

STUDIO DI GEOLOGIA APPLICATA ED IDROGEOLOGIA

Dott. Geol. Stefano Palpacelli Via S.Maria in Selva, 25/A

62010 - Treia - Macerata - Tel. 0733/561247

cod. fisc. PLP SFN 65A09 L366M - part. IVA 01173080431

DOTTORE DI RICERCA

Comune di Corridonia



Indagine geologico-tecnica relativa al progetto per la costruzione di un nuovo fabbricato da adibire a centro sociale parrocchiale luogo di culto e di preghiera, da realizzarsi da realizzarsi in via Pamprinoni – Località San Claudio.

COMMITTENTE: *Parrocchia San Claudio*

C.da San Claudio n°18 – 62014 Corridonia (MC)

Macerata li 20/06/2015



1. PREMESSA E METODOLOGIA DI INDAGINE

Su incarico della PARROCCHIA SAN CLAUDIO, è stata condotta un'indagine geologico-tecnica in località *frazione San Claudio*, nel *Comune di Corridonia* (TAVOLA I), allo scopo di verificare le condizioni di stabilità dell'area stessa e di definire la natura litologica e le caratteristiche geotecniche dei terreni sottostanti all'edificanda area, onde valutare il tipo di fondazioni più idoneo e il loro corretto dimensionamento per la costruzione di un nuovo fabbricato da adibire a centro sociale parrocchiale luogo di culto e di preghiera.

Il presente lavoro è stato elaborato in base alle direttive disposte dal P.P.A.R. di cui alla LR. 26/87, e successive circolari esplicative, e del Testo Unico per le costruzioni in zone sismiche (DM 14/01/2008).

Tale indagine è stata eseguita effettuando:

- un rilevamento di campagna sulla scorta dei dati forniti dalla recente cartografia geologica e geomorfologica;
- l'interpretazione dei risultati scaturiti dalle analisi e prove effettuate durante l'esecuzione di 2 sondaggi con trivella a rotazione a secco;
- l'esecuzione di una prova SPT in foro S2;
- una indagine geofisica con tecnica HVSR;
- il reperimento di una prova penetrometrica dinamica DPSH eseguita nella frazione di San Claudio;
- un'analisi critica dei precedenti studi effettuati nelle zone contigue all'area in esame.

Come base per gli elaborati grafici contenuti nella presente relazione, viene usata la carta topografica dell' I.G.M. in scala 1 : 25.000, le carte a curve di livello in scala 1 : 5.000 e 1:10.000 e gli elaborati grafici forniti dal Progettista.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

L'area oggetto di studio è situata sulla sinistra idrografica del fiume Chienti, alla periferia della frazione di San Claudio, a circa 87 m. s.l.m.. In particolare il fabbricato in esame è situata ai margini della "Lottizzazione Damen".

La morfologia della zona in esame si presenta pressoché pianeggiante. L'area in esame insiste infatti sui depositi alluvionali del IV^o ordine dei terrazzi fluviali sedimentati dal fiume Chienti (TAVOLA II). L'origine della morfologia terrazzata risale all'inizio dell'Era Quaternaria, quando l'alternarsi di fasi climatiche più o meno fredde (glaciali ed interglaciali) provocò imponenti fenomeni di sovralluvionamento seguiti da intense fasi erosive in conseguenza delle oscillazioni del livello di base del fiume.

Le alluvioni deposte, nella parte basale, sono costituite prevalentemente da ghiaie-sabbiose i cui elementi provengono dall'erosione della dorsale carbonatica Umbro-Marchigiana. Intercalate ai depositi ghiaiosi sono presenti lenti di materiale a granulometria più fine come sabbie, limi ed argille provenienti dallo smantellamento delle vicine aree collinari.

Il substrato geologico del materasso alluvionale è di età Pleistocenica ed è costituito da una successione marina di argille e sabbie in fitta alternanza (Associazione Pelitica -*Pliocene*).

Dal punto di vista geomorfologico, in particolare, l'area in progetto presentandosi con una leggerissima pendenza verso Est, non mostra problemi di stabilità del versante. Non si rilevano infatti dissesti riconducibili all'opera della gravità.

Per quanto riguarda forme, depositi e processi legati all'azione delle acque correnti superficiali, nella zona in esame e nelle immediate vicinanze si possono individuare solamente i depositi alluvionali terrazzati. Sono assenti infatti fenomeni quali l'erosione areale, il ruscellamento concentrato, le scarpate di erosione fluviale, ecc., in quanto dato il basso gradiente topografico e la discreta permeabilità dei terreni affioranti, gran parte delle acque di origine meteorica si infiltrano nel sottosuolo; anche dall'esame della cartografia del P.A.I. della Regione Marche (TAVOLA III) il fabbricato

in esame non ricade all'interno delle perimetrazioni delle aree a rischio idrogeologico per esondazione.

Tra le forme di origine antropica, oltre alle scarpate che bordano le strade e gli insediamenti abitativi, spicca la zona immediatamente ad ovest dell'area in studio, interamente urbanizzata (centro abitato di San Claudio).

3. CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA

Per ricreare la successione litostratigrafica dei terreni sottostanti al fabbricato in progetto si è ritenuto opportuno eseguire 2 sondaggi geognostici la cui ubicazione è riportata nella TAVOLA IV.

Dall'alto verso il basso (TAVOLA V) si riscontrano i seguenti litotipi:

- a) Terreno vegetale/riporto per uno spessore compreso tra 1.1 m (S1) e 0.5 m (S2).

- b) Orizzonte alluvionale prevalentemente fine: sabbie limose e limi sabbioso-argillosi color marrone chiaro con macule grigiastre *quasi asciutti e mediamente addensati* (S1) e limi sabbiosi e sabbie limose color marrone chiaro, *leggermente umidi e mediamente addensati* (S2).
Si rinviene fino alla profondità massima di circa -2 m (S1) rispetto la quota del p.c. attuale.

- c) Orizzonte alluvionale prevalentemente grossolano: ghiaie ciottolose in matrice sabbioso-limosa, *ben addensate*, con intercalati sottili livelli limoso-sabbiosi e sabbioso-limosi *umidi e molli*. Si rinviene immediatamente al di sotto dei litotipi sopra descritti e permane fino alla profondità massima a cui è stato spinto i sondaggi geognostici.

In profondità, durante l'esecuzione del sondaggio geognostico, giunti all'interno dell'orizzonte ghiaioso, è stata intercettata la falda acquifera a profondità comprese tra - 3.7 m (S1) e -3 m (S2) rispetto la quota del p.c. attuale.

4. CARATTERIZZAZIONE FISICO-MECCANICA DEI TERRENI

Dalle analisi e prove in sito effettuate durante l'esecuzione del sondaggio geognostico, dalla interpretazione della prova SPT in foro, dalla prova penetrometrica dinamica reperita, congiuntamente alla conoscenza dei principali parametri fisico-meccanici registrati durante lo svolgimento di altre indagini geologico-tecniche effettuate dallo scrivente nei terreni analoghi dei lotti adiacenti, sono scaturiti, per i litotipi incontrati, i seguenti parametri geomeccanici:

Depositi alluvionali a granulometria fine (litotipi "b")

γ = Peso di volume	= 1.90 ÷ 2.0 g/cm ³
C' = Coesione drenata (litotipi prevalentemente incoerenti)	= 0.0 ÷ 0.01 Kg/cm ²
ϕ' = Angolo di attrito interno (litotipi prevalentemente incoerenti)	= 24° ÷ 28°
E_d = Modulo edometrico	= 45 ÷ 60 Kg/cm ²
K_w = Coefficiente di sottofondo	= 1.5 ÷ 2.0 kg/cm ³

Depositi alluvionali a granulometria più grossolana (litotipi "c")

γ = Peso di volume	= 1.90 ÷ 1.95 g/cm ³
ϕ' = Angolo di attrito interno	> 32°
E = Modulo elastico	= 250 ÷ >450 Kg/cm ²
K_w = Coefficiente di sottofondo	= 4 ÷ 7 kg/cm ³

NB: per quanto riguarda i valori dei parametri caratteristici si rimanda alla caratterizzazione geotecnica del calcolo della portanza dell'Ing. Strutturista

5. IDROGRAFIA ED IDROGEOLOGIA

L'idrografia superficiale naturale della zona è poco sviluppata in relazione alla elevata permeabilità che caratterizza i depositi alluvionali in questione; essa, la dove è presente, risulta condizionata dall'antropizzazione dovuta soprattutto ai lavori di lottizzazione. Comunque la maggior parte delle acque di origine meteorica, grazie anche al basso gradiente topografico, si infiltrano nel sottosuolo e vanno ad alimentare la falda idrica sotterranea.

Per quanto riguarda le acque sotterranee, durante l'esecuzione dei sondaggi geognostici, giunti all'interno dell'orizzonte ghiaioso, è stata intercettata la falda acquifera a profondità comprese tra -3.7 m (S1) e -3 m (S2) rispetto la quota del p.c. attuale.

6. AZIONE SISMICA

Con riferimento al *Testo Unico – Norme tecniche per le costruzioni*, è determinato il valore della V_{S30} (*velocità media di propagazione entro 30 metri di profondità delle onde di taglio*), mediante indagine geofisica con tecnica HVSR.

I risultati della prova hanno permesso di classificare i terreni di imposta della costruzione in esame come appartenenti alla **categoria di suolo "C"** – *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu_{,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).*

Per maggiori dettagli si rimanda al rapporto della prova HVSR di cui all'ALLEGATO I.

6.1 - TEMPO DI RITORNO DEL TERREMOTO DI RIFERIMENTO E PARAMETRI DI PERICOLOSITÀ SISMICA

Parametri sismici

determinati con **GeoStru PS** <http://www.geostru.com/geoapp>

Le coordinate geografiche espresse in questo file sono in ED50

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii

Sito in esame.

latitudine: 43,275108 [°]

longitudine: 13,505623 [°]

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.

Vita nominale: 100 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Siti di riferimento.

	ID	Latitudine [°]	Longitudine [°]	Distanza [m]
Sito 1	22311	43,284960	13,490020	1672,0
Sito 2	22312	43,284950	13,558690	4433,0
Sito 3	22534	43,234940	13,558670	6197,2
Sito 4	22533	43,234950	13,490030	4640,5

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 150 anni

Coefficiente cu: 1,5

	Prob. superament o [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	90	0,087	2,431	0,306
Danno	63	151	0,110	2,446	0,315

(SLD)					
Salvaguardia della vita (SLV)	10	1424	0,266	2,476	0,343
Prevenzione e dal collasso (SLC)	5	2475	0,321	2,499	0,352

Coefficienti Sismici

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s ²]	Beta [-]
SLO	--	--	--	0,012	0,006	0,600	0,200
SLD	--	--	--	0,015	0,007	0,600	0,240
SLV	--	--	--	0,017	0,009	0,600	0,280
SLC	--	--	--	0,017	0,009	0,600	0,280

6.2 - CATEGORIE TOPOGRAFICHE

In base alla Tabella 3.2.IV – *Categorie topografiche* (Testo Unico per le costruzioni in zone sismiche – D.M. 14/01/2008) che individua n.4 CATEGORIE CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE TOPOGRAFICA:

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

la zona in esame appartiene alla categoria caratteristica T1.

7. FONDAZIONI

Per la costruzione del nuovo fabbricato da adibire a centro sociale parrocchiale luogo di culto e di preghiera, tenuto conto della presenza di un locale seminterrato e della successione stratigrafica rinvenuta, potrà essere realizzata una *fondazione diretta rigida* del tipo *platea nervata o graticcio di travi rovesce* impostata in ogni punto del perimetro fondale nei depositi alluvionali a granulometria grossolana (ghiaie: litotipo "c").

7.1 - NORMATIVE DI RIFERIMENTO

D.M. LL.PP. del 11/03/1988

Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

D.M. LL.PP. del 14/02/1992

Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.

D.M. 9 Gennaio 1996

Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche

D.M. 16 Gennaio 1996

Norme Tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi

D.M. 16 Gennaio 1996

Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche

Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996

Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996

Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20.3.2003

Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.

Norme tecniche per le Costruzioni 2008

Norme tecniche per le costruzioni D.M. 14 gennaio 2008

Eurocodice 7

Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali.

Eurocodice 8

Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.

8. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Dall'analisi comparativa degli elementi sopra evidenziati di ordine topografico, geomorfologico, litostratigrafico, geotecnico ed idrogeologico, per la costruzione del nuovo fabbricato da adibire a centro sociale parrocchiale luogo di culto e di preghiera si consiglia quanto segue:

- realizzare una *fondazione diretta rigida* del tipo *platea nervata o graticcio di travi rovesce* impostata in ogni punto del perimetro fondale nei depositi alluvionali a granulometria grossolana (ghiaie: litotipo "c");
- che gli scavi delle fondazioni risultino sempre ben puliti e privi di materiale rimosso;
- che tutte le operazioni di scavo vengano eseguite con modalità e geometrie tali da garantire il pieno rispetto delle norme di sicurezza vigenti in materia;
- che tutti i fronti di scavo siano tempestivamente sostenuti e, a tergo delle pareti controterra in progetto, venga realizzato un efficace drenaggio la cui quota basale sia posizionata ad almeno -0.3 m rispetto la quota del piano di sbancamento basale;
- di adottare i parametri di angolo di attrito interno e coesione residui nel calcolo del coefficiente di spinta attiva (K_a) e nella valutazione della spinta sulle pareti controterra in C.A.;
- che i getti di calcestruzzo abbiano luogo entro breve termine dall'ultimazione degli scavi e che siano eseguiti accuratamente;
- il convogliamento delle acque piovane, raccolte dalle grondaie, presso il collettore fognario principale;
- un'adeguata regimazione delle acque meteoriche, per un intorno idrogeologico e geomorfologico significativo;
- l'allontanamento dall'area del materiale prodotto durante gli scavi.

Macerata li 20 giugno 2015

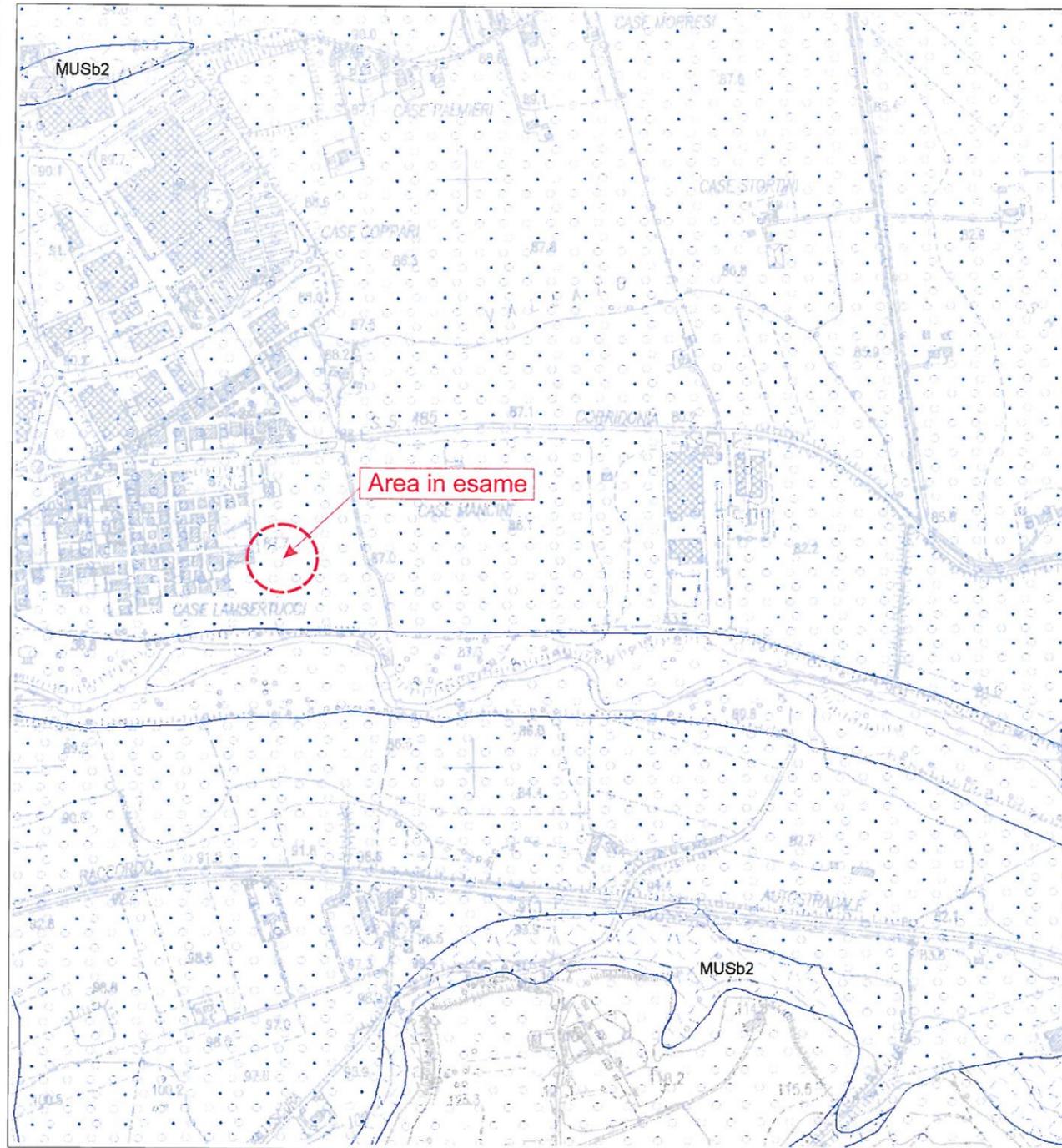


TAVOLE:

- I) Corografia
- II) Stralcio Carta geologica C.A.R.G. Regione Marche
- III) Stralcio cartografia P.A.I. Regione Marche
- IV) Planimetria
- V) Stratigrafie
- VI) Sezione Geologico-Stratigrafica

ALLEGATI:

- I) Indagine geofisica HVSR
- II) Prova penetrometrica DPSH reperita



LEGENDA GEOLOGICA

DEPOSITI CONTINENTALI QUATERNARI VERSANTE MARCHIGIANO

SINTEMA DEL MUSONE (GLOCENE)

-  MUSa1q Frane senza indizi di evoluzione
-  MUSb2 Depositi eluvio-colluviali
-  MUSb Depositi alluvionali attuali (ghiaia, sabbia, limo)
-  MUSbn Depositi alluvionali terrazzati (ghiaia, sabbia, limo)

SINTEMA DI MATELICA (PLEISTOCENE SUPERIORE)

-  MT1bn Depositi alluvionali terrazzati (ghiaia, sabbia, limo)

SUPERSINTEMA DI COLLE ULIVO-COLONIA MONTANI (PLEISTOCENE MEDIO SOMMITALE)

-  ACbn Depositi alluvionali terrazzati (ghiaia, sabbia, limo)

SINTEMA DI URBISAGLIA (PLEISTOCENE INFERIORE MEDIO - MEDIO)

-  URSbn Depositi alluvionali terrazzati (ghiaia, sabbia, limo)
-  URSb8 Depositi di glaciai antichi

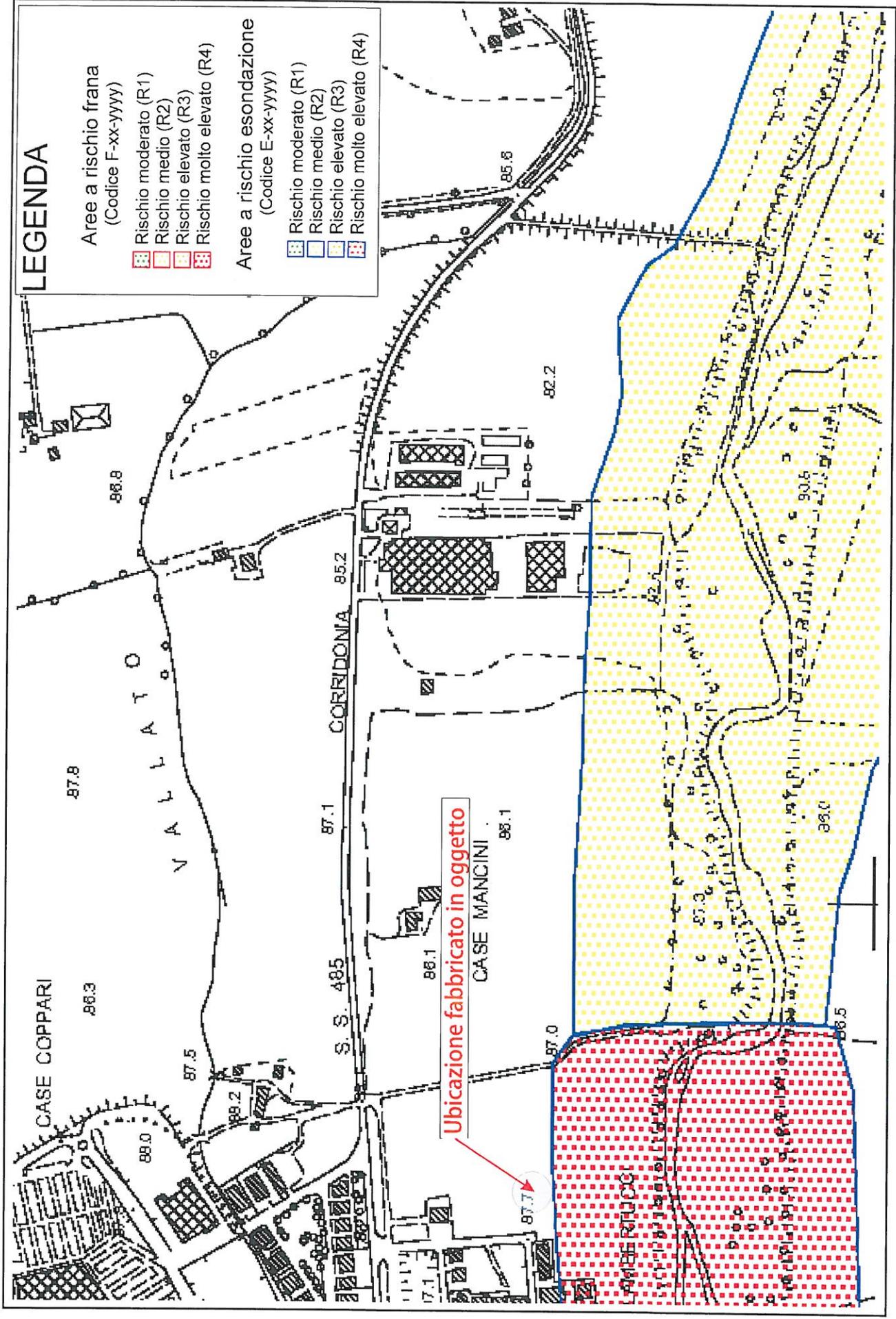
SUCCESSIONE UMBRO-MARCHIGIANO-ROMAGNOLA SUCCESSIONE PLOCIENICA

-  FAA5 FORMAZIONE DELLE ARGILLE AZZURRE
Membro di Offida
Zancleano p.p. - Santerniano
-  FAA5d FORMAZIONE DELLE ARGILLE AZZURRE
Membro di Offida
Litofacies arenaceo-pelitica
Zancleano p.p. - Santerniano
-  FAA5e FORMAZIONE DELLE ARGILLE AZZURRE
Membro di Offida
Litofacies pelitico-arenacea
Zancleano p.p. - Santerniano
-  FAA5f FORMAZIONE DELLE ARGILLE AZZURRE
Membro di Offida
Litofacies pelitica
Zancleano p.p. - Santerniano

-  Contatto stratigrafico e/o litologico
-  Stratificazione diretta
-  Stratificazione orizzontale diretta

CARTA GEOLOGICA C.A.R.G. REGIONE MARCHE (Stralcio)

Tavola II
Scala 1:10.000



LEGENDA

Aree a rischio frana
(Codice F-xx-yyyy)

-  Rischio moderato (R1)
-  Rischio medio (R2)
-  Rischio elevato (R3)
-  Rischio molto elevato (R4)

Aree a rischio esondazione
(Codice E-xx-yyyy)

-  Rischio moderato (R1)
-  Rischio medio (R2)
-  Rischio elevato (R3)
-  Rischio molto elevato (R4)

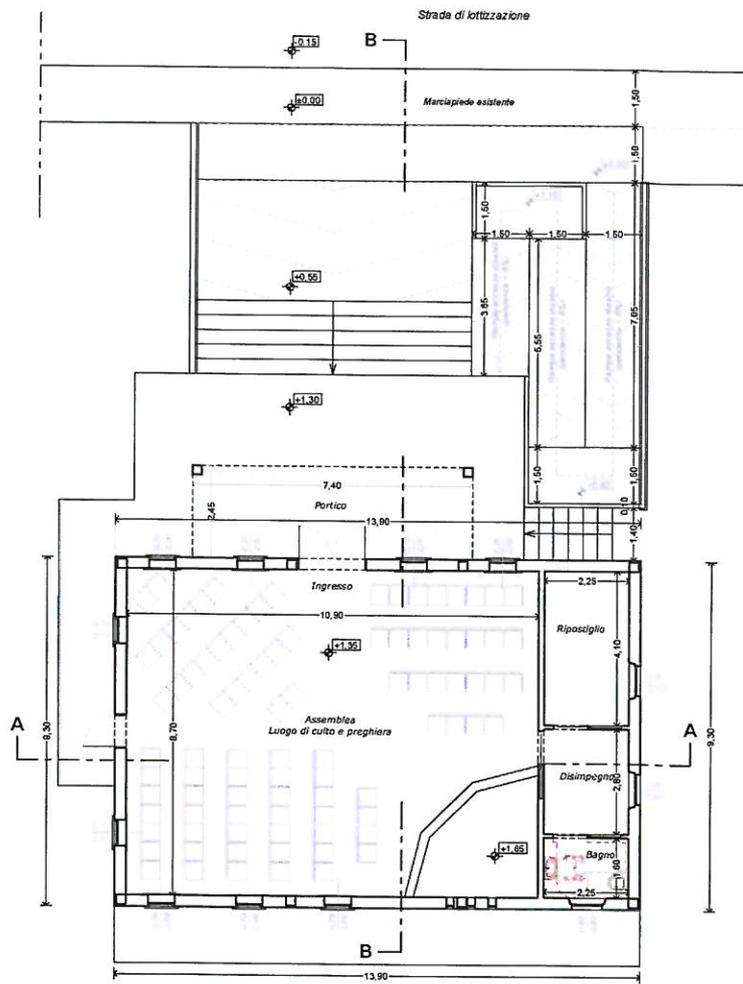
Ubicazione fabbricato in oggetto

PLANIMETRIA

S1 ●

HVSR1 

Pianta Piano TERRA



● S2

S1 ● Ubicazione sondaggi geognostici

HVSR1  Indagine geofisica HVSR

Scala 1: 200

Stratigrafia

Committente: <i>Parrocchia San Claudio</i>		Località: <i>Frazione San Claudio - CORRIDONIA (MC)</i>		SONDAGGIO n. 1				
Data: <i>14/02/2014</i>								
Profondità Prelievo	Litologia	Falda idrica	DESCRIZIONE TERRENO	Coesione Kg/cm ^q	Resistenza a compressione Kg/cm ^q	S. P. T.		
						h	Δ h	L
0.00								
0.50	1.10		<i>Terreno di riporto: ghiaie</i>					
1			<i>Terreno vegetale</i>					
2	2.00		<i>Orizzonte alluvionale</i> Sabbie limose e limi sabbioso-argillosi color marrone chiaro con macule grigiastre <i>quasi asciutti e mediamente addensati</i> .					
3	2.70		Ghiaie sabbiose di taglia medio-fine con ciottoli, con matrice sabbiosa, <i>asciutte e mediamente addensate</i> .					
3	3.00		Limi sabbiosi color marrone/grigiastro con granuli ghiaiosi, <i>umidi e plastici</i> .					
4			Ghiaie di taglia medio-grossolana con ciottoli, con scarsa percentuale di matrice sabbiosa, <i>sature e mediamente addensate</i> . Copiose venute idriche a partire da circa -3.70 m.					
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								

Tavola V

Stratigrafia

Committente: <i>Parrocchia San Claudio</i>		Località: <i>Frazione San Claudio - CORRIDONIA (MC)</i>		SONDAGGIO n. 2			
Data: <i>14/02/2014</i>		Coesione Kg/cm ^q	Resistenza a compressione Kg/cm ^q	S. P. T.			
Profondità Prelievo	Litologia			Falda idrica	DESCRIZIONE TERRENO	h	Δ h
	0.00						
	0.50						
1	1.00						
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							

Terreno vegetale

Orizzonte alluvionale

Limi sabbiosi e sabbie limose color marrone chiaro, *leggermente umidi e mediamente addensati.*

Ghiaie di taglia medio-grossolana con ciottoli, con scarsa percentuale di matrice sabbiosa, *asciutte e mediamente addensate.*
Copiose venute idriche a partire da circa -3 m.

Nspt = 23

Tavola V



Cerreto d'Esse il 28 gennaio 2014
Comm.: Dr. Geol. Stefano Palpacelli
Cant.: loc. San Claudio - Corridonia
Indagine HVSR - N°: 1 del: 24/02/2014

Introduzione e riferimenti normativi

Scopo dell'indagine HVSR, eseguita mediante tomografo digitale, è la determinazione della categoria sismica del suolo per il calcolo dell'azione sismica di progetto in funzione del parametro V_{s30} (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.

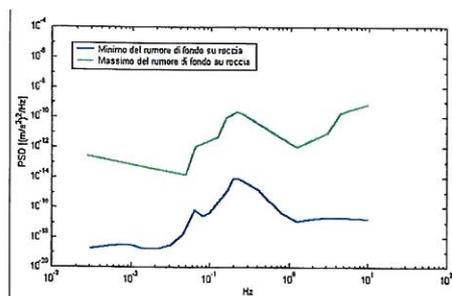


Fig.1: Modelli standard del rumore sismico massimo (in verde) e minimo (in blu) per la Terra

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



Cerreto d'Esi il 28 gennaio 2014
 Comm.: Dr. Geol. Stefano Palpacelli
 Cant.: loc. San Claudio - Corridonia
 Indagine HVSR - N°: 1 del: 24/02/2014

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.

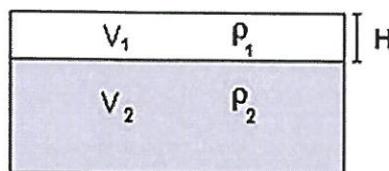


Fig. 2: Mezzo a 2 strati caratterizzati da densità ρ e velocità di propagazione V

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



Cerreto d'Esi il 28 gennaio 2014
 Comm.: Dr. Geol. Stefano Palpacelli
 Cant.: loc. San Claudio - Corridonia
 Indagine HVSR - N°: 1 del: 24/02/2014

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 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:

$$H = \left[\frac{V_0^2 (1 - \alpha^2)}{4\zeta_1} + 1 \right]^{1/(1-\alpha)} - 1$$

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 (artt.2575 e seg. C.C.). Vietata la riproduzione senza il preventivo consenso



Cerreto d'Esi il 28 gennaio 2014
 Comm.: Dr. Geol. Stefano Palpacelli
 Cant.: loc. San Claudio - Corridonia
 Indagine HVSR - N°: 1 del: 24/02/2014

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].

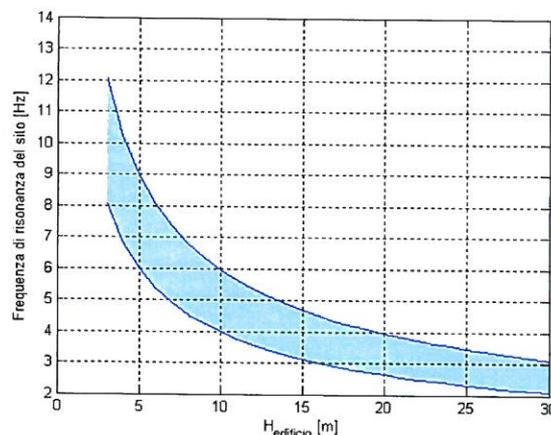


Fig 3: Relazione tra altezza di un edificio in c.a. e frequenza di risonanza del sito investigato: la zona in blu indica l'area più vulnerabile dal punto di vista dei fenomeni di doppia risonanza.

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



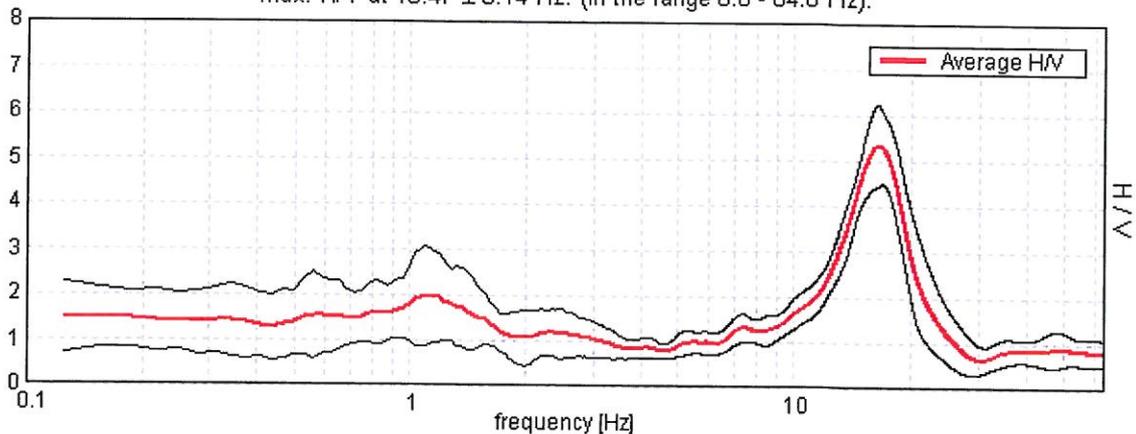
Cerreto d'Esì il 28 gennaio 2014
 Comm.: Dr. Geol. Stefano Palpacelli
 Cant.: loc. San Claudio - Corridonia
 Indagine HVSR - N°: 1 del: 24/02/2014

Comm: Dr. Geol. Stefano Palpacelli - Cant.: Loc. San Claudio – Corridonia (MC)

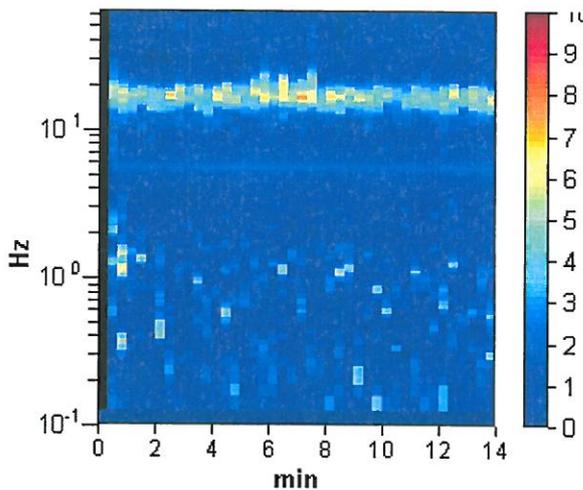
Cielo	Sereno	Vento	Assente	Precipitazioni	Assenti	Orientamento	0°N
-------	--------	-------	---------	----------------	---------	--------------	-----

Instrument: TEP-0040/01-09
 Start recording: 24/02/14 13:20:09 End recording: 24/02/14 13:34:10
 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN
 GPS location: 013°30.2708 E, 43°16.4815 N (93.1 m)
 (UTC time synchronized to the first recording sample): not available in this acquisition mode + 0 samples
 Satellite no.: 06
 Trace length: 0h14'00". Analyzed 98% trace (manual window selection)
 Sampling rate: 128 Hz
 Window size: 20 s
 Smoothing type: Triangular window
 Smoothing: 10%

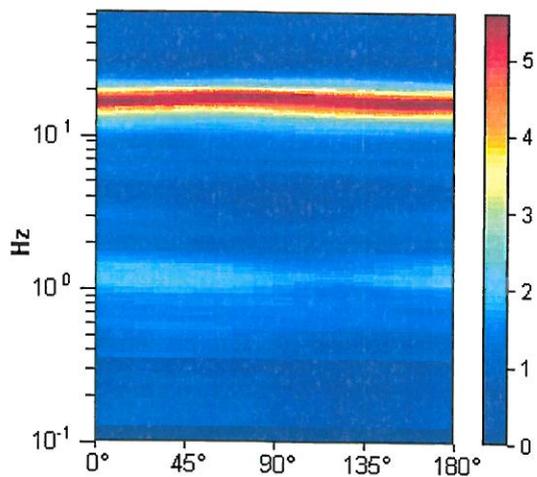
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO
 Max. H/V at 16.47 ± 0.14 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



H/V TIME HISTORY

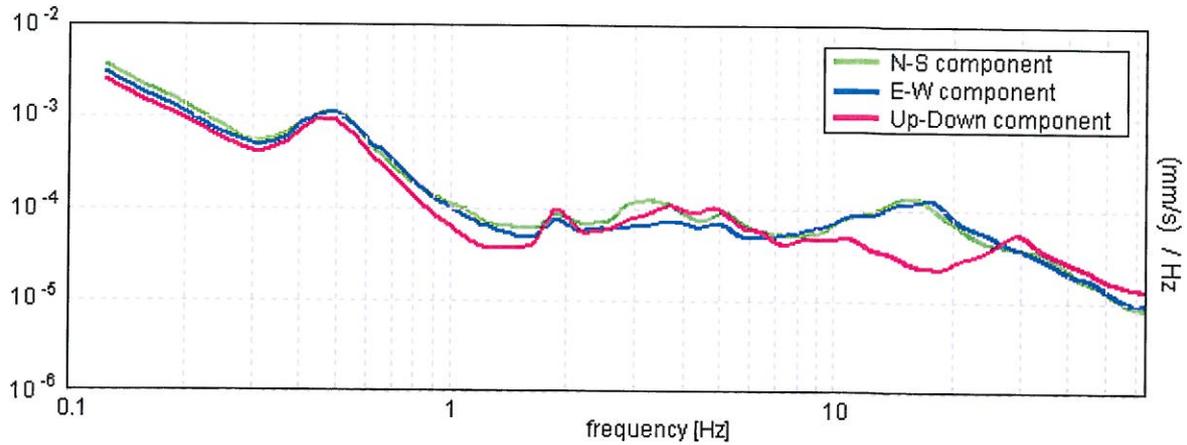


DIRECTIONAL H/V

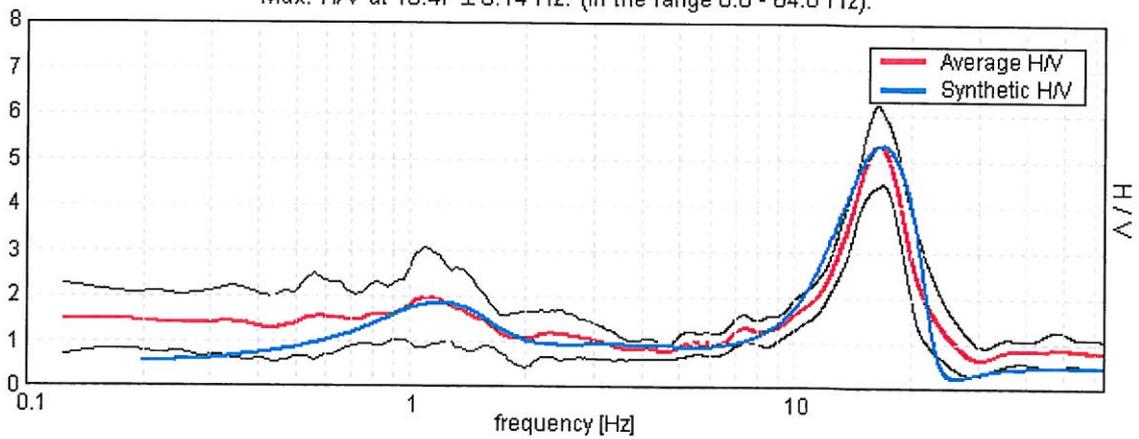


* documento soggetto a diritti di autore (artt.2575 e seg. C.C.). Vietata la riproduzione senza il preventivo consenso

SINGLE COMPONENT SPECTRA



EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V
 Max. H/V at 16.47 ± 0.14 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).

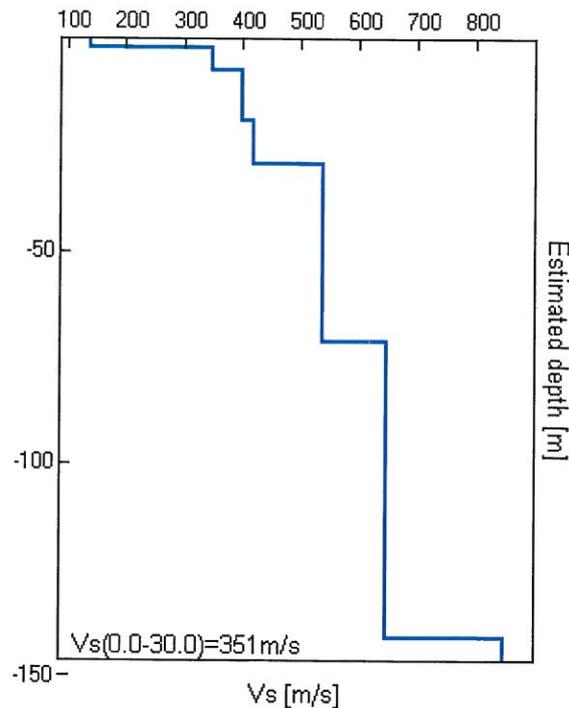


Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
2.20	2.20	138	0.38
7.20	5.00	350	0.40
19.20	12.00	400	0.42
29.20	10.00	420	0.45
71.20	42.00	540	0.45
141.20	70.00	650	0.48
inf.	inf.	850	0.49

$V_s(0.0-30.0)=351\text{m/s}$



Cerreto d'Esi il 28 gennaio 2014
 Comm.: Dr. Geol. Stefano Palpacelli
 Cant.: loc. San Claudio - Corridonia
 Indagine HVSR - N°: 1 del: 24/02/2014



Categoria	Descrizione
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente 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 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{sp30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < C_{u30} < 250$ 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.19,20 probabilmente riconducibile in alla alluvionale.

sismostrato 2: da m. 19,20 correlabile alla formazione caratterizzata da velocità delle onde progressivamente crescenti con la profondità fino ad un valore stimato di Vs pari a m/s 850.

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 $16,47 \pm 0,14$.

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 $16,47 \pm 0,14$ 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.



Cerreto d'Esi il 28 gennaio 2014
 Comm.: Dr. Geol. Stefano Palpacelli
 Cant.: loc. San Claudio - Corridonia
 Indagine HVSR - N°: 1 del: 24/02/2014

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

Max. H/V at 16.47 ± 0.14 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	16.47 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	13504.4 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 792 times	OK	
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	12.688 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	20.406 Hz	OK	
$A_0 > 2$	5.32 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00407 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.06702 < 0.82344$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.4349 < 1.58$	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



Cerreto d'Esi il 28 gennaio 2014
Comm.: Dr. Geol. Stefano Palpacelli
Cant.: loc. San Claudio - Corridonia
Indagine HVSR - N°: 1 del: 24/02/2014

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH: RAPPRESENTAZIONE GRAFICA

H (m)	NC	q _d (Kg/cm ²)
0,2	48	481,62
0,4	38	351,98
0,6	24	222,30
0,8	17	157,46
1,0	10	92,63
1,2	3	27,79
1,4	3	25,80
1,6	3	25,80
1,8	4	34,41
2,0	11	94,61
2,2	8	68,81
2,4	4	32,11
2,6	3	24,08
2,8	11	88,31
3,0	19	152,54
3,2	20	160,56
3,4	12	90,32
3,6	14	105,37
3,8	20	150,53
4,0	15	112,90
4,2	20	150,53
4,4	20	141,68
4,6	13	92,09
4,8	16	113,35
5,0	5	35,42
5,2	3	21,25
5,4	4	26,76
5,6	5	33,45
5,8	6	40,14
6,0	7	46,84
6,2	7	46,84
6,4	8	50,71
6,6	8	50,71
6,8	10	63,39
7,0	11	69,73
7,2	11	69,73
7,4	11	66,24
7,6	11	66,24
7,8	11	66,24
8,0	12	72,26
8,2	42	252,92
8,4	46	263,62
8,6	39	223,68
8,8	rifiuto	
9,0		
9,2		
9,4		
9,6		
9,8		
10,0		
10,2		
10,4		
10,6		
10,8		
11,0		
11,2		
11,4		
11,6		
11,8		
12,0		
12,2		
12,4		
12,6		
12,8		
13,0		
13,2		
13,4		
13,6		
13,8		
14,0		
14,2		

