimated from Leonard's (2014) scaling relations.
LD=Literature Data; OD=Original Data; ER=Empirical Relationship; AR=Analytical Relationship; EJ=Expert Judgement			

Andreis-Forgaria nel Friuli

Figura 8 – Database of Individual Seismogenic Sources – INGV

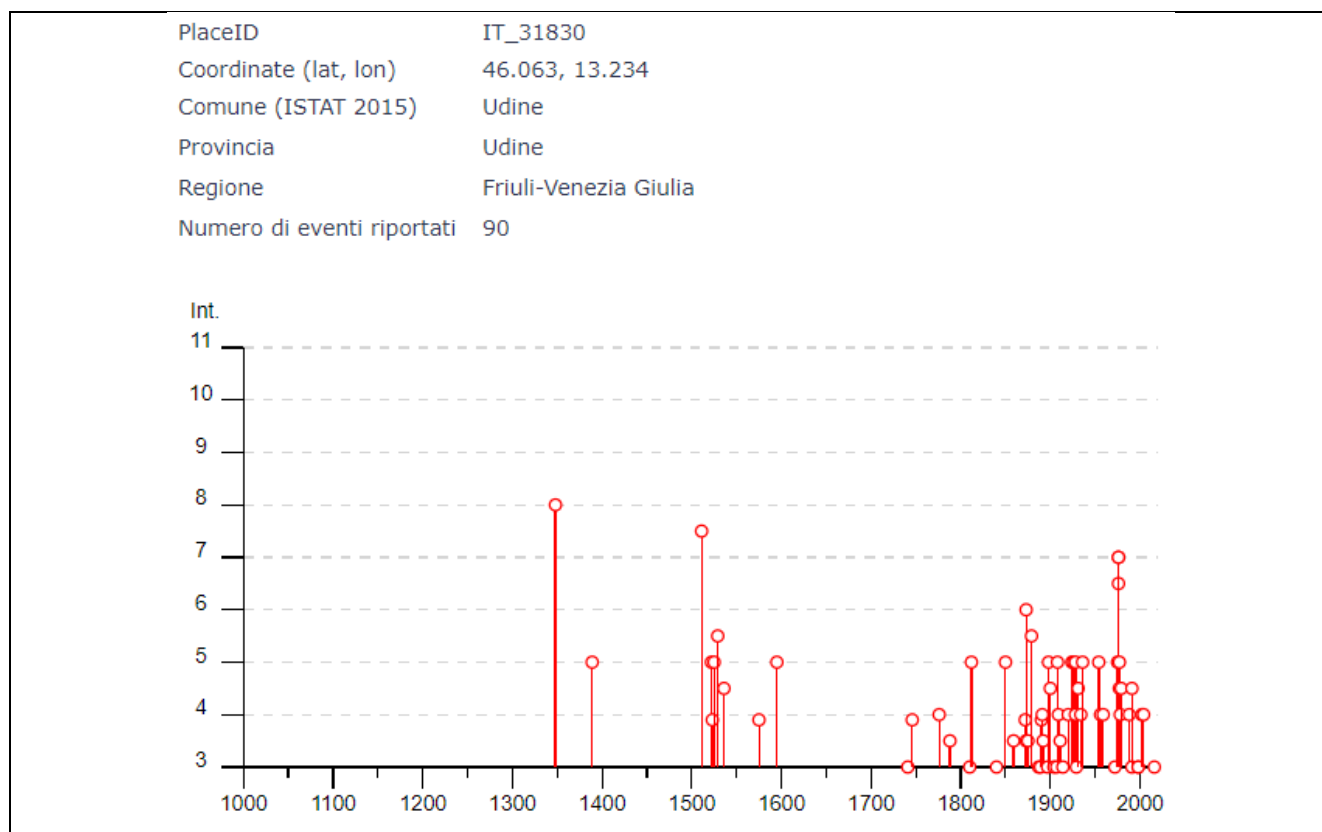


Figura 9 – Database Macrosismico Italiano 2015

Al fine di ottemperare all'Ordinanza del Consiglio dei Ministri del 20/03/2003, è stata affidata all'INGV la redazione di una mappa aggiornata di pericolosità sismica del territorio nazionale. Lo stesso Istituto ha redatto il modello sismo-tettonico di riferimento (cfr. Meletti et al., 2000) ed ha dato origine alla Zonazione Sismogenetica ZS9 (Gruppo di Lavoro 2004 – Meletti et al., <http://zonesismi-che.mi.ingv.it/documenti/App2.pdf>), aggiornamento della precedente Zs4 redatta da Scandone e Stucchi nel 1999 (http://emi-dius.mi.ingv.it/GNDT/ZONE/zone_sismo.html).

Da tale zonazione risulta che i territori in oggetto rientrano nella zona sismogenetica 905. L'appendice 2 al Rapporto Conclusivo della Zonazione sismogenetica ZS9 alla tabella 1 riporta per Zona 905 una magnitudo massima M_d pari a 4.8, classe di profondità 5-8 km, con profondità efficace di 8 km.

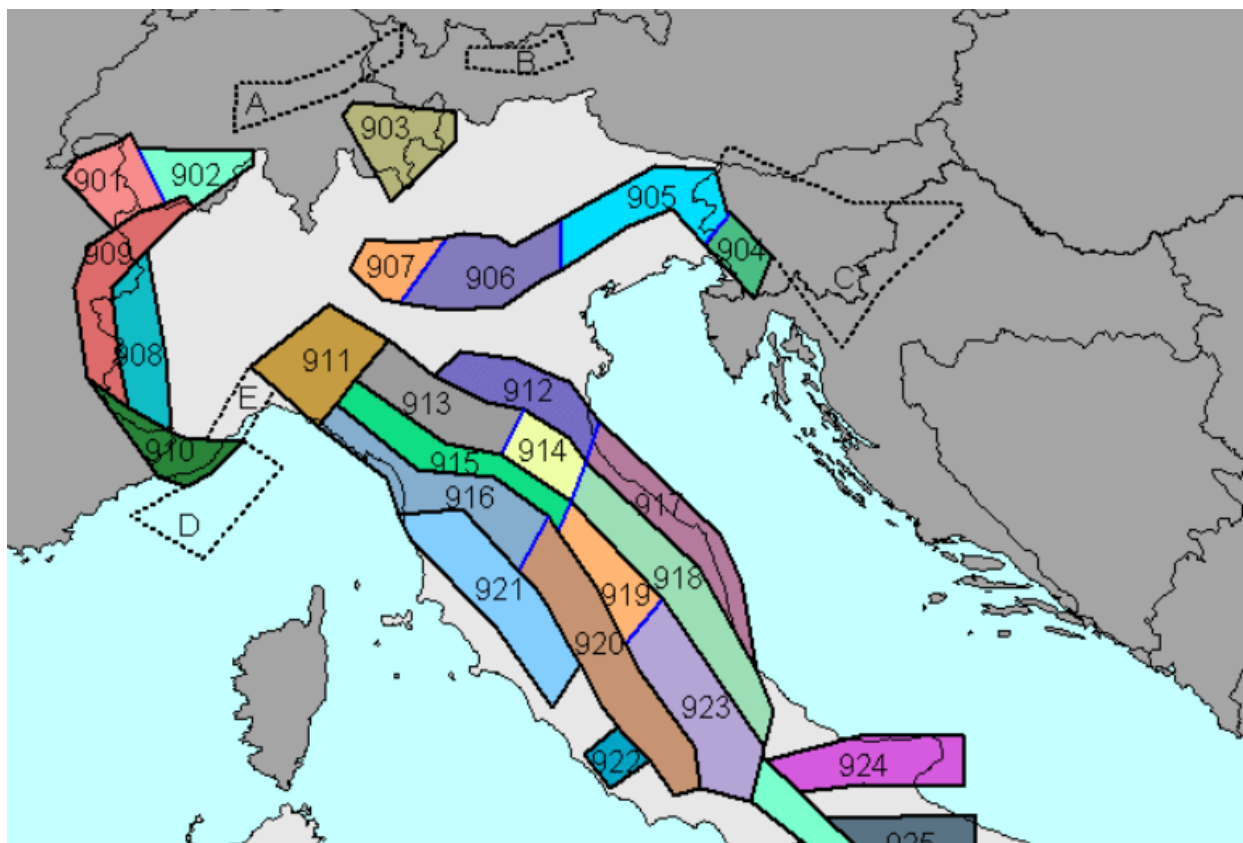


Figura 10 – Zonazione sismogenetica ZS9 (da INGV)

2.5. Faglie capaci

Dalla consultazione del database “Ithaca – Catalogo delle faglie capaci” (<https://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/cartella-progetti-in-corso/suolo-e-territorio-1/ithaca-catalogo-delle-faglie-capaci/default>) si è potuto verificare come l’area di progetto sia interessata da faglie capaci, ritenute dunque in grado di provocare fagliazione superficiale. ITHACA adotta la seguente definizione di faglia capace:

- Una faglia è definita capace quando ritenuta in grado di produrre, entro un intervallo di tempo di interesse per la società, una deformazione/dislocazione della superficie del terreno, e/o in prossimità di essa.
- La deformazione attesa può essere sia una dislocazione ben definita lungo un piano di rottura (fault displacement/offset) che una deformazione distribuita (warping).
- La riattivazione attesa viene definita in funzione del regime tettonico in atto, rispetto al quale deve essere compatibile. Elementi secondari possono però mostrare rotture “anomale”, ad esempio movimenti compressivi in un ambiente distensivo, a causa di geometrie locali delle strutture riattivate.

Le faglie capaci, come definite sopra, possono determinare un significativo pericolo di danneggiamento di strutture antropiche. La pericolosità può essere caratterizzata in termini di Probabilistic Fault Displacement Hazard o Deterministic Fault Displacement Hazard (per un approfondimento si veda IAEA SSG-9, 8.9-8.13; Youngs et al., 2003).

Dall’esame della cartografia risultano numerose faglie capaci di cui la più vicina si trova a 3 km (Figura 11):

- A sud dell’area:

- la Udine-Butrio le cui caratteristiche sono riassunte in Figura 12 (FC1)
- la Pozzuolo a circa 5.2 km verso sud (FC2)
- A Nord e Nord-ovest
 - la Salcano Povoletto a circa 8.5 km verso NW (FC3)
 - la Povoletto – Ravosa a circa 8.5 km (FC4)
 - la Tricesimo a 11 km (FC5).

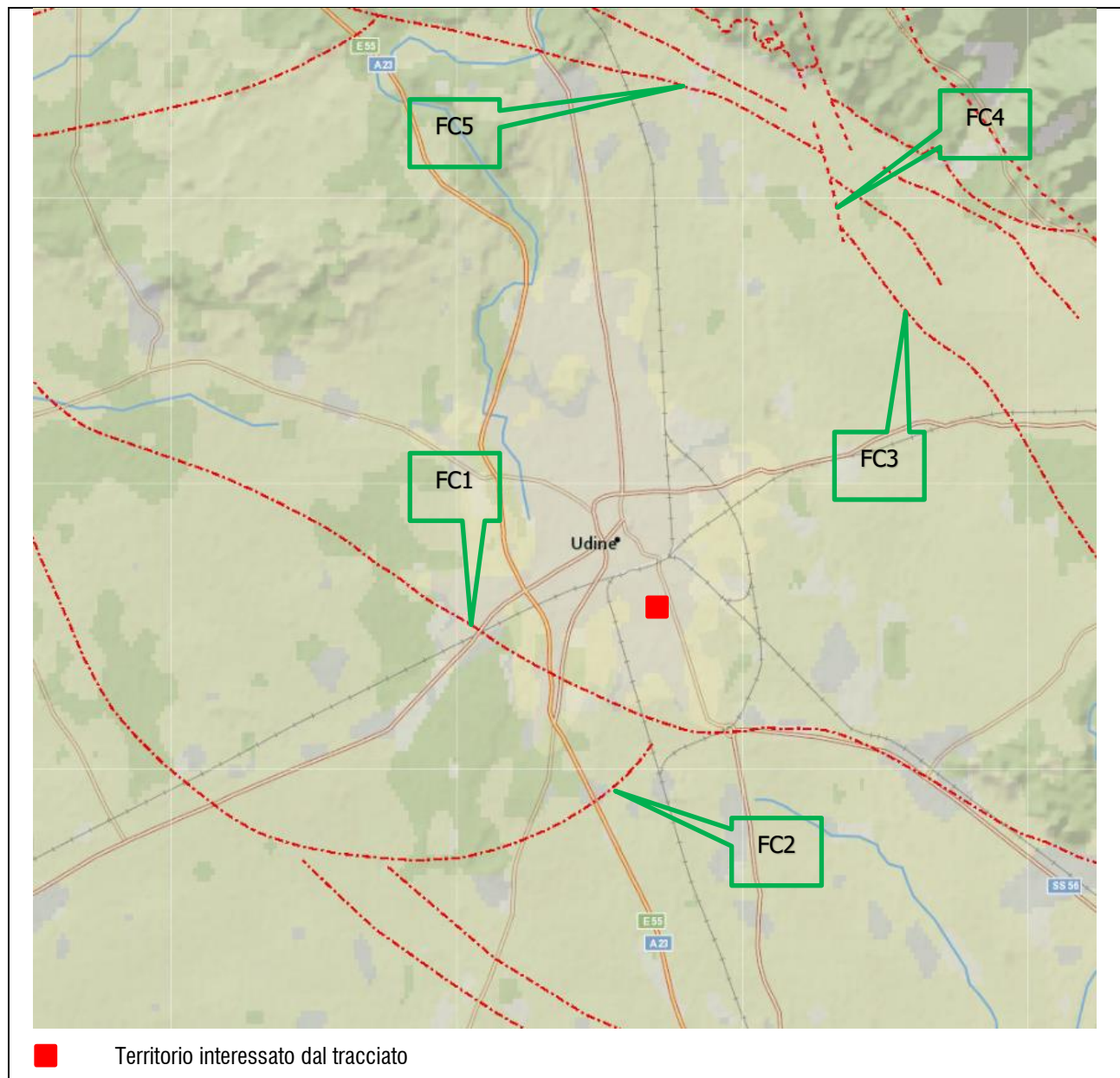


Figura 11 – Faglie capaci (ITHACA, catalogo delle faglie capaci)

FC1

GENERAL IDENTIFICATION

Fault Code	77511
Fault Name	Udine-Buttrio
Region Name	Friuli Venezia Giulia
Tectonic Environment	ND
System Name	Gorizia - Udine
Synopsis	
Rank	Secondary

GEOMETRY AND KINEMATICS

Segmentation	Single Segment
Average Strike (°)	320
Dip (°)	Undefined
Dip Direction	NNE
Fault Length (km)	33.8
Mapping Scale	1:25000
Fault Depth (m)	
Kinematics	Reverse

ACTIVITY

Surface Evidence	ND
Last Activity	Pleistocene generic
Applied Technique	Field studies

SLIP PARAMETERS

Recurrence Interval (yr)	
Slip Rate (mm/yr)	
Max Credible Rupture Length (km)	
Max Credible Slip (m)	
Time Since Last Event (yr)	
Max Known Magnitude (Mw)	
Max Known Intensity (MCS)	
Known Seismic Events	

FINAL REMARKS

Capability Consensus	Medium reliability
Study Quality	FAIR
Notes	Fault line according to 1:25000 geological map drafted for the 1:50.000 Geological Map of Italy
Fault Trace Reference	
Last Update	

Figura 12 – Caratteristiche faglie capaci (ITHACA, catalogo delle faglie capaci)

2.6. Vincoli di carattere geologico

Dall'analisi del Piano Regolatore Generale alla Carta di sintesi "Proposta di perimetrazione e classificazione della pericolosità geologica e idraulica del bacino del f. Isonzo" al 2010 (Figura 13), il sito ricade all'interno dell'area E2 "Alluvioni del Centro e conglomerati: terreni ghiaiosi sabbiosi con ciottoli e trovanti (limi e argille > 15%)".

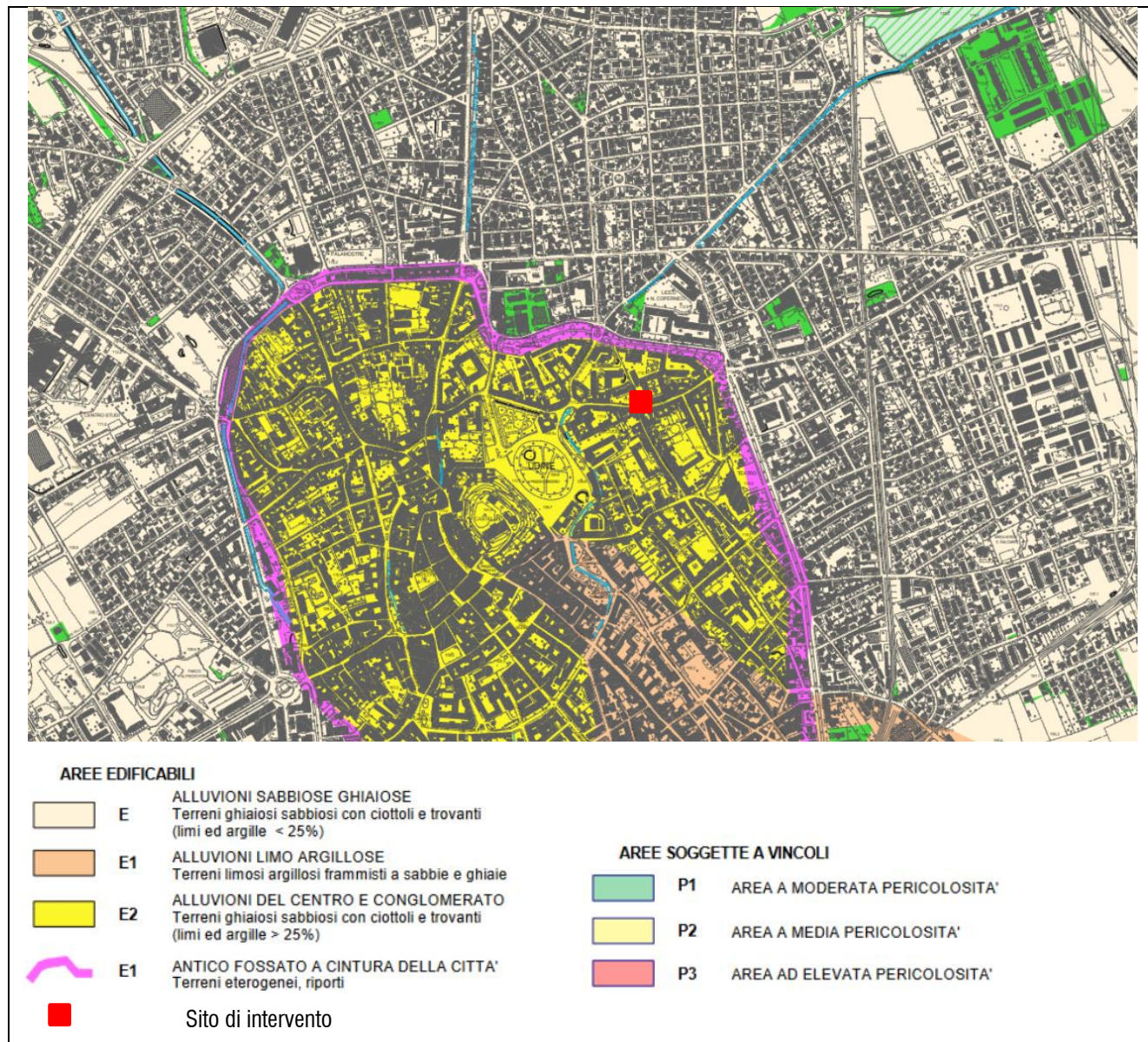


Figura 13 - Perimetrazione e classificazione della pericolosità geologica e idraulica.

Sono inoltre state verificate le seguenti cartografie da cui non risultano vincoli di carattere geologico:

- Vincoli Normativi;
- Tutele ambientali, paesaggistiche e storiche;

3. INDAGINE GEOGNOSTICA

Per la caratterizzazione geologica e sismica del sottosuolo in esame è stata eseguita dalla società "Geologia Tecnica s.a.s" di Este (PD) un'indagine in sito con l'esecuzione delle seguenti attività:

- 1 prova di sismica passiva con metodo Nakamura HVSR
- 1 prova di sismica attiva con metodo MASW
- 2 prove penetrometriche dinamiche fino alla prof. max di 4,40 m dal p.c.

Di seguito vengono riassunti i risultati di questa indagine rimandando alla relazione allegata per i dettagli.

3.1. Prove penetrometriche

Per le prove penetrometriche dinamiche (DP1 e DP2) si è utilizzato un penetrometro dinamico classificato come S. Heavy (ISMEF) con maglio da 50 kg. In Figura 14 è riportata l'ubicazione delle prove.

La profondità raggiunta dalle prove è stata di 3.4 m e di 4.4. m da p.c.; i diagrammi sono riportati in Figura 15 e Figura 16.

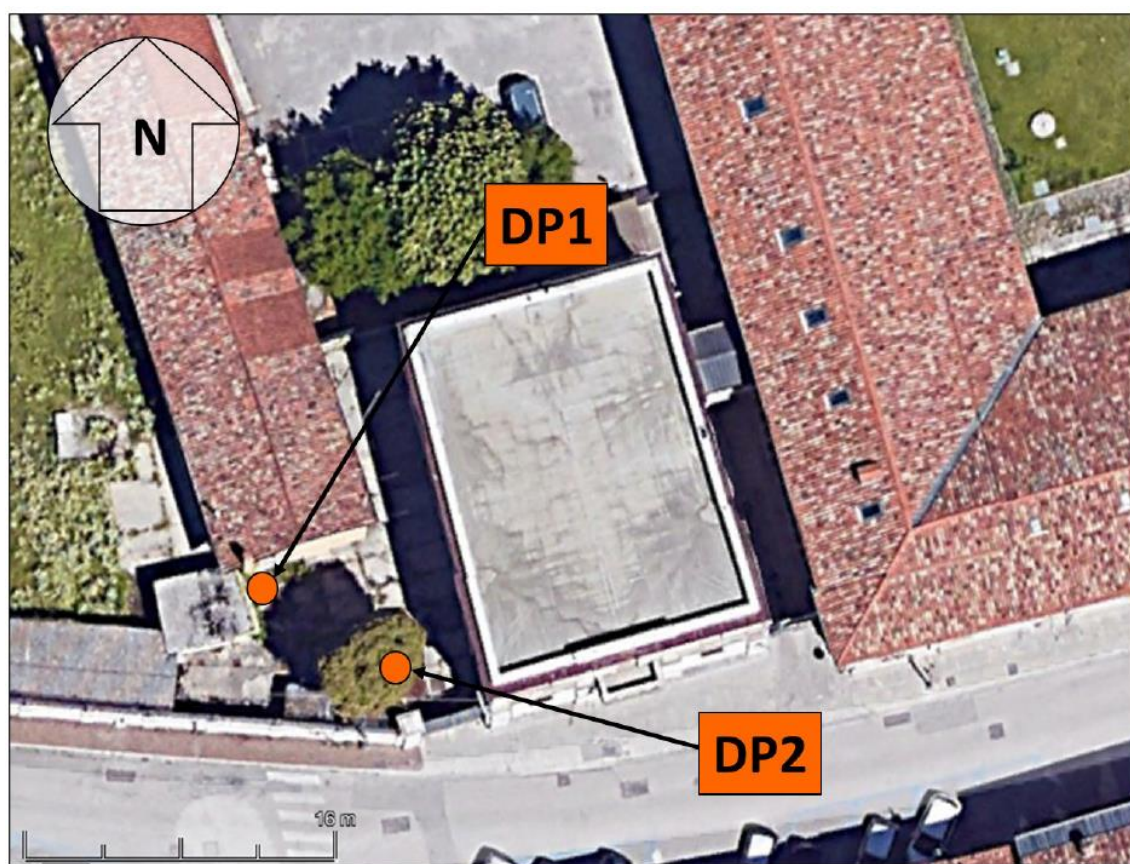


Figura 14 – Ubicazione delle indagini

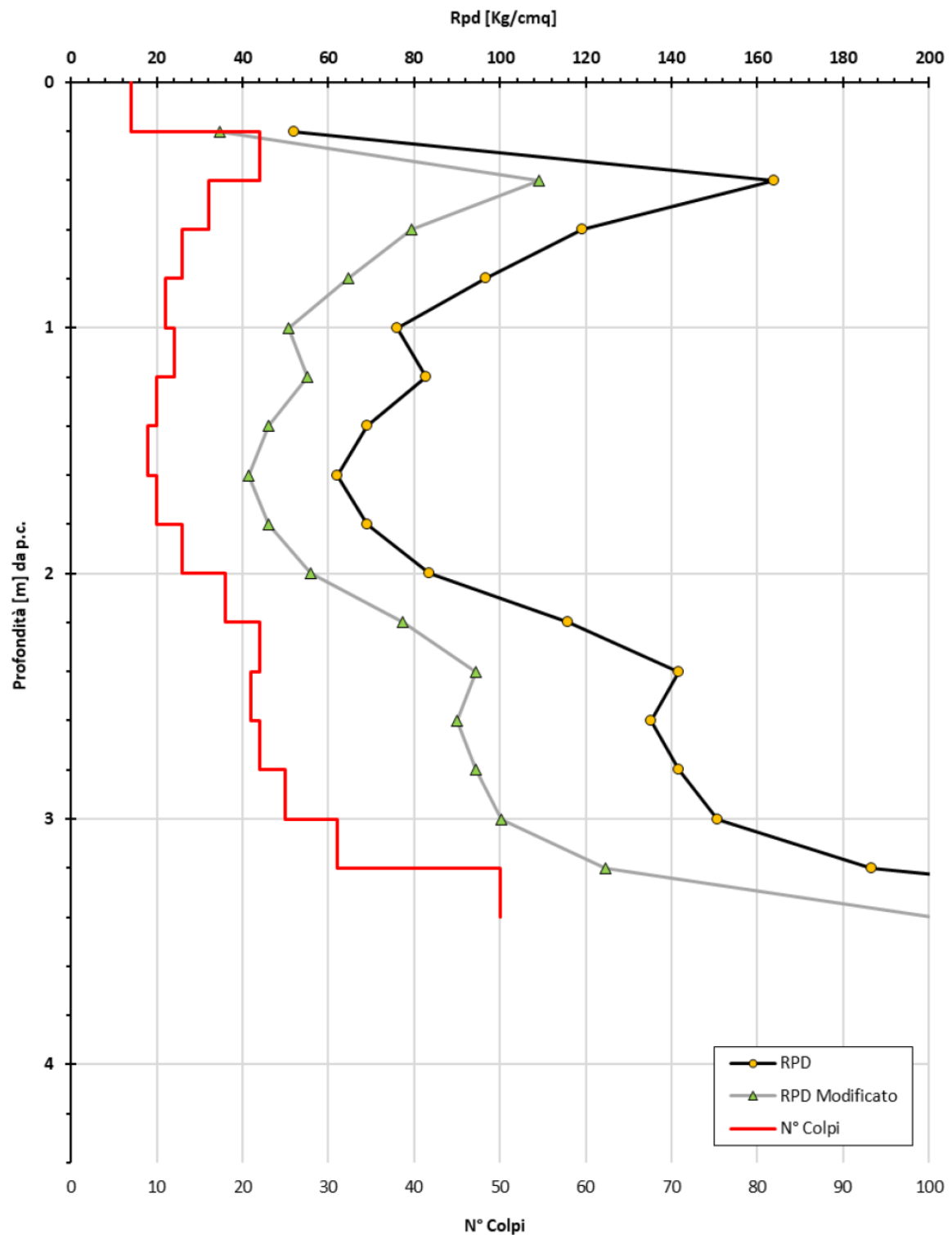


Figura 15 – Diagramma prova DP1

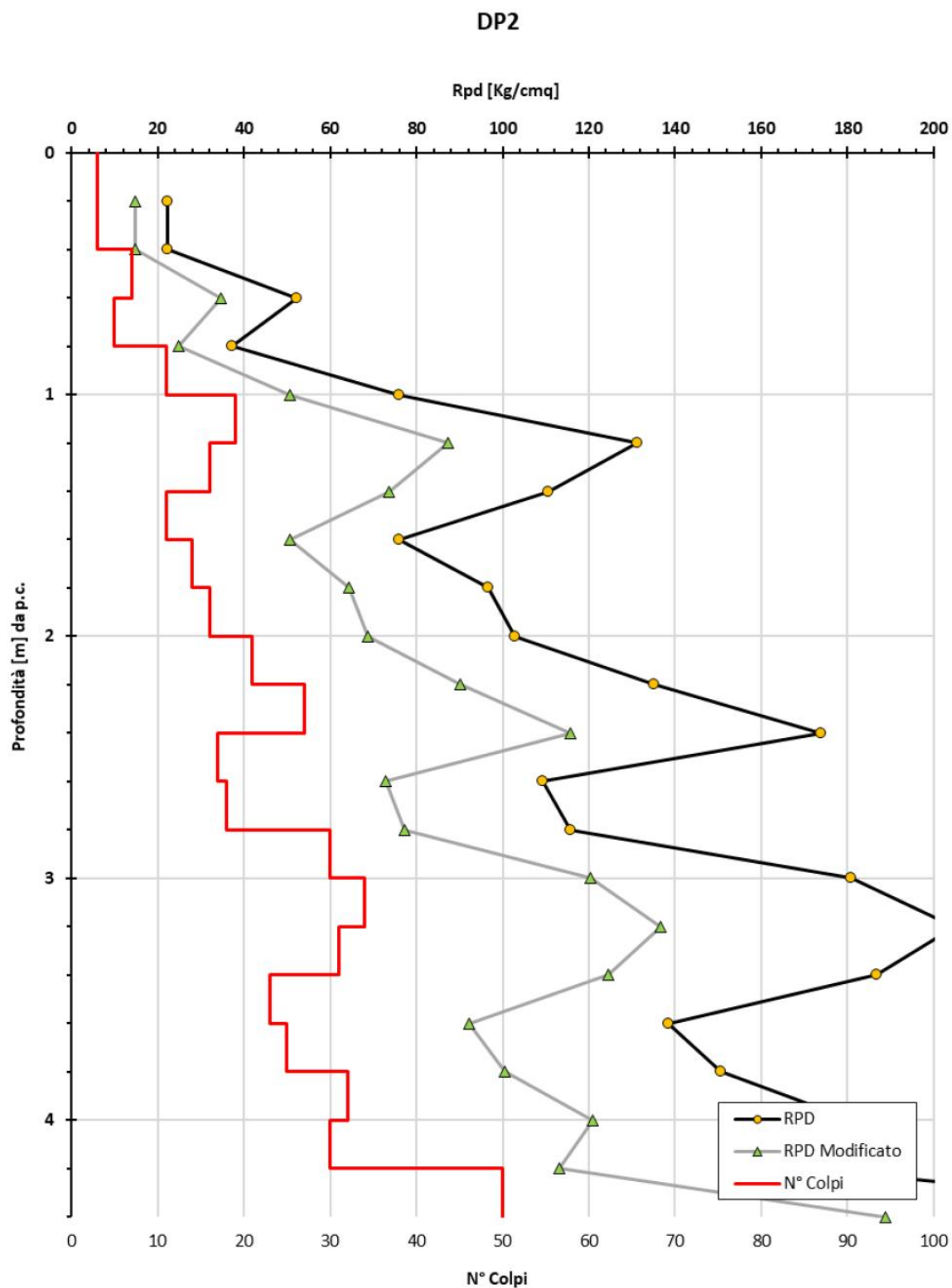


Figura 16 – Diagramma prova DP2

3.2. Indagine sismica

3.2.1. Indagine MASW

L'acquisizione è stata eseguita posizionando 24 ricevitori da 4,5 Hz ad una distanza inter-geofonica pari a 2 m, ed energizzando mediante mazza battente su piastra in ferro-alluminio a distanze diverse, di 12, 9, 6, 3 m dal primo geofono. In Figura 17 è riportata la traccia dello stendimento. In Figura 18 si riporta il modello della velocità delle onde S ricavata.

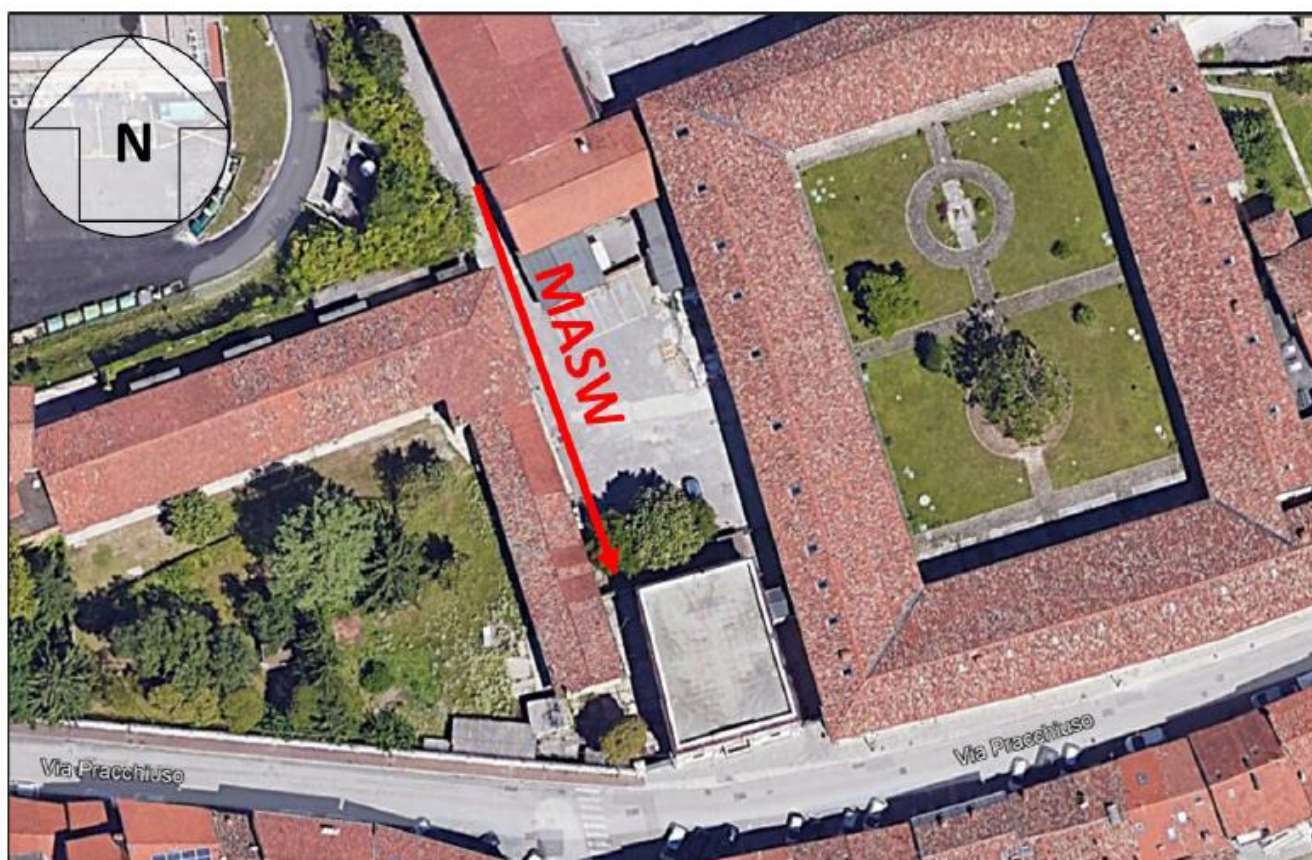


Figura 17 – Ubicazione MASW

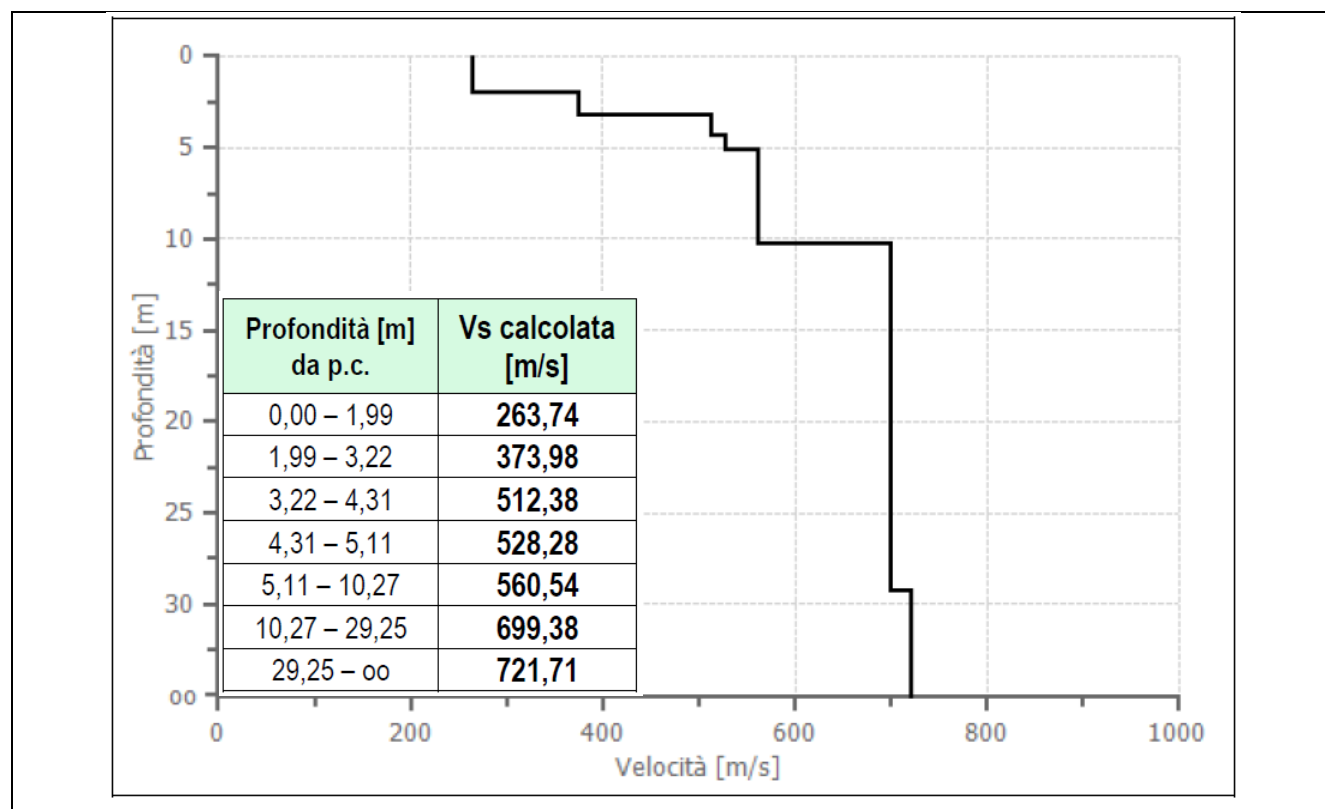


Figura 18 – Modello velocità onde S

3.2.2. Indagine HVSR

Il metodo si basa sulla misura del rumore sismico ambientale, il quale risulta prodotto sia da fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) sia dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. La caratterizzazione sismica dei terreni tramite la tecnica sismica passiva (tecnica dei rapporti spettrali) o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio - Metodo di Nakamura) è finalizzata all'individuazione della frequenza caratteristica di risonanza di sito e delle discontinuità sismiche che sono correlabili ai cambi litologici presenti sia all'interno della copertura che al contatto copertura-bedrock.

Dall'analisi del rapporto degli spettri si evince la presenza di un picco intorno ai 16,80 Hz (), dovuto ad un salto d'impedenza (superficiale) legato probabilmente al passaggio alle ghiaie. Tale frequenza potrebbe essere la frequenza caratteristica di risonanza dei depositi sedimentari presenti in sito.

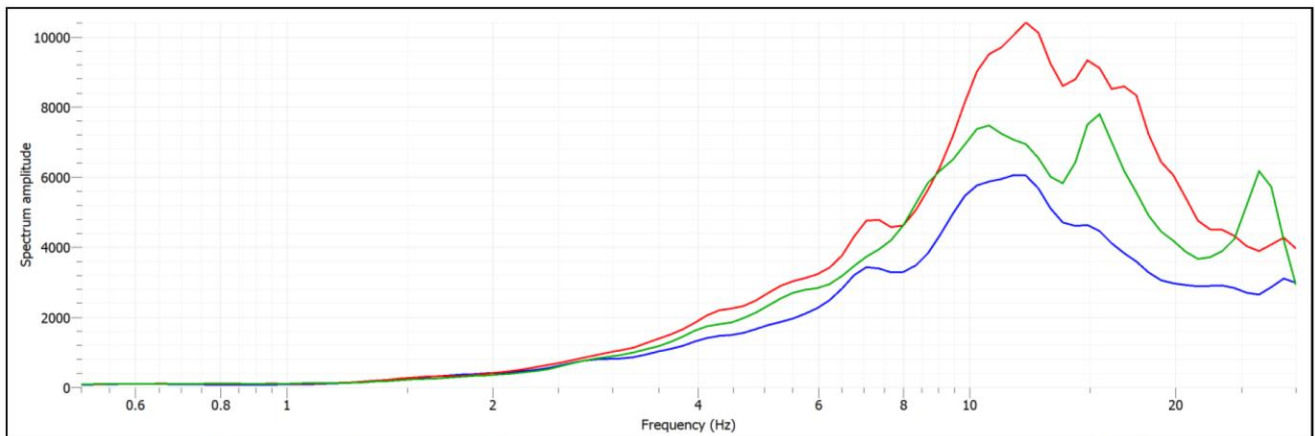


Figura 19 – Componenti spettrali (in blu verticali, in rosso e verde le orizzontali).

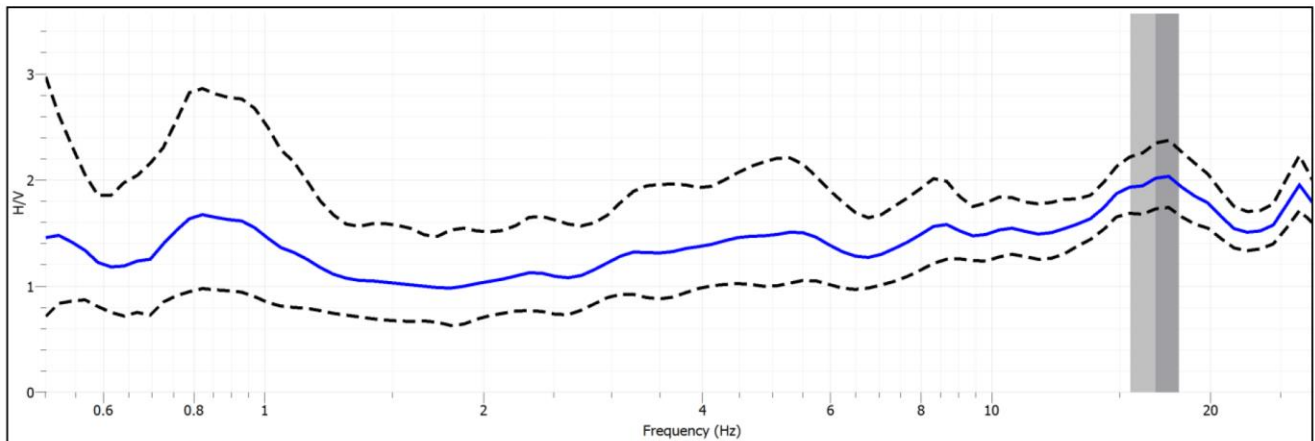


Figura 20 – Rapporto spettri componenti verticali e orizzontali.

<i>Dati picco principale (H/V)</i>		
<i>Frequenza Fo</i>	<i>f stddev (Hz)</i>	<i>Ao</i>
16,80	±1,29	2,01

Tabella 1 – Risultati della prova HSR

4. MODELLO LITOSTRATIGRAFICO

Dal punto di vista litologico l'area è caratterizzata da terreno granulare, ad eccezione dei primi decimetri caratterizzati da materiale fine. Dai grafici delle prove si osserva un progressivo aumento della resistenza di punta presumibilmente dovuto ad un maggiore addensamento e/o una maggiore granulometria del terreno.

Dall'interpretazione delle prove è stato ricostruito il relativo modello del sottosuolo le cui caratteristiche sono riassunte nelle tabelle seguenti, dove:

- Rpd: resistenza dinamica alla punta;
- Cu: coesione non drenata;
- Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento = 30 cm);
- Dr %: densità relativa.
- ϕ° = angolo d'attrito efficace

Strato	m da p. c.	INTERPRETAZIONE LITOLOGICA ⁽¹⁾	PARAMETRI GEOTECNICI					
			Rpd Kg/cm ²	Cu Kg/cm ²	ϕ°	$\gamma_{d/s}$ g/cm ³	Nspt	Dr
1	0,00-0,20	Terreno coesivo	35	0,67	30,0	1,91	11	33
2	0,20-0,60	Terreno granulare	142	\	35,8	2,05	29	63
3	0,60-2,00	Terreno granulare	77	\	32,2	1,97	17	45
4	2,00-2,80	Terreno granulare	134	\	36,6	2,06	32	67
5	2,80-3,20	Terreno granulare	169	\	39,3	2,11	20	77
6	3,20-3,40	Terreno granulare	301	\	44,5	2,19	22	92

DP1

Strato	m da p. c.	INTERPRETAZIONE LITOLOGICA ⁽¹⁾	PARAMETRI GEOTECNICI					
			Rpd Kg/cm ²	Cu Kg/cm ²	ϕ°	$\gamma_{d/s}$ g/cm ³	Nspt	Dr
1	0,00-0,40	Terreno coesivo	15	0,29	\	1,78	5	20
2	0,40-0,80	Terreno coesivo / Terreno granulare	30	0,57	29,4	1,47	9	30
3	0,80-1,00	Terreno granulare	76	\	32,1	1,55	17	45
4	1,00-1,40	Terreno granulare	121	\	35,2	1,65	27	60
5	1,40-2,00	Terreno granulare	92	\	33,4	1,59	21	52
6	2,00-2,80	Terreno granulare	134	\	36,5	1,69	32	66
7	2,80-3,40	Terreno granulare	191	\	40,5	1,82	48	82
8	3,40-3,80	Terreno granulare	145	\	37,9	1,74	37	72
9	3,80-4,40	Terreno granulare	211	\	41,7	1,86	57	85

DP2

Tabella 2 – Modello geologico e caratteristiche del sottosuolo

Il valore caratteristico di angolo di attrito attribuibile al terreno granulare è pari a 35°

5. MODELLO SISMICO

5.1. Azione sismica di base

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 dell'Ordinanza PCM 3519 del 28 aprile 2006 dalla G.U. n.108 del 11/05/06 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone", il Comune di Pove del Grappa è inseribile interamente nella fascia distinta da un valore di accelerazione sismica orizzontale a_g riferito a suoli rigidi sub pianeggianti caratterizzati da $V_{s30} > 800$ m/s compreso tra 0,15g e 0,225g (valori riferiti ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni – mappa 50° percentile, Figura 21).

Per gli aspetti amministrativi, il Comune di Udine rientra in Zona 2, ai sensi della L.R. 16/2009 e DPRG n. 845 del 06.05.2010). Con l'entrata in vigore delle NTC 2018 la classificazione in zone sismiche ha valenza puramente amministrativa, in quanto la zona sismica non è un parametro idoneo alla determinazione di un rischio sismico di un edificio.

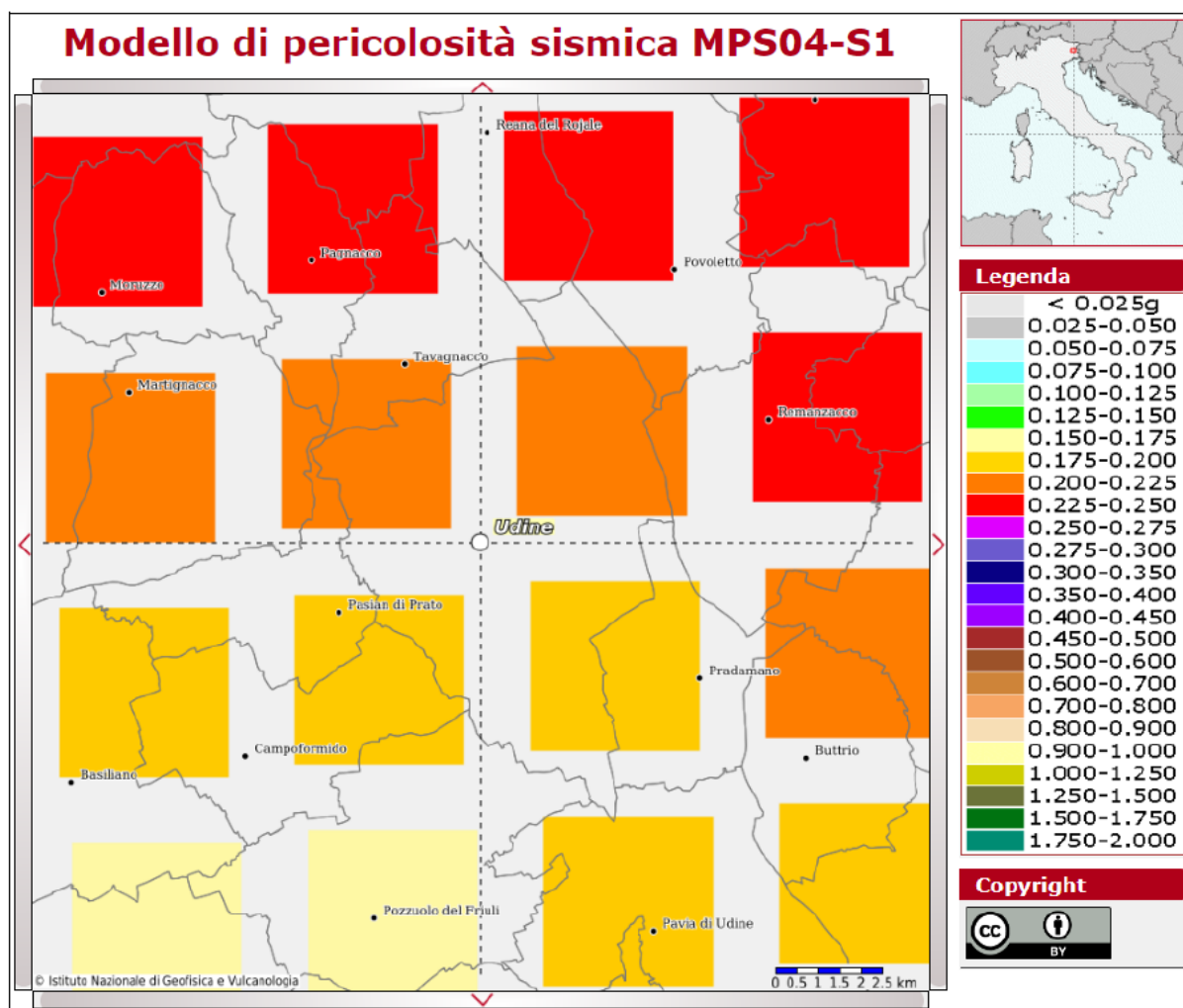


Figura 21 – Mappa interattiva di pericolosità sismica – INGV

5.2. Definizione della categoria topografica

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale definendo le condizioni topografiche del sito, in riferimento alle caratteristiche della superficie topografica. Come illustrato nella tabella seguente il sito ricade in categoria T1

T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

5.3. Risultati dell'indagine MASW

Le Norme Tecniche per le Costruzioni al paragrafo 7.11.3 indicano le procedure per la definizione dell'azione sismica di progetto mediante valutazione della risposta sismica locale. In alternativa, viene stabilito un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio (V_s), qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie di seguito descritte.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Annessi 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.</i>
B	<i>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.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>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.</i>

Figura 22 – Categorie di sottosuolo – approccio semplificato (NTC2018, tab. 3.2.II)

Dall'interpretazione dei dati sperimentali con opportune correlazioni è possibile ricavare il profilo di velocità delle onde S (Figura 18), a cui corrispondono i valori riportati.

E' quindi possibile ricavare la V_{s30} mediante la seguente relazione:

$$V_{s30} = \frac{h}{\sum h_i/v_i}$$

dove h in questo caso assume il valore di 30 m, trovandosi il bedrock sismico a oltre 30 m dal p.c..

Il valore Vs30 al piano campagna risulta essere di 522 m/s: si tratta quindi di un suolo tipo B ($S = 1.50$ secondo le NTC). "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".

5.4. Verifica alla liquefazione

In base alle indicazioni del paragrafo 7.11.3.4.2 Esclusione della verifica a liquefazione del DM 17/01/2018, la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

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

Le indagini in sito e i dati bibliografici nell'area comunale del centro abitato di Udine, hanno individuato la presenza di materiale prevalentemente granulare costituito in prevalenza da ghiaie addensate/cementate e conglomerati, con falda oltre i 40 m da p.c., il rischio liquefazione risulta quindi trascurabile.

APPENDICE 1 – INDAGINE GEOGNOSTICA IN SITO



GEOLOGIA TECNICA sas
di Vorliceck P.A. & C
Azienda certificata UNI EN ISO 9001:2015



Provincia di	UDINE
Comune di	UDINE
Committente	ALTRAINGEGNERIA



RELAZIONE GEOTECNICA

Provincia di	UDINE
Comune di	UDINE
Committente	ALTRAINGEGNERIA

RELAZIONE GEOTECNICA E ANALISI SISMICA

INTRODUZIONE	3
ANALISI SISMICA	4
RELAZIONE GEOTECNICA	17
CONCLUSIONI	21



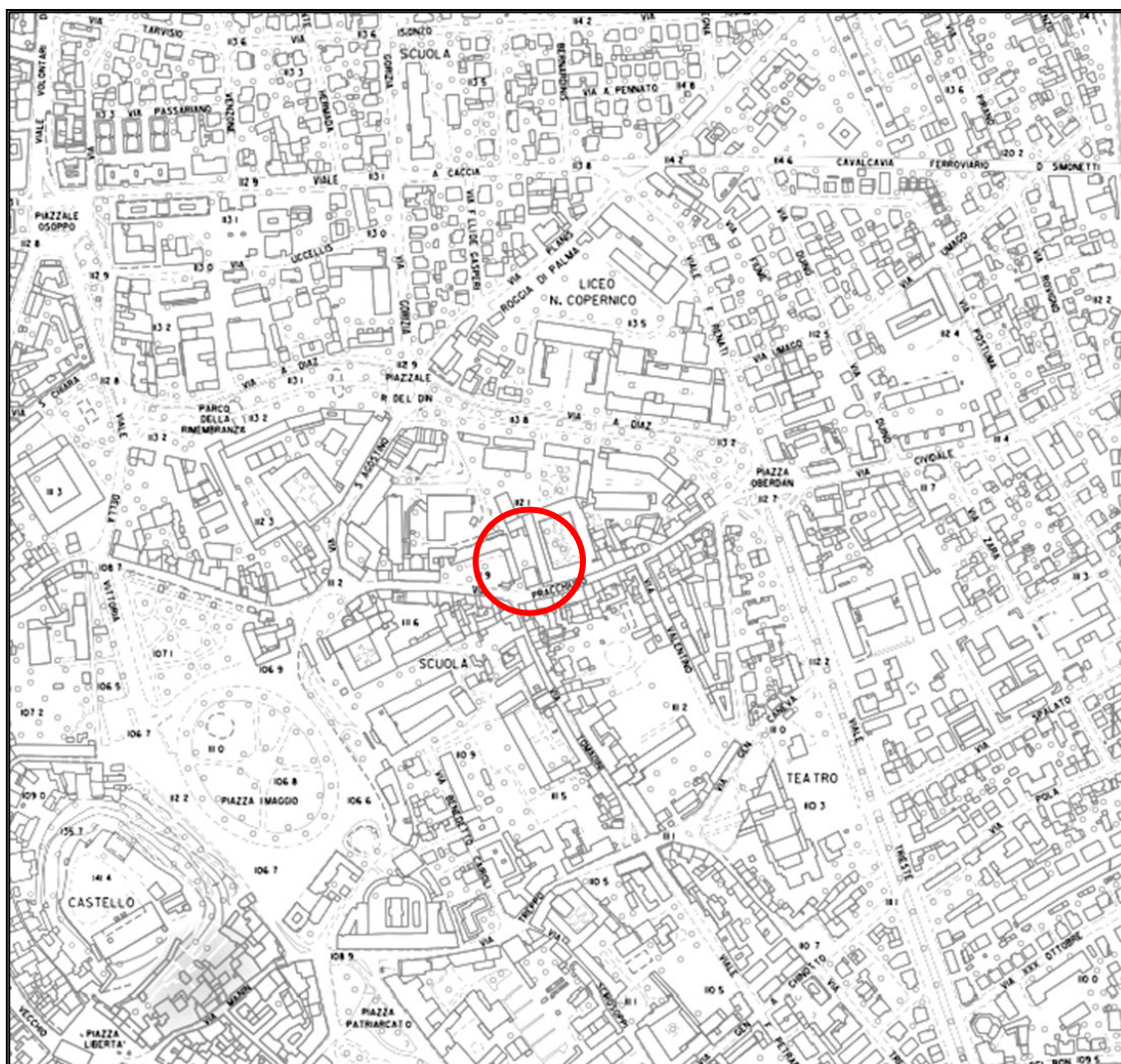
INTRODUZIONE

Al fine di verificare la fattibilità geologica e di fornire indicazioni geotecniche e sismiche per la realizzazione di un restauro di un edificio nel comune di Udine presso l'ex caserma Reginato sono state eseguite le seguenti indagini:

1. Una ricerca bibliografica inerente all'area in esame
2. Rilevamento geologico tecnico di superficie
3. L'esecuzione di 1 prova di sismica passiva con metodo Nakamura HVSR
4. L'esecuzione di 1 prova di sismica attiva con metodo MASW
5. L'esecuzione di 2 prove penetrometriche dinamiche fino alla prof. max di 4,40 m dal p.c.

Le indagini sono state realizzate considerando le indicazioni tecniche di Altraingegneria.

Tale indagine è altresì necessaria per ottemperare alle NTC del D.M. 17/01/2018.



Estratto CTR 1:5000 (non in scala). Cerchiato in rosso tratto di indagine

Sede: v. Martiri Libertà 29, 35042 Este (PD) tel. 0429601986 fax 04291702351 e-mail info@geologiatecnica.net sito web: www.geologiatecnica.net		
File: Udine_ex_caserma_Altraingegneria.doc	Redatto da: Vorlicek P. A.	Data 30/06/2022
Rev. 00	Controllato da: Sacramati M.	Pag. 3

ANALISI SISMICA

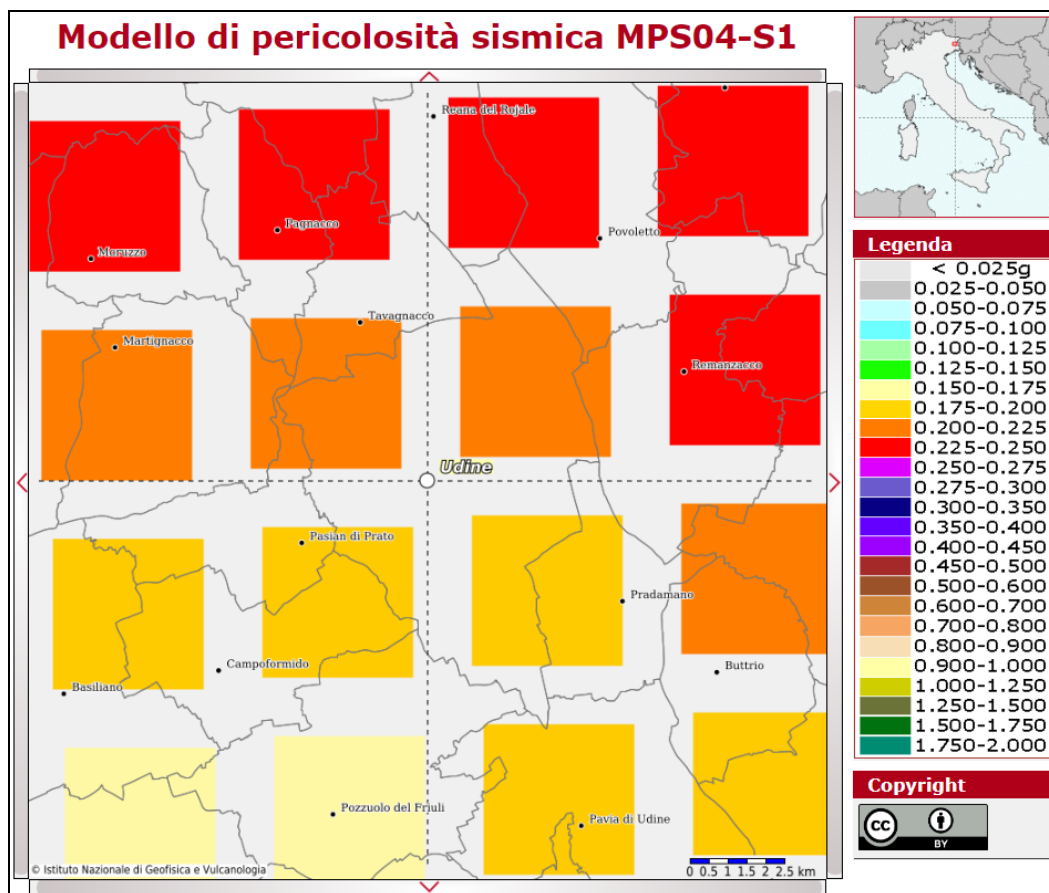
Classificazione sismica del sito

Il comune di Udine (Secondo la classificazione sismica indicati nell'ordinanza del Presidente del Consiglio dei ministri n°3274/03) è classificato dal punto di vista sismico in classe 2 con quindi i seguenti parametri edificatori minimi.

Zona	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g/g)	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (a_g/g)
2	$0,15 < a_g \leq 0,25 g$	0,25 g

La classificazione sismica in zone 1 2 3 4 dopo l'entrata in vigore delle NTC08 ha solo valore amministrativo, vale solo per i controlli sui progetti da parte del GC. L'azione sismica va sempre calcolata tenendo conto della griglia. Per l'identificazione della zona sismica in cui ricade ciascun comune o porzione di esso, occorre fare riferimento alle disposizioni emanate ai sensi dell'art. 83, comma 3, del DPR 6.6.2001, n. 380.

Sulla base delle mappe interattive dell'I.N.G.V., l'area comunale di Udine è 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 0,200 (a_g/g) e 0,225 (a_g/g) (valori riferiti ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni).



Estratto mappa pericolosità sismica INGV

Categoria sismica sottosuolo e condizioni topografiche

Categoria sismica sottosuolo

A seguito si riporta quanto indicato nelle NTC del D.M. 17/01/2018 nel capitolo "Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche" nel punto 3.2.2. per la determinazione della categoria sismica di sottosuolo.

Qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, VS. Valori di VS sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

In base ai risultati delle indagini sismica descritta nel paragrafo "Caratterizzazione sismica dei terreni tramite la tecnica MASW" i terreni in sito appartengono alla **categoria sismica di sottosuolo B**.

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

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

Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 3.2.III):

Tab. 3.2.III – Categorie topografiche

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

All'area oggetto di studio si può attribuire la **condizione topografica T1**.

Caratterizzazione sismica dei terreni tramite la tecnica Masw (Multichannel Analysis of Surface Waves)

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc.

Moto del segnale sismico

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- **P**-Longitudinale: onda profonda di compressione;
- **S**-Trasversale: onda profonda di taglio;
- **L**-Love: onda di superficie, composta da onde P e S;
- **R**-Rayleigh: onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

Onde di Rayleigh – "R"

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (onde P, onde S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidezza.

Analisi del segnale con tecnica MASW

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio k - f è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

Modellizzazione

E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times v$$

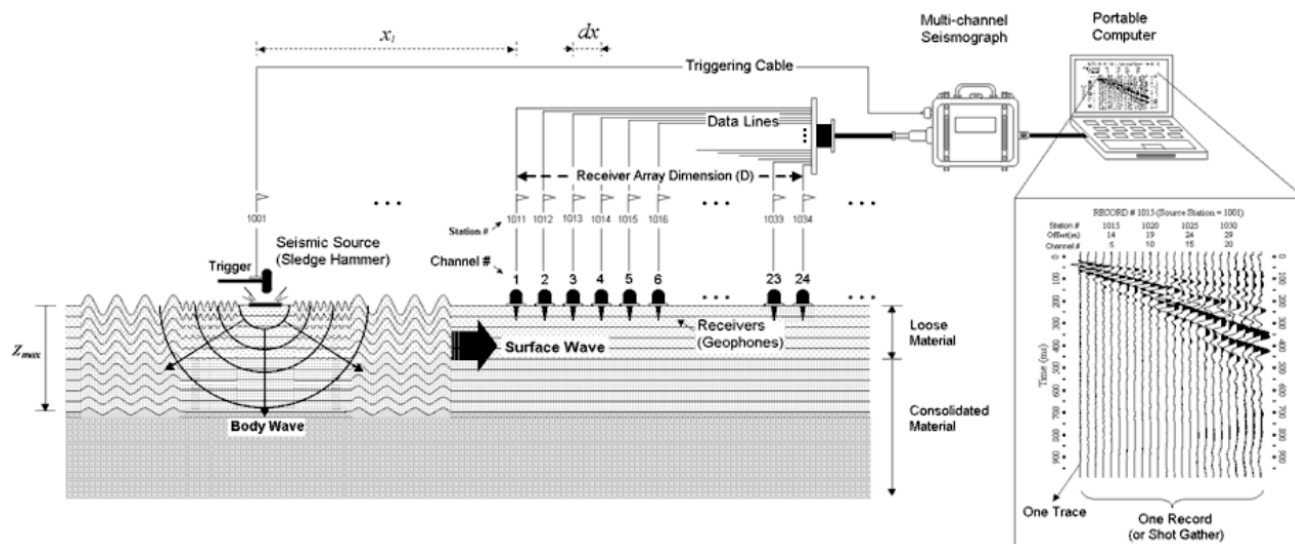
Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidezza.

Modi di vibrazione

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

Profondità di indagine

Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.



Schema acquisizione dati Masw

Strumentazione utilizzata

Per l'acquisizione dei dati è stata utilizzato un sismografo della "Ambrogeo" con le seguenti caratteristiche tecniche:

Number of channels	24
Sampler interval	0,296 msec
A/D Conversion	16 bit
Input impedance	1 KOhm
Gain	10 dB - 100 dB, step 1 dB
Saturation tension	+/- 2,3 V
Saturation level	100 dB
Distorsion	0,01%
Sampler	25 msec (191 points), 50 msec (383 points), 100 msec (756 points), 200 msec (1530 points), 800 msec (6121 points)
Sampling	130 micro/sec
Record lenght	25-50 -10 -20 -400-800 millisc
Filter low pass	from 50 to 950 Hz, step1 Hz
Digital Filter (Fir) low pass	1000-900-800-700-600-500-400-300-200-100-50 Hz
Digital Filter (Fir) high pass	0-25-50-75-100-125-150-175-200-225-250 Hz
Frequency response	7-950 Hz, filter at 950 Hz
Dynamic range	93 dB
Noise	0,66 uV rms, gain = 55 dB
Crosstalk	52 dB, gain = 55 dB
Power	12 V

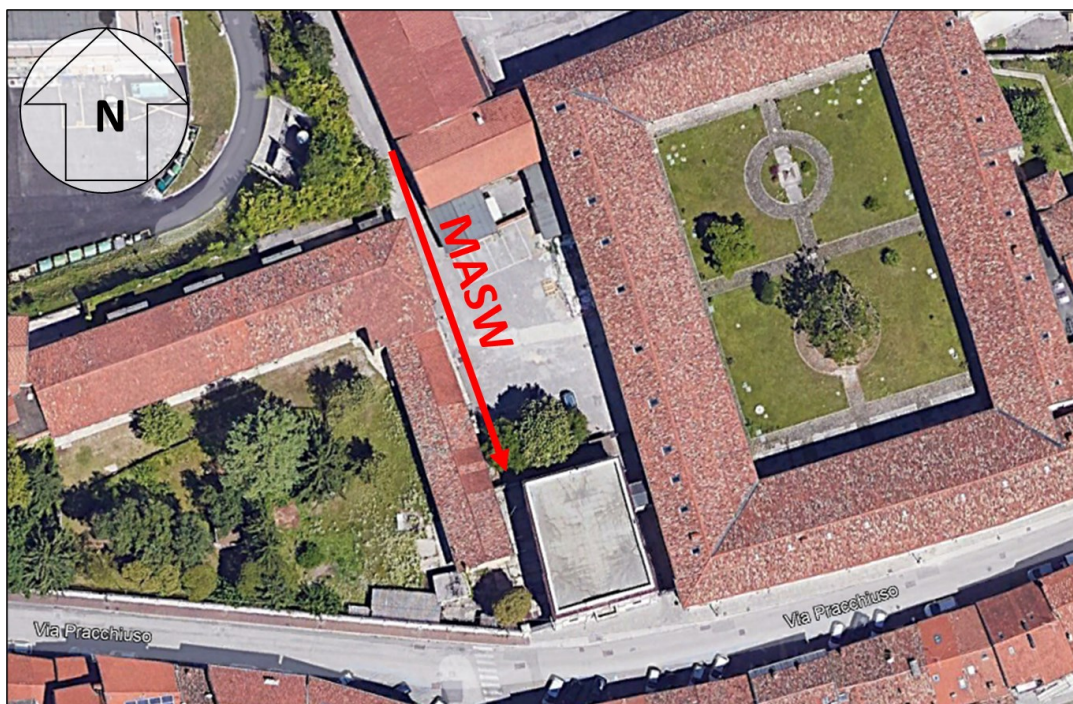
Sono stati inoltre utilizzati, due cavi multicanale (12) per il collegamento con i sensori e 24 geofoni verticali da 4,5 Hz.

Esecuzione operativa dell'indagine Masw in cantiere

L'acquisizione è stata eseguita posizionando 24 ricevitori da 4,5 Hz ad una distanza inter-geofonica pari a 2 m, ed energizzando mediante mazza battente su piastra in ferro-alluminio a distanze diverse, di 12, 9, 6, 3 m dal primo geofono (eseguendo registrazioni ripetute);



Foto esecuzione indagine Masw in sito



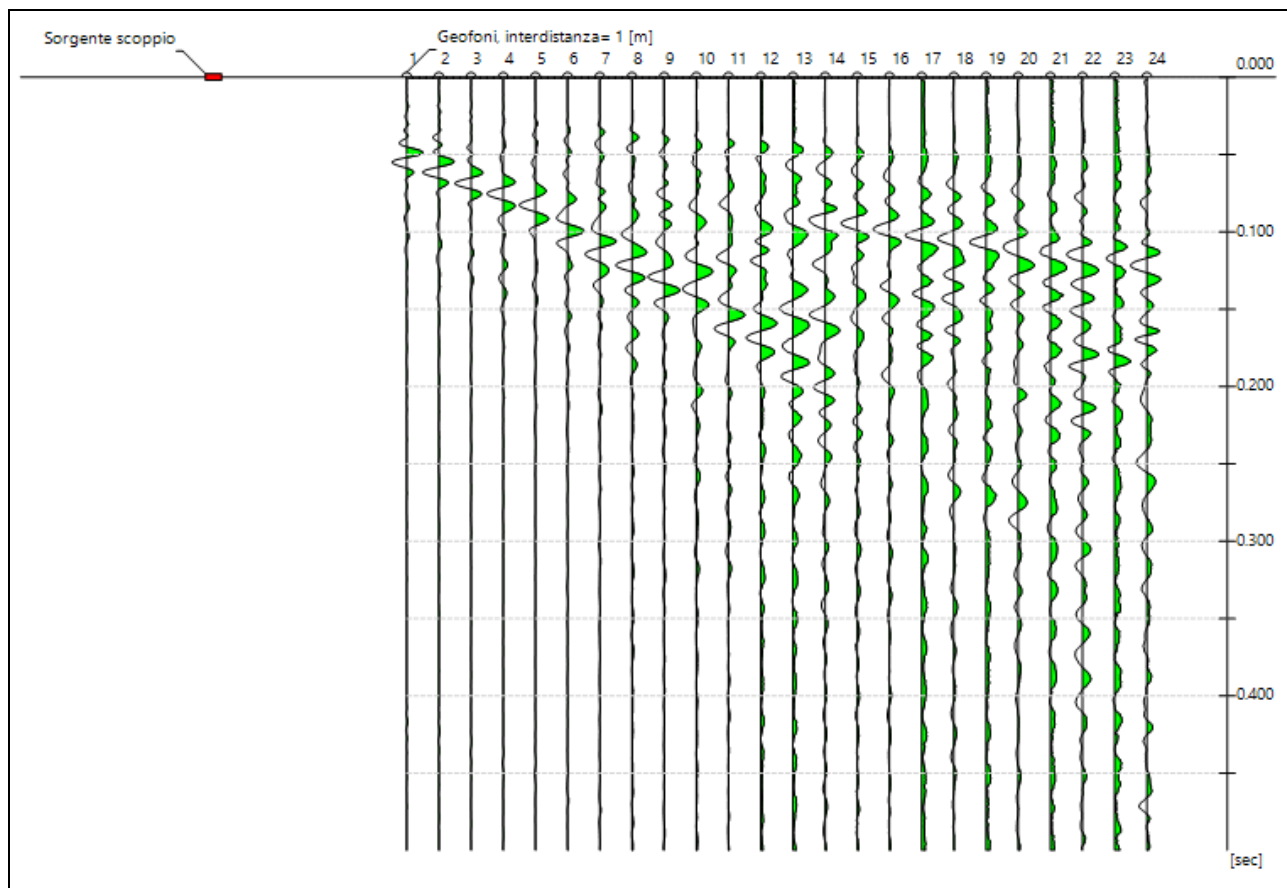
Ubicazione indagine Masw su ortofoto (Google.com)

Sede: v. Martiri Libertà 29, 35042 Este (PD) tel. 0429601986 fax 04291702351 e-mail info@geologiatecnica.net sito web: www.geologiatecnica.net		
File: Udine_ex_caserma_Altraingegneria.doc	Redatto da: Vorlicek P. A.	Data 30/06/2022
Rev. 00	Controllato da: Sacramati M.	Pag. 8

Elaborazione dati

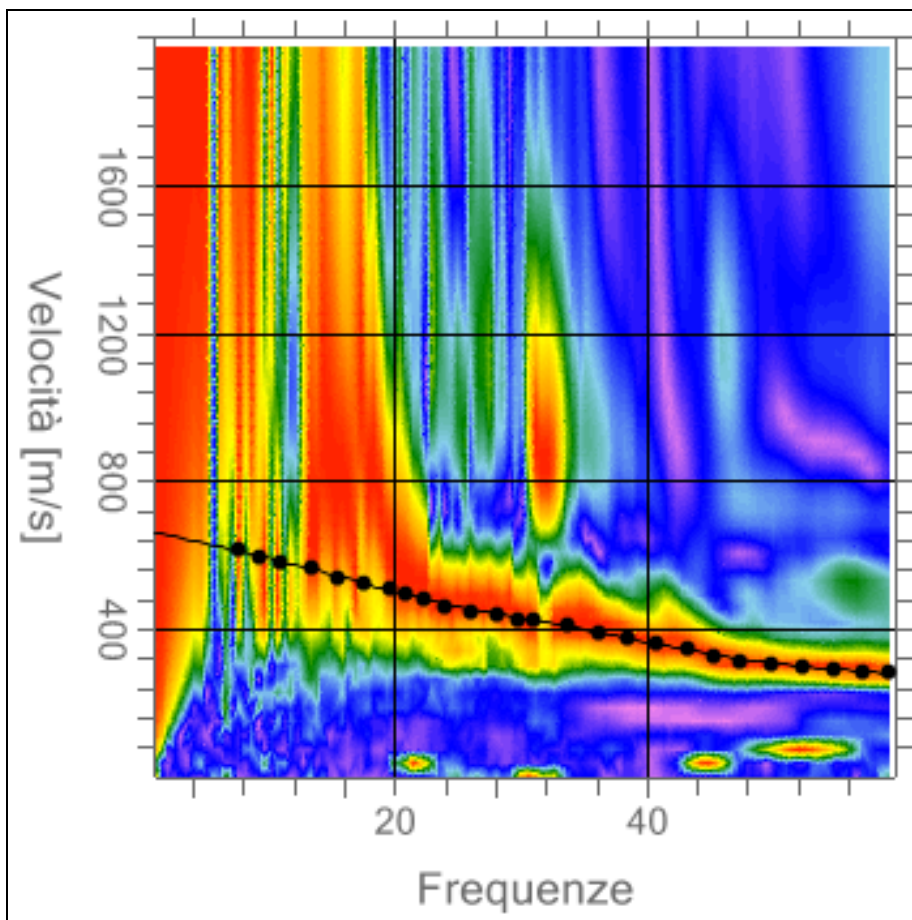
L'elaborazione è stata eseguita tramite il software Easy Masw della GEOSTRU unitamente al software Front per il processamento dei dati di ingresso.

Nome del file delle tracce	SHOT1
Numero di ricevitori usati per l'analisi	24
Numero canali usati per l'analisi	24
Distanza tra i sensori	2 m
Passo temporale di acquisizione	0.000131 s
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a [s]	0 s
L'intervallo considerato per l'analisi termina a [s]	1,0023 s

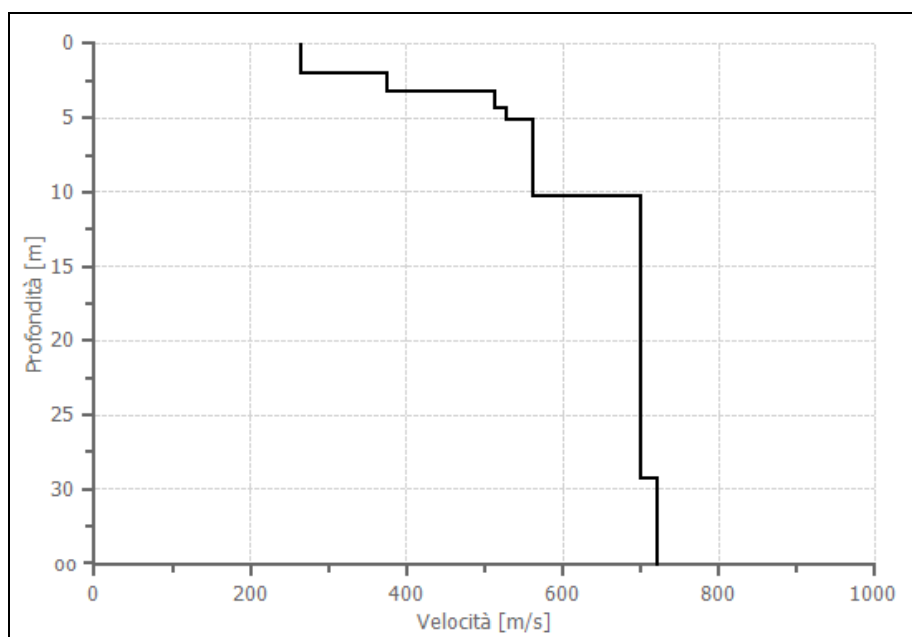


Tracce sperimentali

Risultati delle analisi



Curva di dispersione sperimentale con relativo Picking e curva di modello



Modello velocità onde S nel sottosuolo

Profondità [m] da p.c.	Vs calcolata [m/s]
0,00 – 1,99	263,74
1,99 – 3,22	373,98
3,22 – 4,31	512,38
4,31 – 5,11	528,28
5,11 – 10,27	560,54
10,27 – 29,25	699,38
29,25 – oo	721,71

Dai risultati della prova Masw eseguita in sito, il valore di Vs30 è pari a 578,51 m/s.

Caratterizzazione sismica dei terreni tramite la tecnica HVSR

Generalità metodo Nakamura

Il metodo si basa sulla misura del rumore sismico ambientale, il quale risulta prodotto sia da fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) sia dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre

I metodi che si basano sull'acquisizione dei microtremori si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come avviene invece nel caso della sismica attiva.

La caratterizzazione sismica dei terreni tramite la tecnica sismica passiva (tecnica dei rapporti spettrali) o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio - Metodo di Nakamura) è finalizzata all'individuazione della frequenza caratteristica di risonanza di sito e delle discontinuità sismiche che sono correlabili ai cambi litologici presenti sia all'interno della copertura che al contatto copertura-bedrock.

Si sottolinea da subito però che l'analisi del rapporto spettrale H/V non è, da sola, sufficiente a caratterizzare la complessità degli effetti di sito e soprattutto non è in grado di determinare, da sola, il valore assoluto dell'amplificazione sismica. Il metodo ha comunque dimostrato di essere idoneo per valutare il periodo fondamentale di depositi sedimentari (in modo particolare quando l'impedenza di questi è in grande contrasto con l'impedenza del bedrock). La tecnica HVSR consente quindi di valutare la frequenza fondamentale di risonanza di uno strato soffre a partire dalle sole registrazioni del rumore in superficie. Risulta così possibile conoscere il valore della frequenza di risonanza del terreno, valore che farà da guida per il progettista per evitare, in caso di sisma, il fenomeno della doppia risonanza terreno-struttura e definire un miglior comportamento sismico della struttura. Per la determinazione delle velocità delle onde di taglio (Vs) e per una corretta caratterizzazione dei litotipi investigati si utilizza un codice di calcolo appositamente creato per interpretare i rapporti spettrali (HVSR) basati sulla simulazione del campo d'onde di superficie (Rayleigh e Love) secondo la teoria descritta in AKI (1964) e Ben-Menahem e Singh (1981); Arai e Tokimatsu, 2004). Nel caso in cui quindi siamo in presenza di una discontinuità sismica legata al passaggio tra materiali con parametri (densità e velocità sismiche) diversi che presentano quindi un contrasto d'impedenza (per essere identificabili i picchi H/V richiedono contrasti di impedenza almeno del 25%) è possibile stabilire una relazione tra lo spessore dello strato "più soffice" h , la velocità media delle onde S e la frequenza f del picco attraverso la formula:

$f = \frac{V_s}{4 \times h}$	Nota la frequenza di risonanza (f_0) propria del sito, ricavata dal rapporto spettrale H/V e la stima delle V_s , è possibile determinare lo spessore (h) di una coltre sedimentaria soprastante un bedrock sismico, applicando la relazione $f_0 = V_s / 4 h$.
------------------------------	--

L'elaborazione viene sviluppata effettuando il rapporto tra la componente orizzontale e la componente verticale del moto, nell'ipotesi che la componente verticale non risenta degli effetti di amplificazione; i picchi del rapporto dipendono dalla sismostratigrafia del sottosuolo e sono funzione diretta del periodo fondamentale dei depositi e della frequenza di sito (f_0).

Strumentazione

Per l'acquisizione dei dati per la prova HVSR è stato utilizzato un SR04 GeoBox, un sismografo finalizzato alla rilevazione di vibrazioni naturali e artificiali, dal rumore di fondo ai forti terremoti. A seguito le caratteristiche tecniche generali:

Numero canali ed a/d converter	3 (SD) dinamica di 144dB (24 bit effettivi fra 0.1 e 10Hz, ENOB)
Sensibilità	con velocimetri da 4.5Hz: < 1 nanometro/secondo per count
Campionamento	simultaneo sui tre canali a 10,20,50,100,200,300,400,480,600Hz
Interfaccia dati	RS232 con cavo da 8 metri e adattatore USB in dotazione
Contenitore	Monoblocco in alluminio IP66
Dimensioni e peso	155x140x110 mm 3.1kg con sensori da 4.5Hz
Temperatura operativa	-20/+50°C
Conformità	CE

Nel sito è stata eseguite 1 registrazioni (HVSR1) da 1200 sec (20 min.), esportando parte del terreno superficiale durante una giornata con condizioni meteo ideali (senza precipitazioni e vento).



Foto stazione di registrazione HVSR

Presentazione ed elaborazione dei risultati

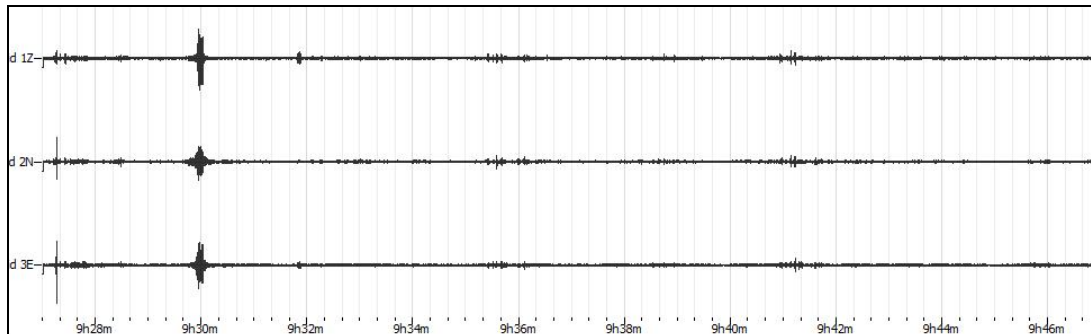
Per l'elaborazione dei dati e la definizione della frequenza fondamentale del sito è stato utilizzato il software open source Geopsy risultati riportati delle misurazioni per ogni stazione di misura comprendono:

- Figura della traccia registrata
- Grafico componenti spettrali lisciate tramite operatore Konno & Ohmachi (1998)
- Grafico andamento del rapporto H/V in funzione della direzione
- Grafico del rapporto H/V e relativa f_0 calcolata

Indagine HVSr1

A seguito si riportano i grafici sopra elencati (elaborazione del segnale eseguita con software Geopsy).

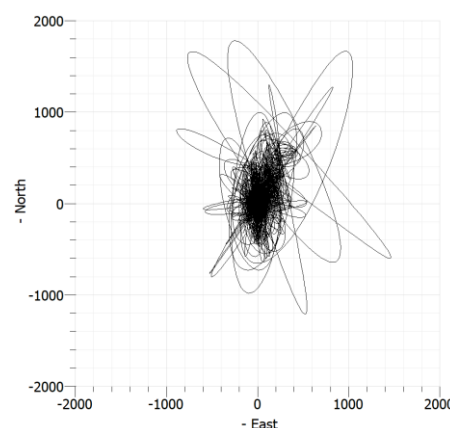
INDAGINE	HVSr1
Numero di tracce:	3
Durata registrazione:	1200 s
Frequenza di campionamento:	300 Hz
Banda di frequenza considerata	0,2 – 40 Hz
Numero campioni	359933
Direzioni tracce:	Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale



Traccia registrata (HVSr1)

Distribuzione del segnale registrato

Nella figura a sinistra si riporta il movimento delle particelle sul piano orizzontale. Si evidenzia una distribuzione a 360° della maggior parte del microtremore ambientale registrato e una minor presenza di rumori antropici unidirezionali.



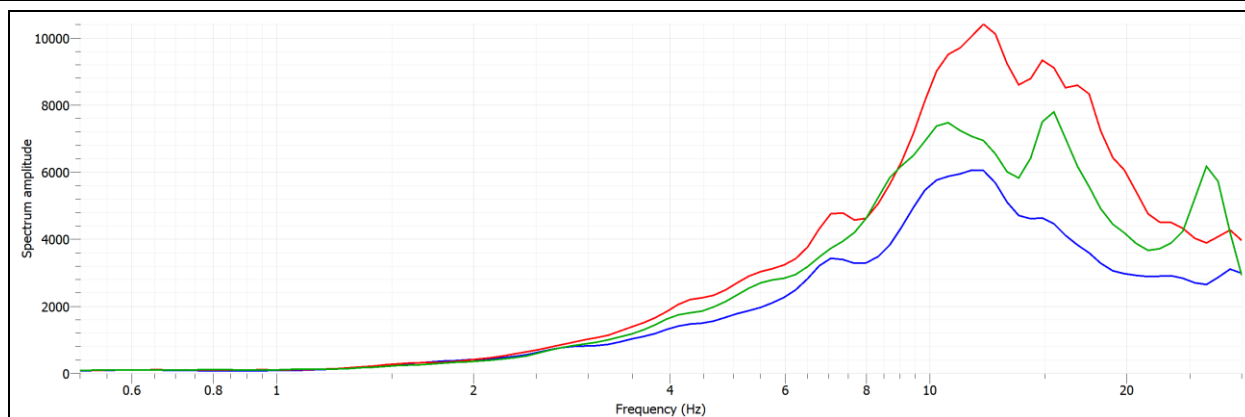


Fig. 1: Componenti spettri lisciati: in blu componente verticale in rosso e verde orizzontali (HVS1)

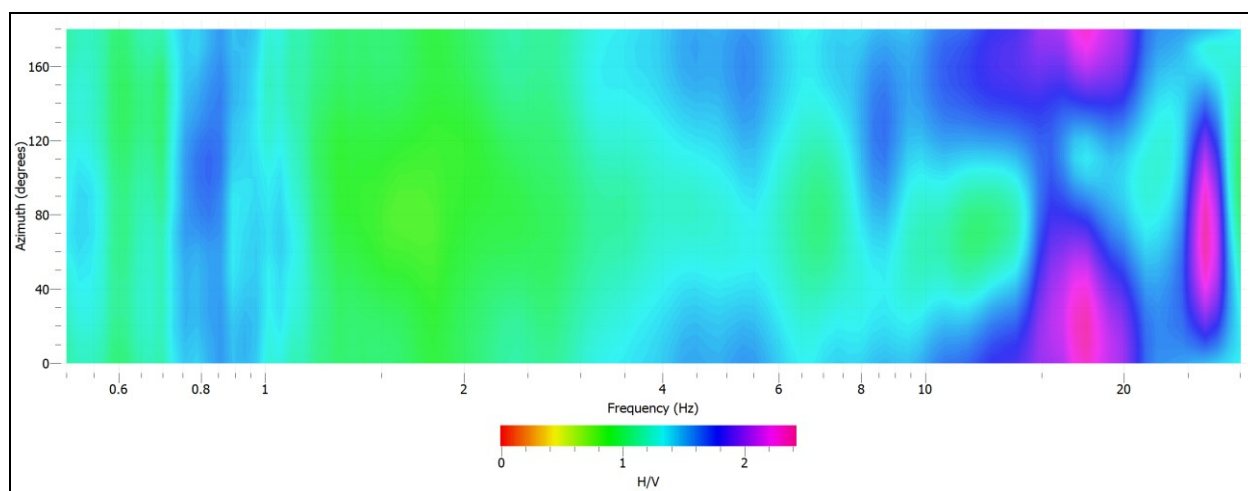


Fig. 2: Direzionalità rapporto H/V (HVS1)

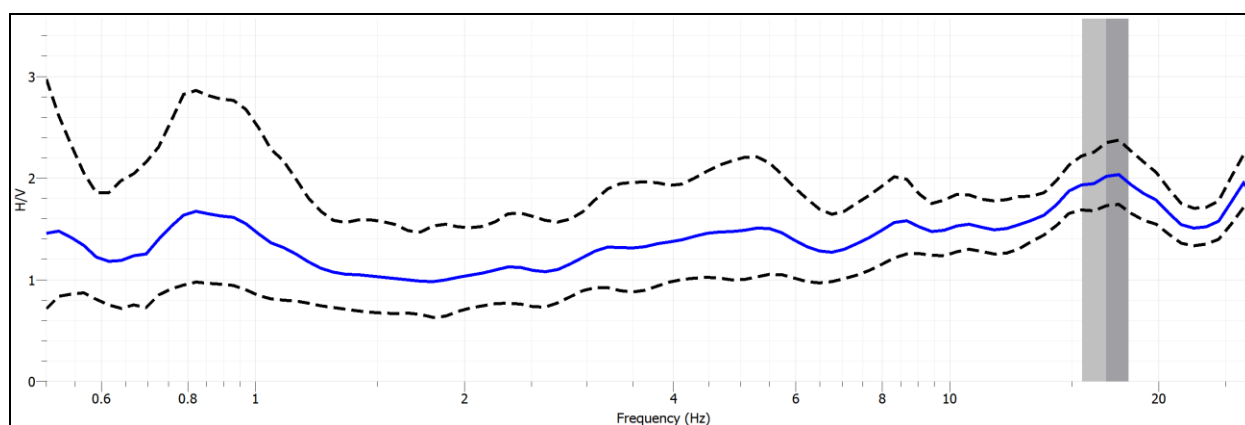


Fig. 3.: Rapporto spettri componenti orizzontali e verticali lisciati. In grigio in evidenza i picchi (HVS1)

Osservazioni

L'analisi del segnale è stata eseguita previa un filtraggio del segnale ed una opportuna eliminazione dei transienti più importanti. Dall'analisi del rapporto degli spettri si evince la presenza di un picco intorno ai 16,80 Hz, di cui si riportano nella tabella a seguito i dati principali.

Sede: v. Martiri Libertà 29, 35042 Este (PD) tel. 0429601986 fax 04291702351 e-mail info@geologiatecnica.net sito web: www.geologiatecnica.net		
File: Udine_ex_caserma_Altraingegneria.doc	Redatto da: Vorlicek P. A.	Data 30/06/2022
Rev. 00	Controllato da: Sacramati M.	Pag. 14

Dati picco principale (H/V)		
Frequenza F_0	f stddev (Hz)	A_0
16,80	$\pm 1,29$	2,01

Tale picco è dovuto ad un salto d'impedenza (superficiale) legato probabilmente al passaggio alle ghiaie. Tale frequenza potrebbe essere la frequenza caratteristica di risonanza dei depositi sedimentari presenti in sito.

Liquefazione terreni

In base alle indicazioni del paragrafo 7.11.3.4.2 Esclusione della verifica a liquefazione del DM 17/01/2018, la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc1N > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e $qc1N$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

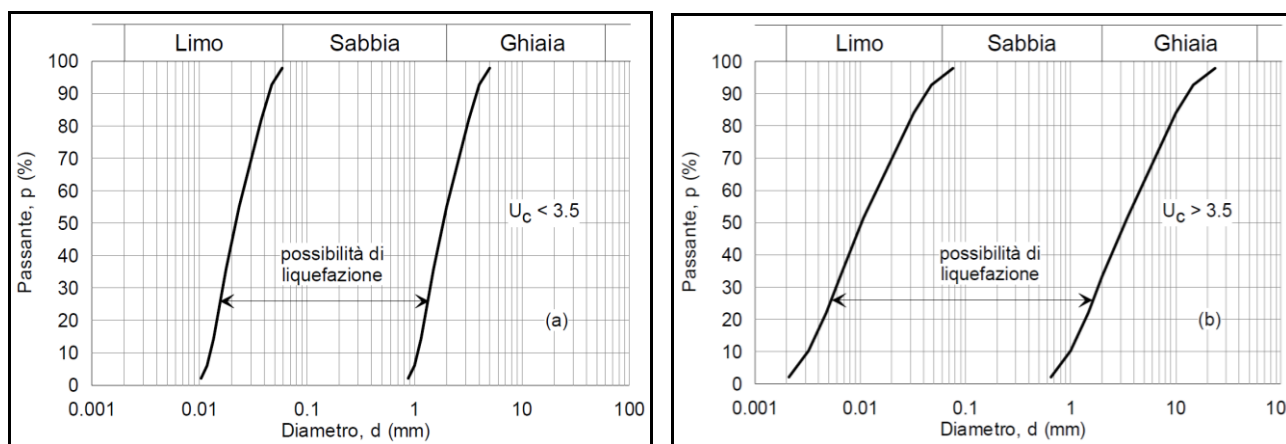


Fig. 7.11.1. Fusi granulometrici di terreni suscettibili alla liquefazione

Le indagini in sito e i dati bibliografici nell'area comunale del centro abitato di Udine, hanno individuato la presenza di materiale prevalentemente granulare costituito in prevalenza da ghiaie addensate/cementate e conglomerati, con falda oltre i 40 m da p.c., il rischio liquefazione risulta quindi trascurabile.

RELAZIONE GEOTECNICA

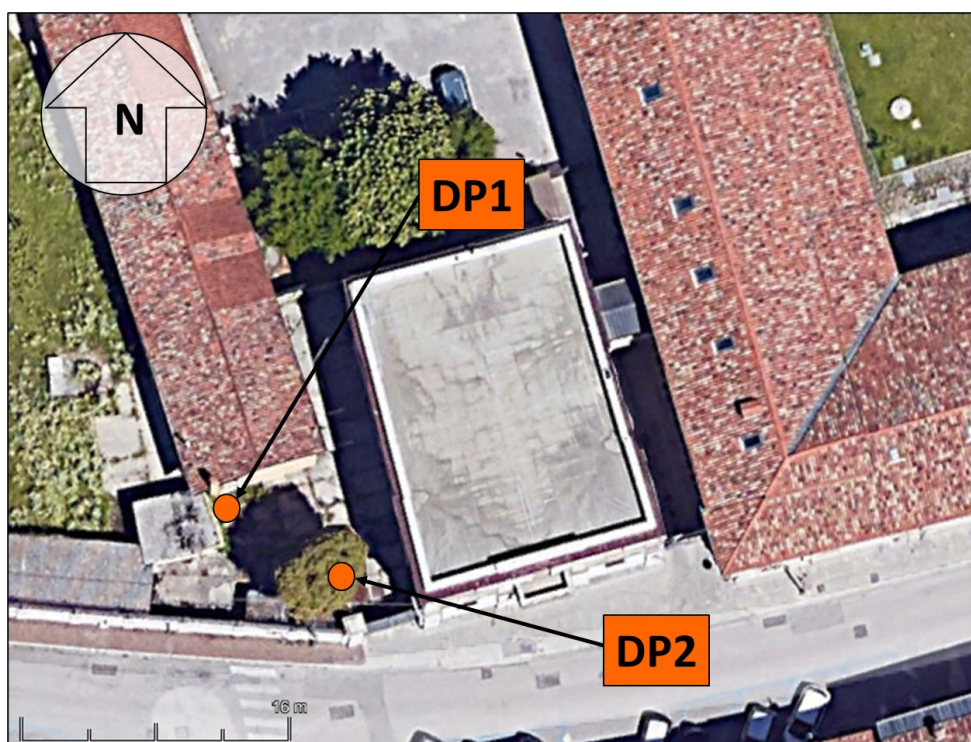
POZZO n.	- 25	Tavoletta - 25IISO	
Provincia	- Udine	Comune - Udine	Localita' - S.Osvaldo
Quota p.c.	- 94 m	Anno di p. - 1967	Perforat. - Costa
Proprietario	- Osp. Psich.	Tipo pozzo - freatico	Fonte dati - perf. e [8]
Diametro	- 305 mm	Fessuraz. * 76,8-82,0;	97,6-101,9 m
Note	- Pozzo in esercizio.		Liv. stat. * 43 m p.c.
			Liv. din. * m p.c.
Stratigrafia (in m)			
0,0-0,8	terreno vegetale		
0,8-5,7	ghiaia con ciottoli		
5,7-11,4	conglomerato		
11,4-13,0	ghiaia grossa		
13,0-17,5	ghiaia cementata		
17,5-20,3	conglomerato		
20,3-21,0	argilla sabbiosa		
21,0-31,5	conglomerato compatto		
31,5-37,0	conglomerato con ciottoli		
37,0-38,3	conglomerato compatto		
38,3-41,5	conglomerato fessurato		
41,5-45,3	conglomerato con ciottoli		
* 45,3-53,0	conglomerato fessurato con acqua		
53,0-54,4	arenaria grigia compatta		
54,4-55,0	conglomerato fessurato		
* 55,0-56,7	conglomerato fessurato con acqua		
56,7-57,4	conglomerato compatto		
* 57,4-60,3	conglomerato fessurato con acqua		
60,3-65,3	conglomerato compatto		
65,3-67,2	conglomerato fessurato		
67,2-76,0	conglomerato compatto		
76,0-84,7	conglomerato fessurato		
84,7-87,3	ghiaia con ciottoli argillosi		
87,3-96,0	conglomerato compatto		
96,0-97,0	argilla compatta grigia		
97,0-102,7	conglomerato fessurato		
102,7-103,2	argilla giallastra		
103,2-104,2	conglomerato compatto		

POZZO n.	- 17	Tavoletta - 25IISO	
Provincia	- Udine	Comune - Udine	Localita' - Cinema
Quota p.c.	- 113 m	Anno di p. - 1965	Perforat. - Capitol
Proprietario	- Soc. U. Teatri	Tipo pozzo - freatic.	Fonte dati - perf. e [8]
Diametro	- 305 mm	Fessuraz. * 64,3-69,1;	74,3-79,1; 89,6-94,3 m
Note	- Elettropompa; pozzo in esercizio.		Liv. stat. * 40 m p.c.
			Liv. din. * m p.c.
Stratigrafia (in m)			
0,0-7,0	scantinato, terreno di riporto		
7,0-10,0	conglomerato		
10,0-28,0	ghiaia		
28,0-50,5	conglomerato		
50,5-51,0	argilla giallastra		
* 51,0-58,0	conglomerato con acqua		
58,0-62,0	conglomerato compatto		
* 62,0-68,0	conglomerato a tratti fessurato con acqua		
68,0-68,7	arenaria		
68,7-74,0	conglomerato compatto		
* 74,0-82,0	conglomerato a tratti fessurato con acqua		
82,0-88,0	conglomerato compatto		
* 88,0-95,7	conglomerato fessurato con acqua		
95,7-99,0	conglomerato compatto		
99,0-100,0	arenaria		

POZZO n.	- 16	Tavoletta - 25IISO	
Provincia	- Udine	Comune - Udine	Localita' - Viale
Quota p.c.	- 111 m	Anno di p. - 1969	Perforat. - L. da Vinci
Proprietario	- Ist. Malignani	Tipo pozzo - freatico	Perforat. - Costa
Diametro	- 305 mm	Fessuraz. *	Fonte dati - perf. e [8]
Note	- Elettropompa; pozzo in esercizio.		Liv. stat. * 46,5 m p.c.
			Liv. din. * 48,0 m p.c.
			(10 l/s)
Stratigrafia (in m)			
0,0-1,0	terreno vegetale		
1,0-19,0	ghiaia con ciottoli grossi		
19,0-28,0	conglomerato		
28,0-36,5	ghiaia a tratti cementata		
36,5-49,0	conglomerato compatto		
* 49,0-59,3	conglomerato a tratti fessurato con acqua		
59,3-60,3	conglomerato compatto		
60,3-60,8	argilla giallastra		
* 60,8-62,0	ghiaia con acqua		
62,0-68,0	conglomerato compatto		
* 68,0-73,0	conglomerato fessurato con acqua		
73,0-77,5	conglomerato compatto		
77,5-78,7	argilla giallastra		
* 78,7-85,0	conglomerato a tratti fessurato con acqua		
85,0-91,0	conglomerato compatto		
* 91,0-95,5	conglomerato fessurato con acqua		
95,5-104,0	arenaria		
* 104,0-117,0	conglomerato fessurato con acqua		
117,0-118,5	argilla giallastra		
118,5-120,0	argilla cenere		

RELAZIONE GEOTECNICA**Prove penetrometriche**

Per le prove penetrometriche dinamiche (DP1 e DP2) si è utilizzato un penetrometro dinamico classificato come S. Heavy (ISMEF) con maglio da 50 kg ed energia specifica per colpo pari a 11,90 kg/cm². Sono allegati i diagrammi con i risultati delle prove e a seguito le foto e la planimetria con l'ubicazione delle medesime.

*Esecuzione DP1**Esecuzione DP2**Ubicazione delle indagini*

Caratteristiche meccaniche del terreno

Nel sito in esame sono state eseguite n° 2 prova penetrometriche dinamiche fino alla profondità di 4,40 m da p.c. Per le prove penetrometriche dinamiche si è utilizzato un penetrometro dinamico classificato come DPSH (S. Heavy). Nella tabella a seguito si riportano le principali caratteristiche del penetrometro.

Maglio	Volata	Diam. aste	Angolo punta	Lunghezza aste	Energia specifica colpo
63.5 kg	75 cm	3.2 cm	90°	100 cm	11.9 kg/cm ²

Stratificazione schematica media ricavata dalla prova DP1 (modello geotecnico)

Strato	m da p. c.	INTERPRETAZIONE LITOLOGICA ⁽¹⁾	PARAMETRI GEOTECNICI					
			Rpd Kg/cm ²	Cu Kg/cm ²	φ°	γ _{d/s} g/cm ³	Nspt	Dr
1	0,00-0,20	Terreno coesivo	35	0,67	30,0	1,91	11	33
2	0,20-0,60	Terreno granulare	142	\	35,8	2,05	29	63
3	0,60-2,00	Terreno granulare	77	\	32,2	1,97	17	45
4	2,00-2,80	Terreno granulare	134	\	36,6	2,06	32	67
5	2,80-3,20	Terreno granulare	169	\	39,3	2,11	20	77
6	3,20-3,40	Terreno granulare	301	\	44,5	2,19	22	92

(1) L'interpretazione litologica è dedotta dai dati delle prove penetrometriche ed ha valore indicativo delle litologie presenti

Rpd: resistenza dinamica alla punta; Cu: coesione non drenata; Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento = 30 cm); Dr %: densità relativa. φ°= angolo d'attrito efficace

Stratificazione schematica media ricavata dalla prova DP1 (modello geotecnico)

Strato	m da p. c.	INTERPRETAZIONE LITOLOGICA ⁽¹⁾	PARAMETRI GEOTECNICI					
			Rpd Kg/cm ²	Cu Kg/cm ²	φ°	γ _{d/s} g/cm ³	Nspt	Dr
1	0,00-0,40	Terreno coesivo	15	0,29	\	1,78	5	20
2	0,40-0,80	Terreno coesivo / Terreno granulare	30	0,57	29,4	1,47	9	30
3	0,80-1,00	Terreno granulare	76	\	32,1	1,55	17	45
4	1,00-1,40	Terreno granulare	121	\	35,2	1,65	27	60
5	1,40-2,00	Terreno granulare	92	\	33,4	1,59	21	52
6	2,00-2,80	Terreno granulare	134	\	36,5	1,69	32	66
7	2,80-3,40	Terreno granulare	191	\	40,5	1,82	48	82
8	3,40-3,80	Terreno granulare	145	\	37,9	1,74	37	72
9	3,80-4,40	Terreno granulare	211	\	41,7	1,86	57	85

(1) L'interpretazione litologica è dedotta dai dati delle prove penetrometriche ed ha valore indicativo delle litologie presenti Rpd: resistenza dinamica alla punta; Cu: coesione non drenata; Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento = 30 cm); Dr %: densità relativa. φ°= angolo d'attrito efficace

Valori di progetto dei parametri geotecnici

I valori di progetto **P(1)** dei parametri geotecnici, X_d , possono essere ricavati dai valori caratteristici, utilizzando la seguente equazione:

$$X_d = X_k / \gamma_m$$

I valori di progetto, X_d (Φ_d , c'_d , $Cud...$) sono quelli da utilizzare nelle verifiche. Si ricavano a partire dei valori caratteristici, X_k ai quali va applicato un fattore riduttivo γ_m (FS parziale), tabellato nel NTU.

Per valore caratteristico di un parametro geotecnico deve intendersi una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro per ogni stato limite considerato. I valori caratteristici delle proprietà fisiche e meccaniche da attribuire ai terreni devono essere dedotti dall'interpretazione dei risultati di specifiche prove di laboratorio su campioni rappresentativi di terreno e di prove e misure in sito.

Indicazioni sulla scelta di valori caratteristici si ritrovano non nel NTC ma nel EC7.

“La selezione dei valori caratteristici sarà basata sui valori derivati da prove di laboratorio o in situ “Il valore caratteristico di un parametro di un terreno o di una roccia deve essere scelto in base ad una valutazione cautelativa del valore che influenza l'insorgere dello stato limite” la maggiore varianza di c' rispetto a quella di ϕ' deve essere considerata quando si determinano i loro valori caratteristici. L'estensione della zona di sottosuolo che influisce sul comportamento di una struttura geotecnica in condizioni di stato limite è di solito molto più ampia di quella interessata da una prova su terreno o roccia e, pertanto, il parametro che determina il comportamento è spesso il valore medio nell'ambito di una certa superficie o di un certo volume di sottosuolo. Il valore caratteristico corrisponde ad una valutazione cautelativa del suddetto valore medio. Se si utilizzano metodi statistici, il valore caratteristico dovrebbe essere ricavato in maniera tale che la probabilità calcolata di valori più sfavorevoli, che determinano la manifestazione dello stato limite, non sia maggiore del 5%.”. Segue che il valore caratteristico è una stima cautelativa di cui si riporta a seguito un metodo di calcolo (t-student) per dati “numerosi”.

$$\mu = t(n-1) \left(\frac{s}{\sqrt{n-1}} \right) + \bar{x}$$

Media della popolazione: $t(n-1)$ = distribuzione di Student con $n-1$ gradi di libertà

La distribuzione della media è sensibile al numero n dei dati, e al valore s della deviazione standard del campione

A seguito si riporta il valore caratteristico per il parametro angolo resistenza al taglio calcolato sui dati delle prove penetrometriche relativo ai banchi granulari al disotto del piano di fondazione, all'interno della “superficie di rottura” (volume “significativo” di terreno coinvolto dall'azione dell'opera in progetto).

5° percentile distribuzione della media				
N° prove	N° dati(*)	Dev. Stand.	Media dati	Valore caratteristico
2	27	3,10	36,26	35,2

(*) I dati inseriti sono i valori dell'angolo d'attrito, (circa 1 dato ogni 30 cm) relativo ai livelli granulari, determinati con il programma di elaborazione delle prove Win Din

	GEOLOGIA TECNICA sas di Vorlicek P.A. & C	Azienda certificata UNI EN ISO 9001:2015 da: Kiwa Cermet Italia S.p.A.
RELAZIONE GEOTECNICA		

Il valore caratteristico, relativo al parametro geotecnico angolo resistenza al taglio, utilizzato per le verifiche agli stati limite delle opere in progetto, è **35,2°**. Tale valore caratteristico diventerà valore di progetto dividendo lo stesso per i diversi coefficienti parziali.

Sede: v. Martiri Libertà 29, 35042 Este (PD) tel. 0429601986 fax 04291702351 e-mail info@geologiatecnica.net sito web: www.geologiatecnica.net		
File: Udine_ex_caserma_Altraingegneria.doc	Redatto da: Vorlicek P. A.	Data 30/06/2022
Rev. 00	Controllato da: Sacramati M.	Pag. 20

CONCLUSIONI

Fattibilità geotecnica; le indagini in sito indicano la presenza di terreni prevalentemente granulari. Il valore caratteristico, relativo al parametro geotecnico angolo attrito, utilizzato per le verifiche agli stati limite delle opere in progetto, è 35,2°. Tale valore caratteristico diventerà valore di progetto dividendo lo stesso per i diversi coefficienti parziali.

Analisi sismica; I terreni in sito, (vista la predominante componente ghiaiosa) non risultano liquefacibili. I terreni in sito appartengono alla categoria sismica di sottosuolo C e condizione topografica T1.

*Relazione e indagini eseguite nel mese di giugno, 2022
In allegato grafici delle prove penetrometriche*



