



O.C.S.R. 48/2018 - Intervento “Realizzazione nuova elisuperficie nel Comune di Montegiorgio (FM)”. Finanziato con le donazioni raccolte mediante il numero solidale 45500.

Località: Aviosuperficie "Guido Paci"

Progetto Esecutivo

Art. 23 D. Lgs. 18.04.2016 n. 50 e s.m.i. - Art. 33 D.P.R. 207/2010



RELAZIONE GEOLOGICA

Dott. Geol
Giacomo Liberati

Montegiorgio, li 06 aprile 2021

Il Responsabile del procedimento
Geom. Maurizio Luchetti

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



Egregio Signor Sindaco
Comune di Montegiorgio

Montegiorgio li 06/04/2021

Oggetto: trasmissione della Relazione Geologica relativa al progetto di realizzazione di una elisuperficie a Piane di Montegiorgio.

In allegato si trasmette la Relazione Geologica relativa al progetto realizzazione di una elisuperficie a Piane di Montegiorgio.

Distinti saluti

Dr. Geol. Giacomo Liberati



Comune di Montegiorgio

Provincia di Fermo

Relazione tecnico-geologica

Oggetto: realizzazione di una Elisuperficie

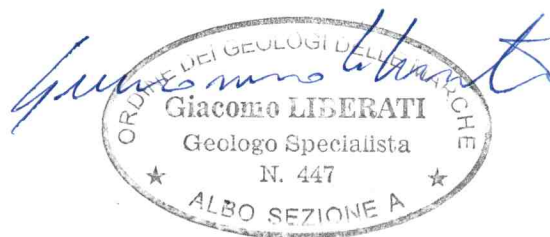
Località: contrada Molino

Committente: Amministrazione Comunale

Montegiorgio 23/03/2021

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.libeariti@epap.sicurezzapostale.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. CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE	1
4. CARATTERI LITOLOGICI E TETTONICI	2
5. CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE	2
6. RISULTATI DELLE INDAGINI IN SITU	2
6.1 Caratteristiche Stratigrafiche e Meccaniche	3
7. VALUTAZIONI INTERAZIONI TERRENO STRUTTURA	3
8. NORME SISMICHE	4

1. PREMESSA

L'Amministrazione Comunale di Montegiorgio, dovendo realizzare una Elisuperficie nell'area dell'Aviosuperficie "Guido Paci", in contrada Molino, del comune di Montegiorgio, mi ha incaricato di eseguire uno studio sui terreni di fondazione al fine di valutarne il comportamento con la struttura da realizzare ed in accordo con il progettista e responsabile del procedimento Geom. Maurizio Luchetti, indicare la tipologia di fondazione più idonea da utilizzare.

L'indagine geologico-tecnica è stata svolta, dopo lo studio generale dell'area e della sua morfologia, attraverso l'accertamento della sua litologia, della stratigrafia e della idrogeologia profonda. Quest'ultimo è stato condotto nell'area di sedime mediante due saggi svolti con escavatore meccanico a lungo braccio, spinti fino alla profondità di 3,20m dal p.c, integrato dai dati reperiti da tre sondaggi fatti nel corso di indagini svolte dal sottoscritto, in aree limitrofe (MetalTex 2001-2007- Nunzi E. 2002).

I dati geotecnici e sismici sono stati desunti mediante l'esecuzione di prove geotecniche in situ, sui terreni provenienti dai saggi, con il Penetrometro P 1000 e lo Scissometro T 1000 della ditta PASI, integrate da una indagine sismica HVSR con Tomografo digitale tipo TROMINO reperita, svolta per la committenza, dalla ditta Geodrill di Cerreto d'Esi, nell'area dell'Ecocentro limitrofa a quella in studio, ricadente su terreni analoghi, i risultati si allegano alla presente relazione e ne fanno parte integrante.

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 dal progettista.

Il presente elaborato si compone dei seguenti allegati:

N°1 CARTA GEOLOGICA	SCALA 1:10.000
N°1 STRALCIO CARTA TOPOGRAFICA REGIONALE	SCALA 1:10.000
N°1 STRALCIO CARTA DEL P.A.I. REGIONALE	SCALA 1:10.000
N°1 PLANIMETRIA CATASTALE	SCALA 1:2.000
N°2 PROFILI STRATIGRAFICI	SCALA 1:100
N°3 PROFILI STRATIGRAFICI REPERITI	SCALA 1:100
N°2 SEZIONI LITOSTRATIGRAFICHE	SCALA 1:100-1:200
RELAZIONE SISMICA	
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA	

2. UBICAZIONE TOPOGRAFICA

L'Elisuperficie in oggetto sarà realizzata in contrada Molino, al confine occidentale dell'area dell'Aviosuperficie, in un'area con a Nord le strutture dell'aviosuperficie esistente ed a Sud il fiume Tenna.

L'area è sita tra le quote di 162 e 153m s.l.m. ed è individuabile cartograficamente nella Carta Tecnica Regionale scala 1:10.000 sezione n°314070, "Montegiorgio" e nei Fogli catastali n°52-53 alle particelle n°74-93-94-101-344, 9-10 del n.c.t.

3. CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE

L'area di sedime insiste su un terrazzo alluvionale generato dall'attività erosiva-sedimentaria del fiume Tenna.

Si tratta di una superficie terrazzata, pianeggiante, situata in sinistra orografica del Tenna, che presenta una lieve pendenza verso l'asse del fiume (1%) il quale scorre circa 170m più a Sud.

Litologicamente la zona è caratterizzata da una coltre continentale costituita da limi sabbiosi in superficie che ricoprono uno strato ghiaioso-sabbioso in profondità, prima della formazione di base qui costituita dalle argille grigio-azzurre pleistoceniche visibili più a Sud lungo le incisioni del fiume Tenna.

La presenza di limi in superficie e di livelli sabbiosi all'interno del deposito alluvionale, testimonia fasi di minore energia del fiume.

Il deposito ghiaioso, inoltre, presenta una certa omogeneità areale, infatti i sondaggi reperiti hanno evidenziato la presenza di alluvioni ghiaioso-sabbiose immediatamente sotto il terreno agrario, fino a circa 25,00m dal p.c. quota di interruzione dei sondaggi, (Metaltex 2001-2007-Nunzi E. 2002).

Per quanto concerne la stabilità della zona, le condizioni risultano più che soddisfacenti in relazione alla superficie topografica pianeggiante ed alla litologia dei terreni, a garanzia d'equilibrio per i manufatti da realizzare.

4. CARATTERI LITOLOGICI E TETTONICI

La coltre sedimentaria alluvionale ghiaioso-sabbioso-limosa descritta in precedenza ricopre il basamento litico della zona, costituito da argille stratificate grigio-azzurre di genesi marina, che costituiscono la formazione pelitica epibatiale ascrivibile al Pleistocene inferiore individuabili lungo il tracciato del fiume Tenna più a Sud.

Non sono stati riscontrati segni di dislocazioni tettoniche; la giacitura dei piani di strato, misurata in affioramenti limitrofi, presenta un'immersione verso Nord-Est, caratteristica della monoclinale regionale, con inclinazione di pochi gradi (circa 5°-6°).

5. CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE

La circolazione idrica di superficie è regolata dall'apparato idrografico del fiume Tenna che tramite solchi e fossetti drena tutte le acque superficiali di ruscellamento; la zona non è urbanizzata e quindi non è dotata delle infrastrutture primarie come il sistema fognante per lo smaltimento delle acque.

Per quanto concerne la circolazione sotterranea, durante lo svolgimento dei saggi non sono state intercettate manifestazioni idriche e nei sondaggi reperiti rilevai un tenore di umidità naturale all'interno delle ghiaie particolarmente in S1 in quanto le ghiaie sono a diretto contatto con il suolo e quindi hanno favorito l'infiltrazione delle acque piovane; comunque non individuai falde acquifere, mentre nel terzo sondaggio reperito la presenza di acqua a circa 25,00m dal p.c. ha impedito la prosecuzione del sondaggio.

6. RISULTATI DELLE INDAGINI IN SITU

Come già accennato, le indagini in sito sono state svolte provvedendo all'esecuzione di due saggi svolti con escavatore meccanico a lungo braccio, spinto fino alla profondità di 3,20m dal p.c, integrato dai dati provenienti da tre sondaggi, fatti nel corso di indagini svolte in aree limitrofe (Metaltex 2001-2007-Nunzi E. 2002). Sui terreni intercettati nei saggi sono state eseguite prove di georesistenza con il Penetrometro P 1000 e lo Scissometro T 1000 della ditta PASI.

Le indagini sismiche svolte hanno evidenziato l'esistenza di due sismostrati caratterizzati da velocità crescenti con la profondità, con una variazione che va, nel primo tratto da 115m/s a 450m/s fino a circa 22,00m dal p.c, riconducibile al materasso alluvionale e da 645m/s a 960m/s nel tratto successivo, correlabile alla formazione di base integra.

6.1 Caratteristiche Stratigrafiche e Meccaniche

In base a quanto appena esposto è stato possibile ricostruire il seguente andamento stratigrafico dell'area e definire la seguente parametrizzazione meccanica dei terreni in successione:

- *Suolo agrario*

Non classificabile meccanicamente ed inutilizzabile come terreno di fondazione.

- *Sabbie limose*

$\gamma = 1,90 \text{ Kg/cm}^3$	peso di volume
$\phi \geq 28^\circ$	angolo di attrito interno
$C_u = 2,2 \text{ Kg/cm}^2$	coesione non drenata
$q_u = 5,0 \text{ Kg/cm}^2$	resistenza alla compressione
$K > 2,5 \text{ Kg/cm}^3$	modulo di sottofondo di Winkler
$D_r = 55\%$	densità relativa

Lo spessore varia a seconda dei sondaggi: da 0,00m in S1 (2001) a 1,70m in S2 (2007), a 1,20m in S1 (2002) e 1,40m e 0,70m nei saggi svolti per questo progetto.

- *Ghiaie eterometriche ed eteroclastiche in matrice sabbiosa*

$\gamma = 1,85 \text{ Kg/cm}^3$	peso di volume
$\phi \geq 45^\circ$	angolo di attrito interno
$E \geq 150$	modulo edometrico
$K > 10 \text{ Kg/cm}^3$	modulo di sottofondo di Winkler
$D_r = 80\%$	densità relativa

Lo spessore è di circa 22,00m come rilevabile dall'indagine sismica allegata e compatibile con i dati rilevati in aree limitrofe.

7. VALUTAZIONI INTERAZIONI TERRENO STRUTTURA

Nell'area in oggetto l'Amministrazione Comunale di Montegiorgio prevede la realizzazione di una Elisuperficie per l'atterraggio sia diurno che notturno degli elicotteri sanitari e di soccorso con relativo nuovo tracciato per la strada di accesso che aggirerà gli edifici esistenti a monte e attraverserà il canale di irrigazione dismesso del Consorzio di Bonifica.

La nuova struttura sarà costituita da un'area di avvicinamento di forma quadrata con lato di 35,00m con all'interno l'area di atterraggio di forma circolare di 16,00m di diametro, interamente realizzata con sottofondazione stratificata, ammorsata nelle ghiaie presenti subito sotto i limi sabbiosi, compattata e rullata in inerte di recupero e di cava, con finitura in conglomerato bituminoso Binder e tappetino di usura di adeguato spessore per tutta la superficie. Verranno inoltre realizzati due tratti di strada di raccordo con la viabilità esistente di lunghezza 104m e 41m con larghezza costante di 4,00m e spessore di 0,40m di sottofondo in inerti di recupero e di cava con pavimentazione in

conglomerato bituminoso di sottofondo Binder e tappetino, entrambi di opportuno spessore.

Si dovrà provvedere anche alla realizzazione dell'attraversamento del canale irriguo dismesso dal Consorzio di Bonifica, con la realizzazione di gabbionate a protezione delle sponde e tubo corrugato per consentire lo scolo delle acque convogliate nel citato canale. Le dimensioni massime dell'intervento saranno di 16,00m di lunghezza per 3,35m di larghezza, per una altezza costante delle gabbionate di 2,20m, queste, dopo la riprofilatura delle sponde e del fondo del canale, poggeranno interamente sulle ghiaie individuate nel primo saggio a circa 1,60m dal p.c.

Considerando le caratteristiche stratigrafiche dell'area, i parametri meccanici e sismici dei terreni intercettati e la tipologia delle strutture da realizzare, indicativamente, si consiglia di adottare un sistema di fondazioni superficiali, opportunamente dimensionate in base ai carichi. Il piano di posa delle fondazioni, dopo la sistemazione delle aree destinate ad accogliere i manufatti, potrà coincidere per tutta la superficie con le ghiaie sabbiose, dotate di ottimi parametri geomeccanici.

8. 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 sui terreni alluvionali intercettati nell'intera area interessata dall'intervento in oggetto. I litotipi intercettati andranno a costituire il terreno di fondazione delle opere in progetto e ricadono 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 la $V_{s30\text{ eq}}$ è pari a **370m/s** e quindi $V_{s30\text{ eq}} > 360\text{m/s}$.

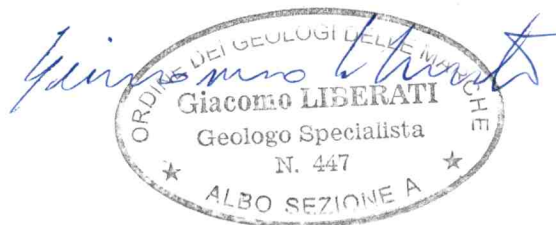
Bisogna tenere conto però della frequenza fondamentale del sito che nell'area assume un valore di **5,0 ± 0,27Hz**. Essendo tale frequenza nell'intervallo delle frequenze di risonanza delle normali strutture, è necessario che la struttura in oggetto abbia una frequenza inferiore a quella del sottosuolo 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 **T1** in quanto l'inclinazione media del versante rivolto a Sud-Est è di circa **1°**, con la cresta molto larga rispetto alla base del versante, quindi con inclinazione media **≤ 15°**.

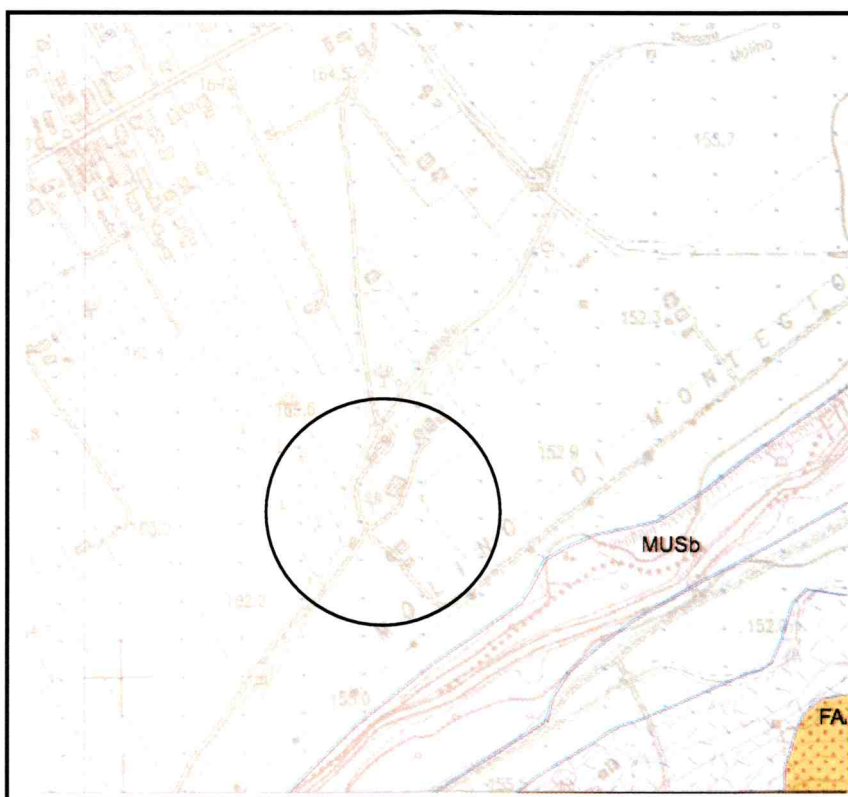
La presente relazione con gli allegati elaborati viene consegnata in data odierna in evasione all'incarico ricevuto.

Montegiorgio li 23 marzo 2021

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)

	MUSb	Depositi alluvionali attuali (ghiaia, sabbia, limo)
	MUSbn	Depositi alluvionali terrazzati ghiaie, ghiaie sabbiose e sabbie
	MUSb2	Depositi eluvio-colluviali

SUCCESSIONE UMBRO-MARCHIGIANO-ROMAGNOLA

SUCCESSIONE PLIOCENICA

	FAA4d	FORMAZIONE DELLE ARGILLE AZZURRE Membro del Monte dell'Ascensione litofacies arenaceo-pelitica Zancleano p.p.- Santerniano
--	-------	---

COROGRAFIA

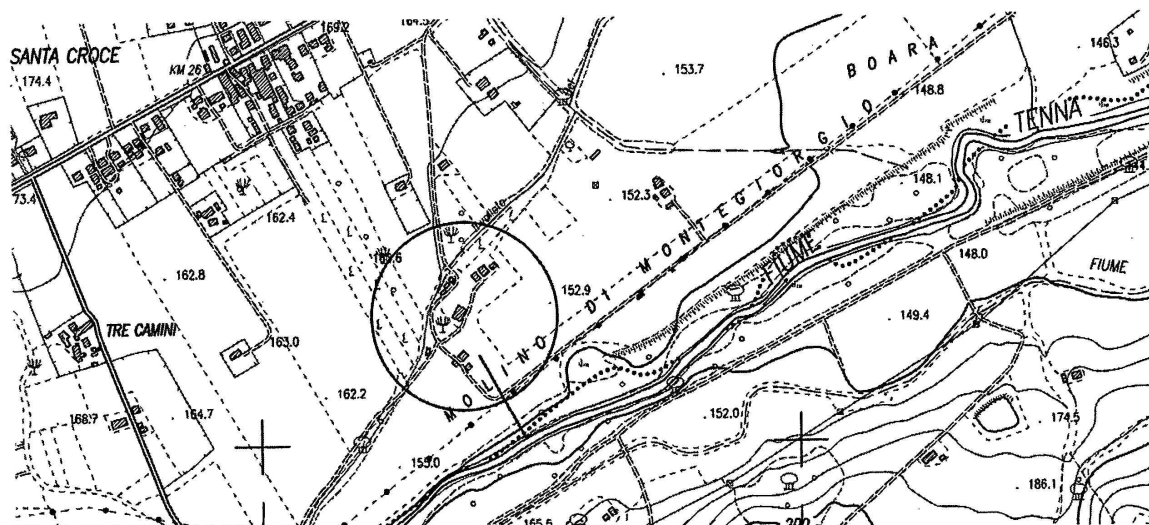
SCALA 1:10.000

— LINEA DI MASSIMA PENDENZA

ESTRATTO DALLA CARTA TECNICA REGIONALE

SEZIONE n°314070 "Montegiorgio"

○ AREA IN
STUDIO



COMMITTENTE: Amministrazione Comunale
LOCALITÀ: contrada Molino
COMUNE: Montegiorgio

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

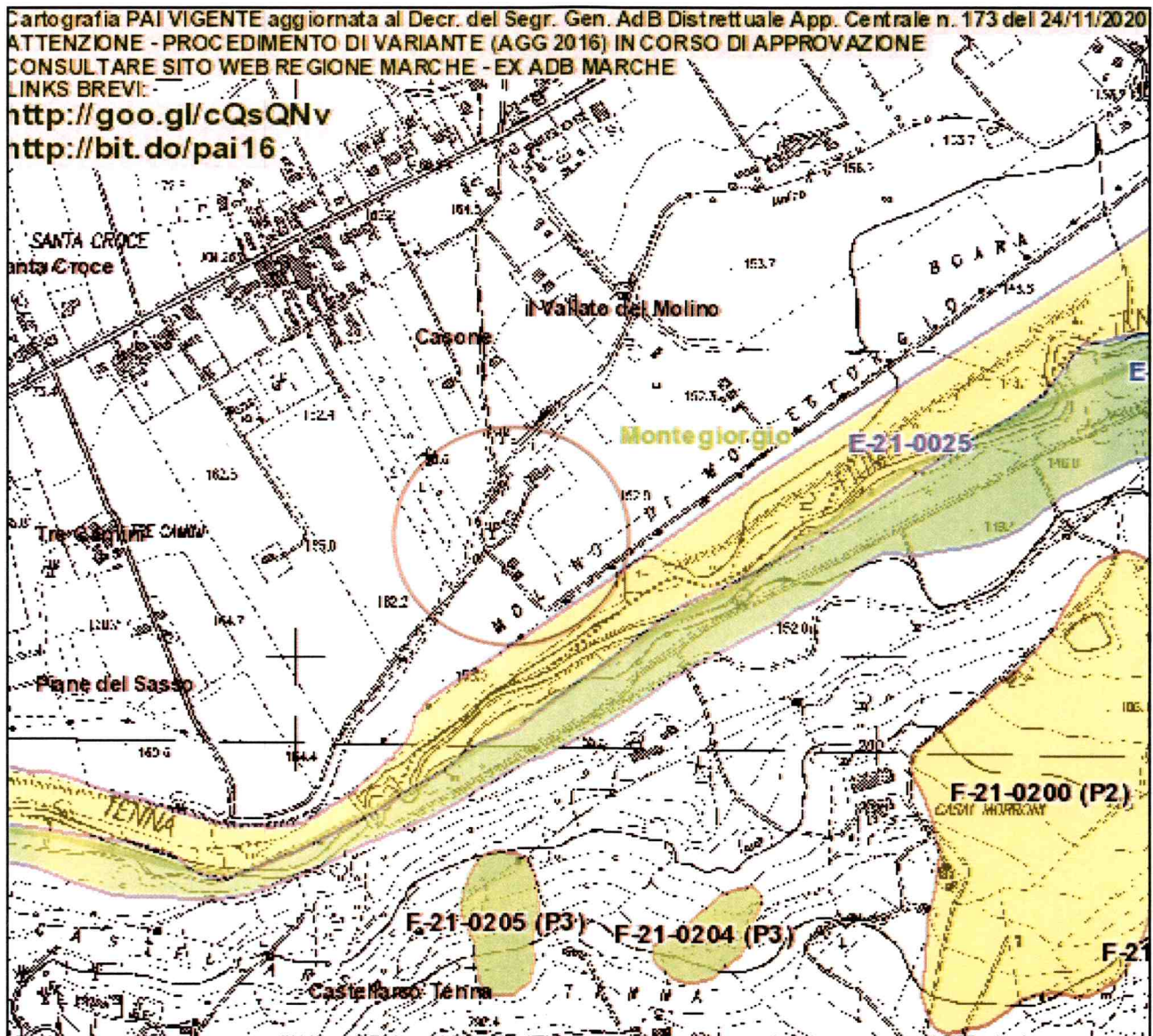
COMUNE DI MONTEGIORGIO

Provincia di Fermo

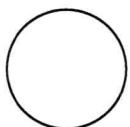
Località: Molino

Realizzazione di una Elisuperficie

Amministrazione Comunale

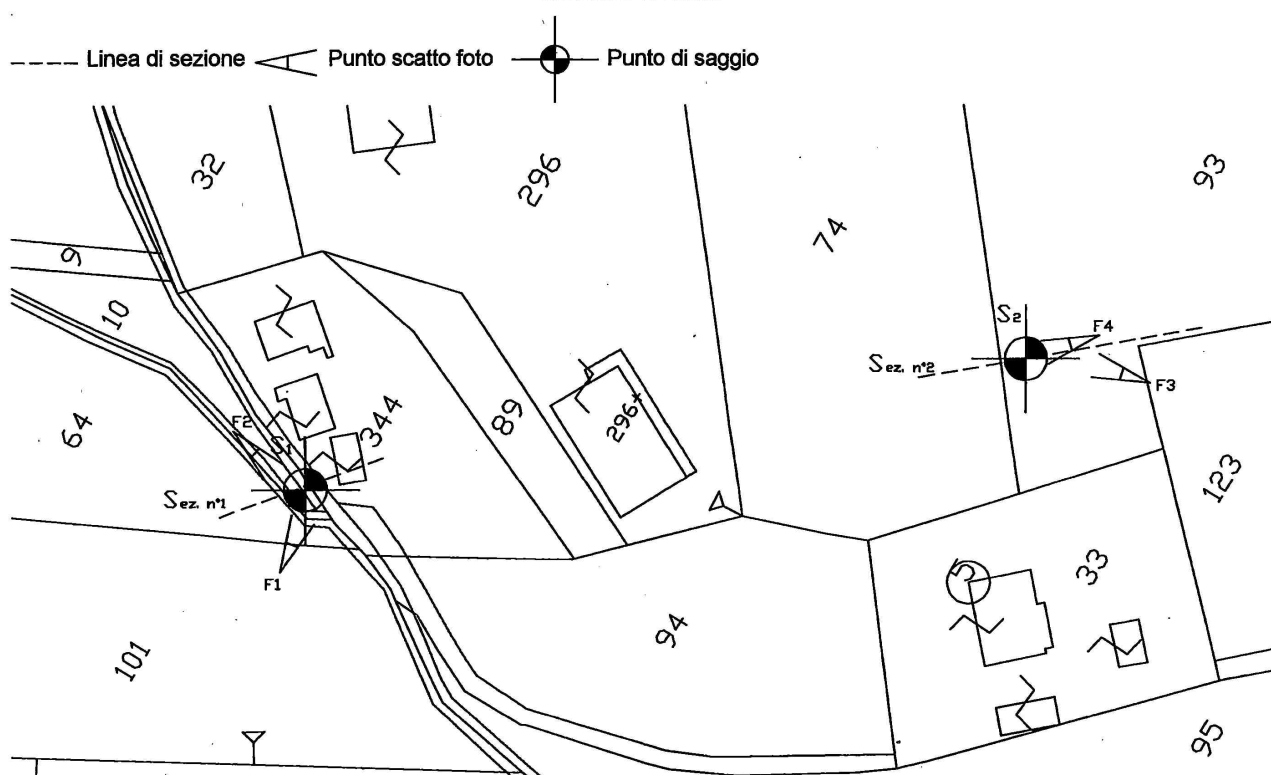


Perimetrazione P.A.I. – Tav RI59 – scala 1:10.000



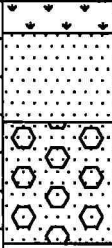
STRALCIO DELLA PLANIMETRIA CATASTALE

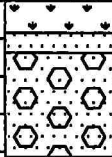
SCALA 1:1.000



COMMITTENTE: Amministrazione Comunale
 LOCALITÀ: contrada Molino
 COMUNE: Montegiorgio
 FOGLI N°52-53 - PARTICELLE n°74-93-94-101-344, 9-10

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: Monteglorio					SAGGIO N°1				
CANTIERE: contrada Molino					PROFONDITA' 3,20m				
COMMITTENTE: Amministrazione Comunale					QUOTA S.L.M. 162m				
PERFORAZ.	SCISSOMETRO		PENETROMETRO		P. DI VOL.	QUOTA FALDA	QUOTA REL.	SIMBOLO GRAFICO	DESCRIZIONE TERRENO
	(kg/cmq)		GRADI		(Kg/dmc)				
	Cu	Cr	qu	φ	γ				
ESCAVATORE MECCANICO	2,2		5,0	>28°	1,90		0,0		Suolo agrario; sabbie limose nocciola con ghiale disperse; ghiale sabbiose eterometriche e eteroclastiche; FINE DEL SAGGIO
				>45°	1,85		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: Monteglorio					SAGGIO N°2				
CANTIERE: contrada Molino					PROFONDITA' 3,20m				
COMMITTENTE: Amministrazione Comunale					QUOTA S.L.M. 153m				
PERFORAZ.	SCISSOMETRO		PENETROMETRO		P. DI VOL.	QUOTA FALDA	QUOTA REL.	SIMBOLO GRAFICO	DESCRIZIONE TERRENO
	(kg/cmq)		GRADI		(Kg/dmc)				
	Cu	Cr	qu	φ	γ				
ESCAVATORE MECCANICO	2,0		4,3	>28°	1,90		0,0		Suolo agrario; sabbie limose nocciola con ghiale disperse; ghiale sabbiose eterometriche e eteroclastiche; FINE DEL SAGGIO
				>45°	1,85		1,0		
							2,0		
							3,0		
							4,0		
							5,0		
							6,0		
							7,0		
							8,0		

SONDAGGIO N. 1
PROFONDITA' M. 13,20
QUOTA S.L.M. 165

REPERITO

SONDAGGIO N. 2
PROFONDITA' M. 11,30
QUOTA S.L.M. 165

REPERITO

STUDIO GEOLOGICO - DOTT. GIACOMO LIBERATI n. 447 D.R.G.
Via G. MAZZINI N.61 MONTEGIORGIO (AP) 63025 tel. 0734/962580 - 0335/8299719

COMUNE: Montegiorgio

SONDAGGIO UNICO

CANTIERE: Via Tre Camini, 1

PROFONDITA' m. 25,00

COMMITTENTI: Nunzi Enrico e Scaficchia Amella

QUOTA S.L.M. 168

PERFORAZ.	SCISSOMETRO		PENETROMETRO		P. DI VOL.	QUOTA FALDA	QUOTA REL.	SIMBOLO GRAFICO	DESCRIZIONE TERRENO
	(kg/cmq)		GRADI		(Kg/dmc)				
	Cu	Cr	qu	Ø	γ				
ROTAZIONE A SECCO	0,7	1,4		>16	1,90		0,0		Tuvenale del piazzale;
							1,0		limo sabbioso nocciola;
				>30	1,85		2,0		ghiale limoso-sabbiose eterome-
							3,0		triche;
							4,0		
							5,0		
	0,5	1,0			1,90		6,0		livelletto limoso sabbioso con
				>35	1,80		7,0		resti organici;
							8,0		ghiale sabbiose eterometriche;
	0,5	1,0			1,90		9,0		livelletto limoso sabbioso;
				>35	1,80		10,0		ghiale sabbiose eterometriche;
							11,0		
	0,5	1,0			1,90		12,0		limo sabbioso-argilloso con a
							13,0		luoghi, diffusi resti organici e
	0,6	1,3					14,0		ghiaietto; si presenta di colore
							15,0		grigio con screziature ruggine,
							16,0		talvolta plastico;
							17,0		
	0,5	1,1					18,0		
							19,0		
				>35	1,80		20,0		ghiale sabbiose eterometriche;
							21,0		
							22,0		
							23,0		
							24,0		
							25,0		Fine sondaggio a causa del crol-
							26,0		lo delle pareti del foro;

REPERITO

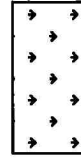
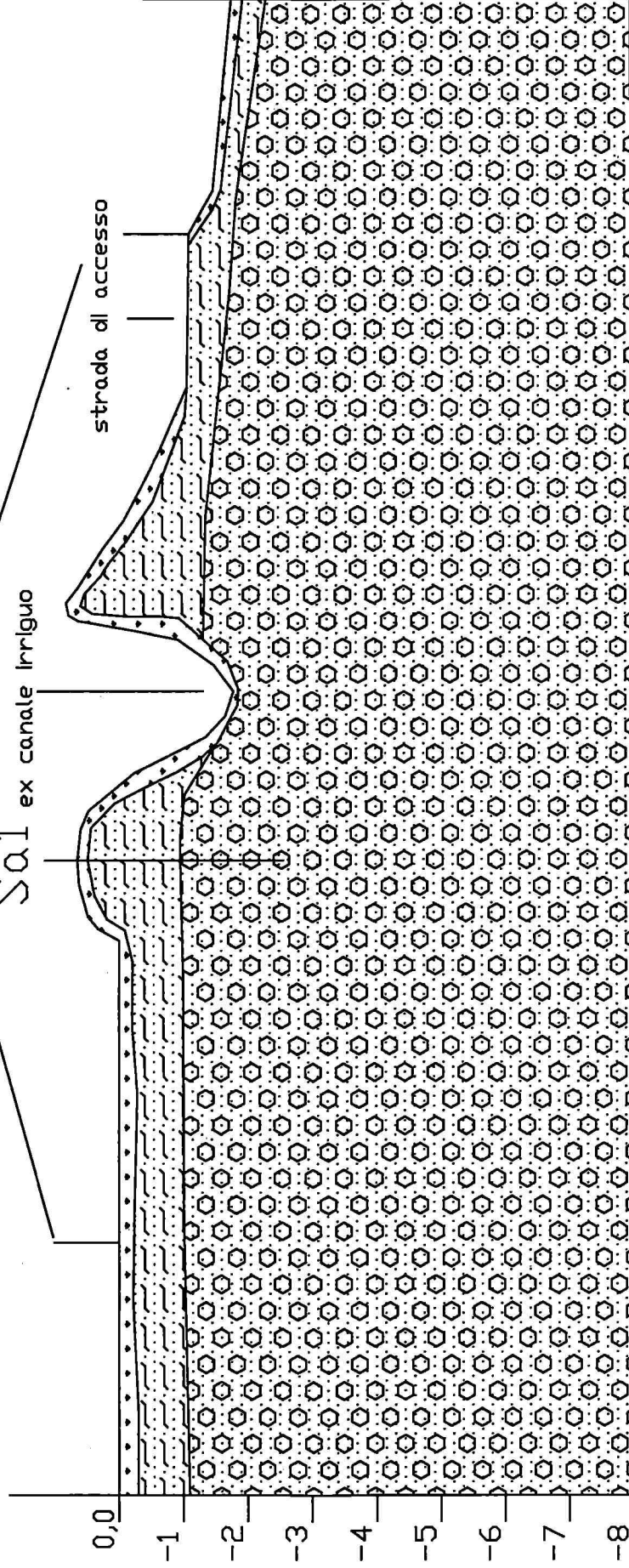
Sezione Litostratigrafica Interpretativa n°1

Scala 1:100

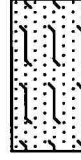
area in esame

Sa1 ex canale irriguo

strada di accesso



Suolo agrario



Sabbie limose



Ghiale sabbioso

Committente
Amministrazione Comunale
contrada Molino
Montegiorgio

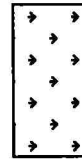
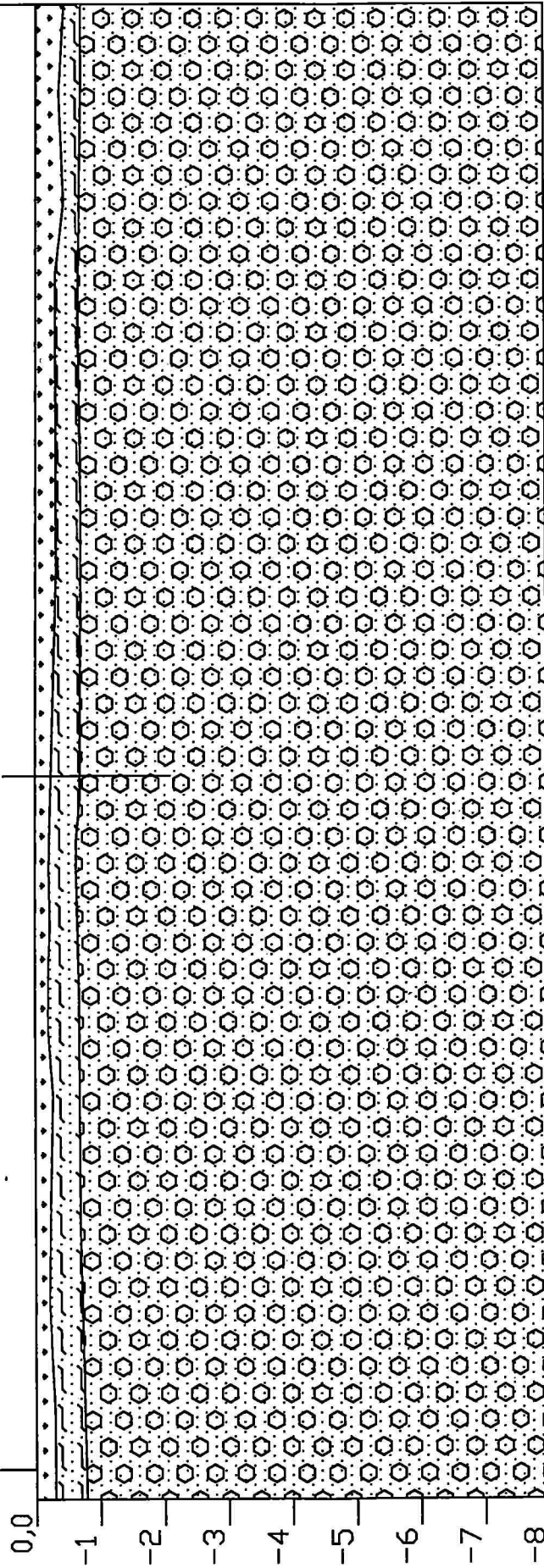
Studio di Geologia
Dr. Giacomo Liberati
Via G. Mazzini, 61
63833 Montegiorgio

Sezione Litostratigrafica Interpretativa n°2

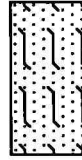
Scala Vert. 1:100 - Oriz. 1:200

area in esame

Sa2



Suolo agrario



Sabbie limose



Ghiale sabbiose

Comittente
Amministrazione Comunale
contrada Molino
Montegiorlo

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

Introduzione e riferimenti normativi

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 Vs30 (velocità di propagazione delle onde S nei primi 30 metri di profondità) nel rispetto di:

O.P.C.M. 3274/03 e successive modifiche ed integrazioni; e D.M. 14/01/2008 (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,S1 e S2. 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.

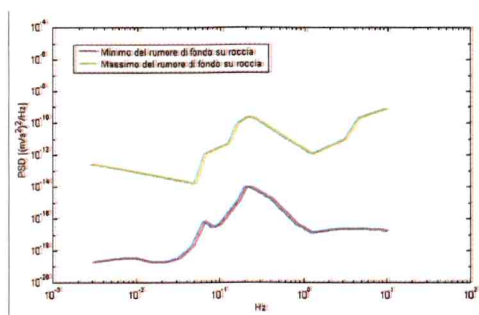


Fig.1: Modelli standard del rumore sismico massimo (in verde) e minimo (in blu) per la Terra

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 12 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.

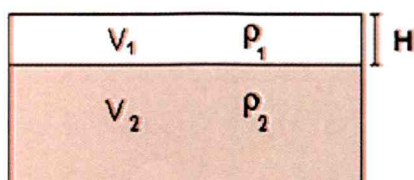


Fig. 2: Mezzo a 2 strati caratterizzati da densità ρ e velocità di propagazione V

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:

$$(f_r) = V_{s1}/4H \quad (f_r) = V_{p1}/4H \quad [1]$$

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 tromografo 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:

$$H = \left[\frac{V_0^2 (1 - a^2)}{4G_1} + 1 \right]^{\frac{1}{2(1-a)}} - 1$$

in cui V_0 è la velocità al tetto dello strato, a 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

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 influenti 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].

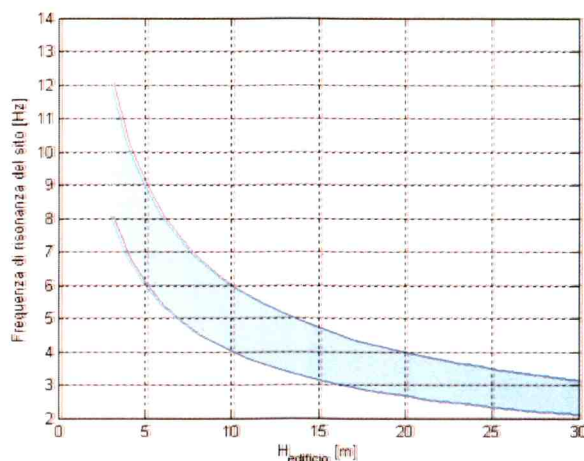


Fig 3: Relazione tra altezza di un edificio in c.a. e frequenza di risonanza del sito investigato: la zona in blu indica l'area più vulnerabile dal punto di vista dei fenomeni di doppia risonanza.

Comm: Dr. Geol. Giacomo Liberati - Cant.: Nuovo Eco Centro – Piane di Montegiorgio

Cielo	<i>Coperto</i>	Vento	<i>Assente</i>	Precipitazioni	<i>Assenti</i>	Orientamento	0°N
--------------	----------------	--------------	----------------	-----------------------	----------------	---------------------	------------

Instrument: TEP-0040/01-09

Start recording: 08/10/14 16:03:39 End recording: 08/10/14 16:17:40

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS location: 013°32.6689 E, 43°05.9772 N (168.6 m)

(UTC time synchronized to the first recording sample): not available in this acquisition mode + 0 samples

Satellite no.: 05

Trace length: 0h14'00". Analyzed 98% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

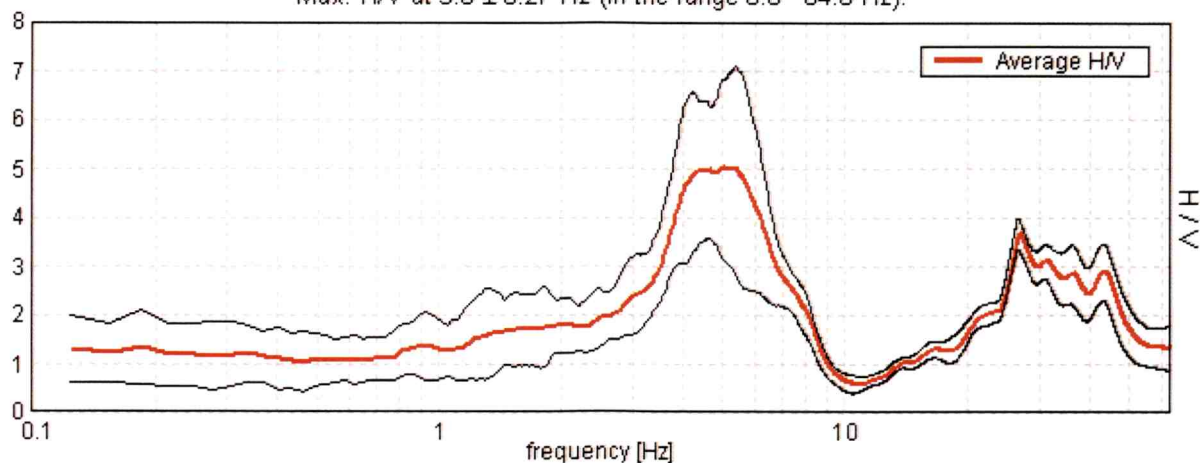
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

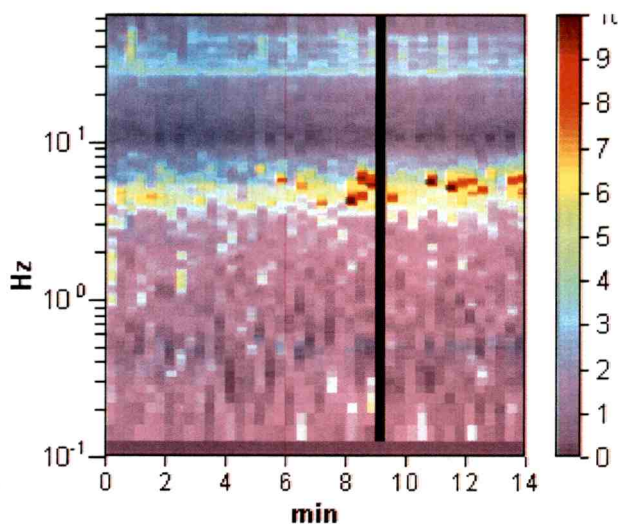
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

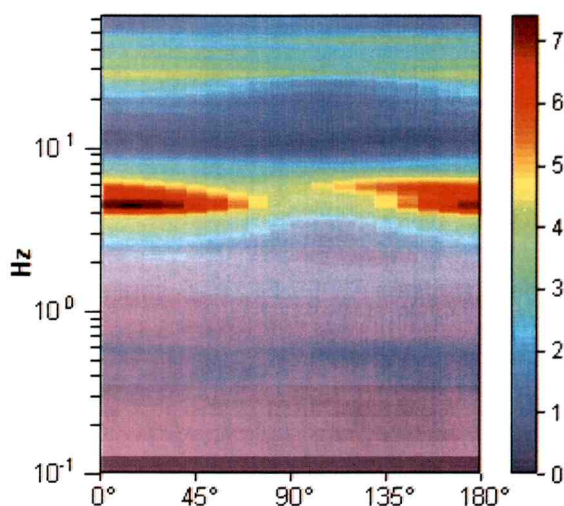
Max. H/V at 5.0 ± 0.27 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



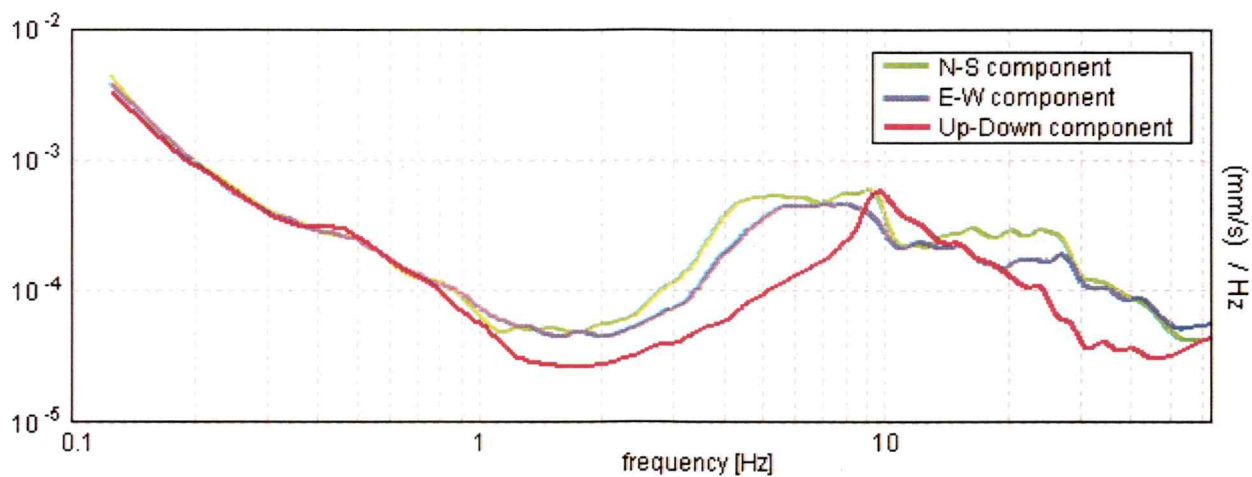
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V

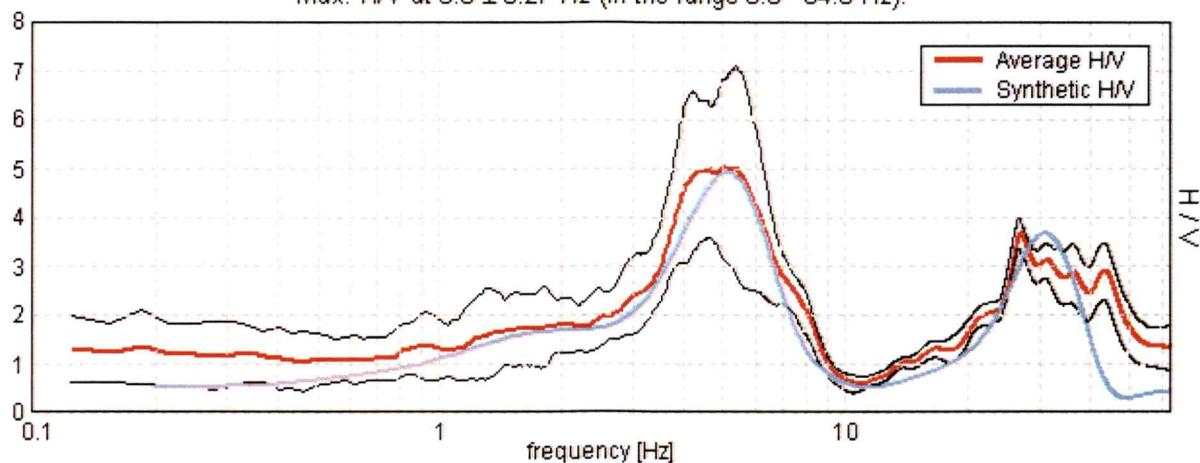


SINGLE COMPONENT SPECTRA



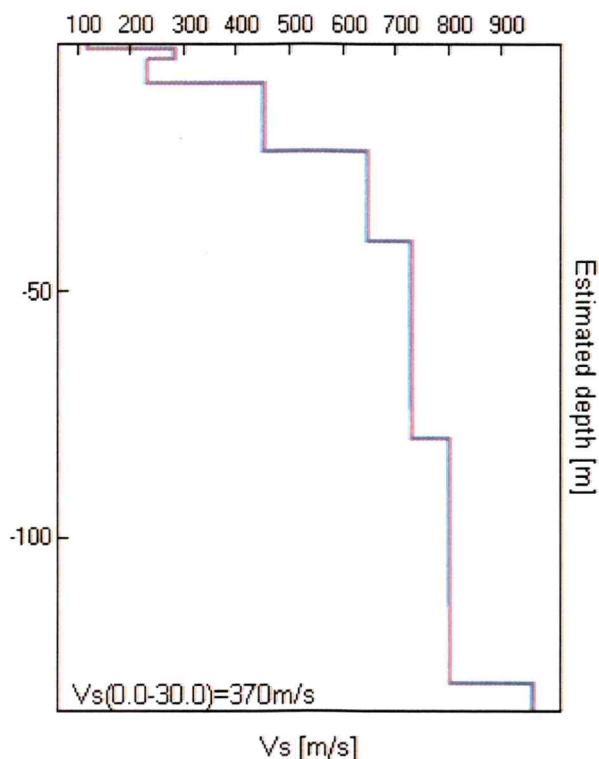
EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at 5.0 ± 0.27 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.00	1.00	115	0.38
3.00	2.00	280	0.39
8.00	5.00	230	0.39
22.00	14.00	450	0.44
40.00	18.00	645	0.45
80.00	40.00	730	0.48
130.00	50.00	800	0.48
inf.	inf.	960	0.48

Vs(0.0-30.0)=370m/s



Categoria	Descrizione
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale aumento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{sp30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $C_{u30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina)

NOTA: la categoria di sottosuolo viene stabilita in funzione del valore di V_{s30} 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.22,00 probabilmente riconducibile alla copertura alluvionale.

sismostrato 2: da m. 22,00 probabilmente correlabile alla formazione che, man mano che ci si approfondisce, manifesta migliori proprietà geofisiche con velocità delle Vs stimata a m/s 960.

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 $Hz\ 5,0 \pm 0,27$.

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 ad una **frequenza di risonanza prossima a $5,0 \pm 0,27$ 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.

[According to the SESAME, 2005 guidelines. **Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.**]

Max. H/V at 5.0 ± 0.27 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$5.00 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$4100.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$ Hz $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$ Hz	Exceeded 0 out of 241 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	3.219 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	7.469 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$5.01 > 2$	OK	
$f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$10.026731 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.13364 < 0.25$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.8502 < 1.58$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

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



FOTO 1: fasi di esecuzione del saggio n°1 nei pressi dell'attraversamento del canale di irrigazione.



FOTO 2: particolare del primo saggio, è visibile lo spessore di limo sabbioso-ghiaioso sopra le ghiaie presenti sul fondo foro.



FOTO 3: fasi di esecuzione del saggio n°2 nell'area dell'elisuperficie.



FOTO 4: particolare del secondo saggio, è visibile l'esiguo spessore di limo sabbioso-ghiaioso sopra le ghiaie presenti sul fondo foro.