



Città di Viterbo

PROGETTO ESECUTIVO
LAVORI DI RECUPERO E AMMODERNAMENTO DELLA SALA ANSELMII
DI PROPRIETA' DELLA PROVINCIA DI VITERBO
UBICATA IN VITERBO, VIA A. SAFFI



PROVINCIA DI VITERBO
Protocollo Arrivo N. 28616/2024 del 02-08-2024
Doc. Principale - Class. 11 - Copia Documento

TAV_10

Elaborati: Relazione Geologica
Modellazione sismica del sito

Data: dicembre 2023

SCALA:

AGGIORNAMENTI :luglio 2024

Tecnico :
Arch. Damiano Amatore
P.le Gramsci, 13
01100 Viterbo (VT)
damiano.amatore@archiworldpec.it

Collaboratore :
Arch. Luca Cilli



Geologo :
Dott. Simone Amato



RUP :
Arch. Anna Rita Santini

Richiedente: Provincia Di Viterbo

Questo disegno è di proprietà riservata a termine di legge ed è vietata la riproduzione anche parziale senza autorizzazione

***COMUNICAZIONE ASSICURAZIONE RISCHI PROFESSIONALI D.P.R.
n. 137/12***

Ai sensi del D.P.R. n 137/12 il sottoscritto Simone Amato, nato a Roma il 14/12/1978, geologo iscritto all'Albo Regionale dei Geologi del Lazio al n. 1577 in possesso della seguente polizza assicurativa di responsabilità civile:

Polizza N° 2206290635038 stipulata con Società Cattolica di Assicurazione

Massimale assicurato: € 1.000.000,00.

PROGETTO: Lavori di recupero e ammodernamento della Sala Anselmi

LOCALITA': Via A. Saffi

COMMITTENTE: Provincia di Viterbo

PROVINCIA DI VITERBO
Protocollo Arrivo N. 28616/2024 del 02-08-2024
Doc. Principale - Class. 11 - Copia Documento

INDICE

PREMESSA.....	pag. 5
1 UBICAZIONE GEOGRAFICA	pag. 6
<i>Allegati:</i>	
➤ Corografia CTR Lazio in scala 1:10.000	
➤ Corografia CTR Lazio in scala 1:5.000	
2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE	pag. 9
3 CARATTERIZZAZIONE GEOMORFOLOGICA GEOLOGICA IDROGEOLOGICA DELL'AREA.....	pag.10
<i>Allegati:</i>	
➤ Carta idrogeologica in scala 1:100.000	
➤ Carta geologica in scala 1:5.000	
➤ Sezioni Geologiche	
4 INDAGINI DIRETTE: DPSH, MASW, HVSR, GEORADAR E INDAGINI PREGRESSE.....	pag. 15
4.1 Definizione della pericolosità geologica e programma delle indagini base a quanto disposto dalla D.G.R. Lazio n. 375 del 05.07.2016.....	pag. 15
<i>Allegati:</i>	
➤ Documentazione fotografica;	
➤ Carta delle indagini;	
➤ Carta delle indagini pregresse;	
➤ Stralcio MSI validato dalla Regione Lazio;	
➤ Stralcio PAI.	
4.2 Indagine penetrometrica di tipo DPSH.....	pag. 22
<i>Allegati:</i>	
➤ Report sondaggi penetrometrici DPSH.	
4.3 - Indagine sismica di superficie di tipo indiretto attivo MASW e modellazione sismica	pag. 26

PROVINCIA DI VITERBO
Protocollo Arrivo N. 28616/2024 del 02-08-2024
Doc. Principale - Class. 11 - Copia Documento

4.4 –Indagine sismica Hvsr: misura dei microtrempi ed individuazione della frequenza di sito.....	pag. 30
4.5 Indagine Georadar.....	pag. 32
4.6 Indagini pregresse.....	pag. 37
5 CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA E GEOTECNICA DEL SITO.....	pag.42
5.1 Categoria suolo di fondazione e fattore di fondazione.....	pag. 42
5.2 Modello lito-tecnico del volume significativo.....	pag. 42
6 CONCLUSIONI.....	pag.45

PREMESSA

Su incarico della committenza è stato eseguito, dal sottoscritto Dr. Geologo Simone Amato, uno studio geologico e di modellazione sismica sui terreni siti presso il centro storico del Comune di Viterbo, dove sono previsti dei lavori di recupero e ammodernamento della Sala Anselmi di proprietà della provincia di Viterbo.

L'intervento è dettagliatamente descritto all'interno degli elaborati progettuali.

L'indagine, finalizzata alla definizione delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, geostratigrafiche e geologico – tecniche dei terreni di fondazione, redatta in conformità delle del D.P.R. 328/01 art. 41, delle Norme Tecniche per le Costruzioni (N.T.C.) di cui al D.M. 17.01.18, della Circolare n. 617 del 02.02.2009, delle Delibere G.R. Lazio n. 387 del 22.05.2009 e del Regolamento regionale n. 7 del 16.04.2021, è stata condotta mediante:

1. Rilevamento geologico e geomorfologico esteso anche ad aree limitrofe, caratterizzazione e modellazione geologica del sito, con esecuzione di una campagna geognostica dettagliatamente descritta nel paragrafo 4;
2. Definizione della Classe di rischio geologico e programma delle indagini geotecniche e sismiche in base a quanto disposto dall'allegato C del Regolamento regionale n. 7 del 16.04.2021;
3. Caratterizzazione e modellazione geotecnica mediante elaborazione dei risultati delle indagini eseguite, caratterizzazione litostratigrafica e geotecnica dei terreni di fondazione e definizione del modello lito-tecnico del volume significativo dell'indagine;
4. Zonazione sismica ai sensi dell'Ordinanza n. 3274, del Regolamento regionale n. 7 del 16.04.2021 e delle N.T.C. D.M. 17.01.18 sulla scorta dei risultati degli stendimenti sismici MASW e della prova Hvsr eseguiti;
5. Indagine georadar con sistema IDS mod. Hi-Mod al fine di investigare l'area sottostante la pavimentazione presente.
6. Considerazioni conclusive.

1 UBICAZIONE GEOGRAFICA

L'area di indagine è ubicata presso il centro storico di Viterbo in via A.Saffi, alla quota media di circa 330 m s.l.m.

Gli estremi catastali sono: F°170 p.lla 709.

Le coordinate medie del sito sono le seguenti (WGS84):

**Latitudine: 42°25'01.1"N
42.416978**

**Longitudine: 12°06'22.1"E
12.106133**

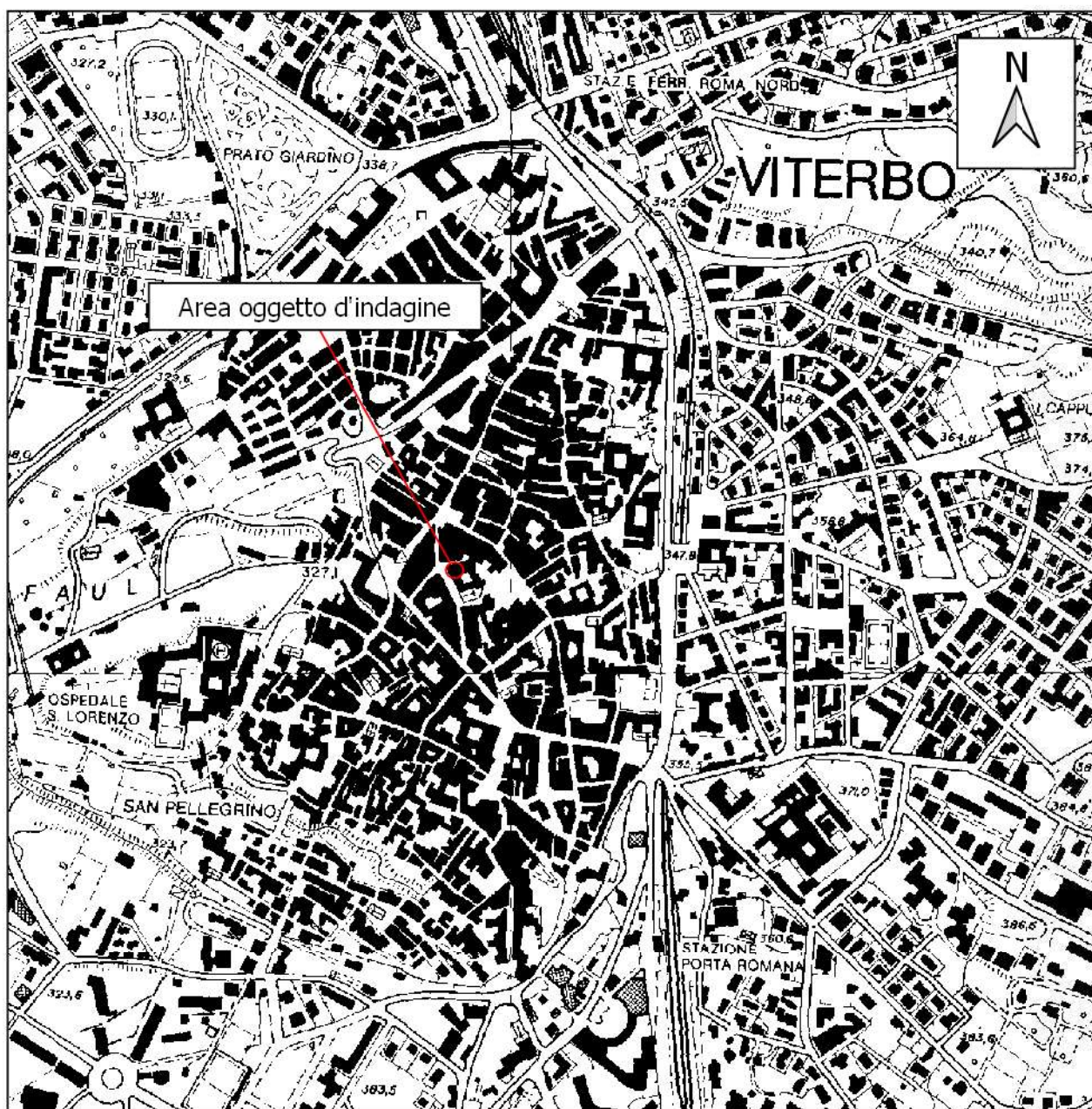


PROVINCIA DI VITERBO
Protocollo Arrivo N. 28616/2024 del 02-08-2024
Doc. Principale - Class. 11 - Copia Documento

Nelle pagine seguenti sono riportate le seguenti carte con l'individuazione dell'area di intervento:

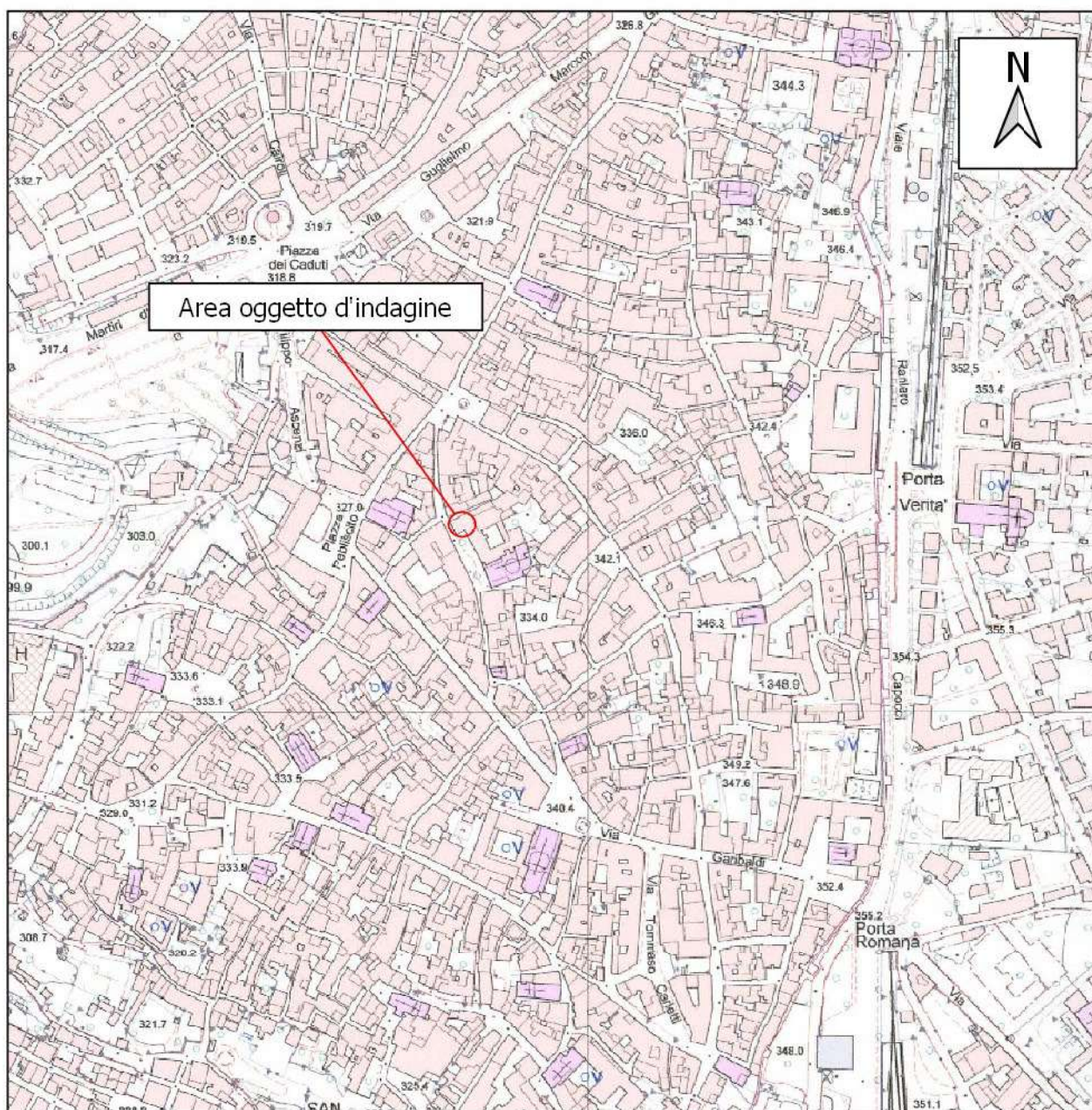
- Stralcio CTR Lazio - Sezione N. 345140 in scala 1 : 10.000
- Stralcio CTR Lazio - Sezione N. 345143 in scala 1 : 5.000

SCALA 1:10.000



CARTA TECNICA REGIONALE - sez. 345143

SCALA 1:5.000



PROVINCIA DI VITERBO
Protocollo Arrivo N. 28616/2024 del 02-08-2024
Doc. Principale - Class. 11 - Copia Documento

2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

La geologia del territorio di Viterbo, dove ricade l'intervento in progettazione, è da iscriversi tra le unità plioquaternarie. La "Provincia Vulcanica Tosco- Laziale" è interessata, a partire dal Pleistocene superiore, da un'intensa attività magmatica, che s'impone lungo la fascia strutturalmente depressa, nota come "Graben principale" e che ricopre i termini sedimentari di origine marina pre-esistenti.

L'area della provincia viterbese è caratterizzata da depositi vulcanici provenienti dal sistema- igneo Vulsino più recente, dal Vicano (Pleistocene) che sovrastano quelli provenienti dal Cimino e Sabatino, più antichi (Plio-pleistocene).

Intorno ai 600.000 anni l'attività si sposta nell'area occupata ora dalla conca lacustre, ed il centro è denominato Paleovulsino. Da questo centro vengono emessi i prodotti vulcanici più antichi affioranti sia ad Est che a Sud del lago. Nelle vicinanze, circa 370.000 anni fa sorge il centro detto Bolsena-Orvieto, che mette in posto prodotti di ricaduta ed un importante ignimbrite denominata «tufo di Bagnoregio»; o ignimbrite di Orvieto che causò il collasso della caldera di Bolsena (localizzata al margine Nord orientale della conca lacustre omonima). Questa area ribassata ospitò presto il lago di Bolsena (definito anticamente Volsiniensis lacus) la cui origine è quindi Vulcano-tettonica.

Contemporaneamente a questo centro, furono attivi tra i 300.000 ed i 150.000 anni fa, il centro di Montefiascone caratterizzato da prodotti ignimbritici, di ricaduta ed idromagmatici ed il centro di Latera i cui prodotti appartengono alla serie potassica ed ultrapotassica.

Le due zone sono separate da un sistema di faglie a gradinata. L'evento tettonico del periodo 0,5-0,4 M.A., oltre che nell'area vulsina, è segnalato nei gruppi vulcanici di Vico e dei Sabatini dalla effusione di enormi colate piroclastiche, attraverso le quali sono state emesse in brevissimo tempo decine di Km di magma, ed alle quali sono succeduti grandi sprofondamenti vulcano-tettonici.

Secondo gli studi più recenti che hanno interessato l'area dei Monti Cimini i prodotti vulcanici localmente affioranti vengono attribuiti a due diversi cicli:

- Il ciclo della provincia petrografica tosko – laziale cui appartiene il centro vulcanico Cimino;
- Il ciclo della provincia petrografica romano – campana cui appartiene l'apparato vicano.

I due complessi vulcanici cui hanno dato luogo i due cicli sopracitati, il Cimino ed il Vicano, pur essendosi sviluppati molto vicini tanto da appartenere dal punto di vista geografico alla stessa regione Cimina, si differenziano nettamente tra loro per la storia, per la loro attività, per la qualità dei prodotti eruttati ed infine per la morfologia stessa che li caratterizza.

Mentre il vulcano di Vico è uno strato-vulcano alimentato da "magma leucititico" con caratteristiche che non si differenziano sostanzialmente dagli altri apparati contigui, il vulcano Cimino, notevolmente più antico, si ricollega a quelle attività "trachitiche" ben sviluppatesi sia in Toscana che nel Lazio nord-occidentale.

L'attività del vulcano di Vico va da 0,4 a 0,14 M.A. con prodotti di base freatomagmatici datati a 0,99 M.A. si distacca anche temporalmente da quella del vulcano Cimino, la cui attività è compresa nell'intervallo 1,35 – 0,95 M.A.

3 CARATTERIZZAZIONE GEOMORFOLOGICA GEOLOGICA IDROGEOLOGICA DELL'AREA

Il lotto oggetto della presente indagine, è ubicato in un'area sub pianeggiante alla quota media di circa 330 m s.l.m.. Gli interventi in progettazione ricadono all'interno del Centro Sorico di Viterbo.

La morfologia sub pianeggiante, risulta totalmente 'mascherata' da interventi antropici, quali opere infrastrutturali (strade, piazzali) e fabbricati. Il reticolo idrografico, ad aste sub-parallele, presenta grado di gerarchizzazione mediamente sviluppato ed è costituito da fossi con scorrimento preferenziale verso SO in direzione del Fiume Marta (bacino principale), di cui rappresentano affluenti di sinistra. In generale non sono in stati rilevati fenomeni di ruscellamento diffuso e/o di ristagno delle acque (le superfici sono in gran parte impermeabilizzate con cemento/asfalto), le acque meteoriche sono convogliate nelle reti infrastrutturali presenti.

Il territorio rientra nell'ambito dell'Autorità di bacino distrettuale dell'appennino centrale (ex Autorità dei Bacini Laziali) ed è stato sottoposto agli studi per il PSAI e per il PAI.; da quest'ultimi non risultano problematiche legate ad eventuali esondazioni o frane.

Il quadro geologico è legato principalmente all'attività dei locali apparati vulcanici plio-pleistocenici. In riferimento all'assetto generale richiamato nel paragrafo precedente, il lotto in esame è interessato dall'affioramento di depositi vulcanici prodotti dall'attività dell'apparato vicano.

In particolare nell'area di studio è stata individuata al di sotto dello strato superficiale costituito da materiale tufaceo alternato con riporto antropico della formazione Ignimbrite III.

Questa unità si presenta in facies di una roccia pomiceo-cineritica, omogenea, compatta, di colore per lo più giallastro-rossiccio con scorie nere.

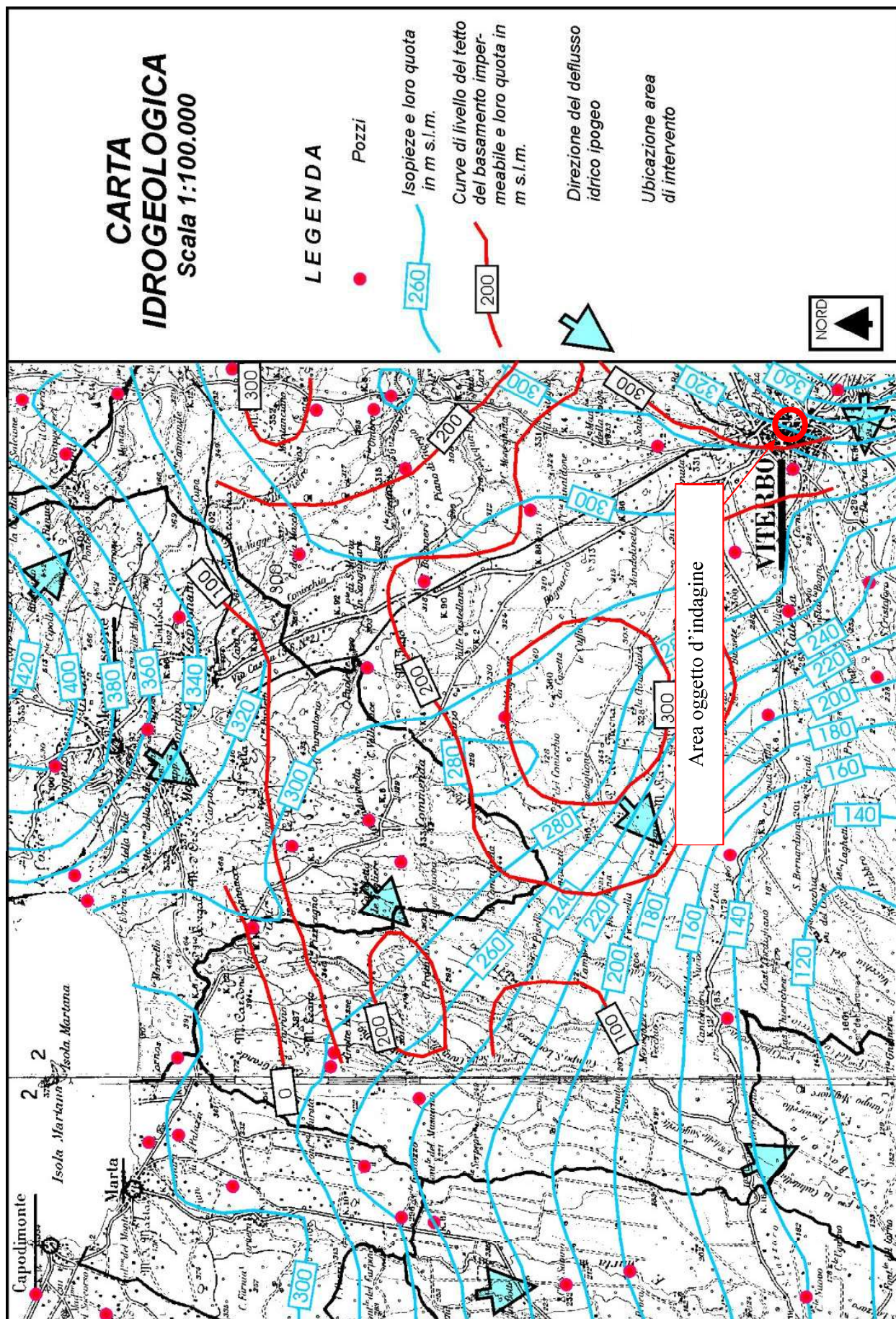
Caratteristica molto diffusa è la presenza di pomici nere più grandi, delle dimensioni di 5-10 cm.

Dal punto di vista idrologico i depositi vulcanici presenti possiedono una permeabilità di tipo primario per porosità con un valore medio-alto (10^{-3} - 10^{-4}), variabile in base al grado di addensamento o alterazione.

La falda acquifera livella ad una profondità tale da non interferire direttamente con il piano di fondazione (circa 20 m).

Di seguito vengono riportati:

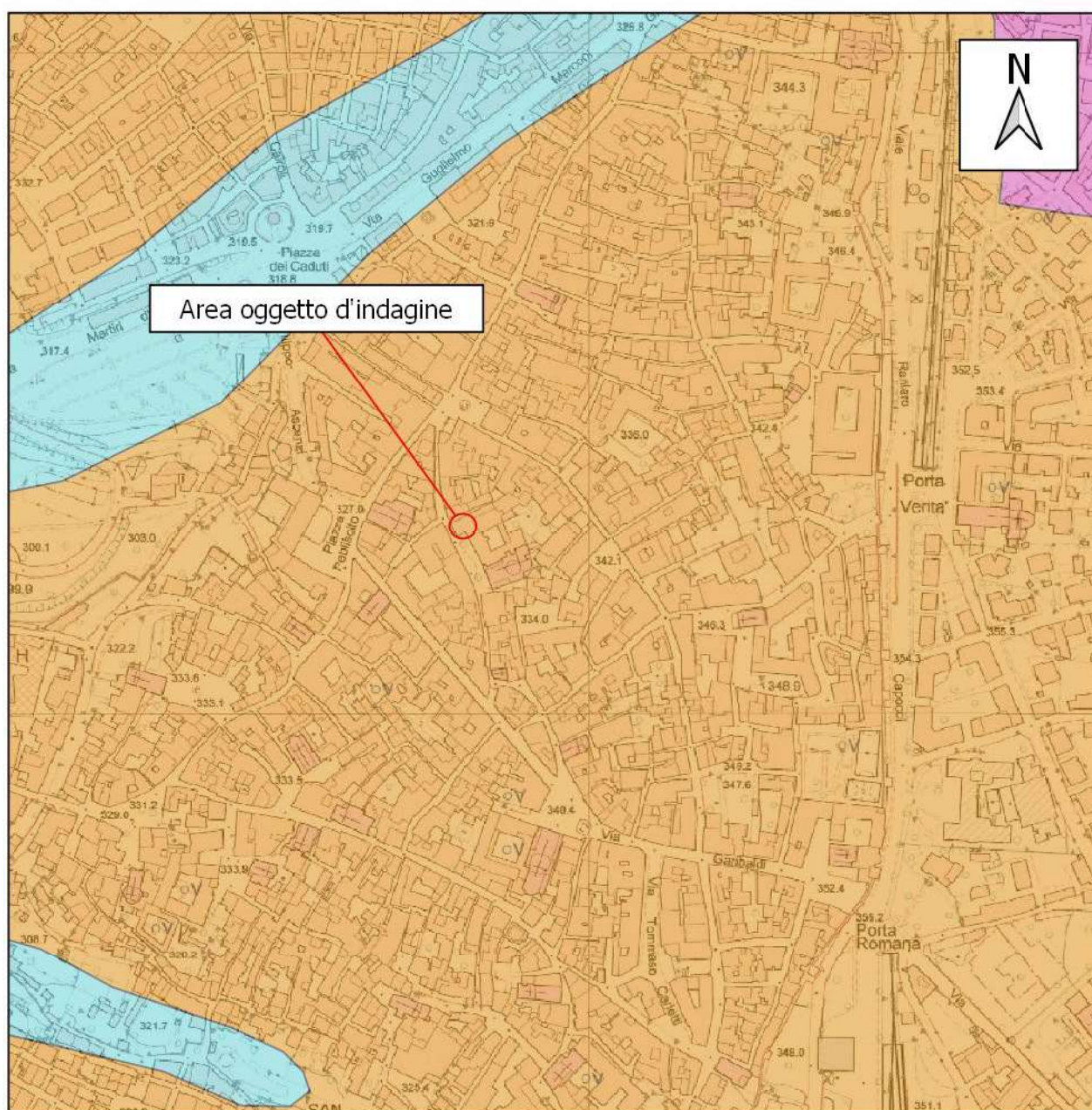
- Stralcio carta idrogeologica;
- Carta geologica in scala 1:5.000 con due sezioni.



Litologie

- Alluvioni ghiaiose, sabbiose, argillose attuali e recenti anche terrazzate
- Ignimbriti litoidi a matrice rossastra con scorie nere, alla base del deposito pomici
- Ignimbriti grigie e rosate, massive, caotiche e saldate, con scorie nere

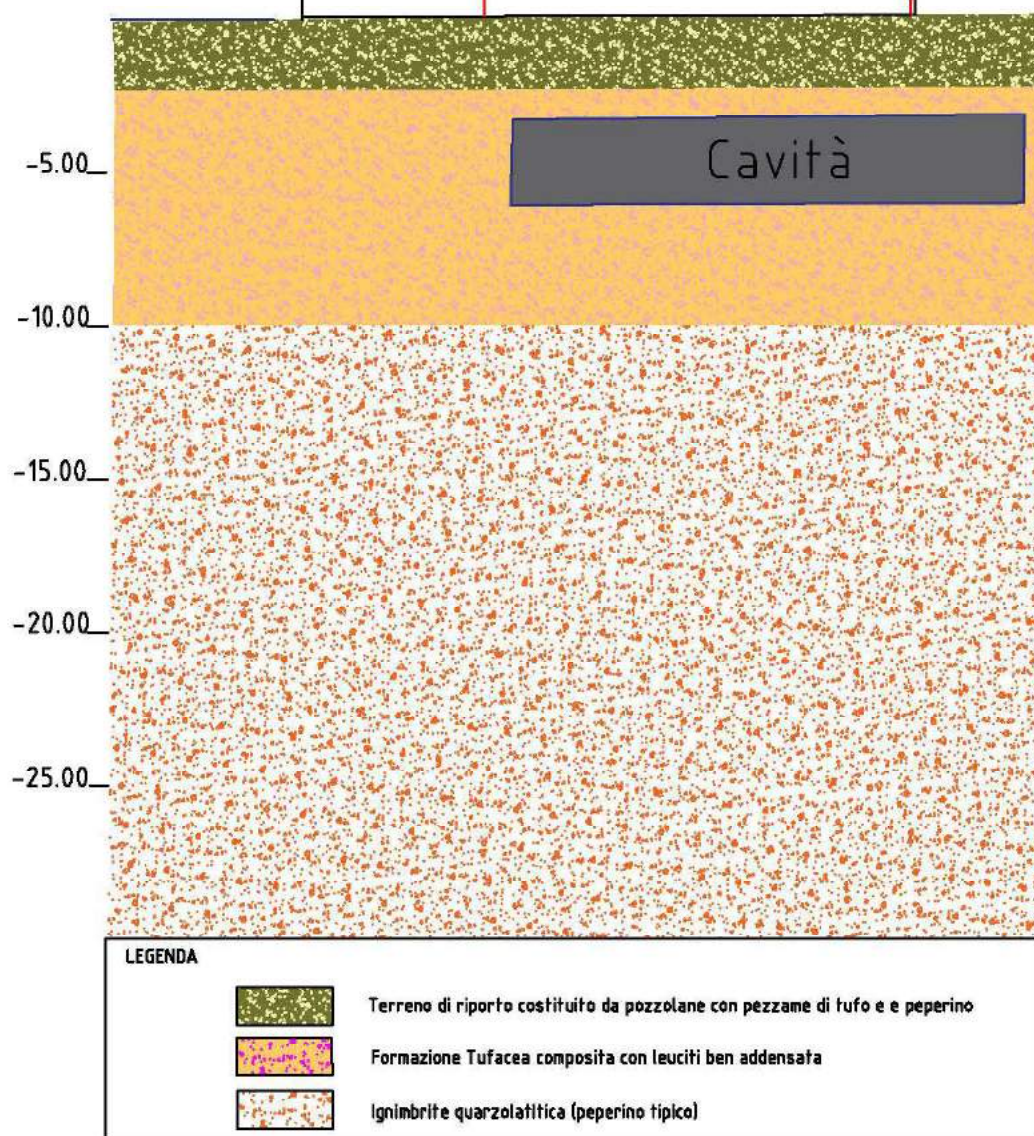
SCALA 1:5.000



SEZIONE GEOLOGICA a-a'

Intervento in progettazione

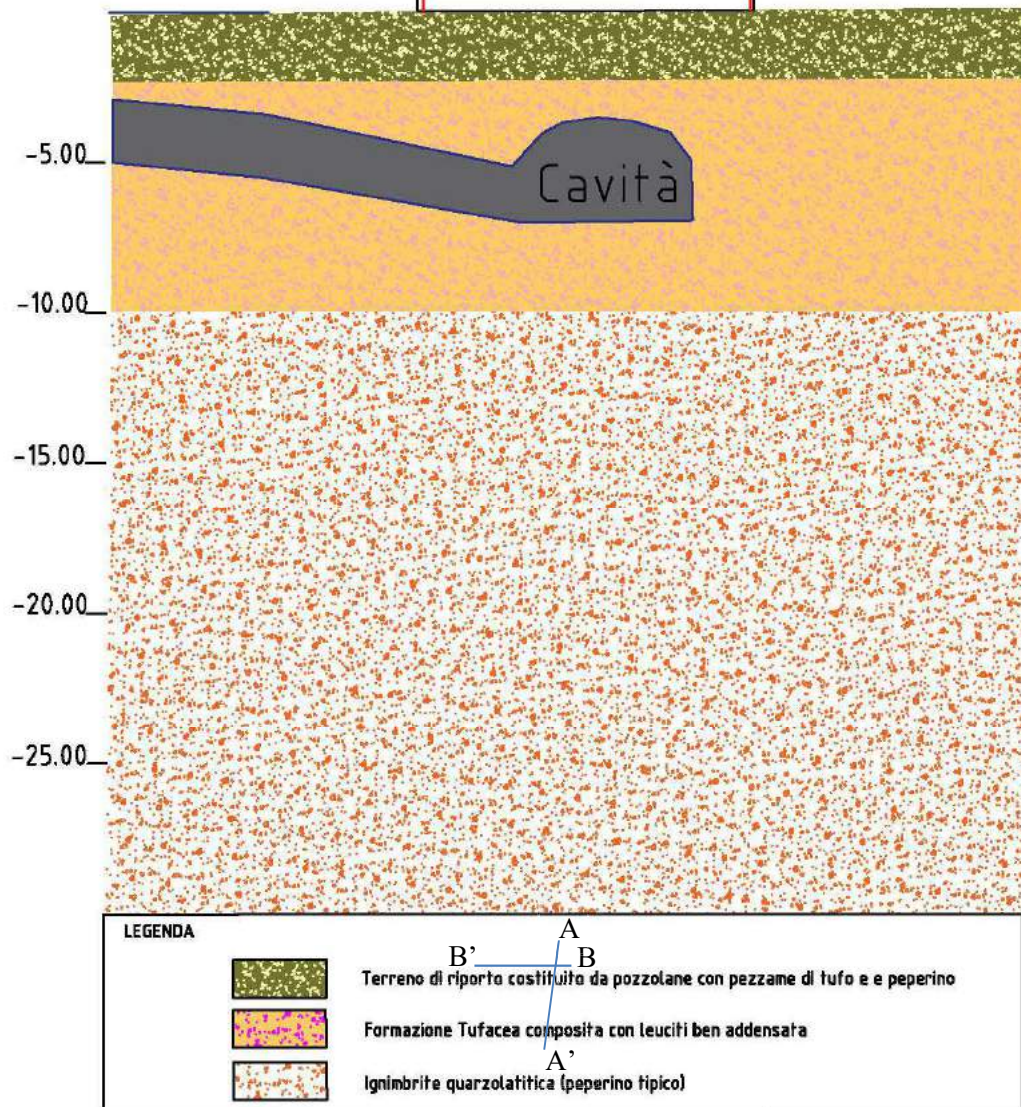
Via Saffi



SEZIONE GEOLOGICA b-b'

Intervento in progettazione

Vicolo del Forno



4 INDAGINI DIRETTE: DPSH, MASW, HVSR, GEORADAR E INDAGINI PREGRESSE

4.1 Definizione della pericolosità geologica e programma delle indagini.

In base al regionale n. 7 del 16.04.2021 è stato definito il livello di Rischio Sismico; a questo è stato associato un programma minimo di indagini geognostiche da eseguire per una completa ed esaustiva definizione delle condizioni geologiche e geotecniche del sedime locale.

- L'intervento in progettazione oggetto del presente studio, da quanto appreso dal progettista e ai sensi DGR Lazio 489/2012 è collocata in **classe d'uso 3.**
- La riclassificazione sismica della Regione Lazio, di cui alla DGR 387/09 in recepimento della OPCM 3274/03 e s.m.i., ha catalogato il territorio comunale di Viterbo in categoria **2B**.
- Per il territorio comunale di Viterbo è stata validata dalla Regione Lazio la Microzonazione Sismica di Livello 1, l'area risulta ricadere in un'area stabile suscettibile di amplificazione (2009).

La stima di eventuali fattori condizionanti dal punto di vista geologico, sulla base delle caratteristiche geologiche del sito in precedenza descritte, porta alle seguenti conclusioni:

- La zona non risulta avere le caratteristiche previste per essere sottoposta alla verifica per rischio di liquefazione (D.M. 17.01.18).
- La zona non appare attualmente in condizioni di dissesto e/o di frana. Va precisato che tale studio, finalizzato e dimensionato alla caratterizzazione geologica tecnica dei terreni di fondazione, non può escludere criticità dovute a cedimenti differenziali ed al collasso di eventuali cavità antropiche e/o naturali presenti. Per tali eventuali approfondimenti si rinvia a quanto riterrà necessario il progettista.
- La zona non è compresa in aree R3 o R4 dei Piani della Autorità di Bacino competente - Autorità di bacino distrettuale dell'appennino centrale (ex ABR).
- Le indagini eseguite hanno evidenziato la presenza di una cavità sotterranea ad una profondità di circa 2,80 m dall'attuale pavimentazione.
- La zona non si trova entro 50 metri da faglie attive e capaci segnalate dall'INGV.

Pertanto il livello di Rischio Sismico come definito dal Regolamento regionale n. 7/21 – D.G.R. 189/2021 è definito “**Medio**”.

PROVINCIA DI VITERBO
Protocollo Arrivo N. 28616/2024 del 02-08-2024
Doc. Principale - Class. 11 - Copia Documento

PROGETTI	PERICOLOSITA'				
	Zona Sismica				
	1	2a	2b	3a	3b
classi d'uso I e II	MEDIO	MEDIO	MEDIO	BASSO	BASSO
classe d'uso III	ALTO	ALTO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
classe d'uso IV	ALTO	ALTO	ALTO	MEDIO	MEDIO

Schema sintetico del Rischio Sismico - Allegato C del regolamento n.7 del 16/04/2021

Per quanto sopra esposto, in conformità con il Regolamento sismico regionale in vigore n. 7 del 16.04.2021 e in relazione alla estensione areale ed all'altezza dell'opera sono state programmate ed eseguite le seguenti indagini in situ:

- N. 2 prove DPSH con macchina superpesante cingolata nell'area di intervento;
- N. 2 prove sismiche indirette attive MASW;
- N.1 prova sismica indiretta passiva Hvsr;
- Indagine Georadar.

Inoltre al fine di modellare correttamente la locale geologia sono state utilizzate e riportate indagini eseguite in aree limitrofe, in particolare dei sondaggi geognostici eseguiti a pochi metri dall'area investigata (in uno studio condotto dalla Geofield nel 2003).

Nelle pagine seguenti si riportano:

- Documentazione fotografica;
- Carta delle indagini;
- Stralcio PAI.
- Stralcio MSI validato dalla Regione Lazio;

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Foto1: Sondaggio penetrometrico DPSH



Foto2: Sondaggio penetrometrico DPSHI



Foto3: Stendimento MASWI



Foto4: Indagine Hvsr



*Foto5: Apertura per ispezione vespaio
effettuata sulla pavimentazione esistente*



Foto6: Cavitò sottostante



Foto7: Indagine Georadar



Foto8: Cavitò sottostante



FOTO AREA CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI ESEGUITE

Legenda



Indagine sismica Hvsr



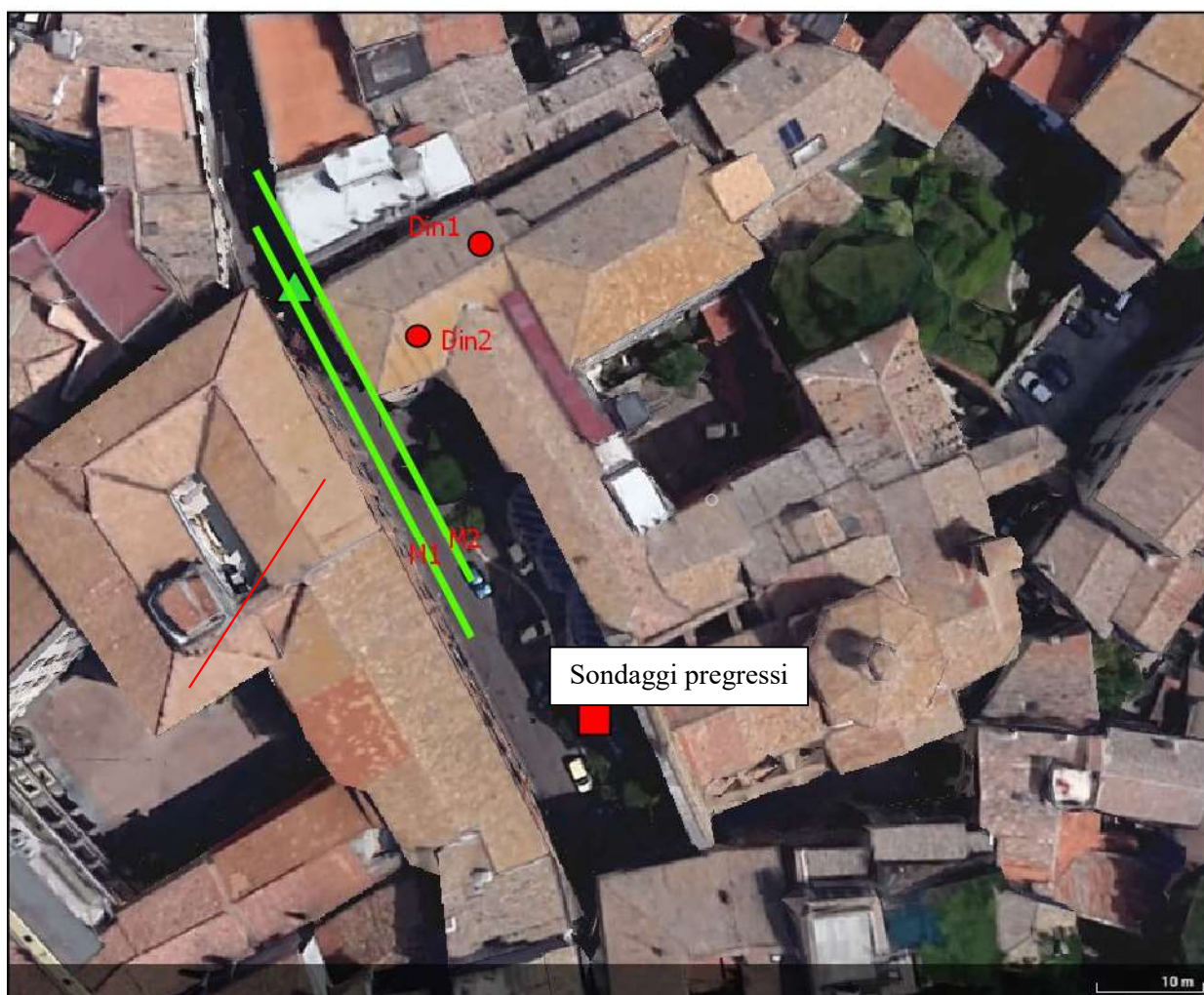
Sondaggio a carotaggio continuo.



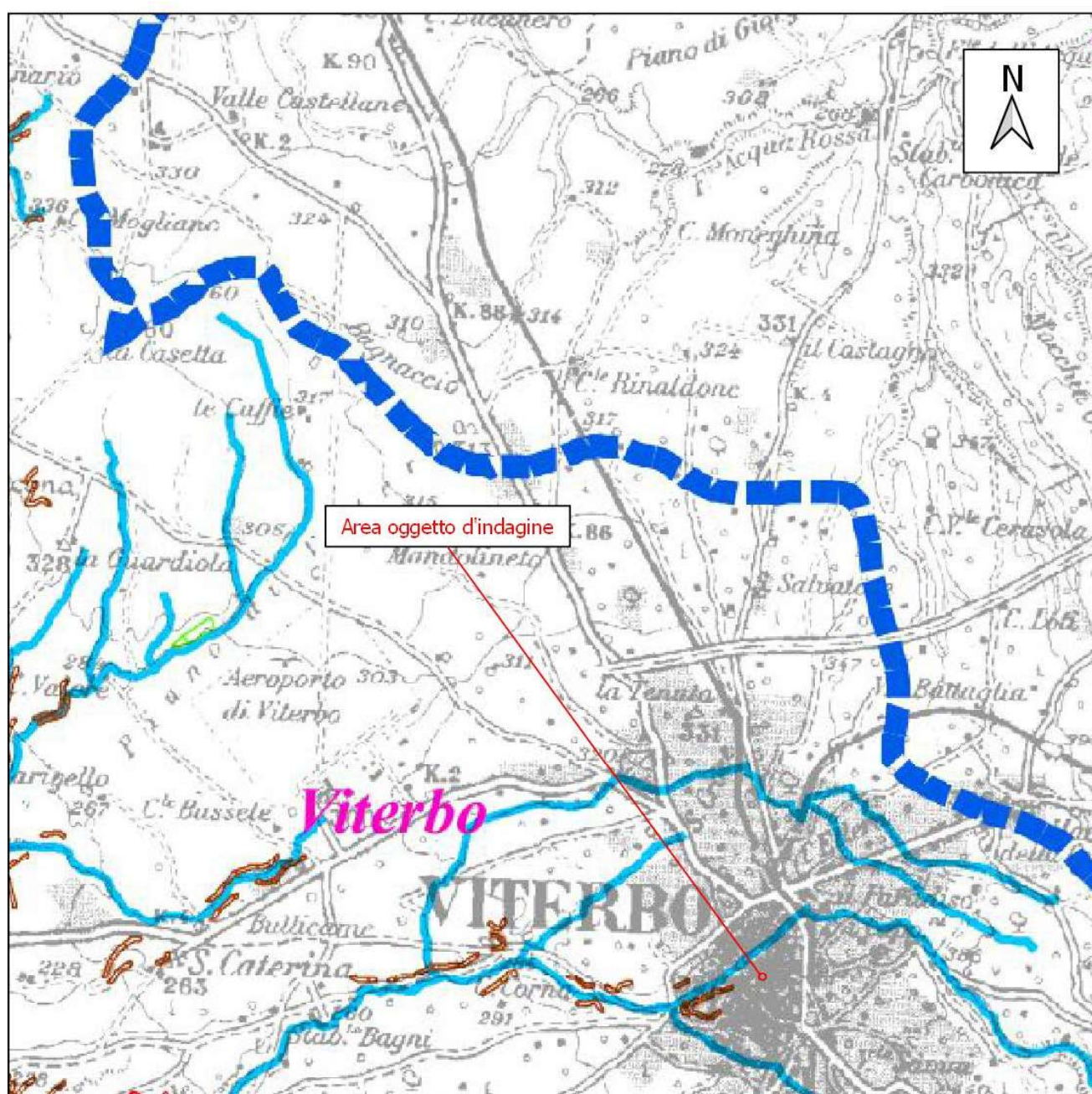
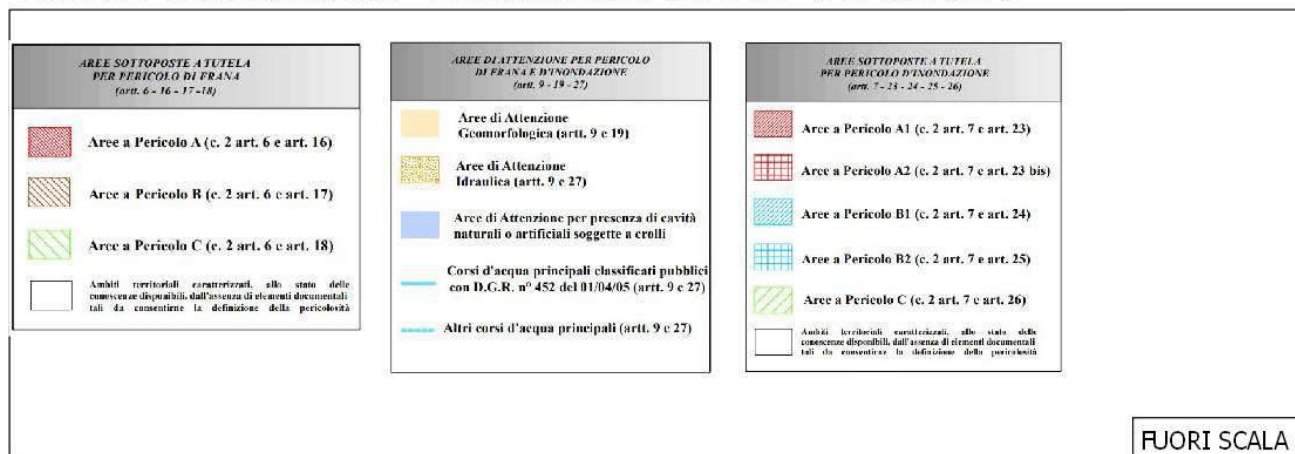
Stendimento sismico MASW



Sondaggio penetrometrico



STRALCIO CARTOGRAFIA PAI - AUTORITA' DISTRETTO AC - TAV. 2.04 NORD

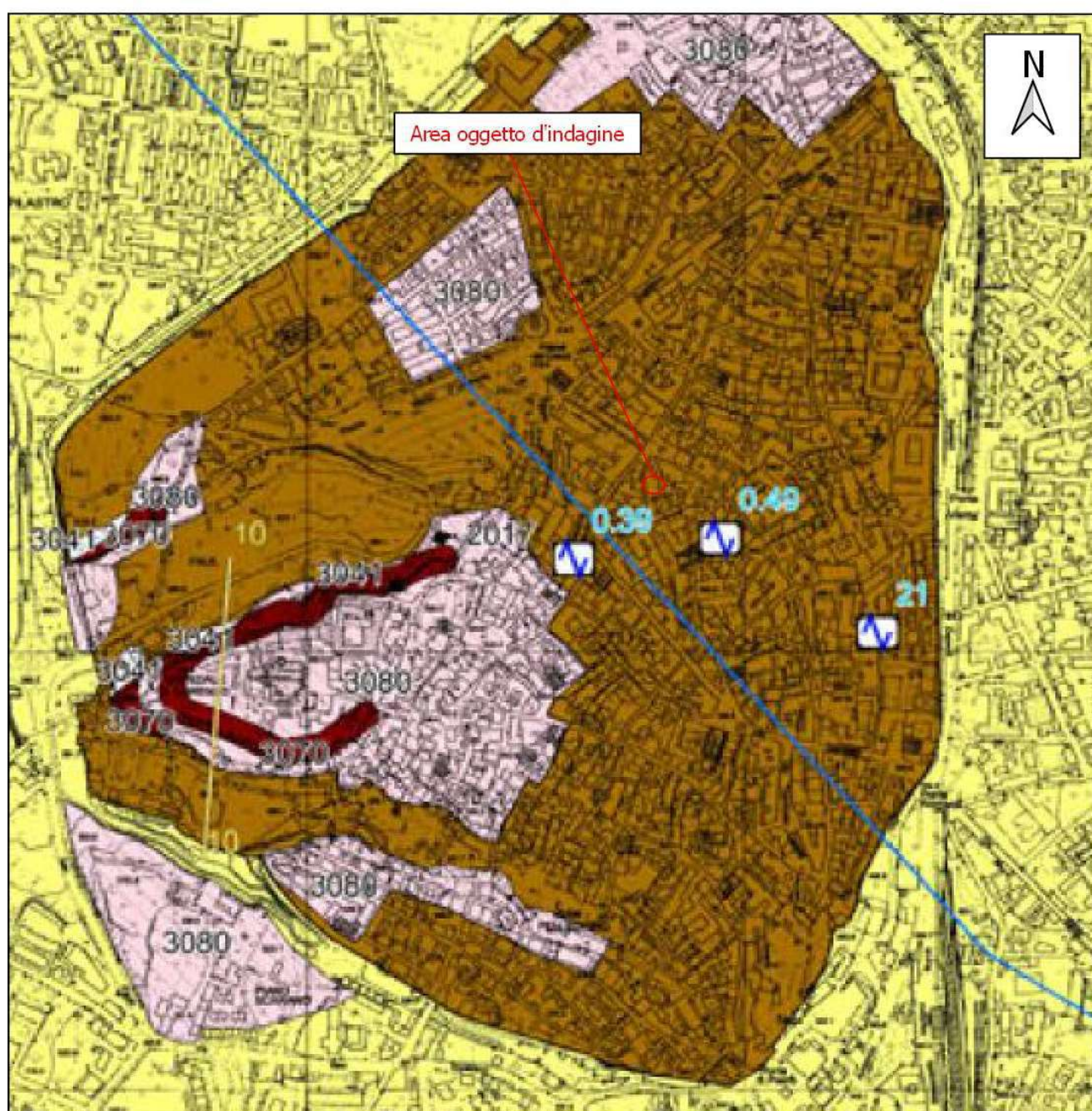


Legenda



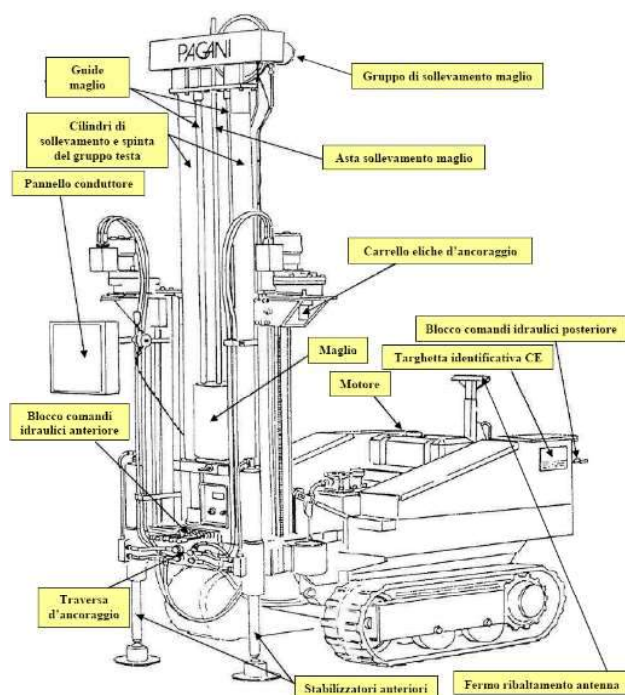
*
Zone con probabile presenza di
cavità sotterranee per le quali si
consigliano le prescrizioni
riportate ai paragrafi 8.3 e 8.4
della Relazione illustrativa

FUORI SCALA



PROVINCIA DI VITERBO
Protocollo Arrivo N. 28616/2024 del 02-08-2024
Doc. Principale - Class. 11 - Copia Documento

4.2 - Indagine penetrometrica di tipo DPSH



La macchina Mod. TG63-10 cingolata di costruzione Pagani Geotechnical Equipment (Ved. Figura nella pagina seguente e documentazione fotografica) è un penetrometro in grado di effettuare prove penetrometriche statiche (CPT-CPTU-SCPTU, cioè tradizionali con punta meccanica o elettrica, con piezocono e piezocono sismico) che dinamiche. Nel caso di prove dinamiche, la macchina può essere configurata per svolgere prove tipo DPSH, DPH e DPM in accordo con le seguenti normative internazionali:

- ☐ ASTM 3441 per prove CPT;
- ☐ Eurocode.

L'indagine sui terreni di fondazione in oggetto è stata effettuata mediante esecuzione di prova dinamica DPSH (super-pesante).

Le caratteristiche tecniche del penetrometro DPSH (S. Heavy) utilizzato sono riportate nello schema che precede i grafici con i risultati delle prove ed è osservabile anche nella allegata documentazione fotografica. I risultati della prova vengono riportati in una tabella e in un grafico con il valore del numero dei colpi registrato ogni 20 cm di avanzamento della punta conica $N_{(20)}$ in funzione della profondità in m, il grafico comprende anche la valutazione della resistenza dinamica alla punta in funzione del numero dei colpi secondo la formula degli Olandesi (riportata sullo schema che precede i risultati). Viene poi fornita una elaborazione statistica dei risultati con la formazione dei vari strati caratterizzati dallo stesso valore medio di $N_{(20)}$ e il relativo valore di N_{SPT} derivante dalla correlazione; l'ultima tabella presentata è riferita alla elaborazione dei risultati secondo vari autori per la definizione delle caratteristiche geomeccaniche dei vari strati in condizioni drenate (natura granulare) e in condizioni non drenate (natura coesiva) che vengono riportate in una tabella schematica.

PENETROMETRO DINAMICO IN USO : DPSH (S. Heavy)

Classificazione ISSMFE (1988) dei penetrometri dinamici		
TIPO	Sigla riferimento	Peso Massa Battente M (kg)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$
Super pesante	DPSH (Super Heavy)	$M \geq 60$

CARATTERISTICHE TECNICHE : DPSH (S. Heavy)

PESO MASSA BATTENTE	M = 83,60 kg
ALTEZZA CADUTA LIBERA	H = 0,75 m
PESO SISTEMA BATTUTA	Ms = 30,00 kg
DIAMETRO PUNTA CONICA	D = 50,50 mm
AREA BASE PUNTA CONICA	A = 20,00 cm ²
ANGOLO APERTURA PUNTA	$\alpha = 90^\circ$
LUNGHEZZA DELLE ASTE	La = 1,00 m
PESO ASTE PER METRO	Ma = 8,00 kg
PROF. GIUNZIONE 1 ^a ASTA	P1 = 0,80 m
AVANZAMENTO PUNTA	$\delta = 0,20$ m
NUMERO DI COLPI PUNTA	N = N(20) $\Rightarrow$ Relativo ad un avanzamento di 20 cm
RIVESTIMENTO / FANGHI	NO
ENERGIA SPECIFICA x COLPO	Q = (MH)/(A δ) = 11,91 kg/cm ² (prova SPT : Qspt = 7,83 kg/cm ²)
COEFF.TEORICO DI ENERGIA	$\beta_t = Q/Q_{spt} = 1,521$ (teoricamente : Nspt = β_t N)

Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd [funzione del numero di colpi N] (FORMULA OLANDESE) :

$$Rpd = M^2 H / [A e (M+P)] = M^2 H N / [A \delta (M+P)]$$

Rpd = resistenza dinamica punta [area A]
e = infissione per colpo = δ / N

M = peso massa battente (altezza caduta H)
P = peso totale aste e sistema battuta

UNITA' di MISURA (conversioni)
1 kg/cm ² = 0.098067 MPa
1 MPa = 1 MN/m ² = 10.197 kg/cm ²
1 bar = 1.0197 kg/cm ² = 0.1 MPa
1 kN = 0.001 MN = 101.97 kg

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA ELABORAZIONE STATISTICA

DIN 1

- committente : Amm.ne Provinciale Viterbo
- lavoro : Sala Anselmi
- località : Centro Storico
- note :

- data : 26/05/2023
- quota inizio : p.c.
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

n°	Profondità (m)	PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA							VCA	β	Nspt
			M	min	Max	$\frac{1}{2}(M+min)$	s	M-s	M+s			
1	0,00 0,80	N	2,0	1	5	1,5	---	---	---	2	1,52	3
		Rpd	14,9	7	37	11,2	---	---	---	15		
2	0,80 1,80	N	10,8	9	12	9,9	---	---	---	11	1,52	17
		Rpd	74,6	62	83	68,4	---	---	---	76		
3	1,80 3,00	N	7,3	6	9	6,7	1,4	6,0	8,7	7	1,52	11
		Rpd	46,6	39	58	42,6	8,0	38,6	54,6	45		

M: valore medio min: valore minimo Max: valore massimo s: scarto quadratico medio
N: numero Colpi Punta prova penetrometrica dinamica (avanzamento $\delta = 20$ cm) Rpd: resistenza dinamica alla punta (kg/cm²)
 β : Coefficiente correlazione con prova SPT (valore teorico $\beta_t = 1,52$) Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 20$ cm)

Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI

- committente : Amm.ne Provinciale Viterbo
- lavoro : Sala Anselmi
- località : Centro Storico
- note :

- data : 26/05/2023
- quota inizio : p.c.
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

n°	Prof.(m)	LITOLOGIA	Nspt	NATURA GRANULARE					NATURA COESIVA			
				DR	ϕ'	E'	Ysat	Yd	Cu	Ysat	W	e
1	0.00 0.80		3	11.3	21.7	214	1.86	1.38	---	---	---	---
2	0.80 1.80		17	45.5	31.0	322	1.97	1.56	---	---	---	---
3	1.80 3.00		11	36.5	27.8	276	1.94	1.51	---	---	---	---

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 30$ cm)

DR % – densità relativa ϕ' (°) – angolo di attrito efficace E' (kg/cm²) – modulo di deformazione drenato W% – contenuto d'acqua
e (-) = indice dei vuoti Cu (kg/cm²) = coesione non drenata Ysat, Yd (t/m³) = peso di volume saturo e secco (rispettivamente) del terreno

PROVINCIA DI VITERBO
Protocollo Arrivo N. 28616/2024 del 02-08-2024
Doc. Principale - Class. 11 - Copia Documento

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA ELABORAZIONE STATISTICA

DIN 2

- committente : Amm.ne Provinciale Viterbo
- lavoro : Sala Anselmi
- località : Centro Storico
- note :

- data : 26/05/2023
- quota inizio : p.c.
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

n°	Profondità (m)	PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA							VCA	β	Nspt
			M	min	Max	$\frac{1}{2}(M+\min)$	s	M-s	M+s			
1	0,00 0,80	N	2,0	1	5	1,5	—	—	—	2	1,52	3
		Rpd	14,9	7	37	11,2	—	—	—	15		
2	0,80 2,00	N	8,5	4	12	6,3	2,7	5,8	11,2	8	1,52	12
		Rpd	58,0	28	83	42,8	18,8	39,2	76,8	55		
3	2,00 3,40	N	7,0	6	11	6,5	1,9	5,1	8,9	7	1,52	11
		Rpd	43,6	36	66	39,9	10,7	32,9	54,3	44		
4	3,40 4,60	N	23,3	15	26	19,2	4,5	18,8	27,9	23	1,52	35
		Rpd	134,3	90	147	112,3	23,1	111,2	157,4	133		

M: valore medio min: valore minimo Max: valore massimo s: scarto quadratico medio
N: numero Colpi Punta prova penetrometrica dinamica (avanzamento $\delta = 20$ cm) Rpd: resistenza dinamica alla punta (kg/cm²)
 β : Coefficiente correlazione con prova SPT (valore teorico $\beta_t = 1,52$) Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 20$ cm)

Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI

- committente : Amm.ne Provinciale Viterbo
- lavoro : Sala Anselmi
- località : Centro Storico
- note :

- data : 26/05/2023
- quota inizio : p.c.
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

n°	Prof.(m)	LITOLOGIA	Nspt	NATURA GRANULARE					NATURA COESIVA			
				DR	ϕ'	E'	Ysat	Yd	Cu	Ysat	W	e
1	0.00 0.80		3	11.3	21.7	214	1.86	1.38	—	—	—	—
2	0.80 2.00		12	38.0	28.4	284	1.94	1.52	—	—	—	—
3	2.00 3.40		11	36.5	27.8	276	1.94	1.51	—	—	—	—
4	3.40 4.60		35	70.0	37.9	461	2.08	1.73	—	—	—	—

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 30$ cm)

DR % = densità relativa ϕ' (°) = angolo di attrito efficace E' (kg/cm²) = modulo di deformazione drenato W% = contenuto d'acqua
e (-) = indice dei vuoti Cu (kg/cm²) = coesione non drenata Ysat, Yd (t/m³) = peso di volume saturo e secco (rispettivamente) del terreno

PROVINCIA DI VITERBO
Protocollo Arrivo N. 28616/2024 del 02-08-2024
Doc. Principale - Class. 11 - Copia Documento

4.3 - Indagine sismica di superficie di tipo indiretto attivo MASW e modellazione sismica.

La configurazione base di campo e la routine di acquisizione per la procedura MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) sono generalmente le stesse utilizzate in una convenzionale indagine a rifrazione. Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. La velocità delle onde S (V_s) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

La procedura MASW può sintetizzarsi in tre stadi distinti:

- acquisizione dei dati sperimentali (ground roll);
- estrazione della curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza);
- inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle V_s , che descrive la variazione di V_s con la profondità.

L'analisi delle onde superficiali è stata eseguita utilizzando il DoReMi che è un sismografo a trasmissione digitale del segnale concepito per garantire la massima flessibilità di utilizzo in tutte le indagini geofisiche; costituito da unità miniaturizzate e indipendenti distribuisce l'elettronica lungo tutto lo stendimento.

L'interfaccia del sismografo è alimentata con una piccola batteria al piombo (12V 2A) ed è collegata ad un geofono start. Lungo lo stendimento sono connessi 24 canali con il primo collegato all'interfaccia di testa. I geofoni sono applicati direttamente ai digitalizzatori posizionati lungo lo stendimento.

Per la prospezione sismica a rifrazione si è disposto sul terreno un array lineare da 24 geofoni con spaziatura pari a 2.0 m. Per aumentare il rapporto segnale/rumore si è proceduto alla somma di più energizzazioni (processo di stacking). La sorgente è stata posta ad una distanza di 4 m dal primo geofono (Optimum Field Parameters of an MASW Survey", Park et al., 2005; Dal Moro, 2008).

Di seguito si riassumono le principali caratteristiche della strumentazione utilizzata:

1 Unità di acquisizione sismografo DoReMi a 24 canali e 16 bit della SARA Electronic Instruments di Perugia

24 Geofoni verticali "Geospace" GS11D 4.5Hz 4k Ω .

1 Cavi sismici L = 150 m - 1 Sorgente Mazza da 10 Kg battente su piattello metallico

Spaziatura tra i geofoni 2.0 m - Distanza sorgente 1° geofono 6 m

Tempo di campionamento 1.0 ms - Tempo di registrazione 2 s

Di seguito sono restituiti i risultati della prova MASW, la cui ubicazione è riportata nella planimetria in scala 1:250 precedentemente allegata.

Nel riquadro in alto a destra è riportato il sismogramma e sotto l'immagine di dispersione dell'energia sismica. In basso è visualizzata l'estrazione della curva di dispersione eseguita sull'immagine precedente. Sulla sinistra sono riportati i grafici relativi al modello del terreno sotto forma di stratificazione V_s in m/s.

Dalla curva si può ricavare il valore della velocità progressiva V_{sx} (linea verde) relativa alle diverse profondità investigate V_{s10} , V_{s20} e così via incluso il valore di V_{s30} , quest'ultimo ovviamente calcolato fino alla profondità di 30 m.

A destra è visibile il sismogramma mentre nella parte centrale in basso è riportato il valore del parametro V_{s30} calcolato utilizzando la stratigrafia V_s e la formula

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1, N} h_i / V_i}$$

dove h_i e V_i indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (m/s) dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori.

Il sito viene classificato sulla base del valore di V_{s30} come riportato nella seguente tabella:

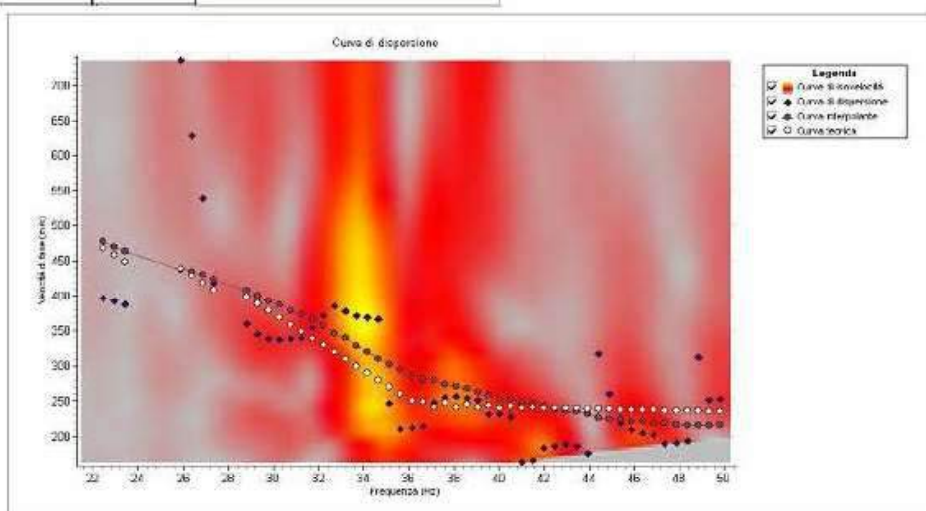
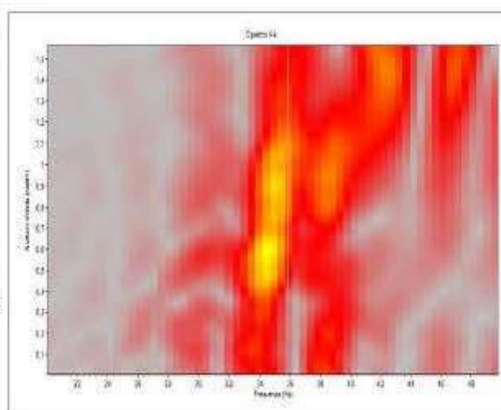
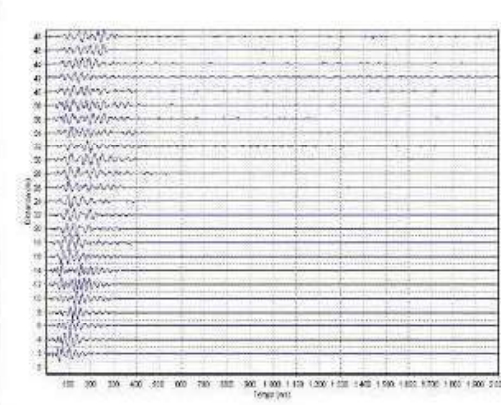
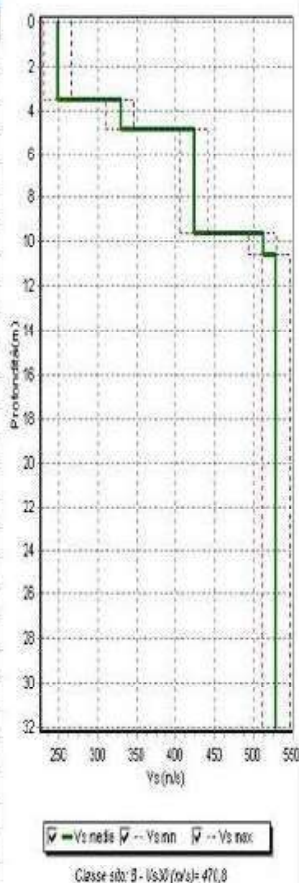
CATEGORIE DI SOTTOSUOLO					
Categoria sottosuolo	Descrizione	Spessore (m)	Vs (m/s)	Nspt	Cu (kPa)
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 3 m.	Qualsiasi	≥ 800		
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.		≥ 360 ≤ 800	>50	>250
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>	> 30 m	≥ 180 ≤ 360	>15 <50	>50 <250
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.	> 30 m	< 180	<15	>70
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.	Fino a 30 m	$\approx C$ e D	$\approx C$ e D	$\approx C$ e D

La stratigrafia V_s riportata nelle tavole allegate è quella utilizzata per il calcolo del V_{s30} ed è sismicamente equivalente e ragionevolmente prossima alla stratigrafia reale ma non esattamente coincidente.

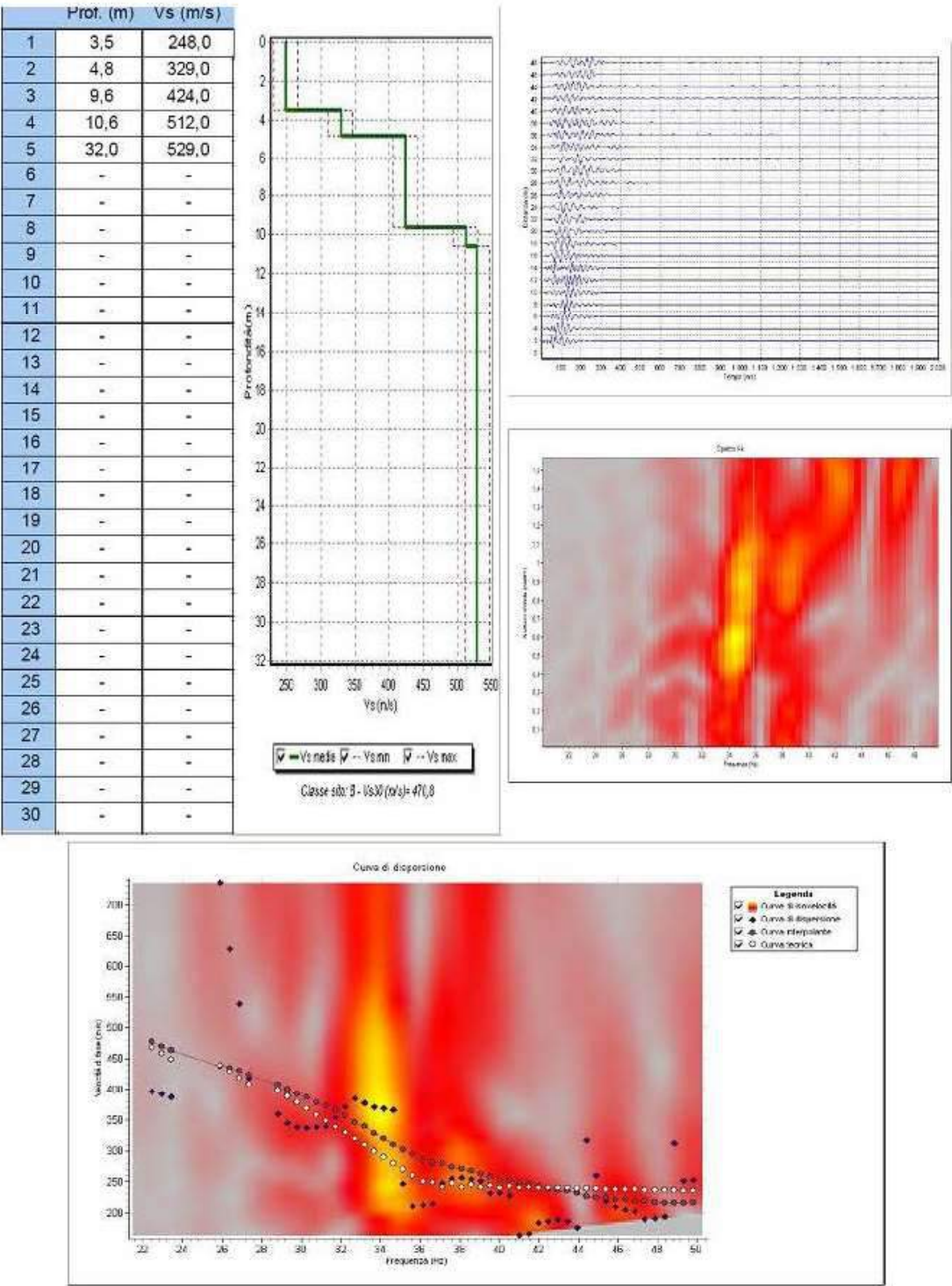
Secondo l'OPCM il sito, avendo un valore di $V_{s30} = 470$ m/sec è classificabile come suolo di tipo **B** (vedi grafici allegati nelle pagine seguenti).

Riassunto interpretazione MASW M1 - Via Saffi (VT)

Prof. (m)	Vs (m/s)
1	3,5
2	4,8
3	9,6
4	10,6
5	32,0
6	-
7	-
8	-
9	-
10	-
11	-
12	-
13	-
14	-
15	-
16	-
17	-
18	-
19	-
20	-
21	-
22	-
23	-
24	-
25	-
26	-
27	-
28	-
29	-
30	-



Riassunto interpretazione MASW M2 - Via Saffi (VT)



PROVINCIA DI VITERBO
Protocollo Arrivo N. 28616/2024 del 02-08-2024
Doc. Principale - Class. 11 - Copia Documento

4.4 - Indagine sismica Hvsr:: misura dei microtremori ed individuazione della frequenza di sito

Sul sito è stata eseguita n. 1 prova Hvsr.

La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) consiste nel misurare direttamente, sfruttando il rumore di fondo ambientale (microtremori), le frequenze di risonanza dei terreni costituenti il sottosuolo, allo scopo di stimare gli effetti di sito e la vulnerabilità sismica dell'opera. Per rumore ambientale di fondo s'intende l'insieme delle vibrazioni che si propagano nel terreno dovute sia a fenomeni naturali, moto ondoso, perturbazioni atmosferiche, ecc., sia all'azione antropica, traffico veicolare, macchinari, ecc.. Si è riconosciuto, a partire dagli anni settanta, che i microtremori tendono a eccitare le frequenze naturali di oscillazione dei terreni, permettendone l'individuazione. In pratica ciò che viene misurato sono, in certo intervallo di frequenze, solitamente 0.1-100 Hz, le velocità dei microtremori lungo il piano orizzontale e verticale (H e V) e il rapporto fra le due componenti (H/V). I valori di massimo locale (picchi positivi) di H/V ai quali corrispondono minimi locali di V individuano le frequenze di risonanza degli strati di terreno lungo la verticale di misura. Più elevato è il valore del rapporto H/V maggiore è il contrasto di impedenza sismica e quindi la variazione di velocità delle onde S fra livelli stratigrafici contigui.

STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

- Digitalizzatore sismico SARA electronic instruments srl;
- Risoluzione 24 bit;
- Orologio: sincronizzato tramite ricevitore GPS
- Campionamento: Simultaneo sui 3 canali pilotato dal microcontrollore
- Frequenze di campionamento: 10,20,25,50,100,200 SPS
- Filtro anti-alias 1 pole 8.8 Hz
- Soglia di rumore ≤ -124 dB @ 100 SPS

Settaggio utilizzato per l'acquisizione

- Frequenza: 200 Mhz
- Baude Rate: 115200
- Durata misurazione: 1200 s
- Formato file acquisizione: SAF Sesame

Risultati ottenuti

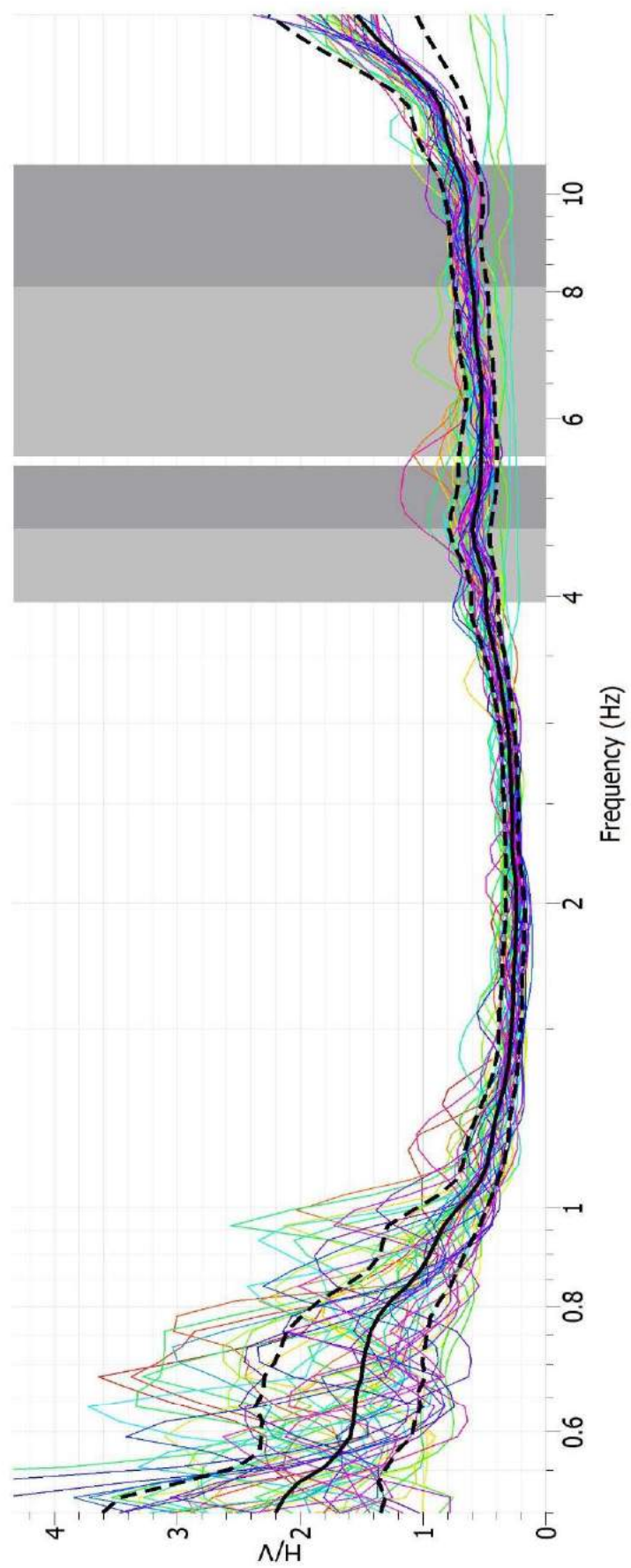
Programma di elaborazione utilizzato Geopsy

Dall'indagine eseguita e dalle informazioni pregresse relative alla stratigrafia presente, si è individuato tra i diversi picchi di frequenza uno principale, riconducibile alla frequenza di sito:

$$f_0 = 4,67177 \text{ Hz.}$$

Di seguito si riporta il grafico Frequenza / H/V

	Station	Type	Frequency (Hz)	f-stddev (Hz)	f+stddev (Hz)
1	01	H/V	8,09246	5,49943	10,6855
2	01	H/V	4,67177	3,95326	5,39028



4.5 Indagine Georadar

Metodologia dell'indagine

L'attività in oggetto si è articolata nelle seguenti fasi:

- preparazione logistica;
- acquisizione dati di campagna;
- elaborazione dei dati;
- redazione della cartografia e della relazione tecnica illustrativa;

Preparazione logistica

L'acquisizione dei dati radar si è svolta nella giornata del 4 Maggio 2023 nell'area indicata dalla Committenza.

È stato utilizzato un sistema radar IDS Hi-Mod allestito con una coppia di antenne caratterizzate da frequenze di 200 MHz e 600 MHz.

Acquisizione dati di campagna

Tutto l'areale di interesse è stato coperto da scansioni effettuate in direzione trasversale e longitudinale con interasse pari a 0,5 metri in modo ottenere una risoluzione ottimale del segnale nella superficie libera da ingombri.

L'architettura del georadar è caratterizzata come segue:

- investigazione superficiale per mezzo di antenna monostatica (la stessa antenna trasmette e riceve il segnale radar) a frequenza di 600 Mhz per applicazioni entro 1,5 m dal piano campagna (maggior dettaglio, minore penetrazione);
- investigazione profonda per mezzo di antenna monostatica a frequenza di 200 Mhz per applicazioni al di sotto di 1,5 m dal piano campagna (minor dettaglio, maggiore penetrazione).



Realizzazione acquisizioni GPR

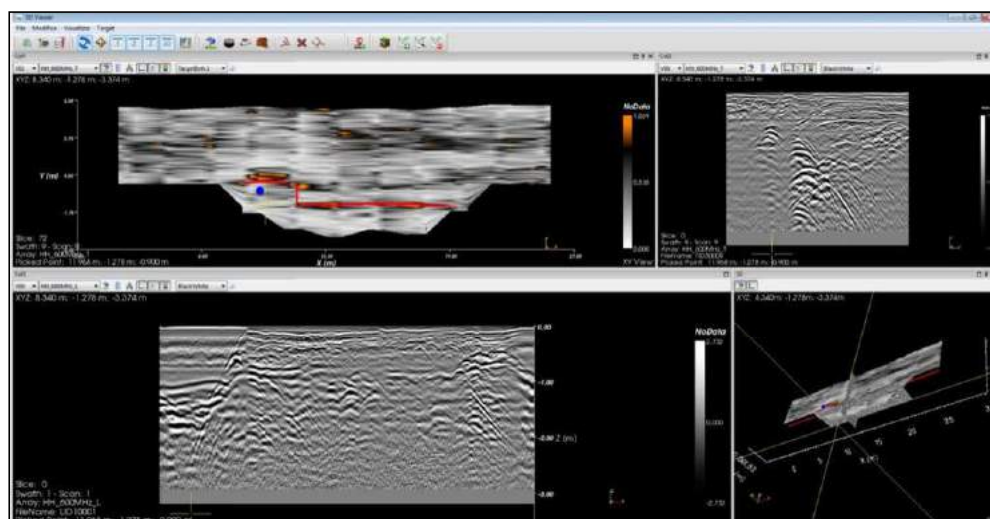
Elaborazione dati di campagna

L'elaborazione dei dati è avvenuta in due distinti momenti:

- analisi dei dati grezzi acquisiti in campagna;
- individuazione dei segnali (target) attribuibili ai sottoservizi o aree anomale, oggetto d'indagine.

L'analisi dei files di acquisizione è eseguita automaticamente da un software che ottimizza il segnale registrato agendo su esso tramite filtri che, sommariamente, possono essere definiti come “rimozione dello sfondo” (un filtro orizzontale che elimina l'effetto del Main Bang e consente di apprezzare piccoli impulsi non più mascherati dall'impulso principale) e “filtro passa basso verticale” (consente di ridurre il rumore con frequenza di taglio definita di 625 Mhz).

La seconda fase, curata dallo Scrivente, ha interessato l'interpretazione dei dati con l'individuazione dei target distribuiti lungo ogni singola linea di acquisizione; tali target identificati dal software di elaborazione (IDS Gred HD 01.08.000 build 2) come punti tridimensionali sono stati automaticamente trasferiti in un programma CAD quindi interpolati, trasformati nelle strutture oggetto dell'indagine ed integrati alla base cartografica satellitare.

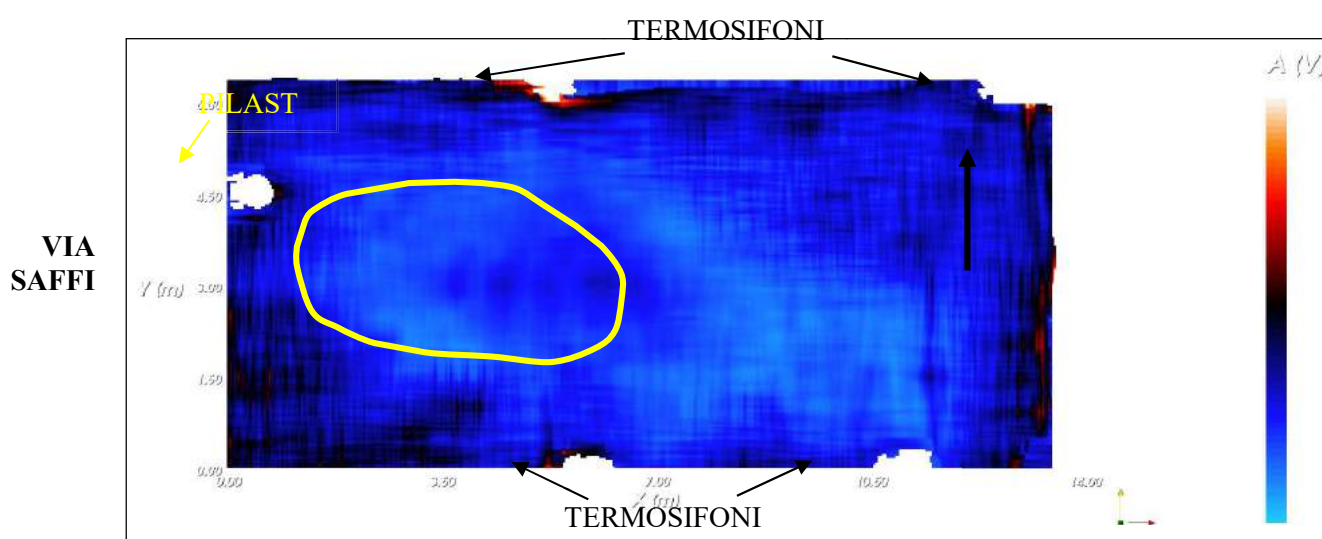


La finestra delle sezioni radar e delle Tomografie nel software di elaborazione IDS Gred HD (esempio)

Sintesi dei risultati

I segnali georadar sono stati analizzati sulla base dei singoli radargrammi ed anche mediante una procedura di interpolazione tomografica del segnale, che costituisce una rappresentazione in scala colorimetrica della intensità del segnale registrato a cui può essere riferito un orizzonte di discontinuità, quale un sottoservizio, un vuoto o un contrasto litologico fra orizzonti nettamente differenti in termini di granulometria, stato di addensamento etc.

La prima elaborazione, relativa alla porzione più superficiale fra quelle investigate, è visibile in quella che viene definita *slice* (o fetta), relativa ad un ipotetico piano posto ad una determinata profondità, nello specifico ubicato a 15 cm dal piano di calpestio.

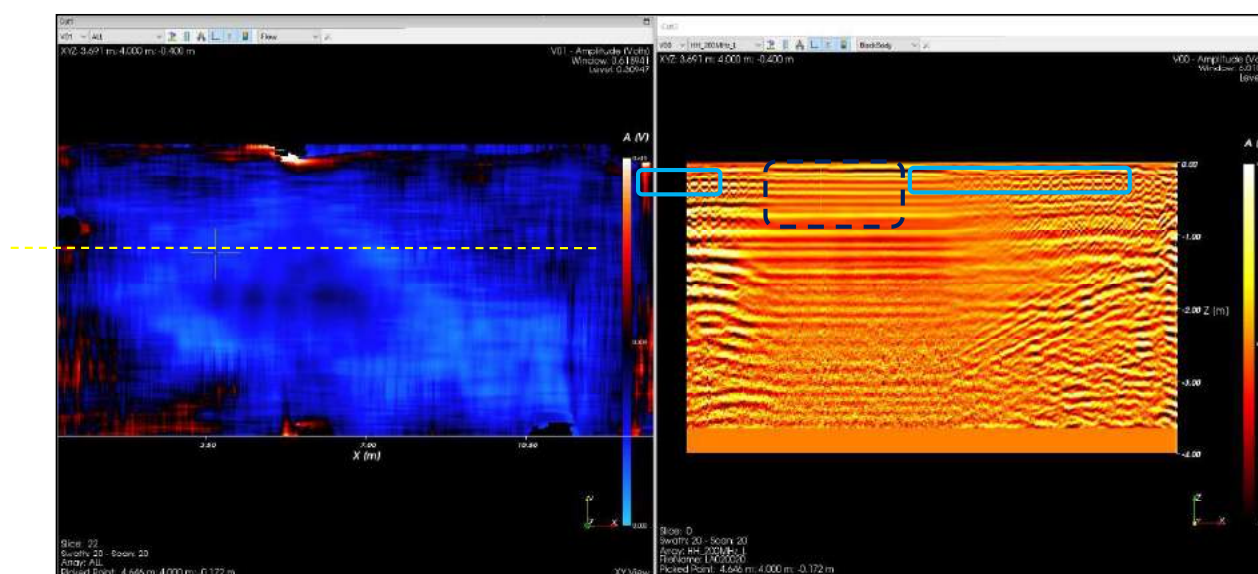


Slice a 0,15 metri da piano di calpestio

Sono stati riportati indicatori dei punti nei quali non è stato possibile realizzare le acquisizioni, rappresentati dai termosifoni e da un pilastro, anche nell'ottica di un posizionamento delle immagini all'interno dell'ambiente, per una loro corretta georeferenziazione.

Da una prima analisi si rileva la presenza di una rete metallica di armatura, posta a circa 15 cm dal piano di calpestio, che risulta però non rilevabile nella porzione centrale della sala, in un'area delimitata in giallo nell'immagine.

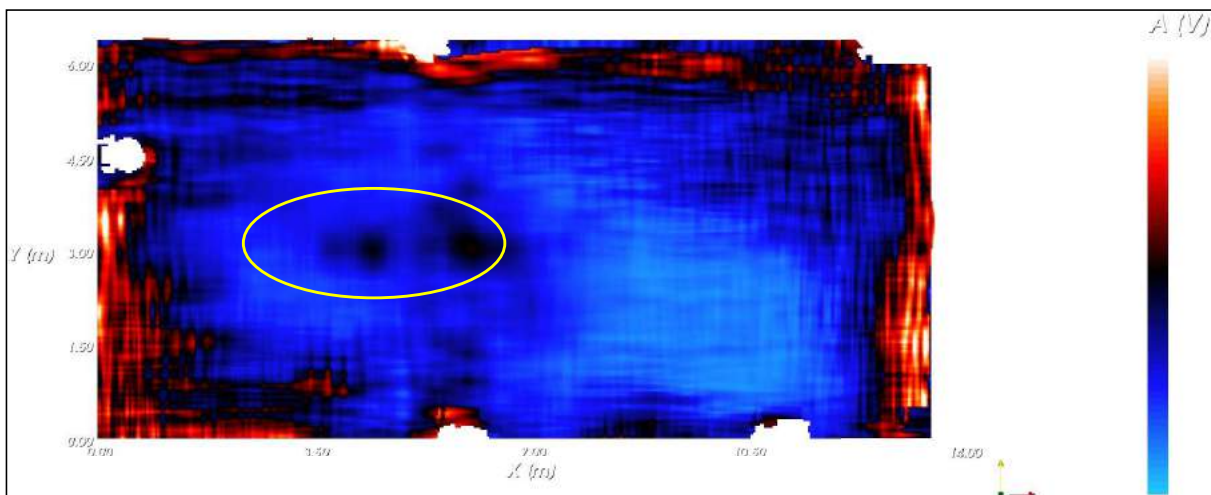
Nell'immagine che segue si riporta la slice in pianta ed il radargramma longitudinale relativo alla acquisizione eseguita nella linea gialla tratteggiata. Si rileva in modo evidente la presenza delle riflessioni equispaziate (interdistanza pari a 30 cm) connesse alle varie maglie della rete, con l'assenza delle stesse nell'area evidenziata (tratteggio nero).



Slice riflettività (sx) – Radargramma (dx). Nei riquadri blu le riflessioni dei ferri della rete metallica

A maggiori profondità le slices evidenziano, nella zona sopra identificata, una risposta del segnale elettromagnetico nettamente differente rispetto all'areale limitrofo, che potrebbe essere ricondotta ad una zona particolarmente umida, oppure ad un vuoto.

Di seguito si riportano le slices realizzate nell'intervallo 0,5-1,5 metri di profondità, dalle quali si rileva la zona ad elevata riflettività del segnale a conferma di quanto sopra descritto.

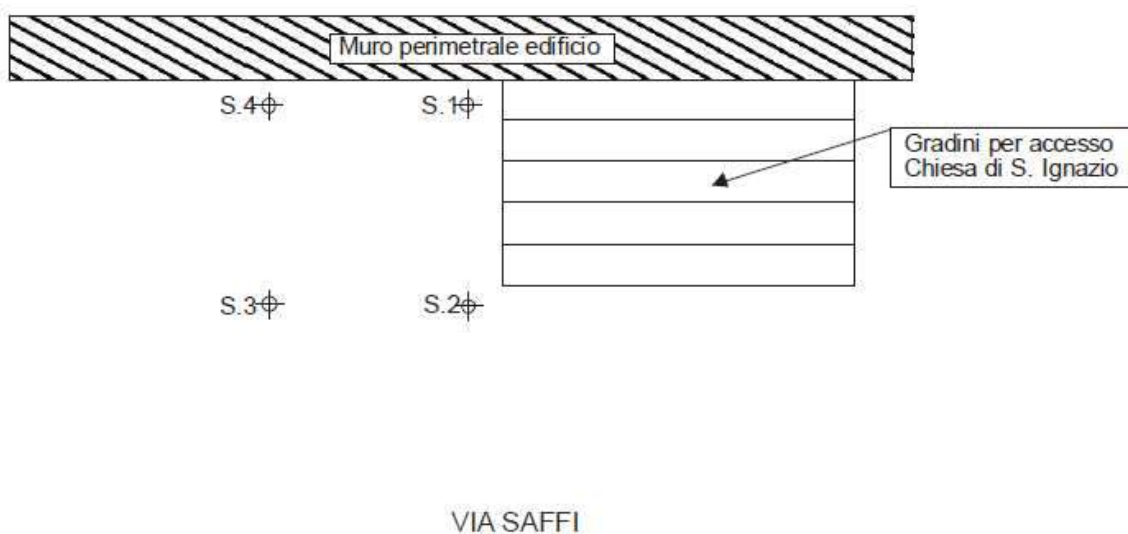


Slice a 0,5 m. da p.c.

4.6 Indagini pregresse



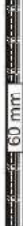
SCHEMA PLANIMETRICO CON UBICAZIONE SONDAGGI
(Scala 1:100)



Impresa **SONDAGGI GEOFIELD S.r.l.**
Via Po n. 16/a - Tel. e fax 0761/346244
01100 VITERBO

SONDAGGIO N. S.1

Data inizio e fine perforazione: 26/06/2003 - 26/06/2003
Località: Viterbo - Chiesa S. Ignazio
Scala grafica 1:100
Perforazione a carotaggio continuo

Diametro perforaz.	CAMPIONI		Percent. di Carotaggio	OSSERVAZIONI					Profondità m dal p.c.	H Strato m	Litologia	Descrizione Litologica
	Disturb.	Indisturb.		S.P.T. Prof. (m)	S.P.T. N1-N2-N3	Livello di falda	Poket penetr.	Indice R.Q.D.				
			70						0.2	0.2		Pavimentazione e massicciata
			90						3.0			Terreno di riporto costituito da pozzolane con pezzame di tufo e peperino
			100						3.2	0.5		Formazione tufacea composta con leuciti ben addensata
									3.7			

NOTE:

Impresa SONDAGGI GEOFIELD S.r.l.

Via Po n. 16/a - Tel. e fax 0761/346244

01100 VITERBO

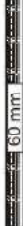
SONDAGGIO N. S.2

Data inizio e fine perforazione: 26/06/2003 - 26/06/2003

Località: Viterbo - Chiesa S. Ignazio

Scala grafica 1:100

Perforazione a carotaggio continuo

Diametro perforaz.	CAMPIONI		Percent. di Carotaggio	OSSERVAZIONI					Profondità m dal p.c.	H Strato m	Litologia	Descrizione Litologica
	Disturb.	Indistur.		S.P.T. Prof. (m)	S.P.T. N1-N2-N3	Livello di falda	Poket penetr.	Indice R.Q.D.				
			70						0.2	0.2		Pavimentazione e massiciata
			90						2.7			Terreno di riporto costituito da pozzolane con pezzame di tufo e peperino
			90						2.9	0.8		Terreno di riporto costituito da pezzame di peperino
									3.7			

NOTE:

PROVINCIA DI VITERBO
Protocollo Arrivo N. 28616/2024 del 02-08-2024
Doc. Principale - Class. 11 - Copia Documento

Impresa **SONDAGGI GEOFIELD S.r.l.**
Via Po n. 16/a - Tel. e fax 0761/346244
01100 VITERBO

SONDAGGIO N. S.3
Data inizio e fine perforazione: 26/06/2003 - 26/06/2003
Località: Viterbo - Chiesa S. Ignazio
Scala grafica 1:100
Perforazione a carotaggio continuo

Diametro perforaz.	CAMPIONI		Percent. di Carotaggio	OSSERVAZIONI					Profondità m dal p.c.	H Strato m	Litologia	Descrizione Litologica
	Disturb.	Indisturb.		S.P.T. Prof. (m)	S.P.T. N1-N2-N3	Livello di falda	Poket penetr.	Indice R.Q.D.				
			70						0.2	0.2		Pavimentazione e massicciata
			90						2.6			Terreno di riporto costituito da pozzolane con pezzame di tufo e peperino
			100						2.8	0.9		Formazione tufacea composita con leuciti ben addensata
									3.7			

NOTE:

PROVINCIA DI VITERBO
Protocollo Arrivo N. 28616/2024 del 02-08-2024
Doc. Principale - Class. 11 - Copia Documento

Impresa SONDAGGI GEOFIELD S.r.l.
Via Po n. 16/a - Tel. e fax 0761/346244
01100 VITERBO

SONDAGGIO N. S.4
Data inizio e fine perforazione: 26/06/2003 - 26/06/2003
Località: Viterbo - Chiesa S. Ignazio
Scala grafica 1:100
Perforazione a carotaggio continuo

Diametro perforaz.	CAMPIONI		Percent. di Carotaggio	OSSERVAZIONI					Profondità m dal p.c.	H Strato m	Litologia	Descrizione Litologica
	Disturb.	Indisturb.		S.P.T. Prof. (m)	S.P.T. N1-N2-N3	Livello di falda	Poket penetr.	Indice R.Q.D.				
			70						0.2	0.2		Pavimentazione e massciata
			90						3.0			Terreno di riporto costituito da pozzolane con pezzame di tufo e peperino
			100						3.2	0.8		Formazione tufacea alluvionale
									4.0			

NOTE:

5 CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA E GEOTECNICA

5.1 Categoria suolo di fondazione e fattore di fondazione

Il territorio del Comune di Viterbo è stato inserito dalla normativa antisismica del 20 marzo 2003 - Ordinanza n. 3474 (G.U. N° 105 del 08/05/2003 s.o. n. 72) e nella successiva riclassificazione sismica della Regione Lazio di cui alla D.G.R. Lazio n. 387 del 22/05/2009 in zona sismica 2B. Le NTC per la costruzione prevedono la determinazione della categoria del suolo di fondazione per la definizione dell'azione sismica di progetto. Per ricavare i parametri sismici significativi del sito in esame, secondo quanto disposto dalle N.T.C. di cui al DM 17.01.18 si fa specifico riferimento alle coordinate geografiche del sito che risultano le seguenti:

(WGS84)

Latitudine: 42°25'01.1"N
42.416978

Longitudine: 12°06'22.1"E
12.106133

Il terreno di fondazione, come si è potuto determinare a seguito dei risultati delle prove pregresse (*studio Geofield del 2003*) e dei stendimenti sismici MASW eseguiti, risulta caratterizzato da valori di V_{s30} pari a 470 m/sec ed è classificabile come suolo di **categoria B**.

Le condizioni topografiche sono di tipo semplice per cui si può ricorrere alla categorie topografiche riportate nella tabella 3.2.2 della NTC 2018. Il sito rientra nella categoria topografica T1, cioè superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$.

5.2 Modello lito-tecnico del volume significativo dell'indagine

Le caratteristiche fisiche e geotecniche in termini di valori medi rilevate dalle prospezioni geofisiche e dalla correlazione, dei terreni osservati nello scavo, con prove geotecniche DPSH eseguite in situ e dai risultati della campagna geognostica eseguita nel 2003 (*Geofield*), sono riportate nella seguente tabella in cui è stato elaborato il Modello litologico e geotecnico del volume significativo dell'indagine. Le quote sono riferite al piano campagna attuale (ca. 330 m s.l.m):

Tabella: Modello litologico e geotecnico (Din1)							
<i>H</i> da m a m	<i>N</i>	<i>f_i</i> <i>Ml=1</i>	<i>y</i> t/mc	<i>y^{sat}</i> t/mc	<i>E</i> Kg/cm ^q	<i>Dr</i> (%)	Descrizione litologia
0,00-0,80							Pavimentazione/vespaio
0,80-1,80	17	31	1,56	1,97	322	45	Depositi sabbiosi addensati
1,80-2,80	11	28	1,51	1,94	284	38	Depositi sabbiosi med. addensati
2,80-3,00	35	38	1,73	2,08	461	70	Depositi sabbiosi da molto addensati a litoidi
3,0							Cavità
in cui: <i>H</i> = profondità in m. dal p.c.; <i>N</i> = numero di colpi medio equivalente a NSPT; <i>K</i> = coefficiente di sottofondo (Winkler) *stimato; <i>f_i</i> = angolo di attrito interno; <i>E</i> = modulo elastico; <i>Y</i> = peso di volume secco; <i>Y^{sat}</i> = peso di volume saturo; <i>Dr</i> = densità relativa							

Tabella: Modello litologico e geotecnico (Din2)							
H da m a m	N	f_i $MI=1$	y t/mc	y^{sat} t/mc	E Kg/cm ²	Dr (%)	Descrizione litologia
0,00-0,80							Pavimentazione/vespaio
0,80-3,40	12	28	1,52	1,94	284	38	Depositi sabbiosi med. addensati
3,40-8,00	35	38	1,73	2,08	461	70	Depositi sabbiosi da molto addensati a litoidi
in cui: H = profondità in m. dal p.c.; N = numero di colpi medio equivalente a NSPT; K = coefficiente di sottofondo (Winkler) *stimato; f_i = angolo di attrito interno; E = modulo elastico; Y = peso di volume secco; Y_{sat} = peso di volume saturo; Dr = densità relativa							

Come si può osservare dalla tabella precedente nell'area ove ricadrà l'intervento in progettazione, al di sotto di un vespaio, si rinvenivano dei depositi sabbiosi mediamente addensati, quest'ultimi poggiati su depositi molto addensati. Si possono riscontrare livelli più sciolti all'interno del litotipo tufaceo presente.

Al fine di descrivere compiutamente il modello litologico (in relazione all'opera in progettazione) è stata riportata la stratigrafia fino ad una profondità di 8 m da p.c..

Nel complesso fino ai 30 m di profondità, come accertato nelle prove sismiche, il valore delle Vs tende mediamente ad aumentare; con l'indagine Hvsr si è effettuata la misura della frequenza di sito:

$$f_0 = 4,67177 \text{ Hz.}$$

La falda acquifera basale livella ad una profondità tale da non interferire direttamente con le fondazioni (circa 20 metri).

Stimata la velocità delle onde P e S lungo la verticale d'indagine, è possibile ricavare, attraverso alcune correlazioni analitiche, non empiriche, alcuni parametri geomeccanici.

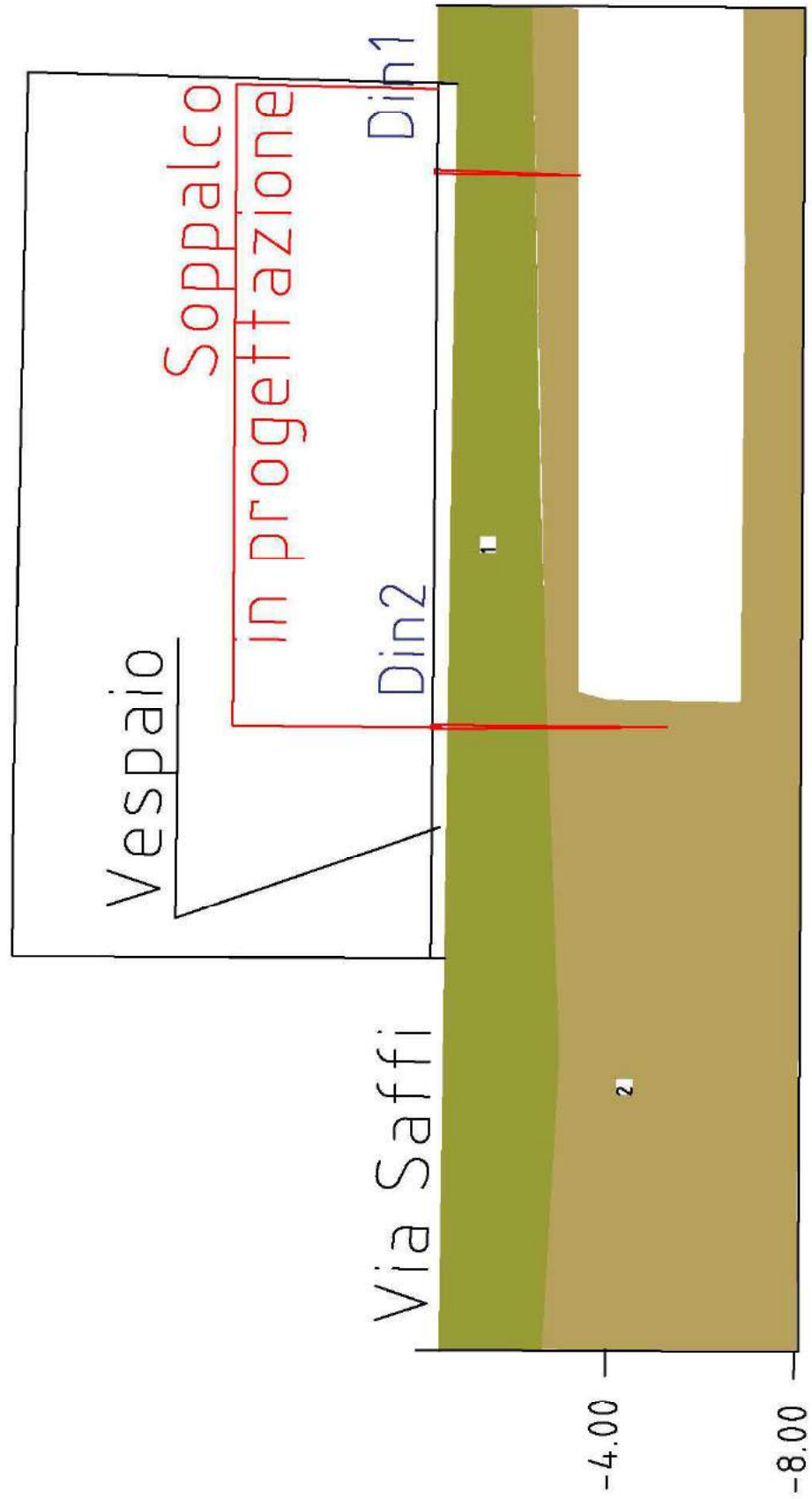
È stata rinvenuta una cavità di natura antropica (una cantina) ad una profondità di circa 2,80 dall'attuale pavimentazione. Le dimensioni della cavità risultano essere 12 m di lunghezza, 4,30 m di larghezza ed un'altezza media di 3 m.

La verifica a liquefazione è stata omessa, in ottemperanza alle previsioni delle NTC18, in quanto non è stato riscontrato il manifestarsi di alcune delle 4 condizioni previste:

1. Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.100 g;
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 $qc_{1N} > 180$;
4. **Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nelle figura sottostante (terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ e terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$).**

In particolare si riscontra la situazione descritta ai punti 2 e 4.

SEZIONE GEOTECNICA



6 CONCLUSIONI

L'area di indagine ricade in zona sismica 2B (accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico con probabilità di superamento pari al 10 % in 50 anni, per il Comune di Viterbo pari a 0.1416). Per ricavare i parametri sismici significativi del sito in esame secondo quanto disposto dalle N.C.T. di cui al DM 17.01.18, si fa specifico riferimento alle coordinate geografiche del sito che risultano le seguenti:

(WGS84)

Latitudine: 42°25'01.1"N
42.416978

Longitudine: 12°06'22.1"E
12.106133

Il terreno di fondazione, come si è potuto determinare a seguito dei risultati delle prove pregresse e degli stendimenti sismici MASW eseguiti, risulta caratterizzato da valori di V_{s30} **pari a 470 m/sec** ed è classificabile come suolo di **categoria B.**— *'Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, con spessori superiori a 30m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} , compresi fra 360 m/s e 800 m/s ($N_{spt,30} > 50$ nei terreni a grana grossa o $c_{u30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).*'.

Le condizioni topografiche sono di tipo semplice per cui si può ricorrere alle categorie topografiche riportate nella tabella 3.2.2 della NTC 2018. Il sito rientra nella categoria topografica **T1**, cioè superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$.

Le caratteristiche fisiche e geotecniche in termini di valori medi sono riportate nella seguente tabella in cui è stato elaborato il Modello litologico e geotecnico del volume significativo dell'indagine. Le quote sono riferite al piano campagna attuale (ca. 330 m s.l.m):

Tabella: Modello litologico e geotecnico (Din1)							
H da m a m	N	f _i Ml=1	y t/mc	y _{sat} t/mc	E Kg/cm ²	Dr (%)	Descrizione litologia
0,00-0,80							Pavimentazione/vespaio
0,80-1,80	17	31	1,56	1,97	322	45	Depositi sabbiosi addensati
1,80-2,80	11	28	1,51	1,94	284	38	Depositi sabbiosi med. addensati
2,80-3,00	35	38	1,73	2,08	461	70	Depositi sabbiosi da molto addensati a litoidi
3,0							Cavità

in cui: H = profondità in m. dal p.c.; N = numero di colpi medio equivalente a NSPT; K = coefficiente di sottofondo (Winkler) *stimato; f_i = angolo di attrito interno; E = modulo elastico; Y = peso di volume secco; Y_{sat} = peso di volume saturo; Dr = densità relativa

Tabella: Modello litologico e geotecnico (Din2)							
H da m a m	N	f _i Ml=1	y t/mc	y _{sat} t/mc	E Kg/cm ²	Dr (%)	Descrizione litologia
0,00-0,80							Pavimentazione/vespaio
0,80-3,40	12	28	1,52	1,94	284	38	Depositi sabbiosi med. addensati
3,40-8,00	35	38	1,73	2,08	461	70	Depositi sabbiosi da molto addensati a litoidi

in cui: H = profondità in m. dal p.c.; N = numero di colpi medio equivalente a NSPT; K = coefficiente di sottofondo (Winkler) *stimato; f_i = angolo di attrito interno; E = modulo elastico; Y = peso di volume secco; Y_{sat} = peso di volume saturo; Dr = densità relativa

Come si può osservare dalla tabella precedente nell'area ove ricadrà l'intervento in progettazione, al di sotto di un vespaio, si rinvencono dei depositi sabbiosi mediamente addensati, quest'ultimi poggianti su depositi molto addensati. Si possono riscontrare livelli più sciolti all'interno del litotipo tufaceo presente.

Al fine di descrivere compiutamente il modello litologico (in relazione all'opera in progettazione) è stata riportata la stratigrafia fino ad una profondità di 8 m da p.c..

Nel complesso fino ai 30 m di profondità, come accertato nelle prove sismiche, il valore delle Vs tende mediamente ad aumentare; con l'indagine Hvsr si è effettuata la misura della frequenza di sito:

$$f_0 = 4,67177 \text{ Hz.}$$

La falda acquifera basale livella ad una profondità tale da non interferire direttamente con le fondazioni (circa 20 metri).

Stimata la velocità delle onde P e S lungo la verticale d'indagine, è possibile ricavare, attraverso alcune correlazioni analitiche, non empiriche, alcuni parametri geomeccanici.

Come richiesto dalla committenza è stata eseguita un'indagine georadar al fine di valutare la presenza di eventuali vuoti al di sotto dell'attuale pavimentazione. Mediante tale indagine si è potuto riscontrare un reticolato regolare che poteva essere ricondotto a travatura e/o rete metallica ed una zona avente una maggiore impedenza. Al fine di approfondire tali evenienze, sono stati eseguiti due saggi nella pavimentazione presente che hanno portato alla luce una struttura a vespaio con una camera d'aria alta circa 60 cm. Tale struttura è costituita da dei muriccioli longitudinali con interesse di circa 65 cm che sostengono un solaio a tavelloni. Al di sopra è presente un gretonato di circa 20 cm a base di calce e pozzolona.

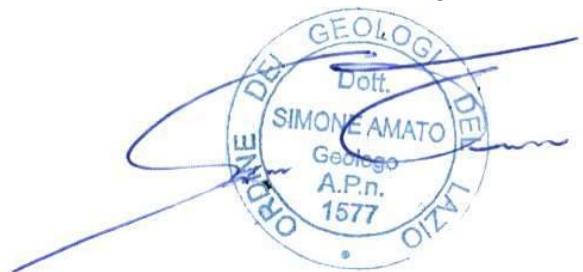
È stata rinvenuta inoltre, tramite i sondaggi penetrometrici eseguiti, una cavità di natura antropica (una cantina) ad una profondità di circa 2,80 dall'attuale pavimentazione. Le dimensioni della cavità, prese durante un sopralluogo effettuato al suo interno, risultano essere le seguenti: 12 m di lunghezza, 4,30 m di larghezza ed un'altezza media di circa 3 m.

La zona non appare attualmente in condizioni di dissesto e/o di frana.

La verifica a liquefazione è stata omessa, in ottemperanza alle previsioni del § 7.11.3.4.2 delle NTC18, in quanto non è stato riscontrato il manifestarsi di alcune delle 4 condizioni previste.

Si rimanda ad eventuali approfondimenti su indicazione della progettista (e/o committente) se verrà ritenuto necessario in fase di progettazione.

Viterbo, 08 Giugno 2023



PROVINCIA DI VITERBO
Protocollo Arrivo N. 28616/2024 del 02-08-2024
Doc. Principale - Class. 11 - Copia Documento