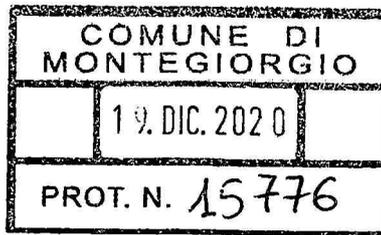


Dr Giacomo Liberati Geologo
Via G. Mazzini n°61
Montegiorgio (FM)



Egregio Signor Sindaco
Comune di Montegiorgio

Montegiorgio li 17/12/2020

Oggetto: trasmissione della Relazione Geologica relativa al progetto di ristrutturazione del parco di viale Ugolino a Montegiorgio

In allegato si trasmette la Relazione Geologica relativa al progetto di ristrutturazione del parco di viale Ugolino a Montegiorgio.

Distinti saluti

Dr. Geol. Giacomo Liberati



Comune di Montegiorgio

Provincia di Fermo

Relazione tecnico-geologica

COMUNE DI MONTEGIORGIO	
19. DIC. 2020	
PROT. N. 15776	

Oggetto: ristrutturazione del parco di Viale Ugolino

Località: Viale Ugolino

Committente: Amministrazione Comunale

Montegiorgio 09/12/2020

il geologo

Dr. Geol. Giacomo Liberati



Dr. GIACOMO LIBERATI
C.F. LBR GCM 65P09 F520X
P.I. 01481650446
N 447 O.R.G. MARCHE
pec: g.liberati@epap.sicurezza postale.it

STUDIO DI GEOLOGIA
Via G. MAZZINI, 61
MONTEGIORGIO (FM) - 63833
tel. 0734/962580 - 335/8299719
e-mail: g.liberati@latema.it

Opera dell'ingegno dell'autore - Riproduzione vietata, ogni diritto riservato - Art. 99 L.633/41 - Dr. Geol Giacomo Liberati

INDICE

1. PREMESSA	1
2. UBICAZIONE TOPOGRAFICA	1
3. CARATTERI MORFOLOGICI E GEOLOGICI	1
4. CARATTERI IDROGEOLOGICI	2
5. RISULTATI DELLE INDAGINI IN SITU	2
6. INTERAZIONE TERRENO STRUTTURA	3
7. NORME SISMICHE	3
8. VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE DINAMICA	4

1. PREMESSA

L'Amministrazione Comunale di Montegiorgio, dovendo provvedere alla ristrutturazione del parco di viale Ugolino, sito in viale Ugolino a Montegiorgio mi ha incaricato, con determina del dirigente dell'Ufficio Lavori Pubblici e Patrimonio n°226 del 17 novembre 2020, di eseguire uno studio sui terreni di fondazione al fine di valutarne il comportamento con le strutture esistenti e le opere in progetto, ed in accordo con la progettista Arch. Francesca Luciani, indicare la tipologia degli interventi più idonei da realizzare.

L'indagine è stata svolta mediante il rilevamento geologico di un intorno significativo dell'area oggetto di studio, integrato dai dati provenienti da un sondaggio fatto nell'area interessata dalla costruzione del nuovo punto informativo, spinto fino alla profondità a 8,00m dal p.c. e da tre saggi svolti per la ristrutturazione del percorso fitness che hanno raggiunto una profondità massima di 1,50m dal p.c.

Per l'approfondimento della caratterizzazione fisica, meccanica e sismica dei terreni nell'area di sedime sono stati utilizzati i dati delle prove geotecniche in situ, effettuate con il con il Penetrometro P1000 e lo Scissometro T1000 della ditta PASI, sui terreni individuati nel sondaggio e nei saggi, e tramite un'indagine sismica HVSR con Tromografo digitale tipo TROMINO (Vedere foto), svolta dalla ditta Geodrill di Cerreto d'Esi, i certificati allegati fanno parte integrante della presente relazione.

Come cartografia di base ho utilizzato la Carta Geologica Regionale scala 1:10.000 edizione CTR Sezione 314070 "Montegiorgio", la Carta Tecnica Regionale scala 1:10.000 sezione n°314070, "Montegiorgio", la carta RI59 allegata al P.A.I. e le planimetrie fornite dalla progettista.

Il presente elaborato si compone dei seguenti allegati:

N°1 CARTA GEOLOGICA	SCALA 1:10.000
N°1 STRALCIO CARTA TECNICA REGIONALE	SCALA 1:10.000
N°1 STRALCIO CARTA PAI REGIONALE	SCALA 1:10.000
N°1 PLANIMETRIA CATASTALE	SCALA 1:1.000
N°4 PROFILI STRATIGRAFICI	SCALA 1:100
N°1 SEZIONE LITOSTRATIGRAFICA	SCALA 1:100
CERTIFICAZIONE DELLE PROVA SISMICA HVSR	
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA	

2. UBICAZIONE TOPOGRAFICA

L'area interessata dalle indagini è situata ad una quota di circa 370m s.l.m. in viale Ugolino, in adiacenza alla SP 52 "Montegiorgio", nel suo tratto che attraversa il centro abitato di Montegiorgio.

Cartograficamente è individuabile nella Carta Tecnica Regionale scala 1:10.000 Sezione n°314070 "Montegiorgio" e catastalmente nel Foglio n°30 particelle n°16-233 del n.c.u.

3. CARATTERI MORFOLOGICI E GEOLOGICI

La zona indagata si trova all'interno del centro storico di Montegiorgio all'inizio di viale Ugolino ed è situata nella porzione medio-alta del crinale ove sorge il centro abitato stesso.

Le dorsali nella zona sono costituite dai litotipi arenaceo-pelitici a volte conglomeratici, caratteristici della serie terrigena marina di chiusura ascrivibile al Plio-Pleistocene.

La formazione di base individuata è data, in alto da conglomerati cementati affioranti anche al di fuori del p.c. ed in basso dall'Arenaceo-Pelitica, nell'area in esame essa è costituita da un'alternanza di sabbie e arenarie in strati a differente grado di cementazione, con intercalati livelletti argilloso-limosi. La giacitura degli strati verificata negli affioramenti presenti in sito, ha un'immersione verso nord-est di pochi gradi (5-7) in accordo con la monoclinale regionale.

Nell'area in oggetto tale formazione di base, è a volte ricoperta da una coltre eluvio-colluviale di natura argilloso-sabbiosa, o da terreni alloctoni di origine antropica derivanti dall'attività edilizia svolta nel corso dei secoli; tale coltre si presenta con spessore variabile, come rilevabile nel sondaggio svolto e nei saggi effettuati all'interno del parco.

Geomorfologicamente la zona si presenta senza particolari problematiche, anche se nella porzione meridionale dell'area è presente una pendenza accentuata, dovuta principalmente alla litologia molto compatta presente. Anche l'analisi della tavola RI59 della cartografia del P.A.I. non evidenzia perimetrazioni che comprendano l'area in esame, anche se a valle dell'abitato, verso Nord è presente una perimetrazione, identificata con la sigla la F19-0362, data da un soliflusso attivo con pericolosità P1 e rischio R1 cioè le classi moderate di pericolosità e rischio.

4. CARATTERI IDROGEOLOGICI

L'idrogeologia superficiale non presenta particolari problemi in quanto la zona si trova all'interno del centro abitato ed è quindi dotata delle infrastrutture fognarie che garantiscono lo smaltimento delle acque reflue e meteoriche.

Nel corso del sondaggio spinto a 8,00m di profondità dal p.c. e dei saggi non è stata riscontrata presenza di acqua al contatto fra le colluvioni ed il sottostante substrato inalterato nel quale non ho rilevato un tenore di umidità maggiore di quello naturale, a conferma che i terreni interessati dalle future strutture di fondazione risultano asciutti.

5. RISULTATI DELLE INDAGINI IN SITU

Come già accennato, le indagini si sono svolte provvedendo ad un rilevamento geologico di un intorno significativo della zona, attraverso i dati provenienti dal sondaggio fatto nell'area interessata dalla nuova costruzione del punto informativo, spinto fino alla profondità a 8,00m dal p.c. e dai saggi svolti per la ristrutturazione del percorso fitness che hanno raggiunto una profondità massima di 1,50m dal p.c.

Le caratteristiche litologiche ed i parametri geomeccanici risultanti dei terreni incontrati sono:

- **Terreno di riporto con laterizi, pietrame e ciottoli**

γ = 1,70 Kg/dm ³	peso di volume
Cu = 1,3 Kg/cm ²	coesione non drenata
qu = 3,0 Kg/cm ²	resistenza alla compressione
ϕ = 23°	angolo d'attrito interno
Dr = 35	densità relativa
Spessore massimo dello strato 1,30m circa	

- **Formazione di base costituita da alternanze di arenarie e sabbie intercalate a livelli argillosi**

$\gamma = 2,10$ Kg/dm ³	peso di volume
$C_u > 2,4$ Kg/cm ²	coesione non drenata
$q_u > 6$ Kg/cm ²	resistenza alla compressione
$\phi > 28^\circ$	angolo d'attrito interno
$D_r = 85\%$	densità relativa
Spessore dello strato non definibile.	

6. INTERAZIONE TERRENO STRUTTURA

Nell'area di sedime è prevista la ristrutturazione della struttura del punto informativo che allo stato attuale presenta dimensioni massime 1,90m per 9,10m ed altezza di 3,10m, l'ampliamento che verrà realizzato in c.a. porterà le nuove dimensioni a 4,00m per 9,50m ed altezza massima di 4,40m per il tetto che sarà spiovente ad unica falda. La pavimentazione del nuovo percorso fitness avrà una larghezza costante di 1,50m e spessore medio di 15cm comprensivi dello stabilizzato sottostante e della soletta armata in c.a, a tale proposito prima della posa dello stabilizzato è necessario rimuovere tutto lo spessore del suolo agrario, più areato e soggetto a forti cedimenti, per arrivare al livello superficiale dei terreni sottostanti che risultano compatti e idonei alla realizzazione dell'opera.

Considerato che lo stabile attuale è stato costruito su fondazioni del tipo superficiale, presumibilmente coincidenti per tutta la superficie con la formazione sabbioso-argillosa, dotata di ottimi parametri geomeccanici, anche per l'ampliamento, si potrà adottare una struttura di fondazione superficiale in c.a. del tipo a trave rovescia o platea a seconda delle esigenze progettuali, incastrata per tutta la sua superficie nella formazione in posto sabbioso-argillosa intercettata nel corso delle indagini, che offre ottime garanzie per le opere in progetto.

7. NORME SISMICHE

L'area ricade nel territorio del comune di Montegiorgio, appartenente alla Zona Sismica 2.

Sulla base dei risultati delle indagini, la classificazione sismica dei terreni è stata effettuata sull'Arenaceo-Pelitica. Questa andrà a costituire il terreno di fondazione dell'opera in progetto e ricade nel **Gruppo B**, così come indicato nella Tabella 3.2.II del paragrafo 3.2.2 "Categorie di sottosuolo" del D.M. 17 gennaio 2018 in quanto V_{s30} equivalente è pari a 455m/s e quindi $V_{s30} eq > 360m/s$.

L'area sollecitata da input sismico, amplifica le onde di superficie con un fattore ≥ 2 nei range $0,83Hz \leq f \leq 3,94Hz$ e $8,82Hz \leq f \leq 14,62Hz$ con picchi rispettivamente a 2,06Hz e 12,18Hz. Essendo tale frequenza nell'intervallo delle frequenze di risonanza delle normali strutture, è necessario che la struttura in oggetto abbia una frequenza inferiore a quella del sottosuolo o che venga progettata con frequenze proprie principali maggiori di almeno il 40% dei valori segnalati per il sottosuolo, se ciò non potrà essere rispettato la categoria del sottosuolo dovrà essere declassata alla categoria E.

Per quanto concerne la definizione della categoria topografica, in base alla Tabella 3.2.III del paragrafo 3.2.2 "Categorie di sottosuolo" del D.M. 17 gennaio 2018, l'area appartiene alla categoria T2 in quanto l'inclinazione media del versante è $i=20^\circ$, con la cresta molto larga rispetto alla base del versante e quindi $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$.

8. VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE DINAMICA

Il D.M. 17 gennaio 2018 richiede che il sito dove è ubicato l'intervento in progetto deve avere requisiti di stabilità rispetto al fenomeno della **liquefazione**.

Tale verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti quattro circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;

2. profondità media stagionale della falda superiore a 15m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;

3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100kPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100kPa;

4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$ (NTC).

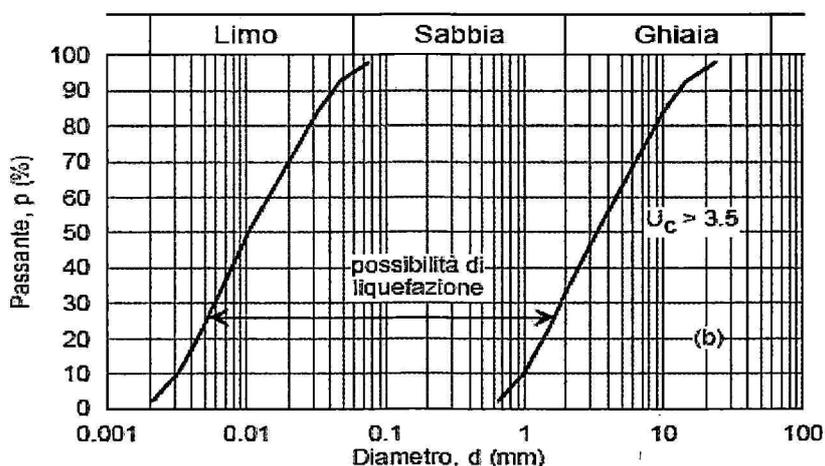
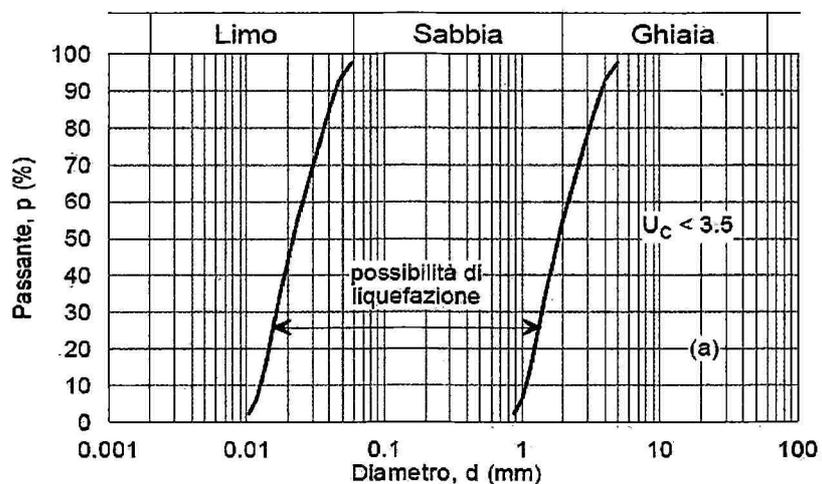


Figura 7.11.1 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione.

Quando nessuna delle condizioni precedenti risulti soddisfatta e il terreno di fondazione comprenda strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, occorre valutare il coefficiente di sicurezza alla liquefazione F_s alle profondità in cui sono presenti i terreni potenzialmente liquefacibili.

Vista l'assenza della falda nei primi 14/15 metri la verifica alla liquefazione dinamica può essere omessa.

La presente relazione con gli allegati elaborati viene consegnata in data odierna in evasione all'incarico ricevuto.

Montegiorgio li 9 dicembre 2020

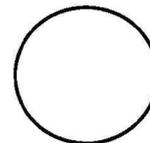
Il professionista
Dr. Geol. Giacomo Liberati



CARTA GEOLOGICA COMUNE DI MONTEGIORGIO



SCALA 1:10.000



AREA IN STUDIO

DEPOSITI CONTINENTALI QUATERNARI

SINTEMA DEL MUSONE

(OLOCENE)

 MUSb2 Depositi eluvio-colluviali

 MUSa1 Frane in evoluzione

SUCCESSIONE UMBRO-MARCHIGIANO-ROMAGNOLA

SUCCESSIONE PLIOCENICA

 FAA5 ARGILLE AZZURRE
Membro di Offida
Pleistocene inferiore p.p.

 FAA5d FORMAZIONE DELLE ARGILLE AZZURRE
Membro di Offida
litofacies arenaceo-pelitica
Zancleano p.p.- Santerniano

10

Stratificazione diritta

COMUNE DI MONTEGIORGIO

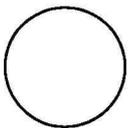
Provincia di Fermo

Ristrutturazione del parco di Viale Ugolino

Amministrazione Comunale – Viale Ugolino - Montegiorgio



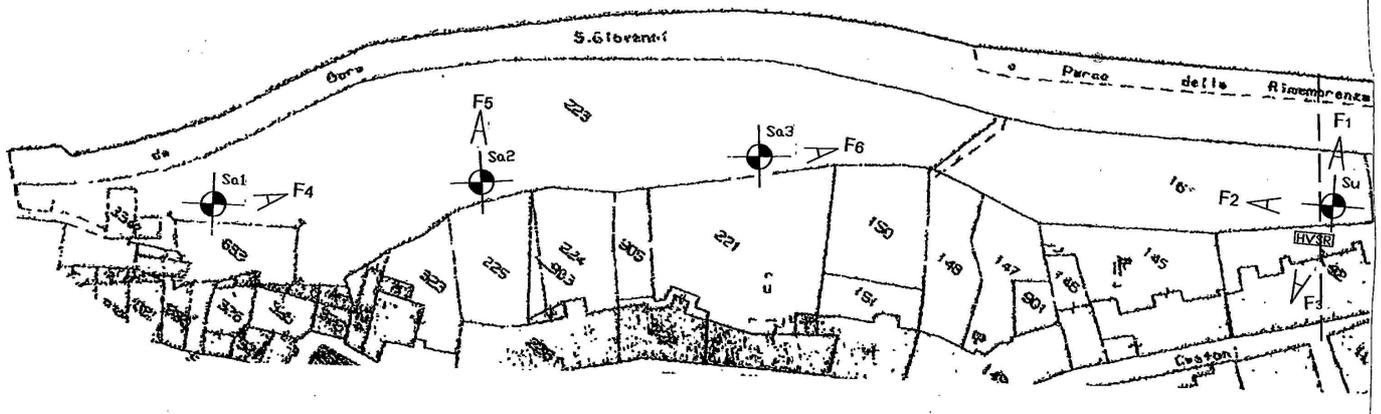
Perimetrazione P.A.I. – Tav RI59 – scala 1:10.000



STRALCIO DELLA PLANIMETRIA CATASTALE

SCALA 1:1.000

----- Linea di sezione  Punto scatto foto  Punto di sondaggio e saggio  Punto di HVSr



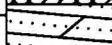
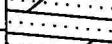
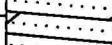
COMMITTENTE: Amministrazione Comunale
LOCALITÀ: viale Ugolino
COMUNE: Montegiorgio
FOGLIO N°30 – PARTICELLE n°16-233

STUDIO GEOLOGICO
Dr. GIACOMO LIBERATI N° 447 O.R.G.
Via G. MAZZINI, 61 MONTEGIORGIO 63833
P.I. 01481650446 - C.F. LBR GCM 65P09 F520X

STUDIO GEOLOGICO - Dr. GIACOMO LIBERATI n. 447 D.R.G.
Via G. MAZZINI, 61 MONTEGIORGIO (FM) 63833 tel. 0734/962580 - 335/8299719

COMUNE: Montegiorgio
CANTIERE: Viale Ugolino
COMMITTENTE: Amministrazione Comunale

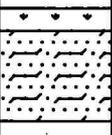
SONDAGGIO UNICO
PROFONDITA' 8,00m
QUOTA S.L.M. 370m

PERFORAZ.	SCISSOMETRO		PENETROMETRO		P. DI VOL. (Kg/dmc)	QUOTA FALDA	QUOTA REL.	SIMBOLO GRAFICO	DESCRIZIONE TERRENO
	(kg/cmq)		GRADI						
	Cu	Cr	qu	ϕ					
ROTAZIONE A SECCO							0,0		Tuvenale del piazzale
		1,3		3,0	>23°	1,70	1,0		terreno di riporto antropico con laterizi, pezzami di cemento, ghiaie e ciottoli, misto a colluvio limoso-sabbioso rimaneggiato;
		2,1		5,0	>28°	2,10	2,0		sabbie stratificate e livelli ar-
		>2,4		>6,0			3,0		gillosi centimetrici che aumen-
							4,0		tano in profondità; nel primo
							5,0		tratto si presentano alterate
							6,0		con giunti sub-verticali ed ossi-
							7,0		diazioni al contatto tra gli stra-
							8,0		ti;
							9,0		
							10,0		
							11,0		
							12,0		
							13,0		
							14,0		
							15,0		
							16,0		
							17,0		
							18,0		
							19,0		
							20,0		
							21,0		
							22,0		

STUDIO GEOLOGICO - Dr. GIACOMO LIBERATI n. 447 D.R.G.
Via G. MAZZINI, 61 MONTEGIORGIO (FM) 63833 tel. 0734/962580 - 335/8299719

COMUNE: Montegiorgio
CANTIERE: Viale Ugolino
COMMITTENTE: Amministrazione Comunale

SAGGIO N°1
PROFONDITA' 1,50m
QUOTA S.L.M. 374m

PERFORAZ.	SCISSOMETRO		PENETROMETRO		P. DI VOL. (Kg/dmc)	QUOTA FALDA	QUOTA REL.	SIMBOLO GRAFICO	DESCRIZIONE TERRENO
	(kg/cm ²)		GRADI						
	Cu	Cr	qu	∅					
ESCAVATORE MECCANICO	>2,4		>6,0	>32°	2,10		0,0	 Suolo agrario; limo sabbioso con ghiale disperse; FINE DEL SAGGIO	
	↓		↓	↓	↓		1,0		
							2,0		
							3,0		
							4,0		
							5,0		
							6,0		
							7,0		
							8,0		

STUDIO GEOLOGICO - Dr. GIACOMO LIBERATI n. 447 D.R.G.
Via G. MAZZINI, 61 MONTEGIORGIO (FM) 63833 tel. 0734/962580 - 335/8299719

COMUNE: Montegiorgio
CANTIERE: Viale Ugolino
COMMITTENTE: Amministrazione Comunale

SAGGIO N°2
PROFONDITA' 1,50m
QUOTA S.L.M. 376m

PERFORAZ.	SCISSOMETRO		PENETROMETRO		P. DI VOL. (Kg/dmc)	QUOTA FALDA	QUOTA REL.	SIMBOLO GRAFICO	DESCRIZIONE TERRENO
	(kg/cm ²)		GRADI						
	Cu	Cr	qu	∅					
ESCAVATORE MECCANICO	2,1		4,5	>23°	1,90		0,0	 Suolo agrario; limo sabbioso con ghiale disperse; Argille fittamente stratificate con velli sabbiosi; FINE DEL SAGGIO	
	>2,4		>6,0	>32°	2,10		1,0		
	↓		↓	↓	↓		2,0		
							3,0		
							4,0		
							5,0		
							6,0		
							7,0		
							8,0		

STUDIO GEOLOGICO - Dr. GIACOMO LIBERATI n. 447 D.R.G.
 Via G. MAZZINI, 61 MONTEGIORGIO (FM) 63833 tel. 0734/962580 - 335/8299719

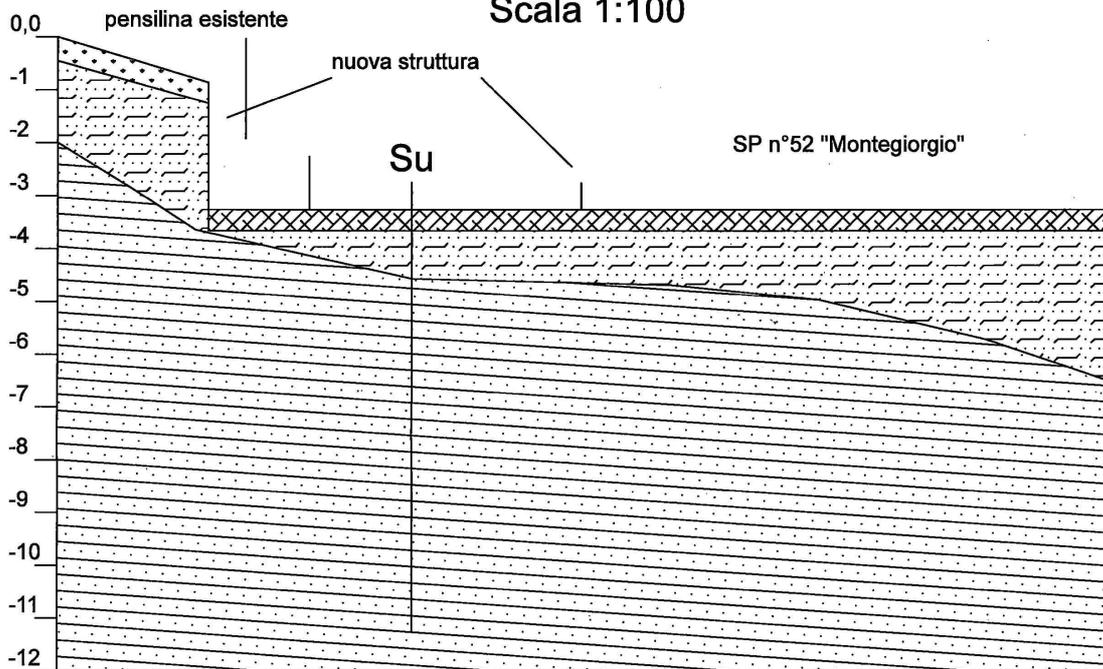
COMUNE: Montegiorgio
 CANTIERE: Viale Ugolino
 COMMITTENTE: Amministrazione Comunale

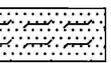
SAGGIO N°3
 PROFONDITA' 1,50m
 QUOTA S.L.M. 375m

PERFORAZ.	SCISSOMETRO		PENETROMETRO		P. DI VOL. (Kg/dmc)	QUOTA FALDA	QUOTA REL.	SIMBOLO GRAFICO	DESCRIZIONE TERRENO
	(kg/cmq)		GRADI						
	Cu	Cr	qu	ϕ					
ESCAVATORE MECCANICO	1,8		3,5	>23°	1,90		0,0	<p>Suolo agrario; limo sabbioso con ghiale disperse; Argille fittamente stratificate con velli sabbiosi; FINE DEL SAGGIO</p>	
	>2,4		>6,0	>32°	2,10		1,0		
	↓		↓	↓	↓		2,0		
	▽		▽	▽	▽		3,0		
							4,0		
							5,0		
							6,0		
							7,0		
							8,0		

Sezione Litostratigrafica Interpretativa

Scala 1:100



-  Suolo agrario
-  Tuvenale stradale
-  Riporto antropico e limo sabboso-argilloso
-  Arenaceo-pelitica

Committente
Amministrazione Comunale
viale Ugolino
Montegiorgio

Studio di Geologia
Dr. Giacomo Liberati
Via G. Mazzini, 61
63833 Montegiorgio

Scopo dell'indagine HVSR, eseguita mediante tromografo digitale, è la determinazione della categoria sismica del suolo per il calcolo dell'azione sismica di progetto in funzione del parametro V_{seq} (velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio nel rispetto di: D.M. 17/01/2018 (Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni).

L'intero territorio nazionale è stato suddiviso in 4 zone sismiche individuate dal valore a_g dell'accelerazione di picco al suolo, normalizzata rispetto all'accelerazione di gravità. I valori di a_g (convenzionali), si riferiscono all'accelerazione di picco in superficie per suolo di tipo A (Tab.:1), in cui il moto sismico non subisce variazioni sostanziali, contrariamente a ciò che accade nei suoli di tipo B,C,D,E. I fattori che influenzano questo fenomeno sono l'intensità e la frequenza del moto stesso, le caratteristiche geotecniche, sismiche e lo spessore di suolo attraversato dal treno di onde per giungere in superficie.

L'indagine eseguita con tale metodologia MISURA DIRETTAMENTE le frequenze caratteristiche di sito permettendo così di effettuare un'analisi di amplificazione sismica locale al fine di ottenere una valutazione reale e diretta dello spettro di risposta del terreno, elemento di fondamentale importanza nello studio del fenomeno di doppia risonanza edificio-struttura descritto più avanti.

La Normativa, infatti, in assenza di una specifica analisi di amplificazione sismica locale introduce un fattore di amplificazione S e periodi T che definiscono lo spettro di risposta di un oscillatore semplice con smorzamento pari al 5%, per ricavare indirettamente quello stesso parametro che con la presente tecnica andiamo a misurare direttamente.

Cenni sulla tecnica utilizzata (tecnica dei rapporti spettrali)

La tecnica HVSR, (Horizontal to Vertical Spectral Ratio o tecnica di Nakamura), è una prospezione geofisica non invasiva che attraverso la misura del "rumore sismico", ovunque presente sulla superficie terrestre, fornisce dati sulle frequenze caratteristiche del sito investigato. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte da terremoti nel campo prossimo all'epicentro. Tale tecnica, essendo una misurazione sismica passiva, non richiede la produzione di impulsi generati ad hoc come nel caso di sismica attiva.

Nelle zone in cui non è presente alcuna sorgente di rumore locale e in assenza di vento, lo spettro in frequenza del rumore di fondo, in un terreno roccioso e pianeggiante, ha l'andamento illustrato in Fig.1, dove la curva blu rappresenta il rumore di fondo minimo di riferimento, mentre la curva verde rappresenta il massimo di tale rumore, e dove i picchi a 0.14 e 0.07 Hz sono prodotti dalle onde oceaniche sulle coste.

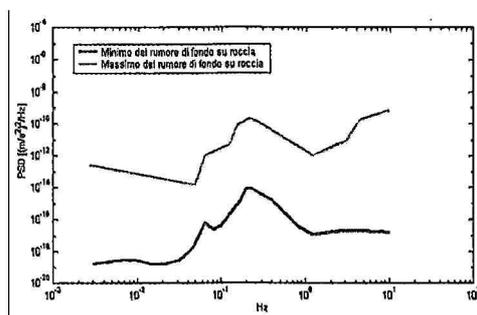


Fig.1: Modelli standard del rumore sismico massimo (in verde) e minimo (in blu) per la Terra



Geodrill s.a.s.
Dr. Geol. Valeriano Bassani & C.
SERVIZI GEOLOGICI
Via Dante 9/D - Tel. 0732/677340
60043 Cerreto d'Esio (AN)
P. IVA: 02334720424
E-Mail: g_geodrill@libero.it

Cerreto d'Esio il 05 dicembre 2020
Comm.: Amm.ne Com.le di Montegiorgio
Cant.: Via Ugolino – Montegiorgio (FM)
Indagine HVSR - N°: 1 del: 04/12/2020

Tali componenti spettrali vengono attenuate relativamente poco anche dopo tragitti di migliaia di chilometri per effetto di guida d'onda. A questo rumore di fondo, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie ecc.) e naturali, che però si attenuano fortemente a frequenze superiori a 20 Hz, a causa dell'assorbimento anelastico originato dall'attrito interno delle rocce. I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume, P o S. In essi giocano un ruolo fondamentale le onde superficiali, che hanno velocità prossima a quella delle onde S, il che spiega la dipendenza di tutta la formulazione dalla velocità di queste ultime.

Strumentazione impiegata

Le misure di microtremore ambientale, della durata minima di 14 minuti, sono effettuate con un tromografo digitale progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico. Lo strumento Tromino, 10 x 7 x 14 cm per 1,1 kg di peso) è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente, alimentato da 2 batterie AA da 1.5 V, fornito di GPS interno e senza cavi esterni. I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alla frequenza di campionamento di 128 Hz.

Stratigrafia sismica da indagini a stazione singola

Il tipo di stratigrafia che le tecniche di sismica passiva possono restituire si basa sul concetto di *contrasto di impedenza*. Per *strato* si intende cioè un'unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto di impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso. Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico registrato in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), proposta da Nogoshi e Igarashi (1970). La tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo. Inizialmente, alcuni ricercatori, proposero di utilizzare anche l'ampiezza del picco come indicatore sintetico dell'amplificazione sismica locale, direttamente utilizzabile per la microzonazione.

Studi recenti hanno dimostrato che ulteriori picchi a frequenza maggiori di quelle del bedrock sono riconducibili a contrasti di impedenza interni alla copertura sedimentaria (es. Baumbach et al., 2002) e picchi a frequenze minori di quella del bedrock sono invece riconducibili a contrasti di impedenza interni al bedrock stesso (es. Guillier et al., 2005). Riconosciuta questa capacità e dato che, se è disponibile una stima delle velocità delle onde elastiche, le frequenze di risonanza possono essere convertite in stratigrafia, ne risulta che il metodo HVSR può essere, in linea di principio, usato come strumento stratigrafico.

Basi teoriche del metodo H/V

Le basi teoriche dell'H/V sono relativamente semplici in un mezzo del tipo strato + bedrock (o strato assimilabile al bedrock) in cui i parametri sono costanti in ciascuno strato (1-D). Consideriamo il sistema di Fig. 2 in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità (ρ_1 e ρ_2) e le diverse velocità delle onde sismiche (V_1 e V_2). Un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene (parzialmente) riflessa dall'interfaccia che separa i due strati.

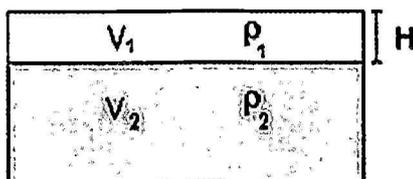


Fig. 2: Mezzo a 2 strati caratterizzati da densità ρ e velocità di propagazione V

* documento soggetto a diritti di autore (artt.2575 e seg. C.C.). Vietata la riproduzione senza il preventivo consenso



Cerreto d'Esi il 05 dicembre 2020
 Comm.: Amm.ne Com.le di Montegiorgio
 Cant.: Via Ugolino – Montegiorgio (FM)
 Indagine HVSR - N°: 1 del: 04/12/2020

L'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente (l) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore H del primo strato. La frequenza fondamentale di risonanza (f_r) dello strato 1 relativa alle onde S (o P) è pari a:

$$(f_r) = V_s l / 4H \quad (f_r) = V_p l / 4H \quad [1]$$

I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume P o S, e in misura molto maggiore da onde superficiali, in particolare da onde di Rayleigh. Tuttavia ci si può ricondurre a risonanza delle onde di volume, poiché le onde di superficie sono prodotte da interferenza costruttiva di queste ultime e poiché la velocità dell'onda di Rayleigh è molto prossima a quella delle onde S. Questo effetto è sommabile, anche se non in modo lineare e senza una corrispondenza 1:1. Ciò significa che la curva H/V relativa ad un sistema a più strati contiene l'informazione relativa alle frequenze di risonanza (e quindi allo spessore) di ciascuno di essi, ma non è interpretabile semplicemente applicando l'equazione [1]. L'inversione richiede l'analisi delle singole componenti e del rapporto H/V , che fornisce un'importante normalizzazione del segnale per a) il contenuto in frequenza, b) la risposta strumentale e c) l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto.

La situazione, nel caso di un suolo reale, è spesso più complessa. Innanzitutto il modello di strato piano al di sopra del bedrock si applica molto raramente. Poi, la velocità aumenta con la profondità, possono esserci eterogeneità laterali importanti ed infine la topografia può non essere piana. L'inversione delle misure di tremore a fini stratigrafici, nei casi reali, sfrutta quindi la tecnica del confronto degli spettri singoli e dei rapporti H/V misurati con quelli 'sintetici', cioè con quelli calcolati relativamente al campo d'onde completo di un modello 3D. L'interpretazione è tanto più soddisfacente, e il modello tanto più vicino alla realtà, quanto più i dati misurati e quelli sintetici sono vicini. In questo lavoro i segnali sono stati analizzati non solo attraverso i rapporti spettrali H/V ma anche attraverso gli spettri delle singole componenti, e nei casi più significativi, le curve HVSR sono state invertite secondo la procedura descritta da Arai e Tokimatsu (2004).

Procedura di analisi dati

Dalle registrazioni del rumore sismico sono state ricavate e analizzate due serie di dati:

- le curve HVSR, ottenute col software Grilla in dotazione al tomografo TROMINO, con parametri:
 - ⇒ larghezza delle finestre d'analisi 20 s,
 - ⇒ lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale,
 - ⇒ rimozione delle finestre con rapporto STA/LTA (media a breve termine / media a lungo termine) superiore a 2,
 - ⇒ rimozione manuale di eventuali transienti ancora presenti.
- le curve dello spettro di velocità delle tre componenti del moto (ottenute dopo analisi con gli stessi parametri del punto precedente).

Nei casi particolarmente semplici (copertura + bedrock o bedrock like) le profondità h delle discontinuità sismiche sono state ricavate tramite la formula seguente:

$$H = \left[\frac{V_0(1-\alpha)}{4V_1} + 1 \right]^{1/(1-\alpha)} - 1$$

in cui V_0 è la velocità al tetto dello strato, α un fattore che dipende dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione ecc.) e v la frequenza fondamentale di risonanza. Nei casi più complessi (la maggioranza) si sono invertite le

* documento soggetto a diritti di autore (art.2575 e seg. C.C.). Vietata la riproduzione senza il preventivo consenso

curve HVSR creando una serie di modelli teorici da confrontare con quello sperimentale, fino a considerare per buono il modello teorico più vicino alle curve sperimentali. In questo lavoro per l'inversione delle curve HVSR si sono seguite le procedure descritte in Arai e Tokimatsu (2004), usando il modo fondamentale delle onde di Rayleigh e Love. Si fa notare che ai fini di questi modelli le V_p e la densità ρ dei mezzi sono quasi ininfluenti pertanto i valori di V_p e ρ che si sono impiegati vanno considerati come puramente indicativi.

La stima della frequenza di risonanza degli edifici

L'applicabilità pratica della semplice formula [1] per il calcolo delle frequenze fondamentali di risonanza dei suoli è stata dimostrata in molti studi sia nell'ambito della prospezione geofisica che nell'ambito ingegneristico. Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula seguente:

$$\text{freq. naturale edificio} \approx 10 \text{ Hz} / \text{numero piani.} \quad [2]$$

È la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura, espressa dalla relazione seguente:

$$\text{freq. naturale edificio} \approx \text{freq. naturale coperture} \quad [3]$$

ad essere particolarmente pericolosa, perché dà luogo alla massima amplificazione. La combinazione della [1], [2] e della [3] porta alla

$$10 \text{ Hz} / \text{numero piani} \approx V_s / (4H). \quad [4]$$

da cui si può ricavare una relazione di prima approssimazione tra il numero di piani dell'edificio e lo spessore delle coperture nel sito dell'edificio stesso che possono determinare situazioni pericolose e devono quindi essere oggetto di studi approfonditi. Se consideriamo, ad esempio, una fascia di velocità delle onde di taglio tipica dei terreni alluvionali medio-fini (200-300 m/s), possiamo riscrivere la [4] come:

$$10 \text{ Hz} / \text{numero piani} \approx 200-300 \text{ m/s} / (4H). \quad [5]$$

Recenti studi Italiani di Masi et al. (2007) cfr. Figura 3, effettuati su un gran numero di edifici in c.a. mettendo in relazione le frequenze di oscillazione caratteristiche con le altezze, hanno evidenziato alcune deviazioni rispetto alla [5].

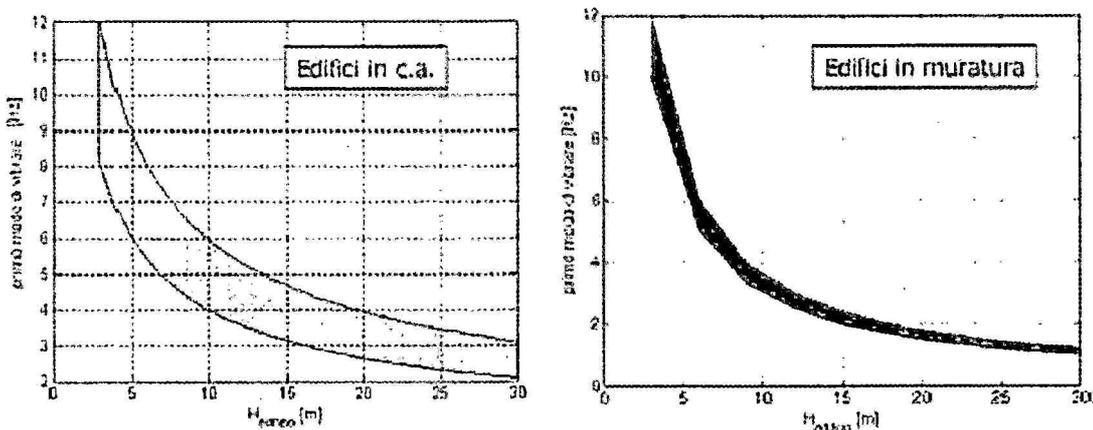


Fig 3:

Castellani e Faccioli (2000) definiscono la risonanza delle strutture tramite la relazione empirica $f_n = \frac{B^{0.3}}{C \times H}$

* documento soggetto a diritti di autore (artt.2575 e seg. C.C.). Vietata la riproduzione senza il preventivo consenso



Cerreto d'Esi il 05 dicembre 2020
 Comm.: Amm.ne Com.le di Montegiorgio
 Cant.: Via Ugolino – Montegiorgio (FM)
 Indagine HVSR - N°: 1 del: 04/12/2020

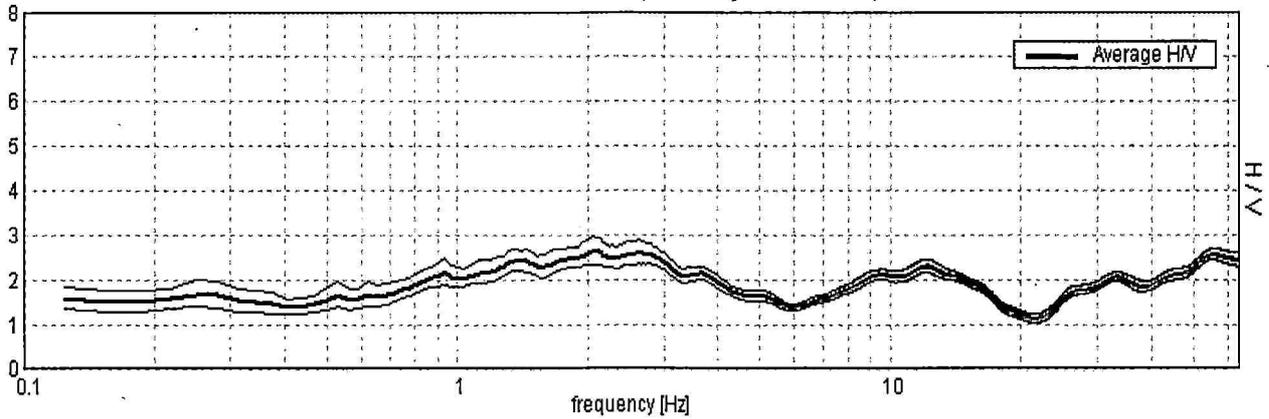
Comm: Amm.ne Com.le di Montegiorgio - Cant.: Via Ugolino – Montegiorgio (FM)

Cielo	Coperto	Vento	Assente	Precipitazioni	ssenti	Orientamento	0°N
-------	---------	-------	---------	----------------	--------	--------------	-----

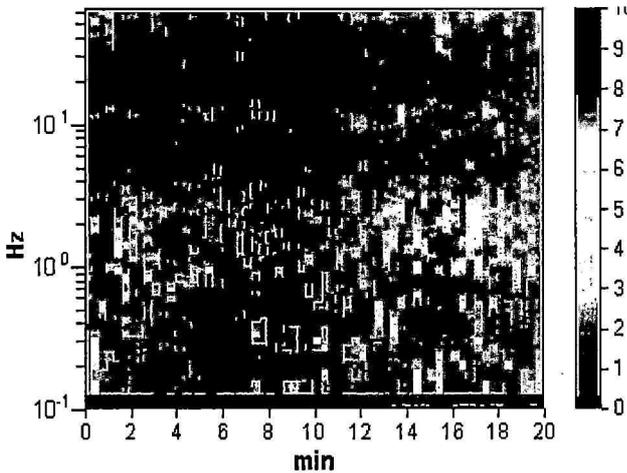
Strumento: TEP-0040/01-09
 Inizio registrazione: 17/11/20 10:03:34 Fine registrazione: 04/12/20 10:23:34
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
 Dato GPS non disponibile
 Durata registrazione: 0h20'00". Analisi effettuata sull'intera traccia.
 Freq. campionamento: 128 Hz
 Lunghezza finestre: 20 s
 Tipo di lisciamento: Triangular window
 Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

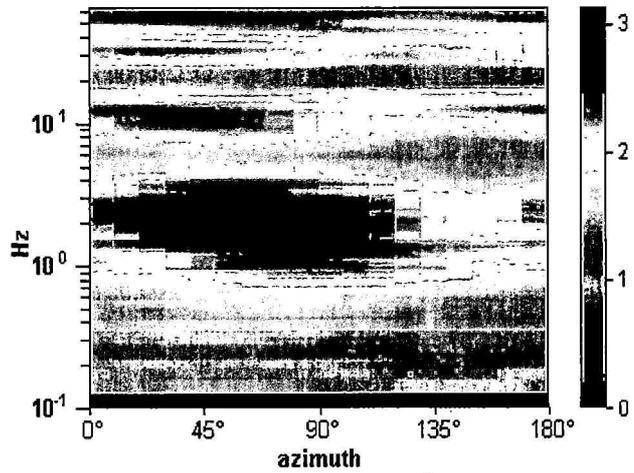
Max. H/V at 2.06 ± 0.69 Hz. (In the range 0.1 - 20.0 Hz).



SERIE TEMPORALE H/V

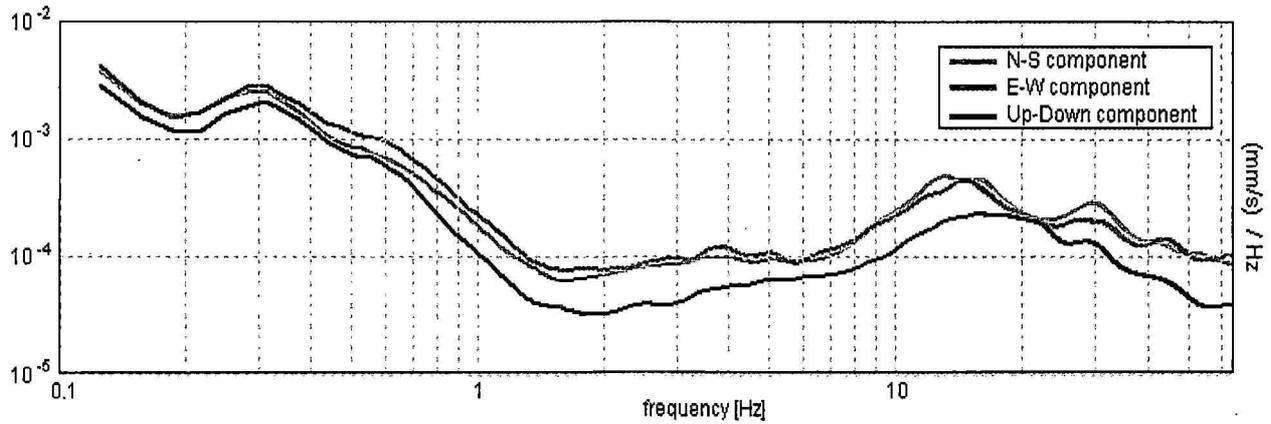


DIREZIONALITA' H/V

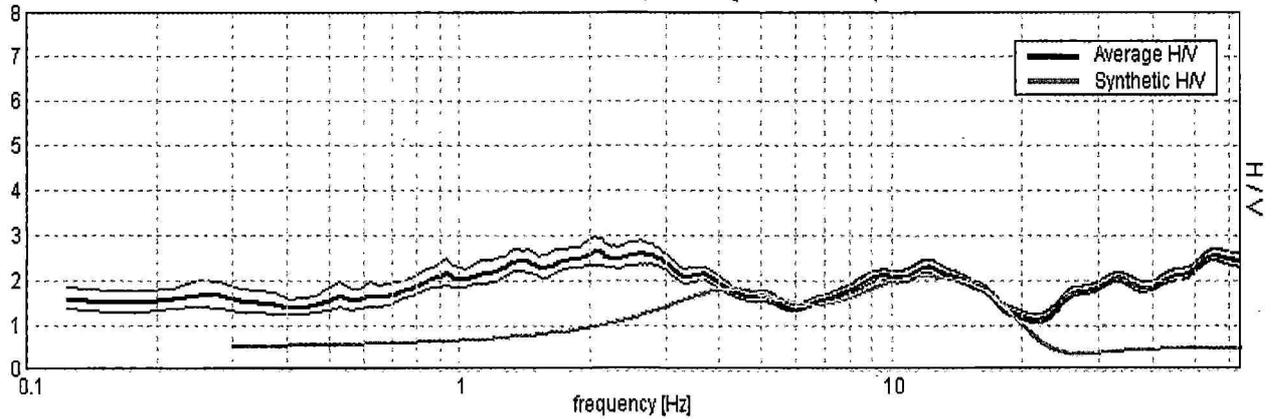


* documento soggetto a diritti di autore (artt.2575 e seg. C.C.). Vietata la riproduzione senza il preventivo consenso

SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO
 Max. H/V at 2.06 ± 0.69 Hz. (In the range 0.1 - 20.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
3.20	3.20	210	0.40
5.70	2.50	380	0.38
13.70	8.00	450	0.35
38.70	25.00	620	0.35
inf.	inf.	880	0.32

Per la definizione dell'azione sismica di progetto ai sensi del nuovo D.M.17 gennaio 2018 integrato, la velocità di propagazione delle onde di taglio V_s , è calcolata con la seguente espressione.

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

con

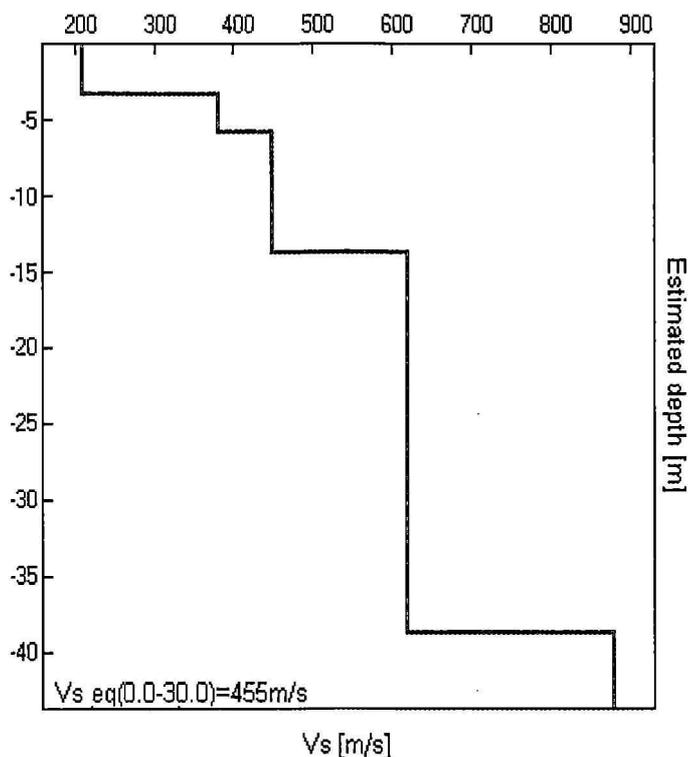
h_i spessore dell'i-esimo strato;

$V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

$$V_s \text{ eq (0.0-30.0)} = 455 \text{ m/s}$$



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

NOTA: la categoria di sottosuolo viene stabilita in funzione del valore di V_{eq} calcolato a partire dalla quota del Piano Campagna

Commento sul profilo delle velocità.

L'analisi del profilo delle velocità mostra una successione di terreni caratterizzati da:

sismostrato 1: ha uno spessore complessivo di m.5,70 riconducibile in parte ai terreni di copertura ed in parte alla porzione alterata della formazione.

sismostrato 2: da m. 5,70 correlabile alla formazione che, man mano che ci si approfondisce, manifesta migliori proprietà geofisiche con velocità delle Vs stimata a m/s 880.

Frequenza fondamentale di sito e frequenza di risonanza ai fini progettuali

Ogni sito è caratterizzato da una propria frequenza di risonanza fondamentale che può andare da millesimi di Hz a decine di Hz, in particolare in questo caso si è misurata una frequenza massima di picco pari a Hz $2,06 \pm 0,69$.

L'intervallo di frequenze di interesse ingegneristico standard è invece 0,5 - 10 Hz (corrispondenti alle frequenze principali di strutture approssimativamente da 30 a 1 piano). Essendo dunque l'intervallo di frequenze del sottosuolo più esteso di quello possibile per le strutture, alcune frequenze del sottosuolo possono essere trascurate ai fini della progettazione in zona sismica in quanto non comportano aggravii particolari per le strutture standard. In quest'ottica ad esempio non verranno segnalate le frequenze superiori a 20 Hz. **Nel caso in esame si evidenzia che l'area, sollecitata da input sismico, amplifica le onde di superficie con un fattore ≥ 2 , nei range $0,83 \text{ Hz} \leq f \leq 3,94 \text{ Hz}$ e $8,82 \text{ Hz} \leq f \leq 14,62 \text{ Hz}$, con picchi rispettivamente a 2,06 Hz e a 12,18 Hz. Poiché la coincidenza di risonanze tra suolo e struttura comporta un aggravio nell'ampiezza dell'input sismico, la condizione ideale è che la frequenza della struttura sia inferiore rispetto a quella del sottosuolo, tuttavia quando questa condizione non può essere rispettata, è raccomandabile che la struttura venga progettata con frequenze proprie principali maggiori almeno il 40% dei valori segnalati per il sottosuolo. Qualora almeno una delle condizioni sopra indicate non possa essere rispettata la categoria di sottosuolo dovrà essere declassata alla categoria E.**

[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Grilla* prima di interpretare la tabella seguente].

Picco H/V a 2.06 ± 0.69 Hz (nell'intervallo 0.1 - 20.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$2.06 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$2475.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz	Superato 0 volte su 100	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	$2.63 > 2$	OK	
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$10.335621 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.69221 < 0.10313$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.3046 < 1.58$	OK	

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

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$

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

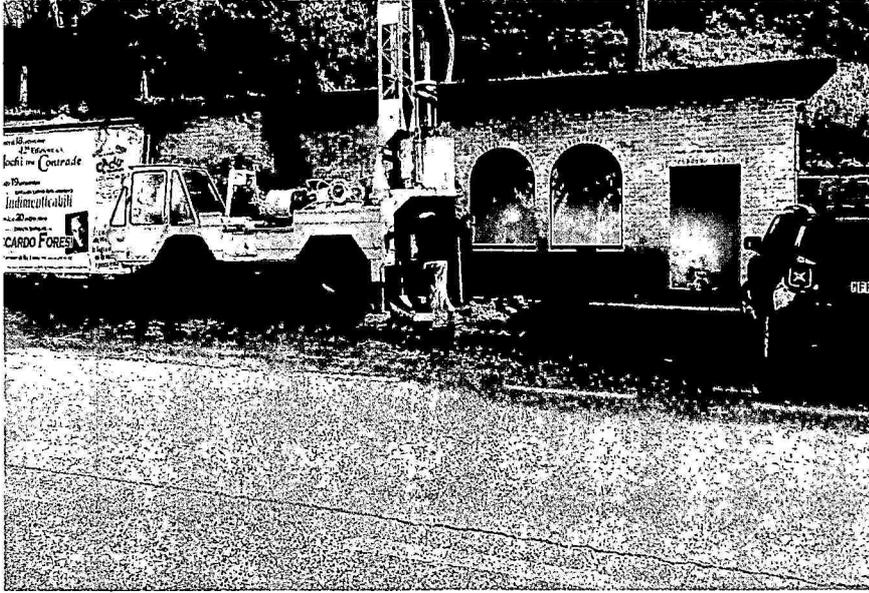


Foto 1: panoramica dell'area durante le fasi di esecuzione del sondaggio è visibile l'area pianeggiante.



Foto 2: fase di esecuzione del sondaggio sono visibili i terreni intercettati.



Foto 3: fase di esecuzione della prova sismica con Tromografo digitale subito a monte dell'area.

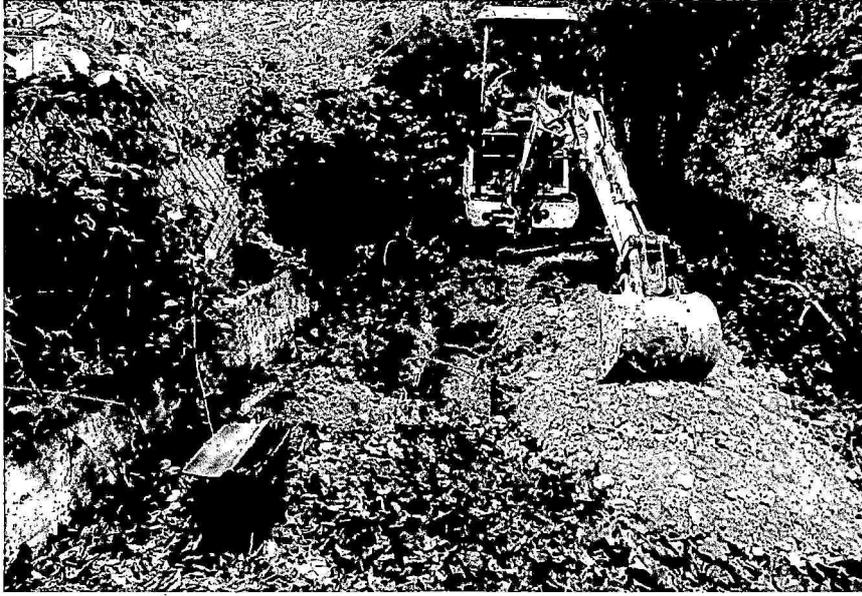


Foto 4: fasi di esecuzione del primo saggio è visibile l'area leggermente inclinata.



Foto 5: esecuzione del secondo saggio sono visibili i terreni intercettati.



Foto 6: fase di esecuzione del terzo saggio al termine del percorso fitness.