

REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA
COMUNE DI AQUILEIA PROVINCIA DI UDINE

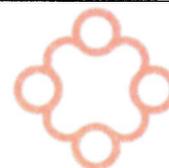
**REALIZZAZIONE DI UNA STRUTTURA PROVVISORIA
DI ACCESSO ALL'AREA ARCHEOLOGICA DEL
DECUMANO ARATRIA GALLA E GRANDI TERME**
- PP.CC. 532/2/8/10, F.M. 13, C.C. DI AQUILEIA -
(Commessa n. F010255)

PROGETTO ESECUTIVO

**ALL. L
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA
E SISMICA**

DATA:

Giugno 2020



FONDAZIONE AQUILEIA

MDP
Ing. Marco Del Pin

Via Aquileia n. 24 - 33058 San Giorgio di Nogaro (UD)
C.F. DLP MRC 74C 15G 284H - P.IVA 0253 0670 302
Cell. 349 868 1266 - Fax 0431 66 061 - marcodelpin@libero.it

LA COMMITTENZA:

IL GEOLOGO INCARICATO:

Dott. Geol. Luca Bincoletto

IL PROGETTISTA:

Dott. Ing. Marco Del Pin



RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA

**REALIZZAZIONE DI UNA STRUTTURA PROVVISORIA DI ACCESSO
ALL'AREA ARCHEOLOGICA DEL DECUMANO ARATRIA GALLA E
GRANDI TERME**

COMUNE DI AQUILEIA

Committente: Fondazione Aquileia
Via Patriarca Popone 7
Aquileia

San Vito al Tagliamento, 29/05/2020

Dott. Geol. Luca Bincoletto

1. INDICE

1. INDICE	1
2. PREMESSA	3
3. QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO	3
3.1. Normativa nazionale	3
3.2. Normativa regionale	3
4. INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO	4
5. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO, GEOLOGICO E SISMOLOGICO DI SINTESI	4
5.1. Inquadramento geomorfologico	4
5.2. Inquadramento geologico	5
5.3. Inquadramento idrogeologico	6
5.4. Inquadramento sismologico	6
5.4.1. Definizione della zona sismica di appartenenza	6
5.4.2. Definizione della zona sismica di appartenenza	6
5.4.3. Storia sismica del comune di Aquileia	7
6. LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI, GEOLOGICI E IDROGEOLOGICI DEL SITO INDAGATO	8
6.1. Lineamenti geomorfologici	8
6.2. Lineamenti geologici	8
6.3. Lineamenti idrogeologici	8
7. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA	8
7.1. Indagini geognostiche	9
7.2. Modello geologico	9
7.3. Modello geotecnico	10
8. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE SISMICA	11
8.1. Indagini geofisiche	11
8.2. Dati generali	11
8.3. Pericolosità sismica di base (parametri sismici sul sito di riferimento)	12
8.4. Definizione delle categorie topografica e del sottosuolo	12
8.5. Azione sismica	12
9. SINTESI DELLA PERICOLOSITÀ GEOLOGICA	13
9.1. Pericolosità geomorfologica	13
9.2. Problematiche idrogeologiche	13
9.3. Pericolosità idraulica	13
9.4. Pericolosità sismica	13
10. STRUTTURE DI FONDAZIONE	13
10.1. Dati di progetto delle strutture di fondazione e proprietà geotecniche dei terreni di fondazione	13

10.2.	Stime della capacità portante e della resistenza di progetto dei terreni di fondazione_	14
10.3.	Stima dei cedimenti dei terreni di fondazione _____	15
11.	CONCLUSIONI _____	15
12.	BIBLIOGRAFIA _____	16
	ALLEGATI _____	16

2. PREMESSA

Il presente studio geologico, geotecnico e sismico riguarda i terreni fondazionali che saranno interessati al progetto di REALIZZAZIONE DI UNA STRUTTURA PROVVISORIA DI ACCESSO ALL'AREA ARCHEOLOGICA DEL DECUMANO ARATRIA GALLA E GRANDI TERME, comune di Aquileia.

Gli scopi principali dello studio sono stati la definizione dei seguenti elementi:

- illustrazione dei principali lineamenti geologici e geomorfologici della zona;
- Illustrazione delle caratteristiche sismologiche dell'area;
- caratterizzazione e modellazione sismica dei terreni interessati dalle strutture di fondazione;
- caratterizzazione litologica e geotecnica dei terreni interessati dalle strutture di fondazione.

La metodologia di sviluppo dello studio ha previsto in sintesi i seguenti punti:

- acquisizione dei dati necessari per lo studio in oggetto, mediante le seguenti attività:
 - raccolta delle informazioni progettuali ed in particolar modo relative alle strutture fondazionali;
 - raccolta delle informazioni derivanti dalla letteratura e dai piani di settore;
 - esame superficiale dell'area;
 - esecuzione di due prove penetrometriche dinamiche superpesanti;
 - esecuzione di una indagine geofisica a sismica attiva;
- elaborazione ed integrazione delle informazioni ottenute dal punto precedente;
- stesura del presente documento.

Sono parte integrante della presente relazione i seguenti documenti:

Allegato 1 – Inquadramento cartografico dell'area di progetto nella CTRN;

Allegato 2 – Inquadramento geologico e strutturale;

Allegato 3 – Inquadramento della planimetria di progetto e delle indagini geognostiche e geofisiche nella CTRN;

Allegato 4 – Indagini penetrometriche dinamiche superpesanti e stratigrafie di sintesi;

Allegato 5 – Indagine geofisica a sismica attiva.

3. QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO

Nel presente capitolo sono riportati i principali riferimenti normativi nazionali e regionali.

3.1. Normativa nazionale

- O.P.C.M. 3274 del 20 marzo 2003 (G.U. 08/05/2003 n. 105 Supplemento Ordinario n. 72) e successive modifiche ed integrazioni. Costruzioni in zona sismica – Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica;
- O.P.C.M. 3519 del 28 aprile 2006 (G.U. 11/05/2006 n. 108) – Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone;
- D.M. 17 gennaio 2018 (G.U. 20/02/2018 n. 42 Suppl. Ordinario n. 8) – Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018).

3.2. Normativa regionale

- L.R. n. 16 dell'11 agosto 2009 (B.U.R. 19/08/2009 n. 033) – Norme per la costruzione in zona sismica e per la tutela fisica del territorio;

- D.G.R. n. 845 del 6 maggio 2010 (B.U.R. 19/05/2010 n. 20) – Classificazione delle zone sismiche e indicazione delle aree di alta e bassa sismicità ai sensi dell'art. 3, comma 2, lett. a) della legge regionale n. 16/2009.

4. INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO

Il sito in esame è inquadrato nell'elemento *109013 – Aquileia* della CTRN, scala 1:5.000 della Regione Friuli Venezia Giulia. L'ubicazione approssimata del centroide dell'opera è riportata nelle Tab. 1, in particolare le coordinate nel sistema UTM-ETRF89-33N sono state ricavate dalla cartografia precedentemente citata e dalla loro conversione sono state ottenute le coordinate nei sistemi ETRF89 e ED50. La conversione è stata realizzata mediante l'utilizzo del software *ConveRgo 2.04* sviluppato dal CISIS. La quota geoidica è stata ricavata dal DTM, derivato da rilievi Lidar, a risoluzione 1 m, della Regione Friuli Venezia Giulia.

UTM-ETRF89-33N	
Est	Nord
372975 m	5070090 m
QUOTA GEOIDICA	
2 m s.l.m.m.	
ETRF89	
Latitudine	Longitudine
45,77268784°	13,36620674°
ED50	
Latitudine	Longitudine
45,77356849°	13,36717098°

Tab. 1 – Ubicazione del centroide dell'opera nei sistemi UTM-ETRF89-33N, ETRF89 e ED50

Il documento *Allegato 1 – Inquadramento cartografico nella CTRN* individua il sito in esame nella relativa CTRN in scala 1:5.000 della Regione Friuli Venezia Giulia.

5. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO, GEOLOGICO E SISMOLOGICO DI SINTESI

Il presente capitolo ha lo scopo di illustrare sinteticamente gli aspetti geomorfologico, geologico, geomorfologico, idrogeologico e sismologico del territorio comunale e dell'area in esame sulla base di fonti bibliografiche, in particolare gli inquadramenti geomorfologico, geologico ed idrogeologico sono stati realizzati prevalentemente dalla consultazione della documentazione contenuta nel documento *Studio geologico-tecnico a corredo della variante generale al Piano Regolatore Comunale del Comune di Aquileia* (Perricone, 2008) e l'inquadramento sismico dalla consultazione della documentazione prodotta dall'I.N.G.V..

Il documento *Allegato 2 – Inquadramento geologico e geomorfologico* definisce i lineamenti geologici e geomorfologici principali del territorio comunale, sulla base della Carta Geologica del Friuli Venezia Giulia, scala 1:150.000.

5.1. Inquadramento geomorfologico

Il territorio comunale di Aquileia è posto nella propaggine meridionale della Bassa Pianura Friulana, in corrispondenza dell'area perilagunare della laguna di Grado e l'intervallo altimetrico, escludendo gli alti morfologici della frangia perilagunare costituiti principalmente

dalle dune di San Marco e Belvedere che raggiungono le quote di 10 m s.l.m.m., è compreso 6 / -2 m s.l.m.m. con un gradiente medio pari a 0,15-0,20% lungo la direttrice N – S.

La piana aquileiese appartiene al corpo sedimentario costituito dal megafan di pertinenza del sistema Torre-Isonzo, caratterizzato, nell'area di interesse, da basso gradiente topografico ed interessato dalle seguenti geoforme principali:

- *dosso fluviale del fiume Natissa*, si tratta di una dorsale che si sviluppa lungo la direttrice N-S ed interrompendosi in prossimità della foce del costo d'acqua, è caratterizzato da lunghezza di circa 3 km e ampiezza compresa tra 60 e 500 m;
- *paleoalvei e paleocanali*, in prevalenza in destra idrografica del fiume Natissa e nel settore orientale in corrispondenza della località Fiumicello;
- *alti morfologici*, si tratta di rilievi costituiti da sabbie più o meno cementate, facilmente riconoscibili nella frangia perilagunare, dove raggiungono le quote massime di circa 10 m s.l.m.m. con le dune di San Marco e Belvedere, mentre nell'entroterra si presentano più appiattiti a causa della più intensa azione di bonifica;
- *aree di bonifica e aree in depressione assoluta*, occupano la quasi totalità del territorio comunale, ad eccezione dell'estremo lembo settentrionale e della zona su cui sorge l'abitato di Aquileia. Il settore occidentale del territorio comunale, in destra idrografica del fiume Natissa e nelle località Marignane, Beligna e Viola, risultano poste a quote inferiori a 0 m s.l.m.m.;
- *argini*, costituiscono degli alti morfologici longitudinali di origine antropica, che raggiungono la quota massima di circa 3 m s.l.m.m. e si concentrano prevalentemente in corrispondenza della conterminazione lagunare e del fiume Natissa;
- *alto morfologico dell'abitato di Aquileia*, di origine antropica ed in particolare generato dalle diverse rifondazioni della città, presenta altimetrie comprese tra 3 e 5 m s.l.m.m..

La rete idrografica superficiale è costituita dai seguenti elementi principali:

- corsi d'acqua di risorgiva, aventi direzioni di deflusso prevalenti N-S ed i cui principali elementi sono dati dai fiumi Natissa e Terzo;
- Canale Anfora realizzato nel II secolo d.C., attualmente arginato ed utilizzato dal sistema di bonifiche idrauliche in qualità di recettore di parte dello scolo meccanico;

Rete di canali principali e secondari delle bonifiche idrauliche.

5.2. Inquadramento geologico

Nell'area aquileiese, dal punto di vista geologico, si riconoscono due grandi aree:

- *area della formazione quaternaria costituita da terreni spesso organici sovrastanti depositi fluviali e di fondo lagunare (zona perilagunare di bonifica)* – facies in cui predomina la frazione granulometrica più fine, interessa tutta la fascia occidentale del territorio comunale. La copertura superficiale è costituita da un terreno agricolo di natura limo-argillosa di potenza submetrica localmente ferrettizzato, al di sotto del quale si riconoscono termini di fondo lagunare contraddistinti da ritmiche alternanze di livelli limo argillosi e sabbiosi in cui si evidenziano abbondanti resti algali; sono inoltre presenti livelli torbosi. I depositi lagunari sono spesso riconoscibili per la colorazione grigia, dovuta all'abbondante presenza di sostanza organica rilasciata in ambiente riducente.

area della formazione quaternaria costituita da depositi di natura prevalentemente calcareodolomitica – occupa la restante parte del territorio comunale e si estende, pertanto, in sinistra idrografica del fiume Natissa. La granulometria dei sedimenti spazia dalle sabbie

grossolane o ghiaie fini alle argille. I depositi sono il risultato dell'azione fluviale combinata del sistema Isonzo-Torre.

5.3. Inquadramento idrogeologico

Il territorio comunale è caratterizzato da una idrostruttura contenente acquiferi posti a diverse profondità. In prossimità della superficie topografica, si riconosce la presenza di un livello o lama d'acqua poco potente e discontinuo definibile in modo più appropriato come pseudo-falda o adunamento freatico.

A profondità maggiori si succedono diversi acquiferi confinati o semiconfinati riconosciuti sulla base dei pozzi terebrati nell'area. Nell'area di Aquileia si riscontrano i seguenti acquiferi in orizzonti prevalentemente ghiaiosi:

- da -30 a -40 m e da -55 a -74 m;
- da -130 a -145 m;
- da -160 a -170 m.

Ognuno dei sistemi di falde indicati risulta molto complesso differenziandosi spesso in ulteriori livelli, la cui potenza normalmente non supera i 10 m.

5.4. Inquadramento sismologico

5.4.1. Definizione della zona sismica di appartenenza

Sulla base della D.G.R. n. 845 del 6 maggio 2010 (B.U.R. 19/05/2010 n. 20) – *Classificazione delle zone sismiche e indicazione delle aree di alta e bassa sismicità ai sensi dell'art 3, comma 2, lett. a) della legge regionale n. 16/2009*, il comune di Aquileia è classificato come segue:

Comune	Zona sismica	Area di Alta/Bassa sismicità	a_g con $P_s(50 \text{ anni}) = 10\%$ o $T_r = 475 \text{ anni}$
Aquileia	3	Bassa	$0,050 < a_g \leq 0,175$

Tab. 2 – Classificazione sismica secondo la D.G.R. n. 845 del 6 maggio 2010

5.4.2. Definizione della zona sismica di appartenenza

Sulla base della zonazione sismogenetica denominata ZS9 realizzata dall'INGV nel 2004 contestualmente alla realizzazione della mappa della pericolosità sismica prevista dall'O.P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003, l'area Veneto Orientale Friulana è interessata dalle aree sismogenetiche identificate dai valori 904, 905 e 906 (Fig. 1) e legate all'interazione Adria-Europa. In particolare, tali zone sono caratterizzate dalla massima convergenza tra le placche adriatica ed europea e sono caratterizzate da strutture a pieghe sud-vergenti del Sudalpino Orientale e faglie inverse associate e nelle aree ad est del confine friulano, da faglie trascorrenti destre con direzione NW-SE (trend dinarico).

La tabella seguente riporta le caratteristiche geometriche principali di tali aree sismogenetiche in termini di meccanismo di *fagliazione principale* e *profondità efficace* definita come la profondità alla quale avviene il maggior numero di terremoti che determina la pericolosità sismica della zona.

Zona sismogenetica	Meccanismo di fagliazione principale	Profondità efficace (km)
904	Faglia trascorrente	7
905	Faglia inversa	8
906	Faglia inversa	8

Tab. 3 – caratteristiche geometriche principali delle aree sismogenetiche di interesse dell'area Veneto Orientale-Friulana

Sulla base del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15 versione 2.0, realizzato dall'INGV, nel quale sono contenuti i terremoti storici avvenuti entro il periodo temporale

compreso tra il 1000 ed il 2017 d.C., è stato possibile estrarre i terremoti di magnitudo momento (M_w) superiore a 5 il cui epicentro è localizzato entro l'area Veneto Orientale-Friulana. La sovrapposizione di tali terremoti con le aree sismogenetiche prima definite (Fig. 1) evidenzia che la sismicità dell'area è prevalentemente generata nella zona sismogenetica identificata con il valore 905, sede della forte attività sismica avvenuta nel 1976.

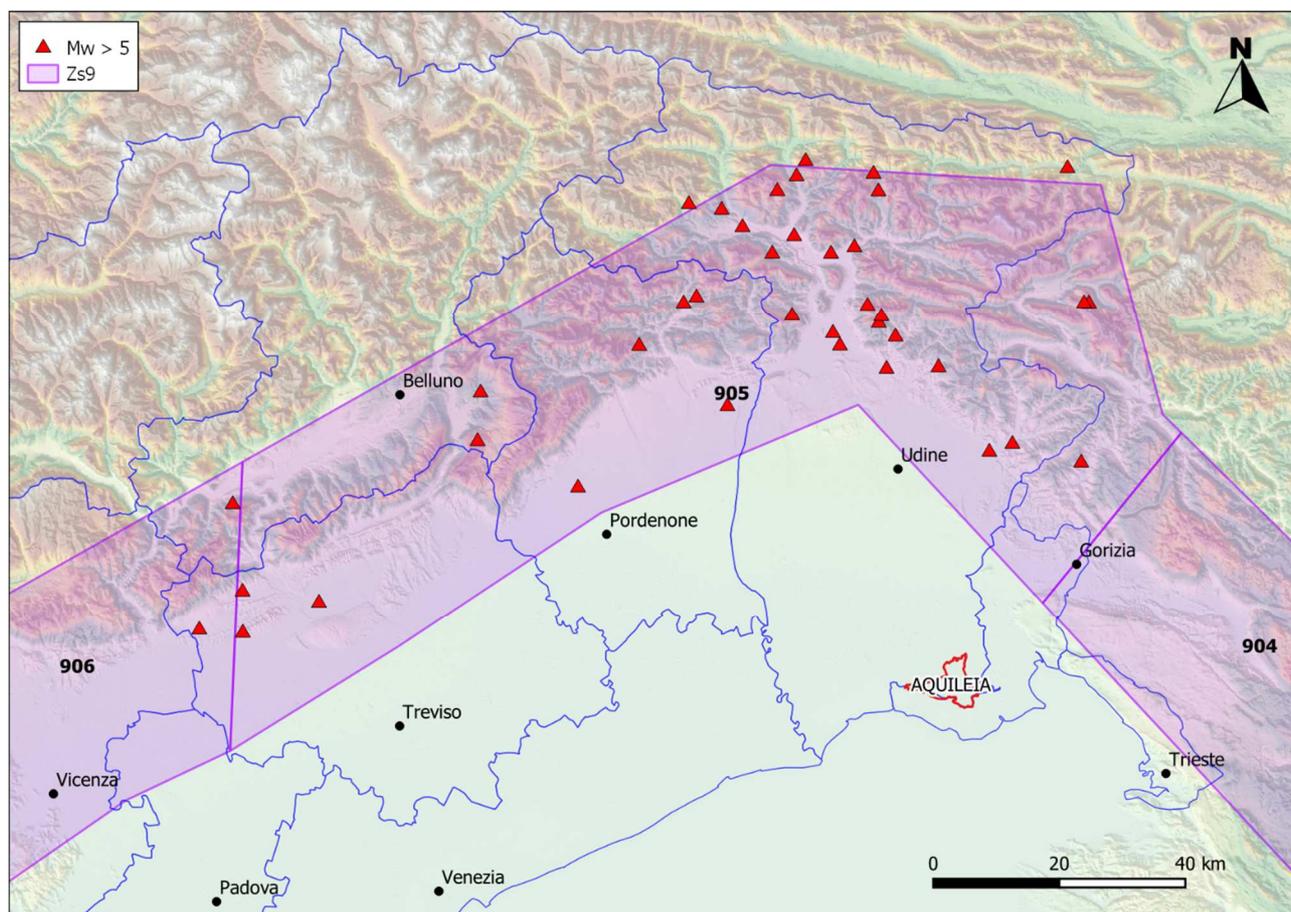


Fig. 1 – Aree sismogenetiche ricadenti nell'area Veneto Orientale-Friulana e sismicità storica

5.4.3. Storia sismica del comune di Aquileia

Dalla Fig. 1 è possibile definire che il comune di Aquileia ricade a sud della zona sismogenetica identificata con il valore 905, sede della genesi, come è già stato definito precedentemente, della maggior parte della sismicità osservata nell'area Veneto Orientale-Friulana. Sulla base del database denominato DBMI15 versione 2.0 realizzato dall'INGV e contenente le osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI15 versione 2.0 utilizzato precedentemente, è stato possibile ricostruire la storia sismica del comune di Aquileia. In particolare, in tale catalogo sono presenti 14 eventi sismici che hanno generato degli effetti macrosismici ($I_s \geq 2$) o non hanno raggiunto la soglia del risentimento sismico (NF) nel comune di Aquileia. Tali eventi sono riportati nella tabella seguente, dove I_s ed I_o sono le intensità macrosismiche osservate rispettivamente nel comune in esame e nell'epicentro dell'evento ed espresse nella scala MCS e M_w è la magnitudo momento dell'evento. In particolare, si può notare che le intensità macrosismiche storiche rilevate nel territorio comunale di comunale di Aquileia sono in genere di valore medio con massimo pari a 6. Si aggiunge che 8 eventi sono associati alla zona sismogenetica identificata con 905 (Fig. 1) e sede della maggior parte dei terremoti che generano sismicità nell'area Veneto Orientale-Friulana.

Effetti	Terremoti			
	Is	Anno	Area epicentrale	Io
HD	1348	Alpi Giulie	9	6,63
5	1895	Ljubljana	8-9	5,98
5	1898	Valli del Natisone	7	5,12
4	1909	Emilia Romagna orientale	6-7	5,36
3	1930	Senigallia	8	5,83
NF	1952	Pordenonese	5	4,44
6	1976	Friuli	9-10	6,45
F	1979	Friuli	6-7	4,66
2	1990	Slovenia occidentale	5-6	4,59
NF	1991	Prealpi Friulane	4-5	4,14
4	1991	Prealpi Giulie	5-6	4,51
2	1998	Carniola interna		4,25
4	1998	Slovenia centrale		4,31
4	2004	Slovenia nord-occidentale		5,12

Tab. 4 – Sintesi della storia sismica del comune di Maniago

6. LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI, GEOLOGICI E IDROGEOLOGICI DEL SITO INDAGATO

Il presente capitolo, sulla base delle informazioni desunte dalla bibliografia illustra i principali lineamenti geomorfologici, geologici ed idrogeologici del sito indagato.

6.1. Lineamenti geomorfologici

Il sito indagato è caratterizzato da una superficie topografica locale subpianeggiante, ad una quota di circa 2 m s.l.m.m..

6.2. Lineamenti geologici

Secondo il documento *Studio geologico-tecnico a corredo della variante generale al Piano Regolatore Comunale del Comune di Aquileia* (Perricone, 2008), la litologia superficiale è costituita da sedimenti prevalentemente limoso-argillosi con sabbie e ghiaie (MSG).

Secondo la *Carta Geologica del Friuli Venezia Giulia, scala 1:150.000*, l'area è caratterizzata da sedimenti olocenici alluvionali costituiti da terreni limoso-argillosi talora con sabbie e ghiaie subordinate.

6.3. Lineamenti idrogeologici

Secondo il documento *Studio geologico-tecnico a corredo della variante generale al Piano Regolatore Comunale del Comune di Aquileia* (Perricone, 2008) il territorio comunale di Aquileia è caratterizzato, entro i primi metri superficiali, dalla presenza della falda freatica poco potente e discontinua.

Le indagini penetrometriche dinamiche superpesanti DPSH1 e DPSH2 realizzate in sito, spinte alla profondità di 3,2 m dal p.c., non hanno individuato la falda freatica. Ai fini del presente studio, in via cautelativa, la falda freatica è posta a 1 m dal p.c..

7. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

Nel seguito sono illustrati il modello geologico e geotecnico del sito indagato, ottenuti mediante integrazione dei risultati delle indagini geognostiche in sito con le informazioni bibliografiche. Il modello geologico è fornito sotto forma di stratigrafia ed il modello

geotecnico è definito mediante le stime dei parametri geotecnici significativi delle litologie della stratigrafia stessa.

7.1. Indagini geognostiche

Ai fini della caratterizzazione litologica e geotecnica del sottosuolo di fondazione ovvero dell'implementazione dei modelli geologico e geotecnico, sono state eseguite due prove penetrometriche dinamiche superpesanti (DPSH1 e DPSH2) in sito mediante il penetrometro *Pagani TG63-100*.

Il documento *Allegato 3 – Inquadramento cartografico della planimetria di progetto e delle indagini geognostiche e geofisiche nella CTRN* riporta l'ubicazione delle indagini geognostiche in sito.

7.2. Modello geologico

Dalle stratigrafie ottenute dalle prove penetrometriche dinamiche superpesanti DPSH1 e DPSH2 (*Allegato 4 – Indagini penetrometriche dinamiche superpesanti e stratigrafie di sintesi*) integrate con i contenuti del documento *Studio geologico-tecnico a corredo della variante generale al Piano Regolatore Comunale del Comune di Aquileia* (Perricone, 2008) è possibile definire il seguente modello geologico semplificato dell'area di progetto, derivato cautelativamente dai risultati della prova penetrometrica dinamica superpesante DPSH1, caratterizzati da terreni geomeccanicamente mediamente più scadenti rispetto ai risultati della prova penetrometrica dinamica superpesante DPSH2 : dal p.c. fino a 0,2 m si riscontra terreno vegetale compattato a cui seguono sabbia e limo fino alla profondità di indagine pari a 3,2 m.

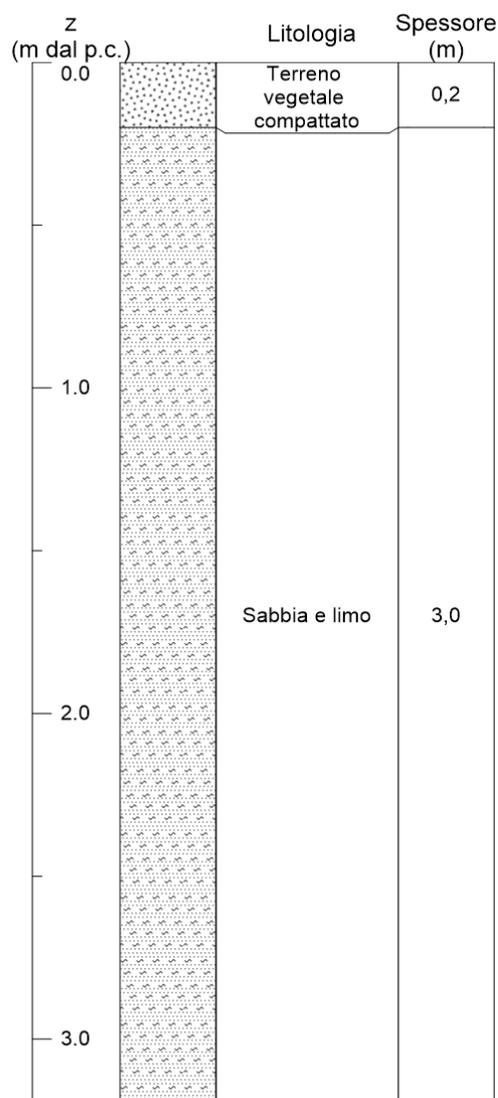


Fig. 2 – Modello geologico semplificato dell'area di progetto

Ai fini del presente studio, in via cautelativa, la falda freatica è posta a 1 m dal p.c..

7.3. Modello geotecnico

Sulla base della prova penetrometrica dinamica superpesante DPSH1, scelta ai fini della caratterizzazione geotecnica in quanto caratterizzata da valori geomeccanicamente più scadenti rispetto alla prova penetrometrica dinamica superpesante DPSH2, il modello geotecnico è stato realizzato mediante la caratterizzazione geotecnica delle litologie del modello geologico semplificato.

La tabella seguente riporta le caratterizzazioni geotecniche dei livelli litologici per i parametri più significativi. Per i terreni incoerenti sono stati stimati i seguenti parametri: peso di unità di volume (γ), peso di unità di volume saturo (γ_s), angolo di attrito efficace (φ') e modulo di Young (E).

Litologia	Intervallo del livello (m da p.c.)	Coesivo / Incoerente	γ (kN/m ³) (1)	γ_s (kN/m ³) (1)	φ' (°) (2)	E (MPa) (3)
Terreno vegetale compattato	0,0 - 0,2	Incoerente	16,5	20,0	-	-
Sabbia e limo	0,2 - 3,2	Incoerente	14,0	18,5	29	5

Tab. 6 – Stima dei parametri geotecnici significativi

- (1) – Terzaghi-Peck (1948-1967);
- (2) – Sowers (1961);
- (3) – Shultze-Menzenbach per le sabbie limose.

8. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE SISMICA

In sintesi, la modellazione sismica ha la funzione di quantificare i parametri dell'azione sismica utili alla progettazione delle strutture.

In funzione dell'ubicazione geografica, della tipologia e vita nominale della struttura da realizzare, è determinata la pericolosità sismica di base in funzione di diversi periodi di ritorno correlati con differenti livelli prestazionali dell'opera, identificati dagli stati limite.

Sulla base delle caratteristiche topografiche e del sottosuolo, la pericolosità sismica di base è tradotta in azione sismica definita in particolare dalle accelerazioni del suolo massime attese e altri parametri correlati in funzione dei differenti livelli prestazionali.

8.1. Indagini geofisiche

Ai fini della caratterizzazione sismica del sottosuolo di fondazione ovvero dell'implementazione del modello sismico è stata realizzata una indagine integrata a sismica passiva con la tecnica *MFA (Multiple Filter Analysis)* mediante il geofono triassiale *Geospace Technologies* da 4,5 Hz (*Allegato 5 – Indagine geofisica a sismica attiva*).

L'indagine geofisica fornisce il seguente valore delle velocità delle onde sismiche S mediate dal p.c. alla profondità di 30 m ($V_{s,eq}$):

$$V_{s,eq} = 246 \text{ m/s}$$

Il documento *Allegato 2 – Inquadramento della planimetria di progetto e delle indagini geognostiche e geofisiche nella CTR* riporta l'ubicazione delle indagini geofisiche.

8.2. Dati generali

I dati generali utili alla definizione della pericolosità sismica di base sono riportati nelle Tab. 8 e Tab. 9, in particolare è ripresa l'ubicazione dell'opera nel sistema ED50 definita nel precedentemente.

ED50	
Latitudine	Longitudine
45,77356849°	13,36717098°

Tab. 8 – Ubicazione dell'opera ai fini sismici

Tipo opera	2 – Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale
Classe d'uso	III – Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso
Coefficiente d'uso C_u	1,5
Vita nominale	50 anni
Vita di riferimento	75 anni

Tab. 9 – Dati generali dell'opera

8.3. Pericolosità sismica di base (parametri sismici sul sito di riferimento)

Sulla base dei dati generali precedentemente definiti, e la mappatura del rischio sismico approntata allo scopo dal C.S.L.P., è stata ricavata la pericolosità sismica di base definita dai parametri sismici sul sito di riferimento caratterizzato da suolo sismicamente rigido ovvero secondo la classificazione del sottosuolo ai fini sismici, di classe A e superficie topografica di categoria T1.

La definizione di sottosuolo di categoria A è la seguente: *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.*

La definizione di superficie topografica di categoria T1 è la seguente: *Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$.*

La Tab. 10 riporta tali parametri in funzione dei diversi stati limite, dove:

a_0 è l'accelerazione massima orizzontale attesa nel sito di riferimento;

F_0 è il valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T_C^* è il periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

S.L. Stato limite	T_r Tempo ritorno (anni)	a_g (m/s ²)	F_0	T_C^* (s)
SLO	45	0,392	2,557	0,245
SLD	75	0,500	2,565	0,275
SLV	712	1,187	2,575	0,371
SLC	1462	1,510	2,618	0,385

Tab. 10 – Parametri sismici sul sito di riferimento

8.4. Definizione delle categorie topografica e del sottosuolo

La topografia del sito indagato è subpianeggiante ed è dunque possibile assegnare la categoria topografica alla classe T1.

In base ai risultati delle indagini geofisiche (*Allegato 5 – Indagine geofisica a sismica passiva*) che forniscono un valore di $V_{s,eq} = 246$ m/s, il sottosuolo del sito indagato è inquadrabile nella classe di sottosuolo C.

La Tab. 11 riporta in sintesi le categorie topografiche e del sottosuolo.

Categoria	Codifica	Caratteristiche
Topografica	T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$
Sottosuolo	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.

Tab. 11 – Categorie topografica e del sottosuolo

8.5. Azione sismica

L'azione sismica è definita dalle accelerazioni del suolo massime attese ed altri parametri correlati e dagli spettri di risposta elastici ed è definita per la classe denominata *Stabilità dei pendii e fondazioni* a partire dalla pericolosità di base e dalle categorie topografiche e di sottosuolo.

La Tab. 12 sintetizza i valori dell'accelerazione massima orizzontale attesa nel sito ed altri parametri ad essa correlati, in particolare:

- a_{max} è l'accelerazione massima orizzontale al suolo attesa nel sito;
- β è il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;
- k_h è il coefficiente sismico orizzontale;
- k_v è il coefficiente sismico verticale.

Stato limite	a_{max} (m/s ²)	β	k_h	k_v
SLO	0,5880	0,20	0,0120	0,0060
SLD	0,7500	0,20	0,0153	0,0076
SLV	1,7805	0,24	0,0436	0,0218
SLC	2,2018	0,24	0,0539	0,0269

Tab. 12 – Accelerazioni massime orizzontali attese e coefficienti sismici orizzontali e verticali

9. SINTESI DELLA PERICOLOSITÀ GEOLOGICA

9.1. Pericolosità geomorfologica

Date le caratteristiche sub-pianeggianti delle aree indagate e limitrofe, non sussiste pericolosità geomorfologica.

9.2. Problematiche idrogeologiche

Ai fini del presente studio, in via cautelativa, la falda freatica è posta a 1 m dal p.c..

9.3. Pericolosità idraulica

Il documento *Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico dei bacini di interesse regionale* (AA.VV., 2016) indica che il sito ricade in area a pericolosità idraulica media – P2 (Tav. 53) e la progettazione è vincolata al rispetto delle relative norme attuative.

Il documento *Studio geologico-tecnico a corredo della variante generale al Piano Regolatore Comunale del Comune di Aquileia* (Perricone, 2008) l'area non presenta pericolosità idraulica.

9.4. Pericolosità sismica

Come precedentemente definito, il comune di Aquileia nel quale ricade il sito indagato, secondo la normativa regionale è classificato a bassa sismicità. Ciò è confermato dalla storia sismica del comune stesso, dove si sono registrati eventi sismici ad intensità macrosismica medio-bassa, con valore massimo pari a 6 della scala MCS. Ai fini della progettazione, le azioni sismiche sono state opportunamente valutate e descritte nel *capitolo 8 – CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE SISMICA*.

10. STRUTTURE DI FONDAZIONE

10.1. Dati di progetto delle strutture di fondazione e proprietà geotecniche dei terreni di fondazione

Le strutture di fondazione ipotizzate sono costituite da fondazioni a plinti caratterizzati dalle seguenti dimensioni di massima:

Larghezza (B)	1,50 m
Lunghezza (L)	1,50 m
Profondità piano di posa (D)	0,20 m

Tab. 13 – Dimensioni di massima delle strutture di fondazione continue

Le proprietà geotecniche del terreno di imposta delle strutture di fondazione sono le seguenti:

Litologia	Intervallo del livello (m da p.c.)	Coesivo / Incoerente	γ (kN/m³) (1)	γ_s (kN/m³) (1)	ϕ' (°) (2)	E (MPa) (3)
Terreno vegetale compattato	0,0 - 0,2	Incoerente	16,5	20,0	-	-
Sabbia e limo	0,2 – 3,2	Incoerente	14,0	18,5	29	5

Tab. 14 – Proprietà geotecniche del terreno di imposta delle strutture di fondazione

Ai fini del presente studio, in via cautelativa, la falda freatica è posta a 1 m dal p.c..

10.2. Stime della capacità portante e della resistenza di progetto dei terreni di fondazione

La stima della capacità portante e della resistenza di progetto dei terreni di fondazione è stata computata, in base alle NTC2018, secondo l'approccio 2 (combinazione A1+M1+R3) e la formula EC-8, in condizioni drenate nella modalità statica e sismica (correzione EC7/8). Date le caratteristiche pianeggianti della superficie topografica e l'ipotesi di orizzontalità delle superfici di transizione verticale delle litologie, nella computazione della capacità portante e della resistenza di progetto, le inclinazioni di tali superfici sono state poste pari a 0°.

Azioni (A1) – Amplificazione dei carichi		
<i>Azione</i>	<i>Coefficiente</i>	<i>Valore</i>
Carichi permanenti G ₁	γ_{G1}	1,3
Carichi permanenti G ₂	γ_{G2}	1,5
Azioni variabili Q	γ_{Qi}	1,5
Resistenza dei materiali (M1) – Riduzione dei parametri geotecnici		
<i>Parametro</i>	<i>Coefficiente</i>	<i>Valore</i>
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio $\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0
Coesione efficace c' _k	$\gamma_{c'}$	1,0
Resistenza non drenata c _{uk}	γ_{cu}	1,0
Peso dell'unità di volume γ_γ	γ_γ	1,0
Resistenza globale del sistema (R3) – Riduzione delle resistenze		
<i>Verifica</i>	<i>Coefficiente</i>	<i>Valore</i>
Carico limite	γ_R	2,3

Tab. 15 – Coefficienti di parzializzazione secondo NTC2018, approccio 2, combinazione A1+M1+R3

Il sistema struttura-terreno è verificato se vale la seguente relazione:

$$R_d \geq V_d$$

o la relazione equivalente:

$$R_d/A \geq V_d/A$$

dove R_d è la resistenza di progetto data dalla capacità portante ridotta mediante il coefficiente R_3 , V_d sono le azioni dovute ai carichi amplificati utilizzando i coefficienti di amplificazione dei carichi A_1 e A è la superficie della fondazione.

Non essendo, allo stato attuale definite le azioni, è stato possibile effettuare le sole stime della capacità portante e della resistenza di progetto unitaria (R_d/A) (approccio 2 combinazione $A_1+M_1+R_3$). Data la caratteristica di incoerenza dei terreni di posa della fondazione, tali stime sono state effettuate per la condizione drenata nella modalità statica e sismica (secondo EC7/8) e la sintesi è riportata sotto.

Struttura di fondazione	Condizione	Capacità portante (kPa)	Resistenza di progetto unitaria R_d/A (kPa)
Fondazione continua	Drenata - Statica	202	88
	Drenata - Sismica	176	76

Tab. 16 – Stime delle capacità portanti e delle resistenze di progetto unitarie (approccio 2 combinazione $A_1+M_1+R_3$)

10.3. Stima dei cedimenti dei terreni di fondazione

La stima dei cedimenti al centro delle strutture di fondazione, di dimensioni riportate in Tab. 13, e realizzata mediante l'applicazione del metodo di Shmertmann per i terreni incoerenti. Il calcolo delle pressioni è stato realizzato mediante il metodo di Westergaard.

I risultati della stima dei cedimenti sono illustrati nella seguente tabella:

Carico	ΔH
50 kPa	15 mm

Tab. 17 – Stima dei cedimenti

11. CONCLUSIONI

Il presente lavoro ha evidenziato i seguenti punti:

- il sito in esame è caratterizzato, è caratterizzato da una superficie topografica locale subpianeggiante, ad una quota di circa 2 m s.l.m.m.;
- il modello geologico cautelativo è il seguente: dal p.c. fino a 0,2 m si riscontra terreno vegetale compattato a cui seguono sabbia e limo fino alla profondità di indagine pari a 3,2 m;
- la falda freatica è posta cautelativamente alla profondità di 1 m dal p.c.;
- la storia sismica del comune di Aquileia presenta alcuni eventi di intensità macrosismica in genere medio-bassa e con grado massimo pari a 6;
- sulla base delle indagini in sito e delle informazioni desunte dalla bibliografia, è stato possibile determinare i parametri dell'azione sismica utili alle successive fasi di progettazione dell'opera;
- il sito, secondo il documento *Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico dei bacini di interesse regionale*, ricade in area a pericolosità idraulica media – P2 e la progettazione è vincolata al rispetto delle relative norme attuative;
- si raccomanda di eseguire le verifiche del sistema terreno-fondazione sulla base delle resistenze di progetto stimate ed i valori dei carichi di progetto da definire secondo l'approccio 2 (combinazione $A_1+M_1+R_3$);

- si raccomanda nel corso di esecuzione dell'opera di verificare l'esistenza della continuità laterale delle caratteristiche stratigrafiche dei terreni di fondazione, di poggiare le stesse su un adeguato livello di magrone e di non alterare i terreni a profondità superiori al piano di posa del magrone.

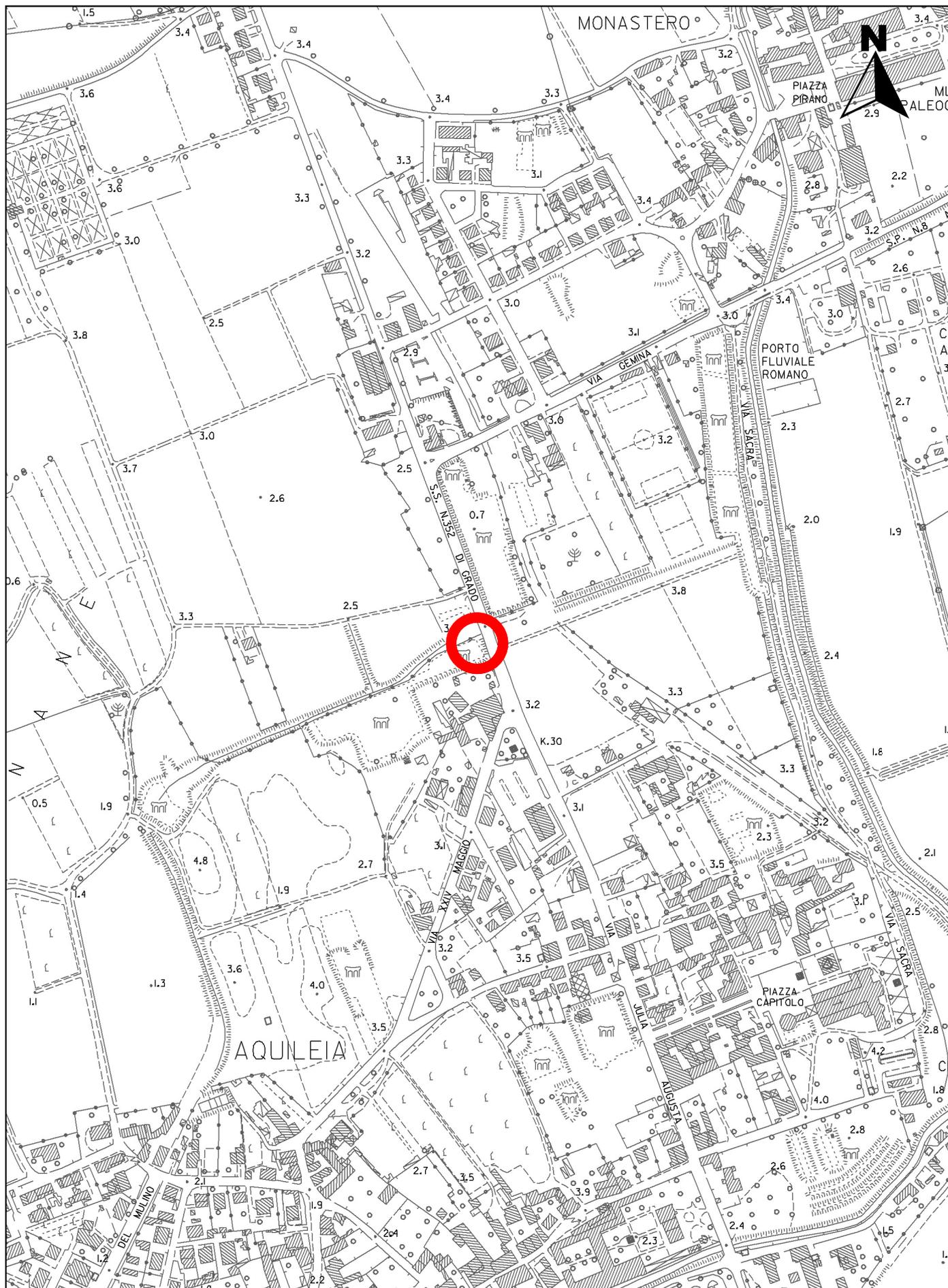
12. BIBLIOGRAFIA

- AA.VV., 2004, *Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile*, INGV, Gruppo di Lavoro MPS, Milano-Roma;
- AA.VV., 2006, *Carta Geologica del Friuli Venezia Giulia, Scala 1:150.00*, S.E.L.C.A., Firenze;
- AA.VV., 2016, *Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico dei bacini di interesse regionale*, Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia – Direzione centrale ambiente ed energia – Servizio difesa del suolo;
- Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E., 2019, *Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 2.0*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/DBMI/DBMI15.2>;
- Montaldo V., Meletti C., 2007, *Valutazione del valore della ordinata spettrale a 1 sec e ad altri periodi di interesse ingegneristico. Progetto DPC-INGV S1, Deliverable D3*, INGV;
- Perricone L., 2008, *Studio geologico-tecnico a corredo della variante generale al Piano Regolatore Comunale del Comune di Aquileia*;
- Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli, B., Gasperini P., 2019. *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 2.0*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.2>.

ALLEGATI

- Allegato 1 – Inquadramento cartografico dell'area di progetto nella CTRN;**
- Allegato 2 – Inquadramento geologico e strutturale;**
- Allegato 3 – Inquadramento della planimetria di progetto e delle indagini geognostiche e geofisiche nella CTRN;**
- Allegato 4 – Indagini penetrometriche dinamiche superpesanti e stratigrafie di sintesi;**
- Allegato 5 – Indagine geofisica a sismica attiva.**

Allegato 1 - Inquadramento cartografico nella CTRN

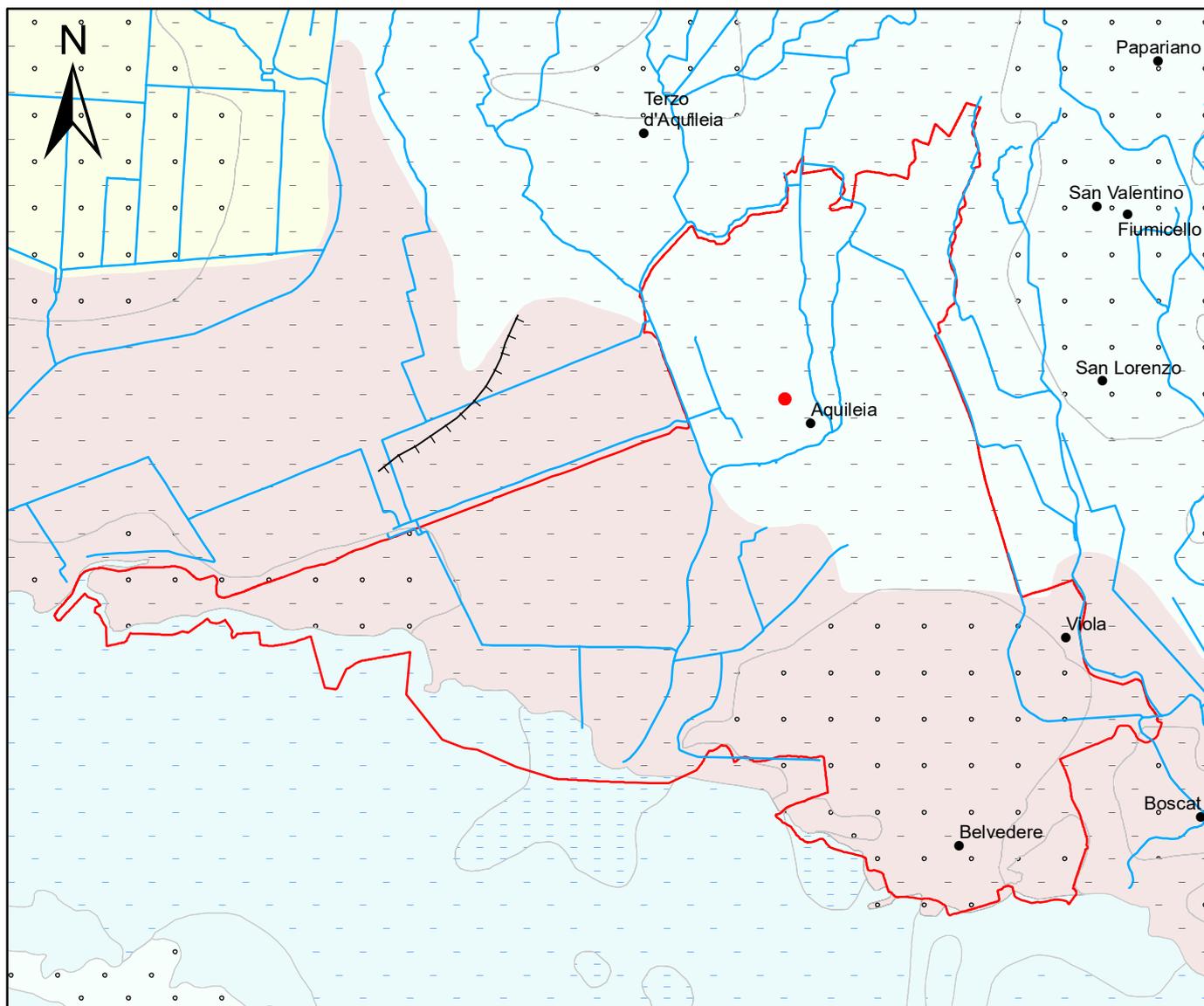


0 50 100 m

Scala 1:5.000

 Area progetto

Allegato 2 - Inquadramento geologico e geomorfologico



● Ubicazione del progetto

▭ Confine comunale

┆┆┆ Terrazzo fluviale

Scala 1:70,000

0 0.5 1 2 3 4 km

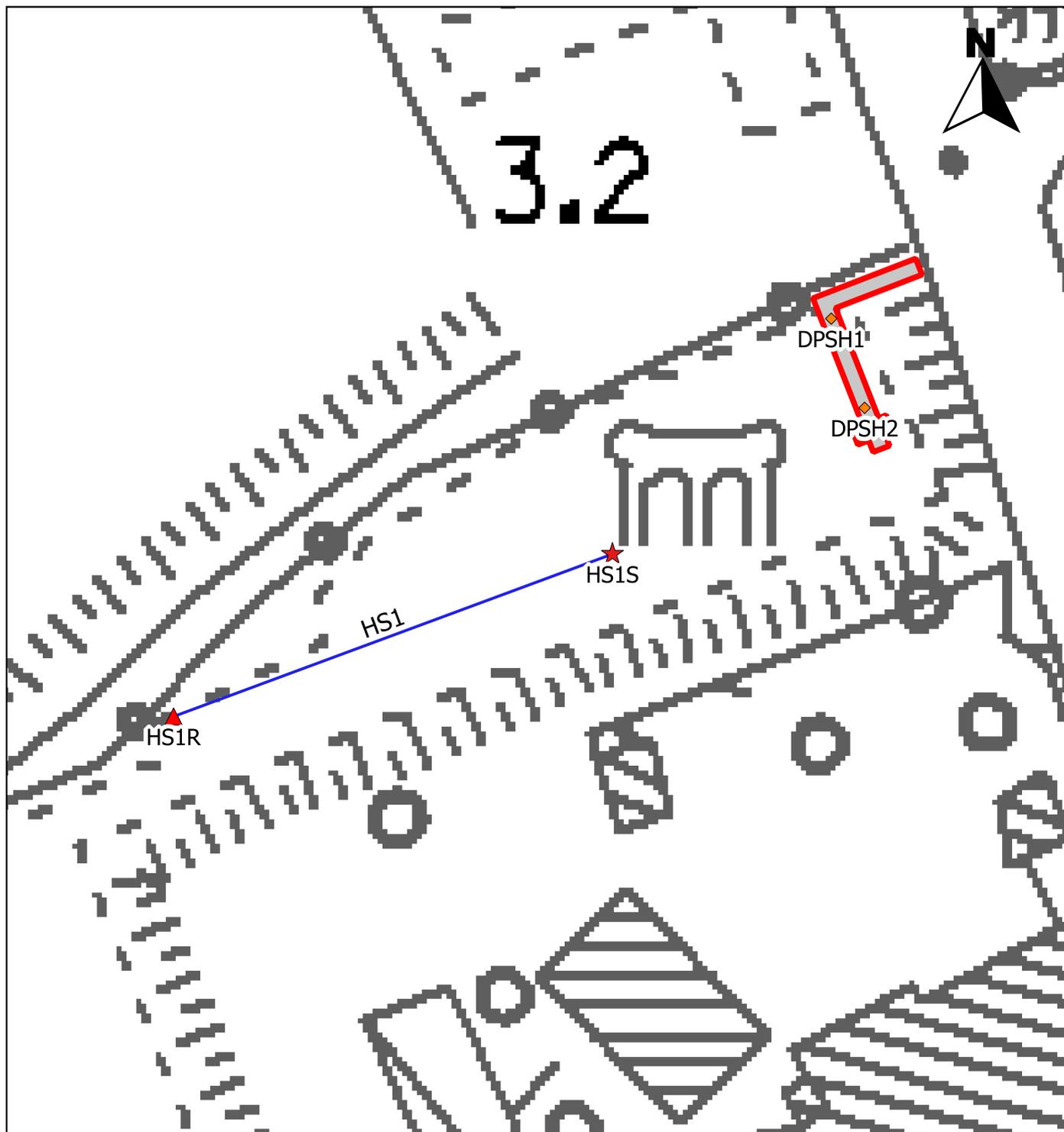
Unità litostratigrafiche

- 24 - Sedimenti fluvioglaciali ed alluvionali dell'alta pianura friulana
- 26 - Sedimenti alluvionali del settore montano, della pianura e litoranei
- 29 - Sedimenti del settore marino e lagunare
- 30 - Aree di bonifica e di riporto artificiale

Tessitura dei depositi sedimentari

- S - Sedimenti sabbiosi talora con ghiaie e limi subordinati
- SM - Sedimenti sabbioso-limosi talora con ghiaie subordinate
- M - Sedimenti limoso-argillosi talora con sabbie e ghiaie subordinate
- Psa - Sedimenti pelitici molto sabbiosi di colore verdastro o nerastro
- P - Sedimenti pelitici di colore grigio scuro, grigio verde o nero, argille molto molli

Allegato 3 - Inquadramento della planimetria di progetto e delle indagini geognostiche e geofisiche nella CTRN



0 10 20 m



Scala 1:500

 **Planimetria di progetto**

Indagini geognostiche

-  Prova penetrometrica dinamica superpesante

Indagini geofisiche

-  Stendimento a sismica attiva MFA

-  Indagine a sismica attiva MFA - Sorgente

-  Indagine a sismica attiva MFA - Ricevitore

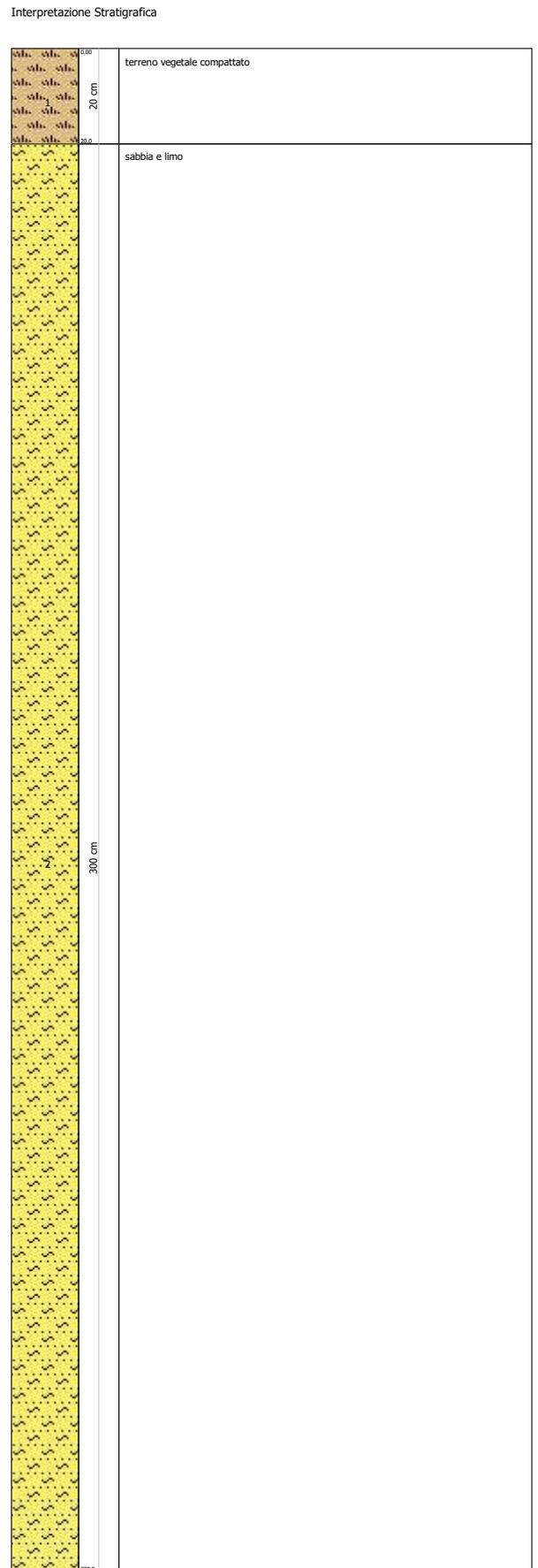
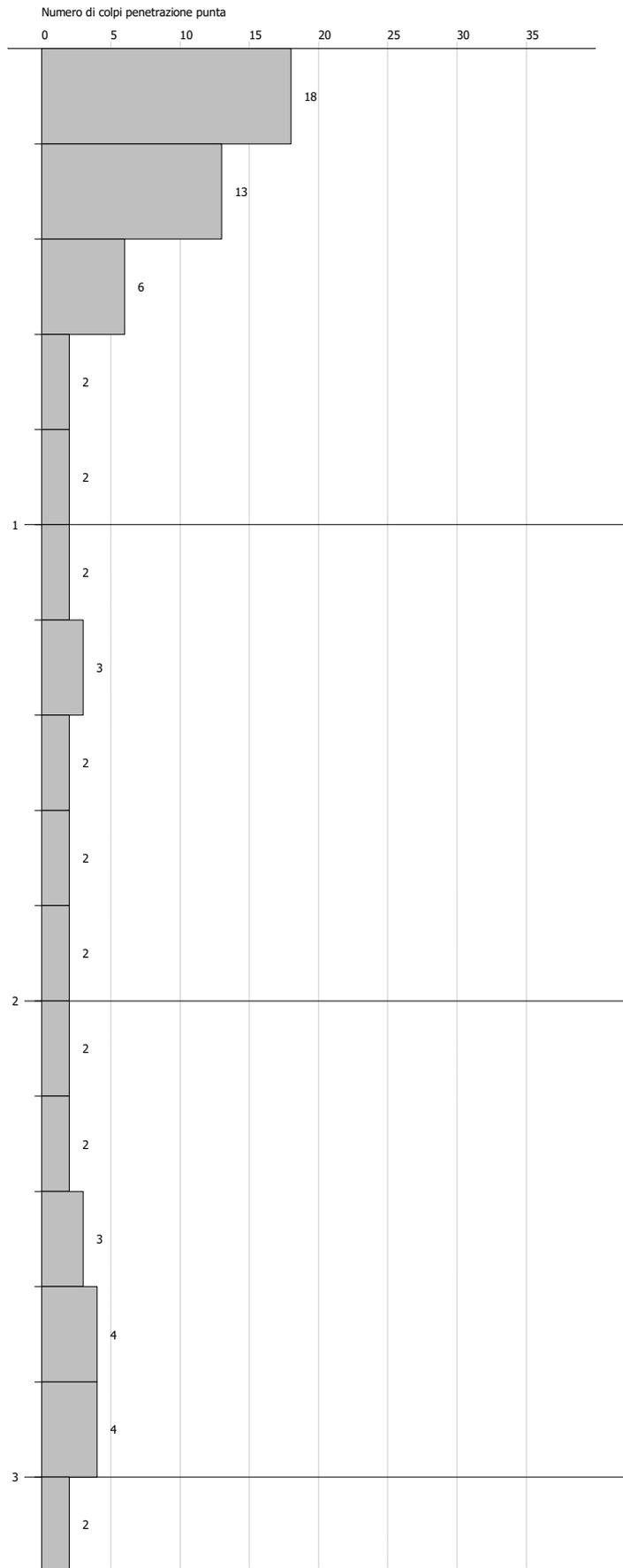
Allegato 4 – Indagini penetrometriche dinamiche superpesanti e stratigrafie di sintesi

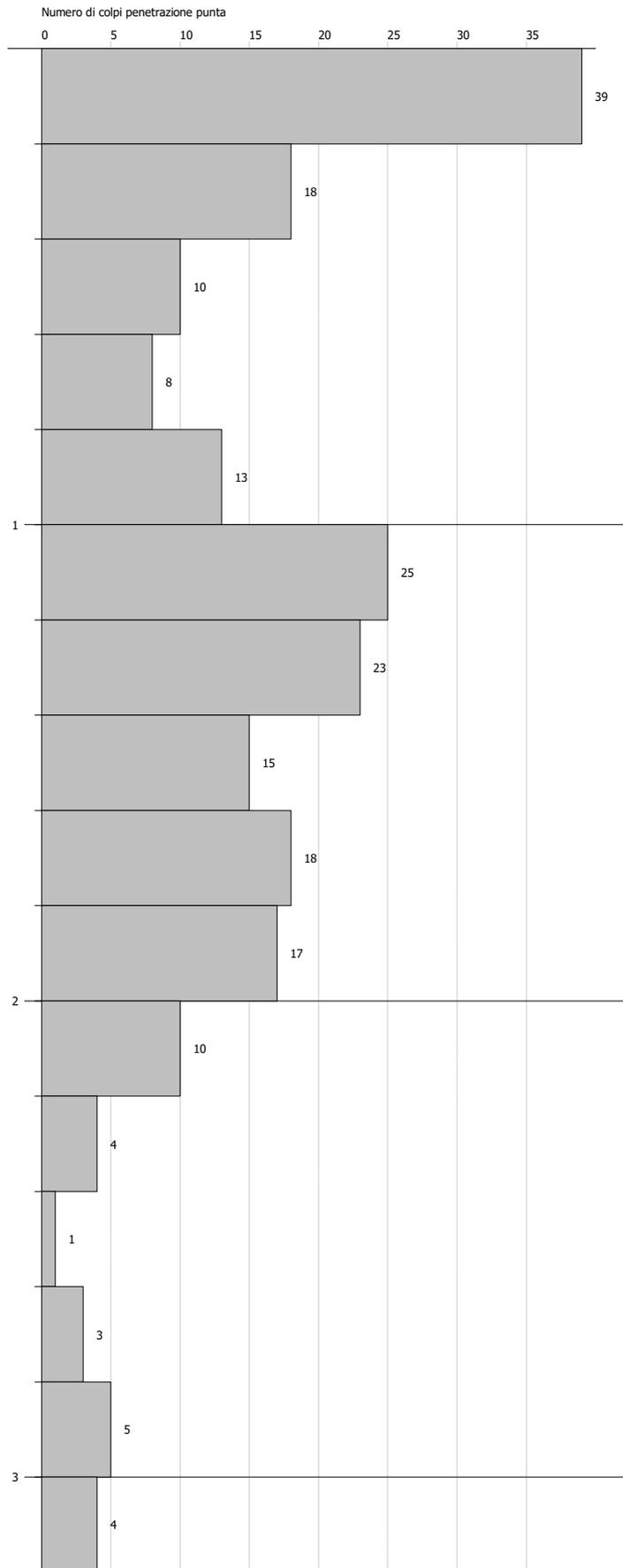


DPSH1

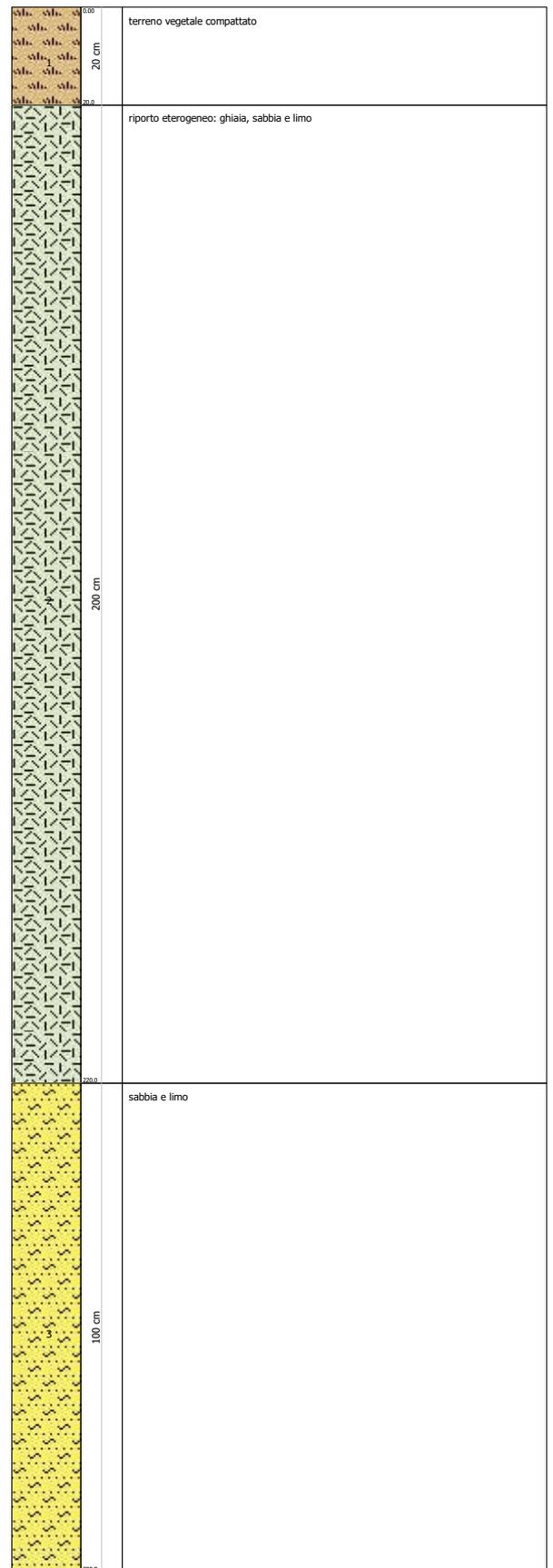


DPSH2





Interpretazione Stratigrafica



Allegato 5 – Indagine geofisica a sismica attiva

1. INTRODUZIONE

Al fine di caratterizzare il sito in esame dal punto di vista della velocità delle onde di taglio (V_s), si sono effettuate acquisizioni geofisiche a sismica attiva ed analisi secondo la tecnica MFA (*Multiple Filter Analysis* – Dal Moro, 2014, Dziewonsky et al., 1969, Herrmann, 2013, Pedersen et al., 2003) adattata a sfruttare l'analisi delle onde superficiali di Rayleigh e Love. Nel loro insieme, le procedure adottate sono state eseguite in accordo alle Norme Tecniche per le Costruzioni NTC 2018 attualmente vigenti.

La classificazione dei terreni è stata quindi svolta sulla base del valore della $V_{s,eq}$, definito dalla seguente equazione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum \frac{h_i}{V_{s,i}}} \quad \text{Eq. 1}$$

dove:

h_i : spessore dell'i-mo strato;

$V_{s,i}$: velocità delle onde S nell'i-mo strato

H: profondità del substrato sismico ($V_s > 800$ m/s)

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

2. ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI

2.1. Strumentazione

Le acquisizioni sono state svolte nella giornata del 29 maggio 2020 utilizzando il geofono triassiale *Geospace Technologies* da 4,5 Hz, ovvero una terna calibrata con geofoni da 4,5 Hz (frequenza propria).

La lunghezza dello stendimento MFA (HS1) realizzato è pari a 40,0 m.

Il documento *Allegato 3 – Inquadramento della planimetria di progetto e delle indagini geognostiche e geofisiche nella CTRN* riporta l'ubicazione dell'indagine geofisica in sito relativamente alla CTRN.

2.2. Software

Per le analisi dei dati acquisiti si è adottato il software HoliSurface (Eliosoft).

3. ANALISI MFA CONGIUNTA DELLE ONDE DI LOVE E DELLA COMPONENTE VERTICALE DELLE ONDE DI RAYLEIGH

Sulla base dei dati acquisiti, è stata effettuata una analisi MFA congiunta in onde di Love e della componente verticale delle onde di Rayleigh.

Le Fig. 1 e 2 riportano gli spettri di velocità di gruppo delle onde di Love e della componente verticale delle onde di Rayleigh e le relative curve di ugual velocità determinate dal modello individuato.

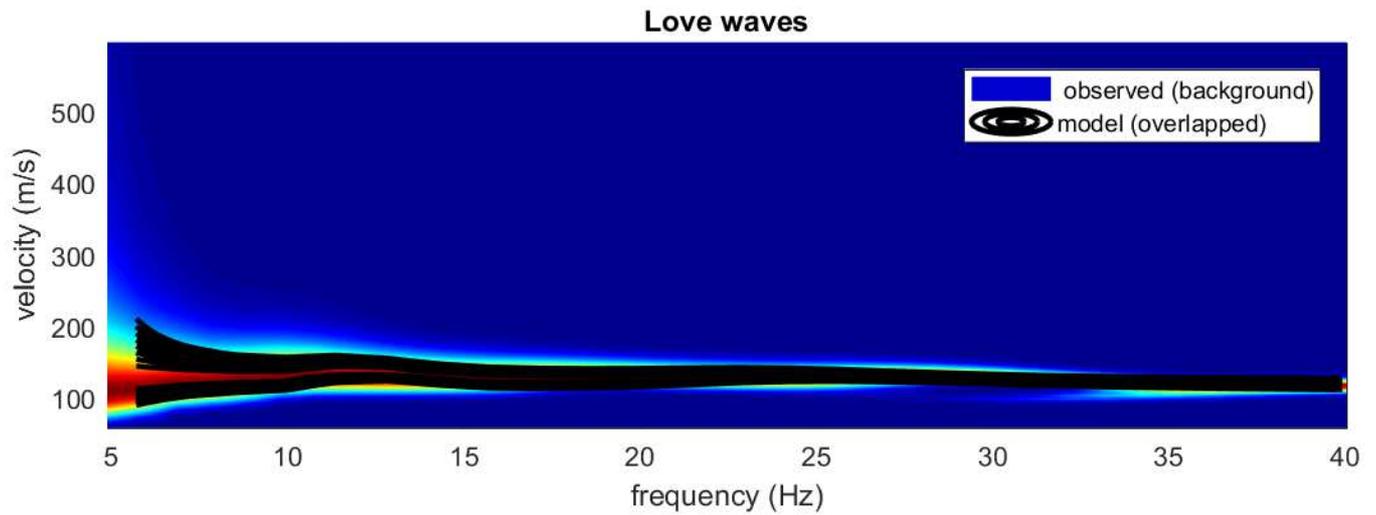


Fig. 1 – Onde di Love – Spettro delle velocità di gruppo e curve di ugual velocità

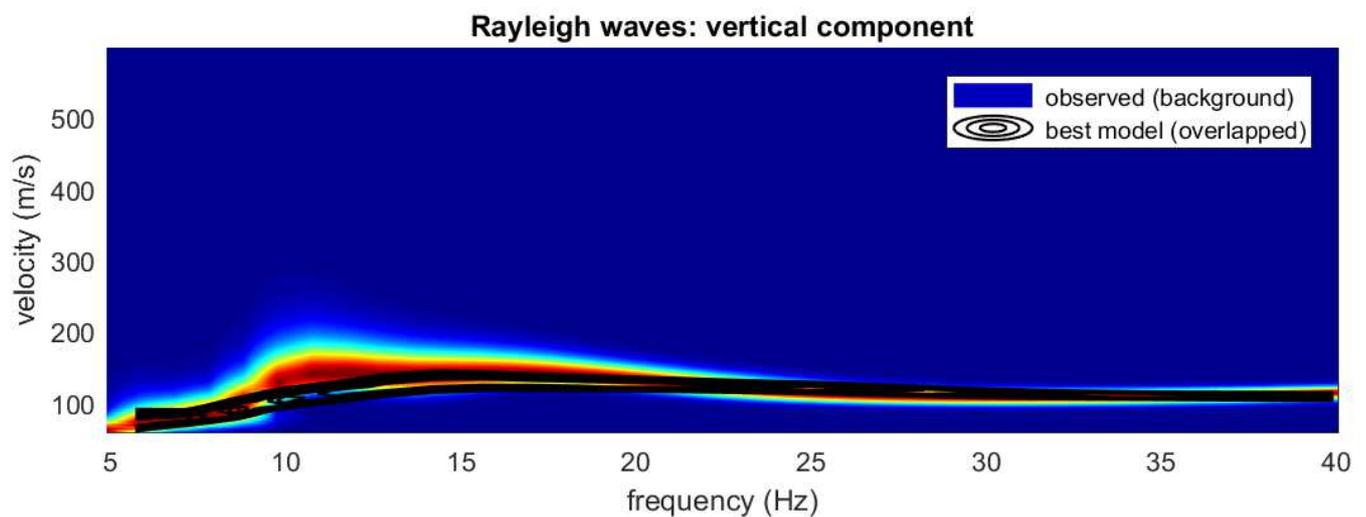


Fig. 2 – Componente verticale delle onde di Rayleigh – Spettro delle velocità di gruppo e curve di ugual velocità

L'analisi dello spettro di velocità di gruppo ha prodotto il seguente profilo di V_s :

Spessore (m)	V_s (m/s)
0,2	138
0,4	109
1,2	125
1,9	167
2,3	130
4,0	158
5,5	362
13,6	390
0,9	325

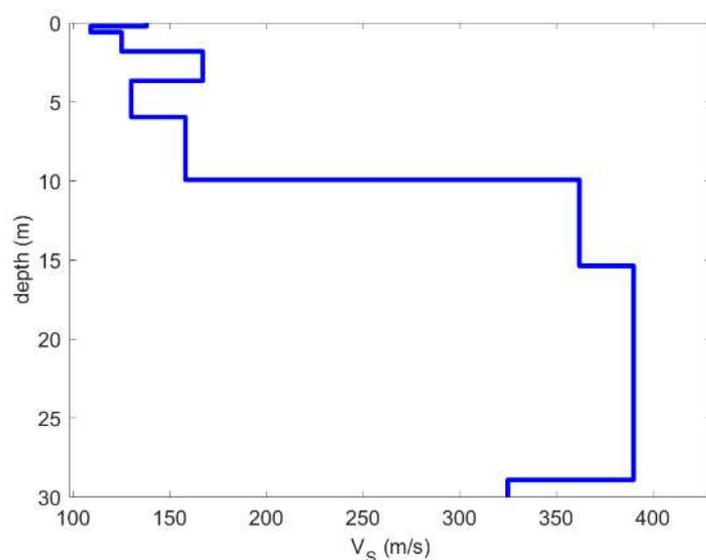


Fig. 3 – Profilo V_s del sottosuolo individuato

Il profilo di velocità individuato definisce la seguente $V_{s,eq}$:

$$V_{s,eq} = 246 \text{ m/s}$$

4. CONCLUSIONI

L'analisi della dispersione delle onde di superficie con la tecnica MFA congiunta in onde di Love e componente verticale delle onde di Rayleigh, ha consentito di determinare il profilo verticale della V_s e di conseguenza, del parametro $V_{s,eq}$:

$$V_{s,eq} = 246 \text{ m/s} \quad \text{da p.c.}$$

Rispetto le Norme Tecniche per le Costruzioni NTC 2018 il sito in esame può essere inserito nella seguente categoria ai fini sismici:

Categoria 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.*

5. DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Fig. 4 – HS1 - Sorgente



Fig. 5 – HS1 - Ricevitore

6. BIBLIOGRAFIA

- Dal Moro G., 2014, *Surface wave analysis for near surface applications*, Elsevier Science Publishing Co Inc;
- Dziewonsky A., Bloch S., Landisman N., 1969, *A technique for the analysis of transient seismic signals*, Bull. Seism. Soc. Am., vol. 59, pp. 427–444;

Herrmann R.B. 2003, *Computer Programs in Seismology*. Open files, <http://www.eas.slu.edu/People/RBHerrmann/CPS330.html>);
Pedersen H. A., Mars J. I., Amblard P., 2003, *Improving surface-wave group velocity measurements by energy reassignment*, *Geophysics*, vol. 68, no. 2, pp. 677–684.
y reassignment, *Geophysics*, vol. 68, no. 2, pp. 677–684.