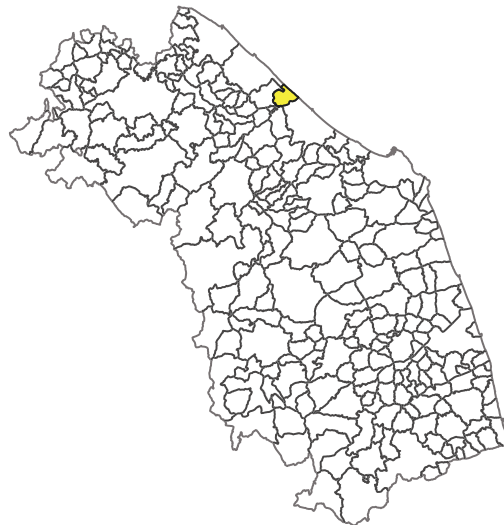


Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n. 77
Programma regionale degli studi di microzonazione sismica e CLE. Annualità 2018

MICROZONAIONE SISMICA

Relazione illustrativa microzonazione sismica Iv.2

Regione Marche
Mondolfo



Regione



Soggetto realizzatore

Dott. Geol. Alberto Antinoli
Via Mombaroccese 22 - 61036
Colli al Metauro (PU)
Tel./Fax 0721 898273
Cell. 368-7492585

Collaboratore:
Dott. Geol. Saul Mascellini
Via dell'ospedale 8 - 61043
Cagli (PU)
Cell. 339-7525746

Data

Dicembre 2018



Sommario

1. INTRODUZIONE.....	2
2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE E DEGLI EVENTI SISMICI DI RIFERIMENTO	3
3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	5
4. SINTESI DELLA MICROZONAZIONE DI PRIMO LIVELLO	8
5. MICROZONAZIONE DI SECONDO LIVELLO, DATI GEOFISICI	14
5.1 Down Hole	14
5.2 HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)	14
5.2.1 MOPS 2001	15
5.2.2 MOPS 2003	16
5.2.3 MOPS 2004	17
5.2.4 MOPS 2005	19
5.3 MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves).....	22
5.4 SASW (Spectral Analysis of Surface Waves)	22
5.5 Rifrazione sismica.....	22
5.6 Analisi delle registrazioni	23
6.1 Modalità e applicazione degli abachi.....	25
6.2 Attribuzione dei Fattori di Amplificazione	27
6.2.1 Dominio Terrigeno.....	27
6.2.2 Dominio Alluvionale.....	27

Allegati:

- Report registrazioni HVSR
- Report registrazioni sismiche MASW e SASW

DITTA: COMUNE DI MONDOLFO		Pagina 1
OGGETTO: Microzonazione sismica di 2° livello	Rif. Lavoro : 1466	Dicembre 2018



1. INTRODUZIONE

La presente relazione illustrativa espone i risultati dello studio di microzonazione sismica di 2° livello del territorio di Mondolfo, eseguito ai sensi dell'O.C.D.P.C. n°344 del 09/05/2016, su incarico del Dirigente Responsabile del Settore IV° Urbanistica del Comune di Mondolfo, dott. arch. Fabiano Zigliani.

Lo studio è consistito nell'analisi dello studio di Microzonazione Sismica di 1° livello¹, eseguito nel 2013 dal geol. Sergenti Massimo, nell'acquisizione dei dati di natura geologica e geofisica presenti presso l'archivio comunale, integrati poi con indagini geofisiche eseguite specificatamente per le finalità della microzonazione, in modo da ottenere una più accurata suddivisione, dal punto di vista del comportamento sismico, delle aree a maggiore urbanizzazione.

Nella revisione della MS1 è stata aggiunta la parte di nuovo territorio precedentemente ricadente nel comune di Fano, armonizzando le MOPS di Fano con quelle di Mondolfo.

Il territorio comunale è prevalentemente pianeggiante, con quote nel fondovalle comprese tra 0 e 40 metri sul livello del mare, valori che si elevano nella zona collinare alla quota massima di 156 m s.l.m. in prossimità del nucleo storico di Mondolfo.

La superficie complessiva è di 24,3 km², dei quali circa 16,1 km² pianeggianti o sub pianeggianti.

Le aree urbanizzate o di espansione previste nel Piano Regolatore Generale, insistono in massima parte lungo la costa (area periurbana di Marotta), mentre nella zona collinare si concentrano attorno all'abitato storico di Mondolfo, comprese le aree di recente urbanizzazione che si concentrano a Sud, lungo la strada che collega Mondolfo alla S.P. Pergolese. La distribuzione spaziale delle indagini geofisiche riflette fedelmente l'assetto urbano; la quasi totalità dei dati disponibili presso l'archivio comunale si concentra nella frazione di Marotta, nelle aree di nuova edificazione a valle del nucleo storico e nelle aree produttive disposte lungo la Pergolese e via Sterpettine. In accordo con l'ufficio tecnico comunale, si è quindi deciso di restringere l'area da microzonare a queste zone e a quelle che, in prospettiva, possono essere interessate da espansione urbana residenziale o produttiva.

Complessivamente è stata sottoposta a microzonazione di secondo livello una superficie di circa 9 km², pari al 37% del territorio comunale.

La tabella seguente riporta la ripartizione delle aree sottoposte a microzonazione sismica:

Zona	Area interessata	Superficie coinvolta in km ²	% (sul totale MS2)
A	Mondolfo Centocroci	2,9	32
B	Marotta ²	6,1	68

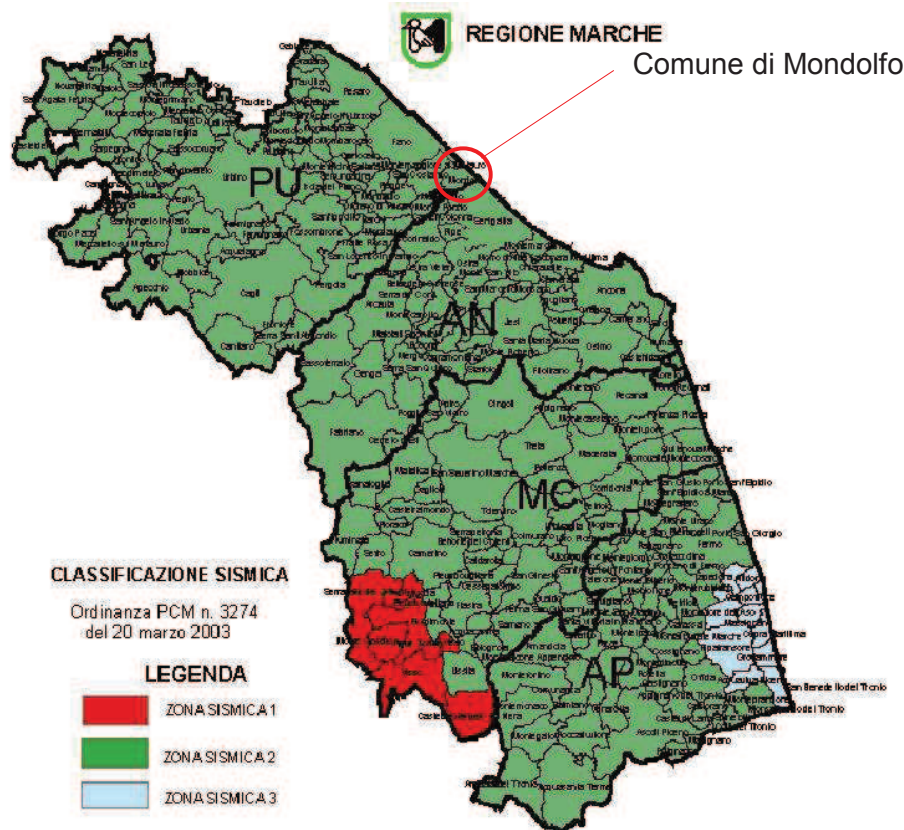
Tabella 1

¹ Le mappe sono state aggiornate ai nuovi standard di rappresentazione.

² Compresa la porzione di territorio precedentemente ricompresa nel Comune di Fano

2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE E DEGLI EVENTI SISMICI DI RIFERIMENTO

La Regione Marche con Delibera della Giunta Regionale n°1046 del 29.07.2003 inserisce il territorio comunale nella zona 2 dei comuni italiani classificati sismici, cui corrisponde un valore di picco dell'accelerazione $A/g = 0,25$.



Pericolosità sismica nella Regione Marche

In base alla zonazione sismogenetica ZS9, il territorio comunale ricade nella zona 917, contraddistinta da un regime tettonico debolmente compressivo, le cui strutture sismogenetiche sono allineate lungo la costa o verso mare, a una profondità efficace compresa tra 5 e 8 km.

Con l'Ordinanza PCM del 28/04/2006 n°3519, All.1b, la quale ha definito la pericolosità sismica del territorio nazionale, espressa in termini di accelerazione massima del suolo, con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita ai suoli rigidi ($V_s > 800$ m/s), al territorio comunale è riferita una accelerazione a_g orizzontale massima convenzionale su suolo di tipo A, compresa tra 0,175 e 0,200 g.

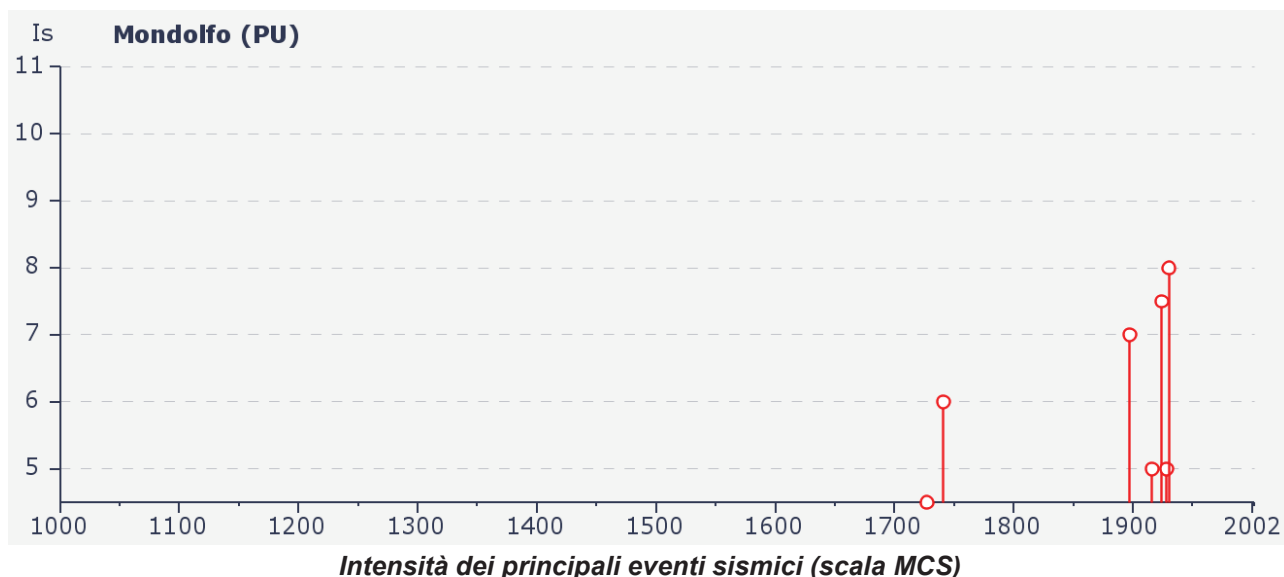
Per il comune di Mondolfo gli eventi sismici registrati nel Database Macrosismico Italiano, messo a disposizione dall'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia), in cui sono registrati gli eventi macrosismici del territorio nazionale dal 1741, sono 14, come meglio specificato nella tabella seguente:

DITTA: COMUNE DI MONDOLFO	Pagina 3
OGGETTO: Microzonazione sismica di 2° livello	Rif. Lavoro : 1466 Dicembre 2018

Numero di eventi: 14

Effetti	In occasione del terremoto del:								
Is	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Area epicentrale	Np	Ix	Mw
4-5	1727	12	14	19	45	S.LORENZO IN CAMPO	32	7	5.18
6	1741	04	24	09	20	FABRIANESE	135	9	6.08
7	1897	09	21			ADRIATICO CENTRALE	44	7	5.50
2	1898	06	27	23	38	RIETI	186	8	5.48
NF	1904	11	17	05	02	PISTOIESE	204	7	5.18
NF	1907	01	23	00	25	ADRIATICO CENTRALE	93	5	4.84
5	1916	05	17	12	50	Alto Adriatico	130	8	5.85
7-8	1924	01	02	08	55	SENIGALLIA	73	7-8	5.59
5	1928	05	30	20	01	ADRIATICO CENTRALE	17	5	5.06
8	1930	10	30	07	13	SENIGALLIA	263	8-9	5.94
4	1962	01	23	17	31	ADRIATICO	49	6	5.03
NF	1993	06	05	19	16	GUALDO TADINO	326	6	4.92
3-4	1997	09	26	09	40	Appennino umbro-march.	869	9	6.05
3-4	1998	03	26	16	26	APPENNINO UMBRO-MARCH.	408	6-7	5.33

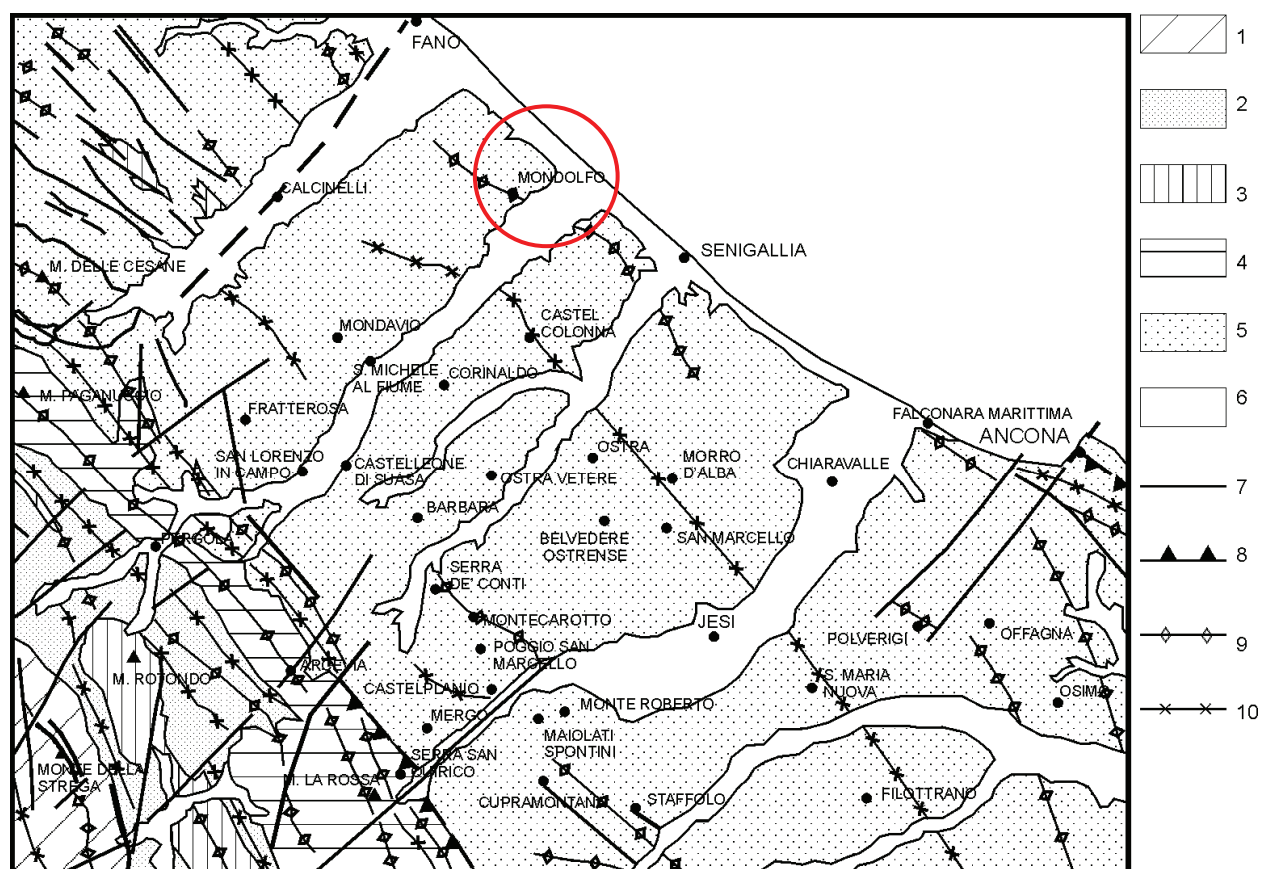
Quadro sinottico degli eventi sismici che hanno interessato il territorio comunale



3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

Come buona parte della provincia di Pesaro e Urbino, il territorio di Mondolfo appartiene al dominio Umbro-Marchigiano, che chiude a sud l'appennino settentrionale.

L'unità fondamentale che riguarda direttamente l'area di studio è il Bacino Marchigiano Esterno o Avanfossa Marchigiana, confinata tra la catena appenninica a ovest e il Mare Adriatico a est, bacino questo caratterizzato essenzialmente da sedimenti plio-pleistocenici e, subordinatamente, da quelli miocenici che vanno a costituire l'ossatura dei principali rilievi collinari.

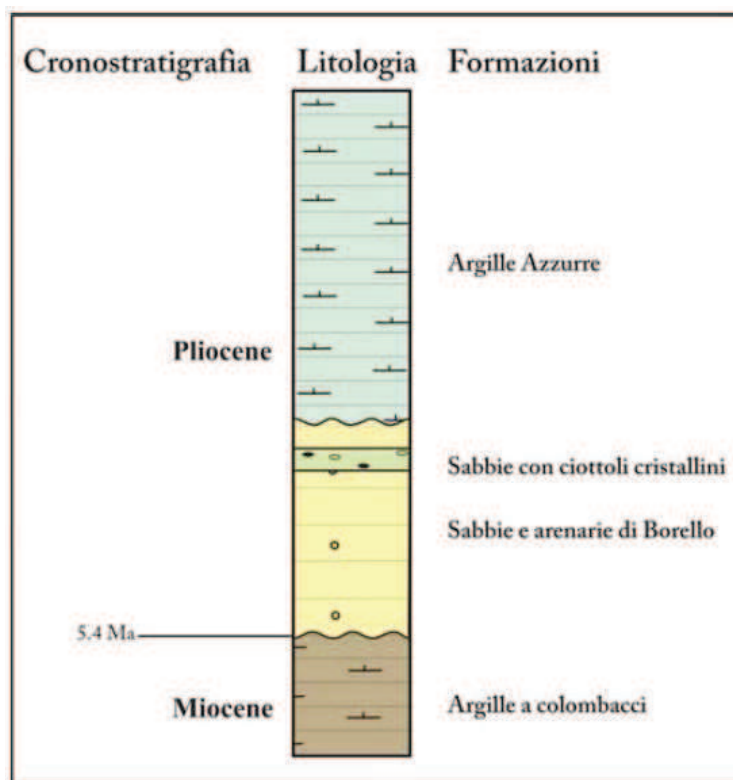


1) dorsale umbro marchigiana; 2) bacino marchigiano interno; 3) dorsali minori; 4) dorsale marchigiana; 5) bacino marchigiano esterno; 6) pianure alluvionali; 7) principali faglie; 8) principali sovrascorimenti; 9) principali assi di anticlinali; 10) principali assi di sinclinali.

Schema geologico-strutturale della porzione di regione d'interesse

Il termine più antico che caratterizza l'area collinare di Mondolfo è rappresentato dalle Argille Azzurre del Pliocene, di cui affiora, nel nucleo storico, il membro inferiore delle "Sabbie e Arenarie di Borello" caratterizzato da una litofacies arenitico-pelitica, che si differenzia in modo marcato dal membro superiore, composto da argille e argille-marnose grigio-azzurre.

Al disotto delle Argille Azzurre è presente la formazione delle "Argille a Colombacci", qui mai affiorante; il passaggio tra Miocene e Pliocene è costituito da una superficie di discordanza nota come *trasgressione medio-pliocenica*.



Schema litostratigrafico dell'area collinare di Mondolfo³

La formazione pliocenica è ricoperta da una coltre detritica colluviale e residuale, a prevalente composizione argilloso-sabbiosa, avente spessori variabili da 1 – 2 metri sino a oltre 10 m in corrispondenza dei principali impluvi.

All'interno del nucleo storico di Mondolfo è invece sub-affiorante (sabbie e arenarie di Borello) o preceduta da materiale eterogeneo di deposizione antropica.

Nel Pleistocene-Olocene, tutta l'area è stata interessata da un sollevamento generalizzato che ha portato all'emersione di questa porzione di regione.

In ambiente prettamente continentale, i corsi d'acqua che scorrevano dai retrostanti rilievi della dorsale appenninica, si sono fatti strada lungo le terre che emergendo tendevano a corrugarsi, aprendosi valli e "tagliando" ortogonalmente le principali strutture plicative.

Successivamente i solchi vallivi si sono andati colmando durante il Pleistocene medio-superiore e l'Olocene, per fenomeni ciclici di fasi deposizionali e erosive, legate a cause tettoniche, eustatiche, climatiche e alla loro reciproca interazione.

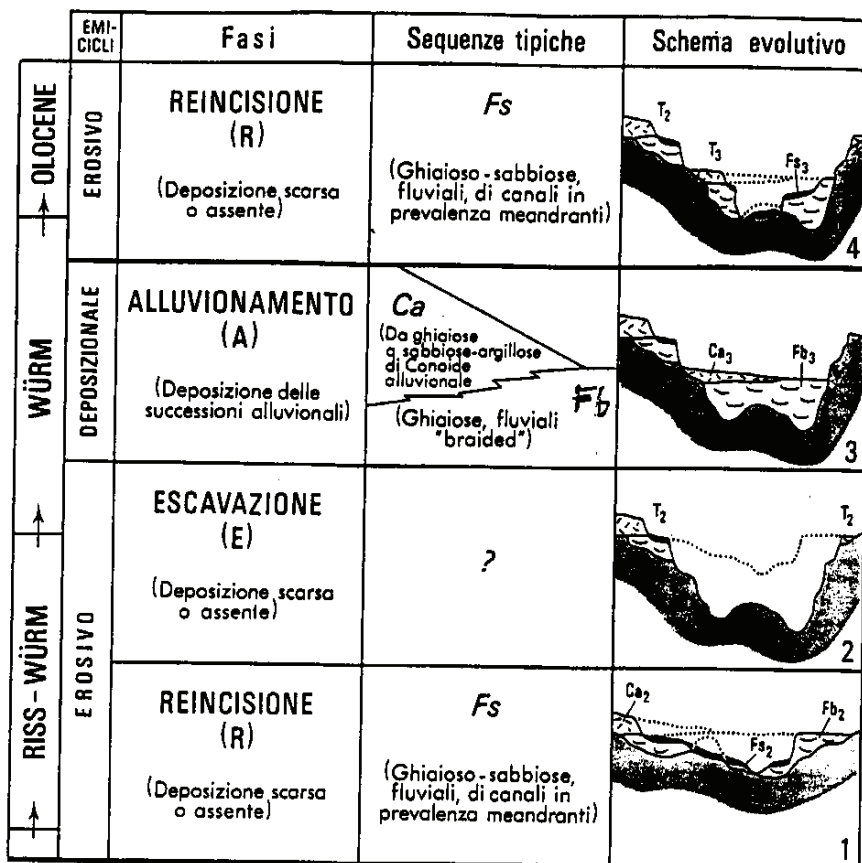
Ciò ha dato origine a depositi alluvionali terrazzati, organizzati generalmente in quattro ordini (T1, T2, T3, T4), dei quali sono riconoscibili solo 3, dal T2 al T4.

Le successioni alluvionali terrazzate presentano caratteristiche legate ai primi cicli sedimentari continentali del Pleistocene medio-superiore e dell'Olocene.

Ogni ciclo è suddiviso in due emicicli, uno erosivo e l'altro deposizionale.

³ Immagine tratta dallo studio di Microzonazione Sismica di 1° livello

Lo spessore decresce dal T1 al T4 ed è massimo nelle sinclinali e minimo nelle anticlinali, pieghe queste che interessano solamente il substrato in quanto antecedenti alla deposizione alluvionale.



Schema evolutivo e interpretativo delle principali fasi erosive e deposizionali del Pleistocene superiore-Olocene – Da Nesci O. Savelli D.: Successioni alluvionali terrazzate nell'Appennino nord marchigiano. Geogr. Fis. e Dinam. Quaternario 14 (1991).

I depositi alluvionali che dalla frazione di Centocroci si estendono sino a Marotta, sono sostituiti, lungo una fascia parallela alla linea di costa, dai depositi litoranei di antica e recente deposizione.

Il massimo spessore dei depositi continentali (alluvioni e depositi litoranei) si ha lungo la linea di costa, dove raggiunge i 25 – 30 m.



4. SINTESI DELLA MICROZONAZIONE DI PRIMO LIVELLO

Le due aree d'interesse (A e B di tabella 1) sono state suddivise complessivamente in 6 MOPS (Mondolfo e ex Fano), più tre zone instabili, per cavità sotterranee (centro storico di Mondolfo), per liquefazione (fascia costiera caratterizzata da sedimenti di spiaggia di deposizione recente) e una marginale per frana (limite area microzonata al confine con Fano), le cui caratteristiche sono sintetizzate nella seguente tabella 3:

MOPS	Stratigrafia
2001	
2003	
2004	



MOPS	Stratigrafia
2005 Mondolfo	<p>0,0 10,0 20,0 30,0</p> <p>limi argillosi e argille llmose (alluvionall o detritiche) 10.0-15.0 m poggiantl su ghiale, anche alternate a limi argillosi, o direttamente sul sustrato</p> <p>C.S. > 15-30 m</p>
2005 ex Fano	<p>0,00-1,00 1,00 12,0 11,0</p> <p>S</p> <p>C.S. = 20.0-31.0 m</p>
2006	<p>0,0 10,0 20,0 30,0</p> <p>riporto 1.0-2.0 m ghiale e sabbie 5.0-10.0 m Intercalate a llmi argillosi (1.0-3.0 m). Falda freatica libera o in pressione a <5.0-10.0 m</p> <p>C.S. = 20.0-31.0 m</p>



MOPS	Stratigrafia
2009 ex Fano	<p>0,50-2,00</p> <p>7,00-15,00</p> <p>S</p>

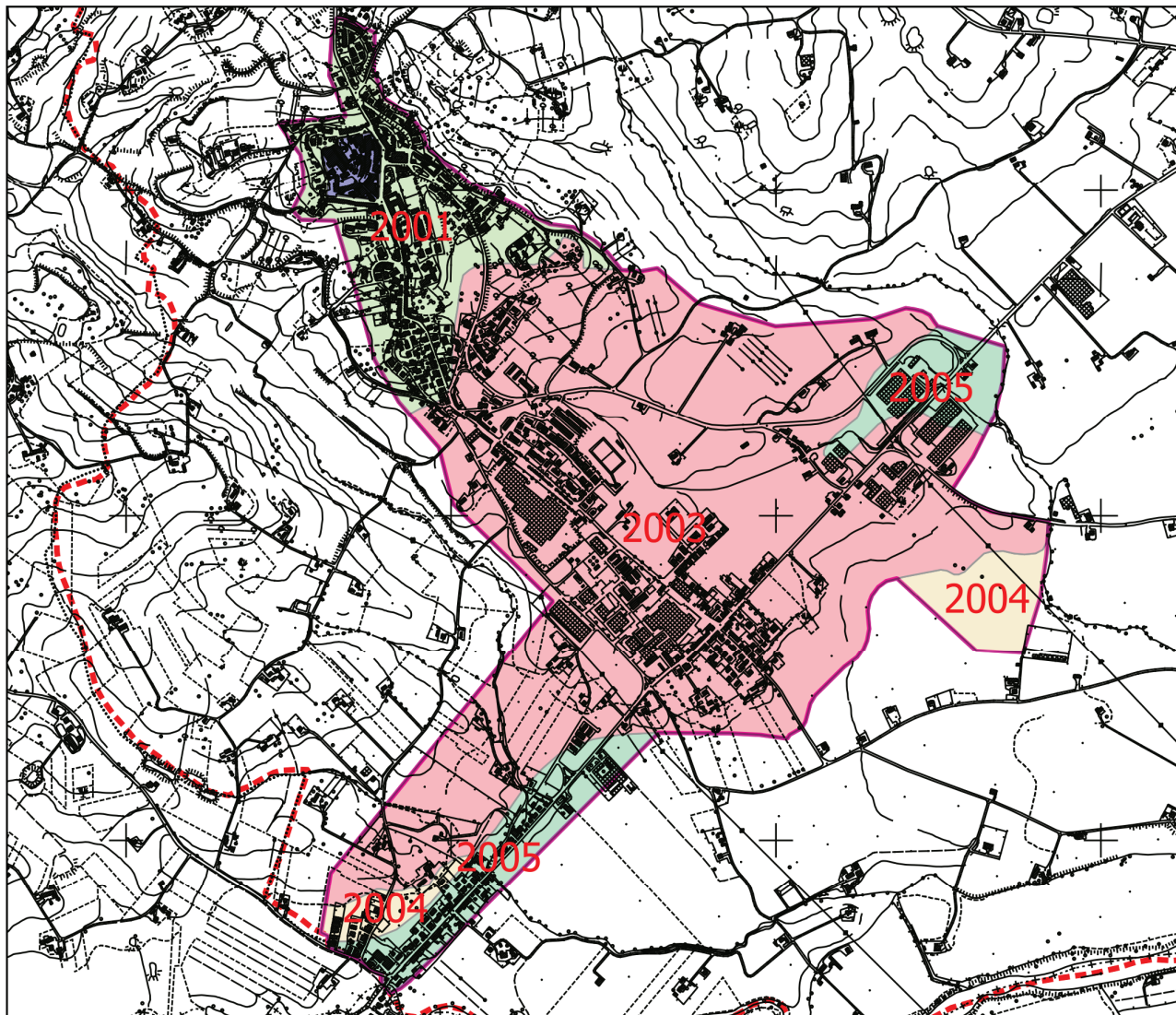
Tabella 3

Legenda MOPS Fano

	Riporto antropico--Terreno vegetale
	Ghiaia/sabbiosa-sabbia/ghiaiosa
	Ghiaie sabbiose e limi argillosi
	Sabbie limi, limi argillosi e argille
	Limi e argille
	Ghiaie, sabbie e limi argillosi
	Argille
	Ghiaie, sabbie, limi e argille
	Coltre di substrato alterato o fratturato con Vs<800 m/s

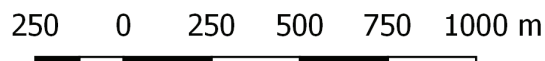
La distribuzione spaziale delle MOPS di primo livello era la seguente:

MS1 Mondolfo-Centocroci



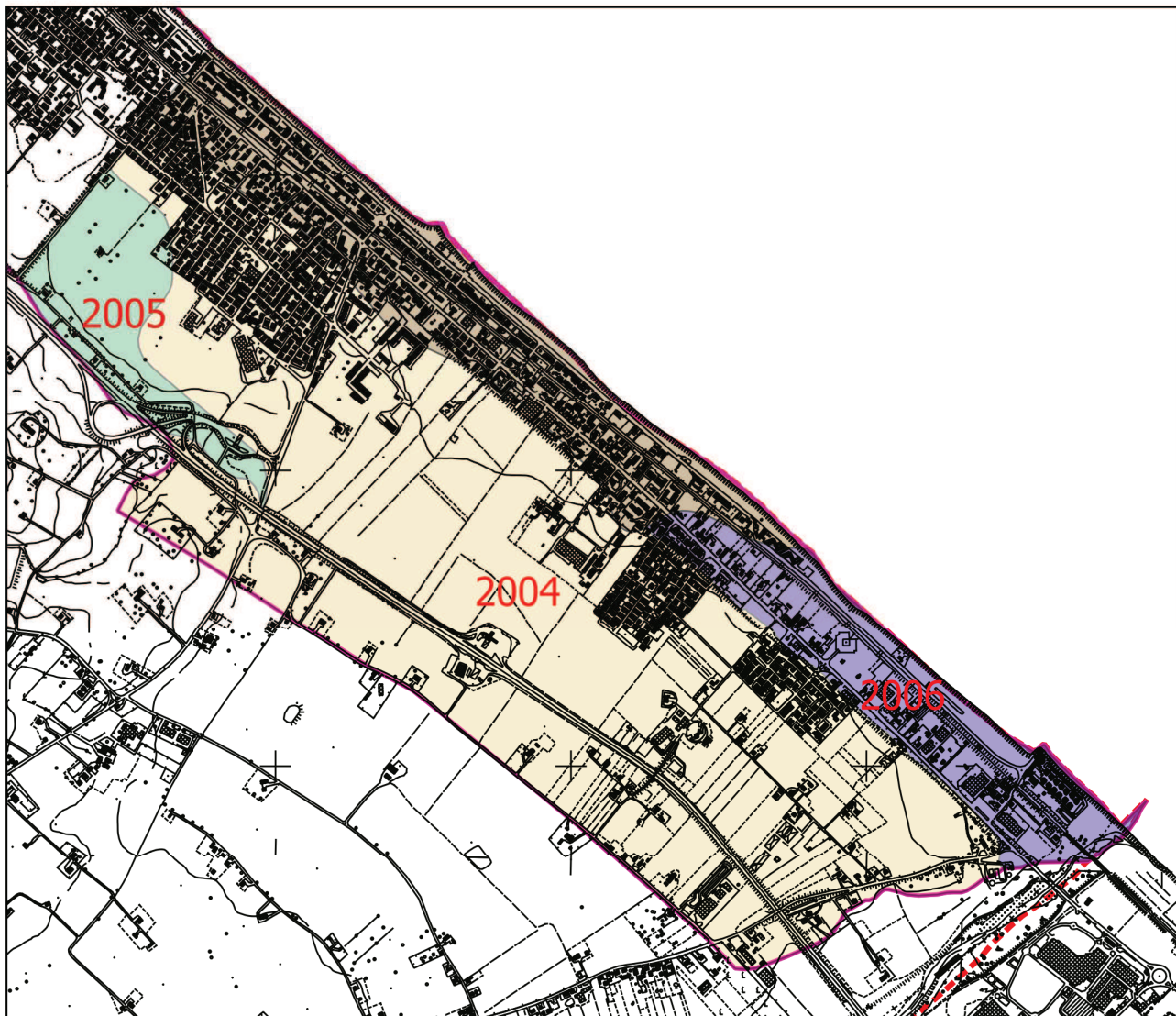
Legenda

- Confine comunale
- MS2
- MOPS**
- 2001
- 2003
- 2004
- 2005
- Instabile



Nella revisione la MOPS 2004 situata in basso, compresa tra la 2003 e la 2005, è stata accorpata alla 2003 ed è stato leggermente modificato il confine tra la 2003 e la 2001.

MS1 Marotta



Legenda

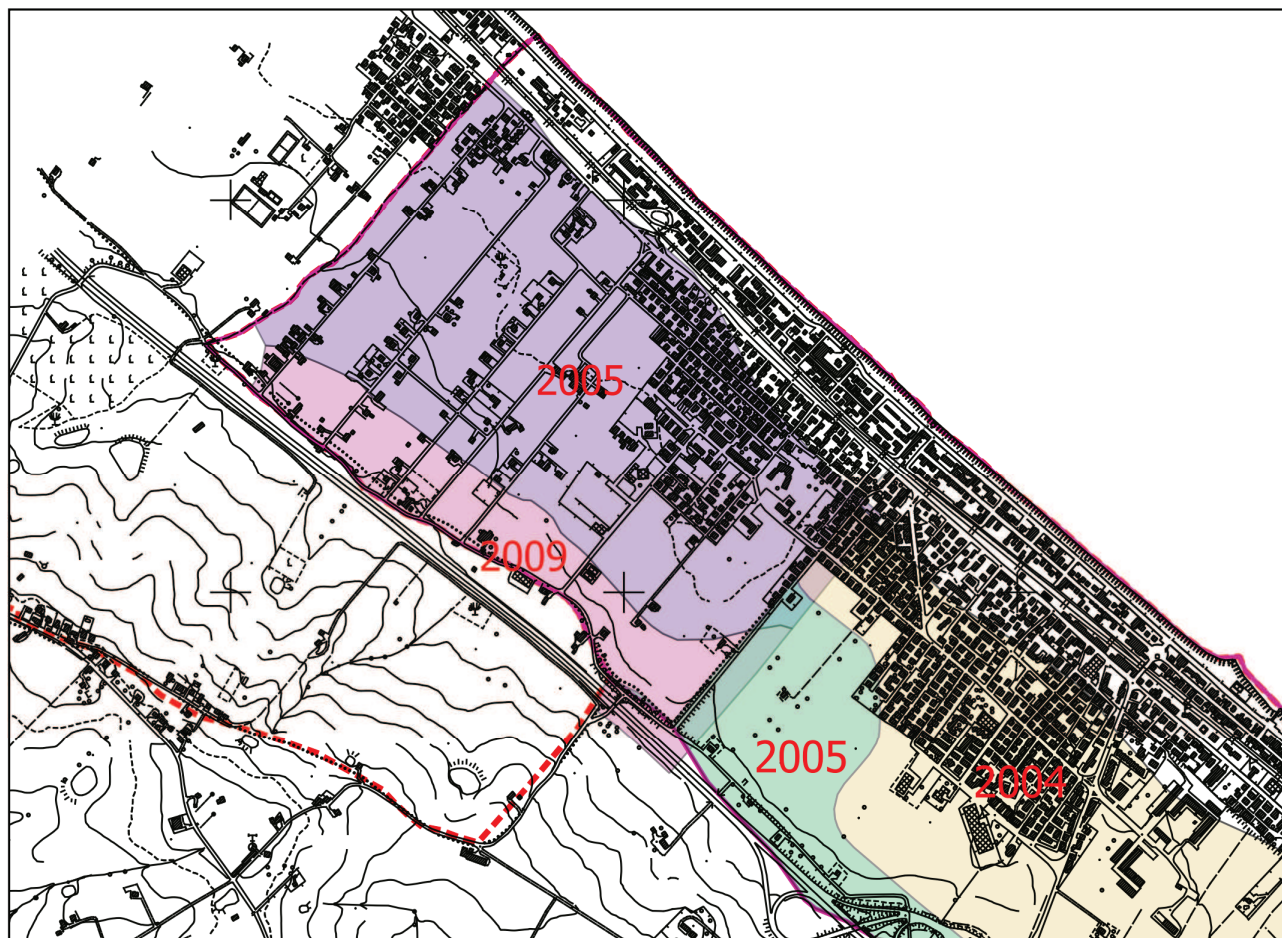
- Confine comunale
- MS2

- MOPS
- 2004
 - 2005
 - 2006
 - Instabile

250 0 250 500 750 1000 m

La MOPS 2006 sopra rappresentata, è diventata, nella revisione del documento, area instabile per liquefazione.

MS1 ex Fano



Legenda

- | | |
|------------------|-----------|
| Confine comunale | MOPS Fano |
| MS2 | 2005 |
| MOPS Mondolfo | 2009 |
| 2004 | Instabile |
| 2005 | |

250 0 250 500 750 1000 m

La 2005 ex Fano è diventata 2004 e la 2009 è passata a 2005, vedere tavola “Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica”.



5. MICROZONAZIONE DI SECONDO LIVELLO, DATI GEOFISICI

Di tutti i dati geofisici reperiti presso l'archivio comunale, solo pochi sono statati utilizzati in quanto la maggior parte avevano report incompleti o con immagini in bianco e nero, oppure di dubbia interpretazione; si è quindi reso necessario eseguire una nuova campagna geofisica estesa a tutte le aree oggetto di microzonazione.

La seguente tabella riporta tipologia, fonte e numero di prove utilizzate:

tipo	fonte	n°
Down Hole	da archivio comunale	1
HVSZ	da archivio comunale	3
	integrative per MS2	24
MASW	da archivio comunale	0
	integrative per MS2	8
SASW ⁴	integrative per MS2	2
RIFRAZIONE	da archivio comunale	1

Tabella 4 – Indagini geofisiche

5.1 Down Hole

Localizzata in prossimità del centro storico di Mondolfo, all'interno della MOPS di primo livello 2001, è stata eseguita dalla profondità di 30 m, impiegando un sismografo PASI triassiale e registrazione a intervalli di 1 m. L'energizzazione è stata ottenuta da superficie mediante maglio da 8 kg, generando onde di taglio polarizzate Sh. I dati ottenuti sono sintetizzati nella seguente tabella 5 (per maggiori dettagli consultare l'allegato rapporto di prova).

Intervallo stratigrafico (m)	Vs (m/s)
0 - 4	168
4 - 12	340
12 - 30	687
Vs ₃₀	407,9

Tabella 5. Sintesi Down Hole

5.2 HVSZ (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)

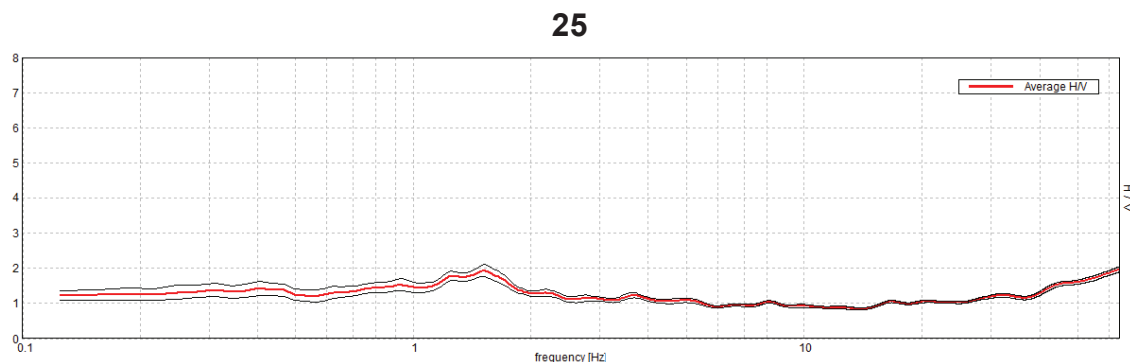
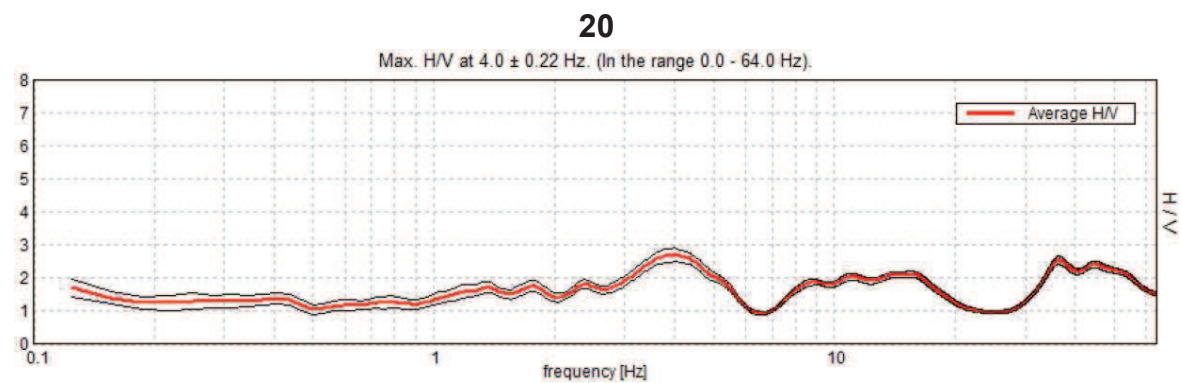
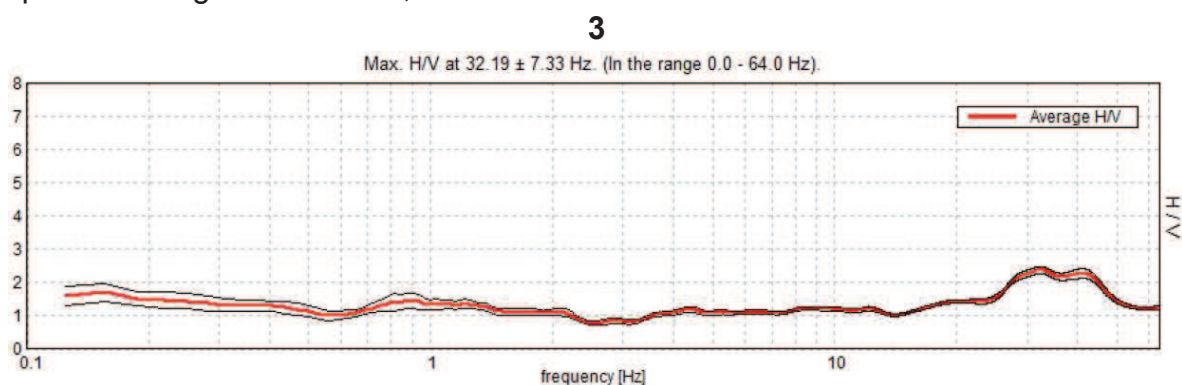
Le registrazioni sono state effettuate mediante un geofono triassiale a 24 canali, per ogni singola durata di 20' (frequenza di campionamento 128Hz). Diverse di queste sono state ripetute in quanto affette da disturbi esterni, principalmente imputabili a fenomeni transienti. Quelle utilizzate soddisfano i requisiti di qualità richiesti, in particolare:

⁴ Eseguite nel centro storico di Mondolfo in sostituzione alle MASW, per l'impossibilità a effettuare stendimenti della lunghezza di 48 m

- Hanno durata di 20 minuti.
- L'andamento della H/V nell'intervallo di frequenza significativo, è stazionario per oltre il 30% della durata della misura.
- Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% de massimo.
- Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza significativa.
- I massimi di frequenza sono caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale.
- I criteri SESAME sono verificati.

5.2.1 MOPS 2001

Comprende le registrazioni n° 3, 20 e 25:



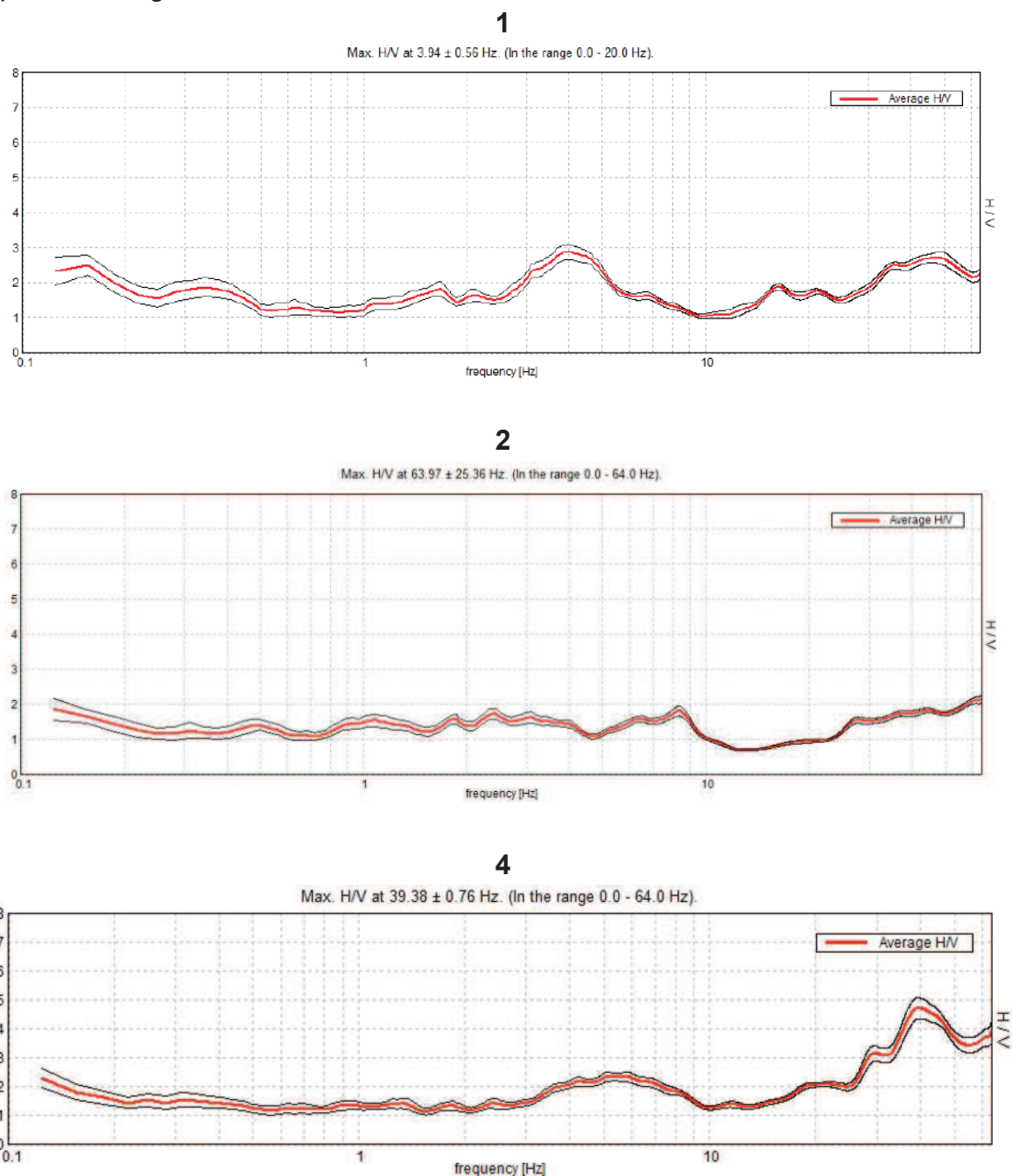
L'andamento delle curve 3 e 25 è sub-orizzontale, con lievi picchi rispettivamente a frequenze di 0,88 Hz e 1,6 Hz ascrivibili probabilmente a passaggi litologici profondi,

DITTA: COMUNE DI MONDOLFO	Pagina 15
OGGETTO: Microzonazione sismica di 2° livello	Rif. Lavoro : 1466 Dicembre 2018

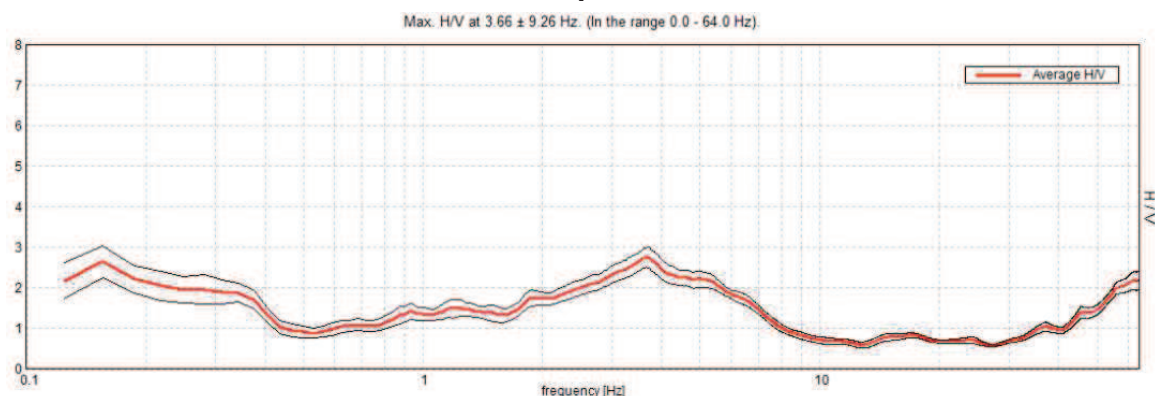
interni alla formazione pliocenica, mentre la 20 ha un andamento più irregolare con però un picco di frequenza più marcato a 4 Hz, anche questo interno alla formazione del Pliocene, in quanto il substrato geologico è collocabile a profondità comprese tra circa 3 ÷ 5 metri e 10 ÷ 12 metri, configurabile come un basso contrasto d'impedenza.

5.2.2 MOPS 2003

Comprende le registrazioni n° 1, 2, 4, 5 e 7:



7

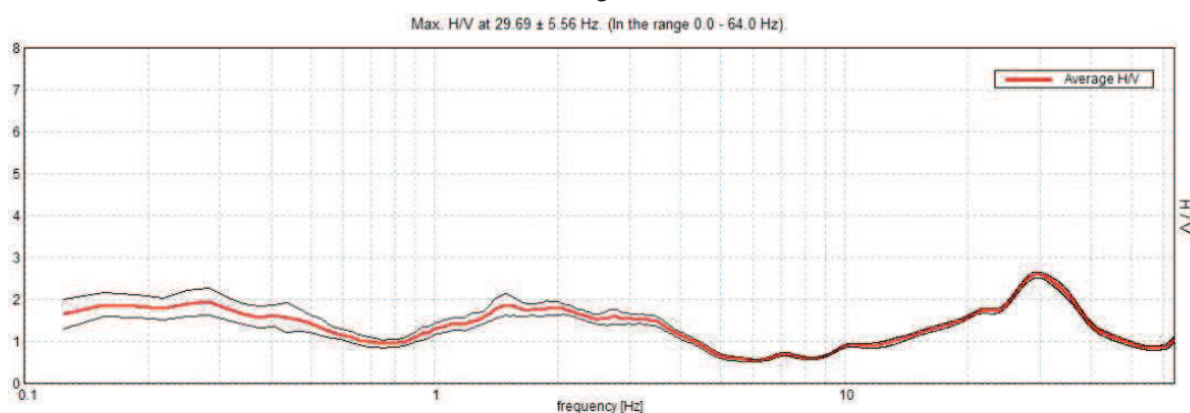


E' da notare la ricorrenza del picco a frequenze comprese tra 3,6 e 5 Hz, anche se nella 4 ha una minore ampiezza, indice di una struttura geologica, collocabile a profondità di 20 – 30 metri, in grado di determinare bassi contrasti d'impedenza.

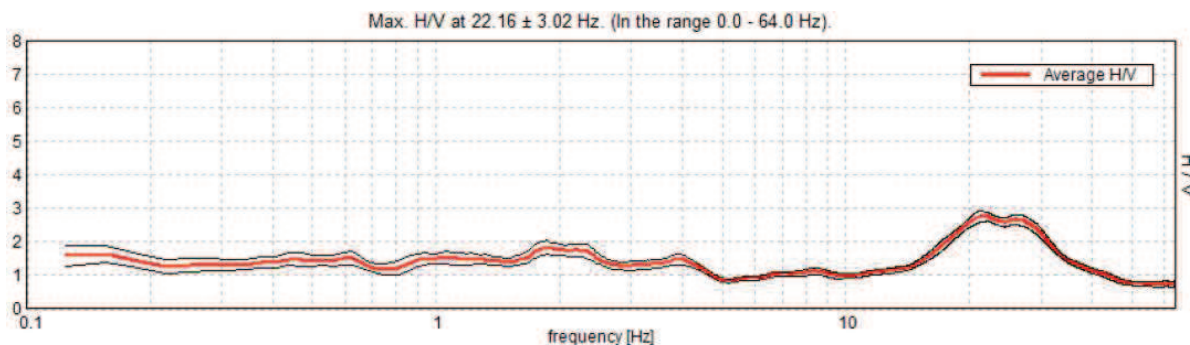
5.2.3 MOPS 2004

Comprende le registrazioni n° 9, 12, 14, 15,17, 18, 21 e 22:

9



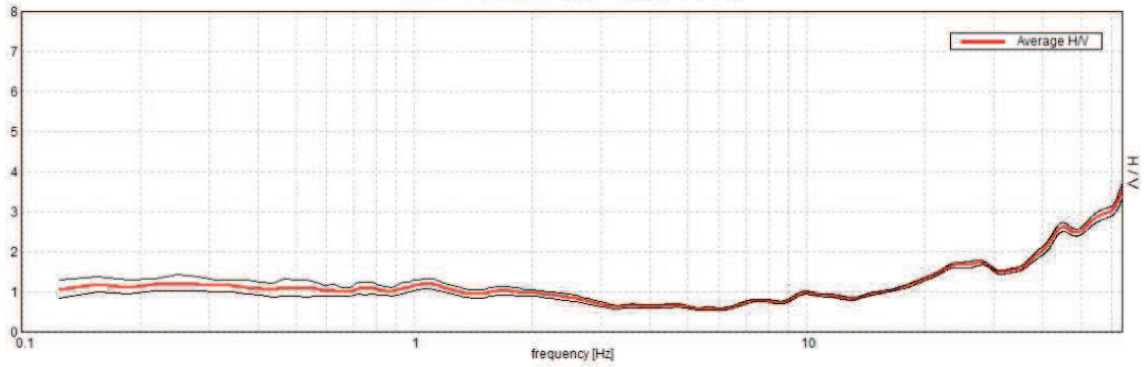
12





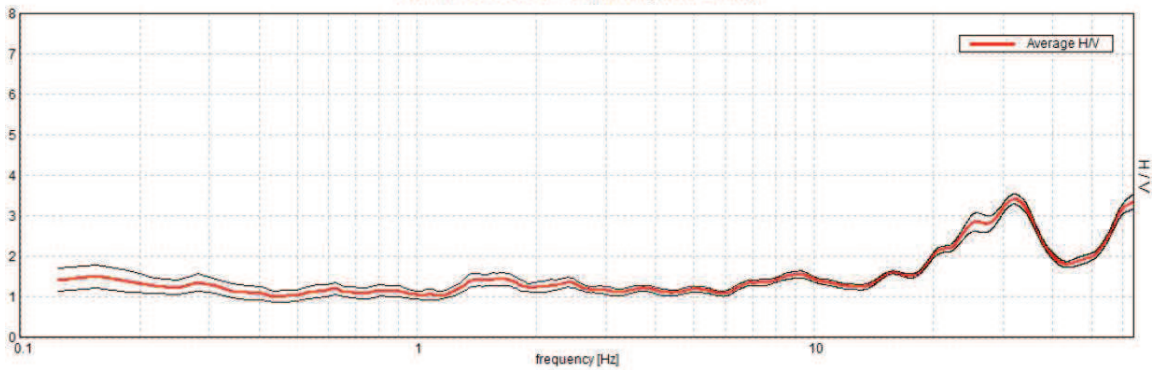
14

Max. H/V at 63.97 ± 8.3 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



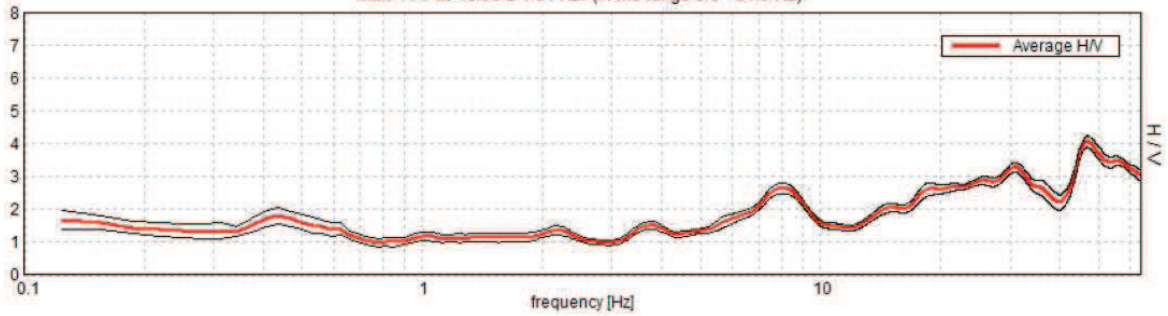
15

Max. H/V at 31.88 ± 4.25 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



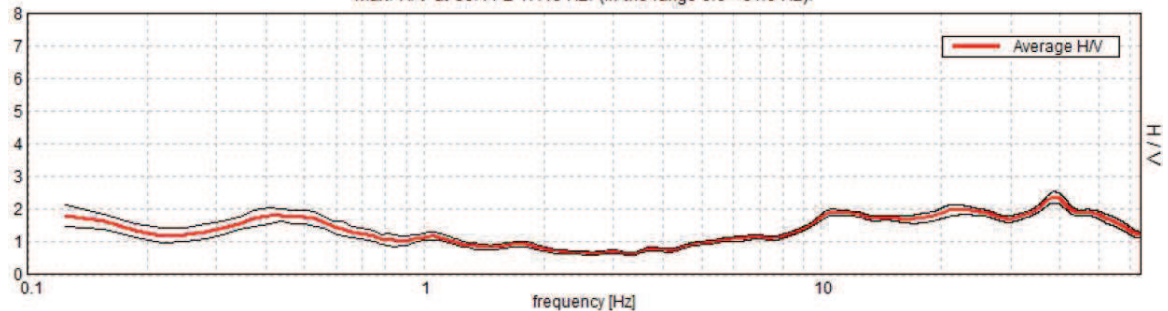
17

Max. H/V at 46.56 ± 1.01 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).

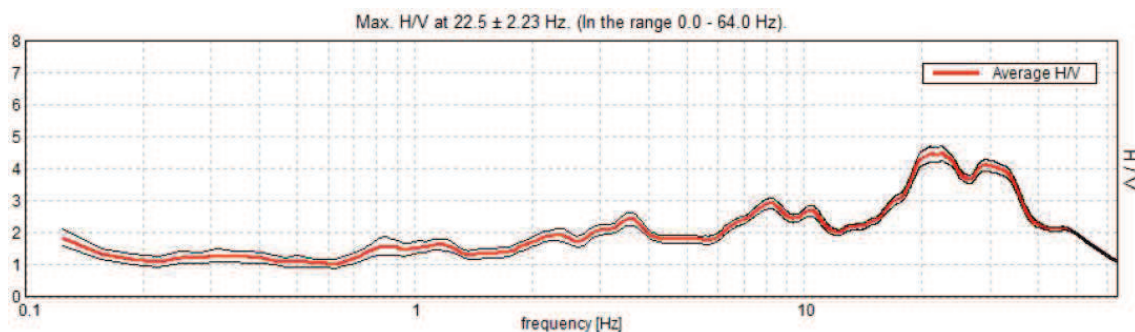


18

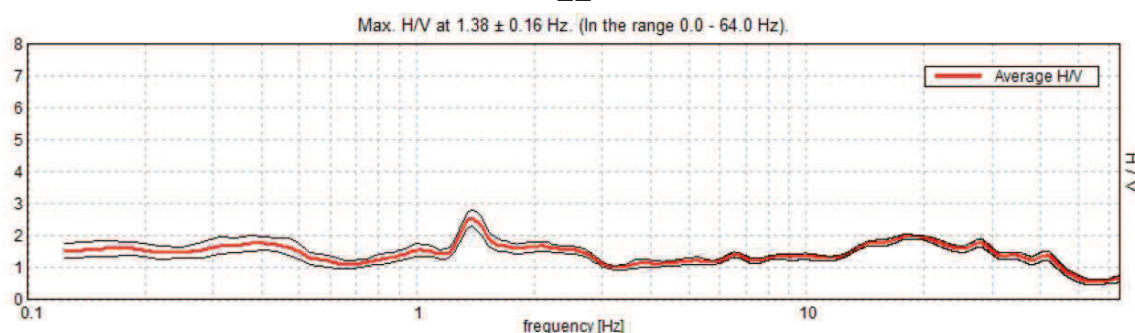
Max. H/V at 38.44 ± 17.46 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



21



22

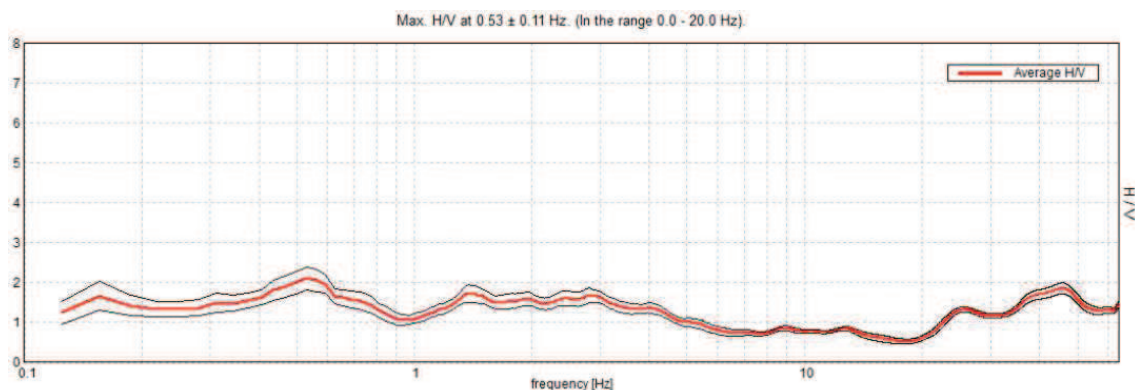


Solo la 9, la 17 e la 22 mostrano un picco di frequenze netto e con ampiezza apprezzabile, nell'intervallo significativo di 0,5 - 20 Hz. La 9 a 1,6 Hz, di modesta ampiezza, anche questo imputabile a una struttura geologica profonda (50 - 100 m) interna alla formazione pliocenica. La 17 ha un picco a 8 Hz, dotato di una ampiezza maggiore, attribuibile a passaggi litologici all'interno dei depositi alluvionali (profondità stimata di 8 - 12 m), aventi qui (zona costiera di Marotta) uno spessore complessivo di 25 - 35 metri. La 22 ha un picco di frequenza a 1,38 Hz; come la 9 è da ascrivere a una struttura geologica profonda (50 - 100 m) interna alla formazione pliocenica.

5.2.4 MOPS 2005

Comprende le registrazioni n° 6, 8, 10, 23, e 24:

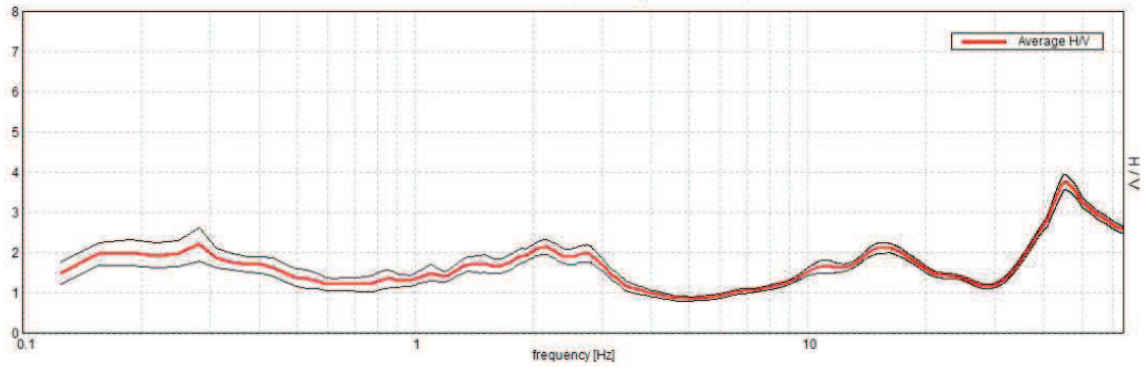
6





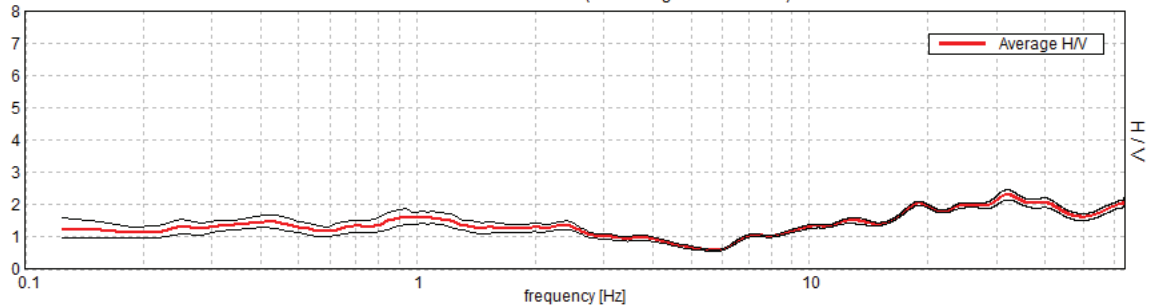
8

Max. H/V at 45.0 ± 1.07 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz)



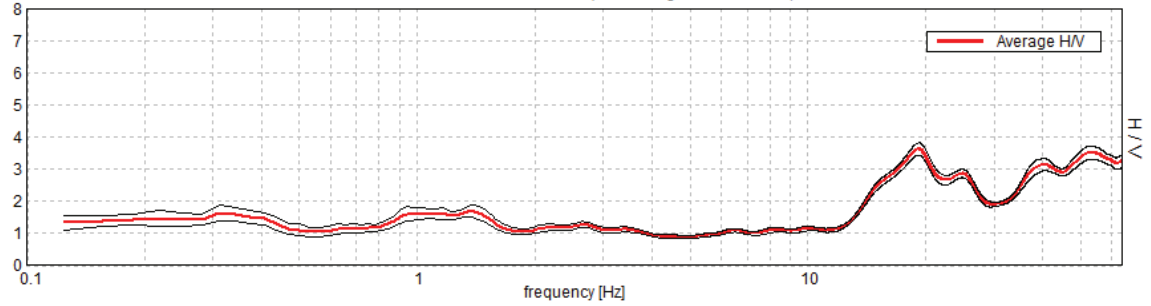
10

Max. H/V at 32.19 ± 18.5 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz)



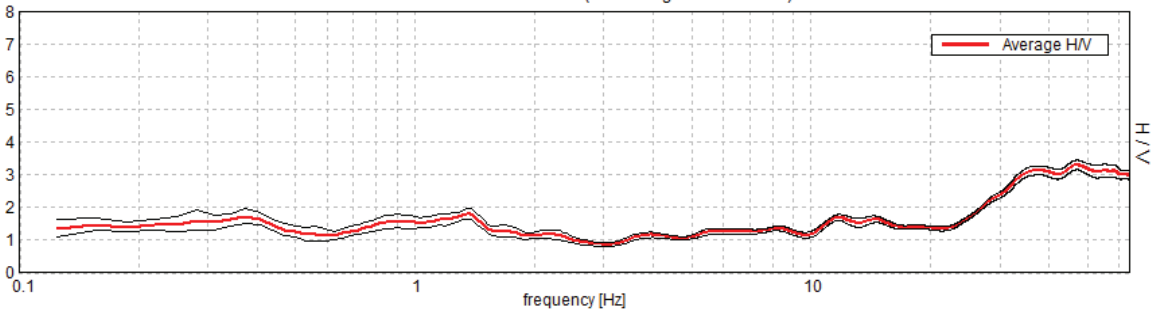
23

Max. H/V at 19.28 ± 23.21 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz)



24

Max. H/V at 46.88 ± 9.26 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz)





Le registrazioni mostrano picchi di frequenza tra loro non correlabili: la 6 a 0,5 Hz, ascrivibile al substrato profondo (oltre 100 m), la 8 a 2,2 Hz, anch'esso interno alla formazione ma più superficiale (profondità stimata di circa 50 m), il 23 ha invece un picco di frequenza netto a 19,2 Hz e ampiezza 3,7, dovuto a un passaggio litologico nei primi metri (circa 4 m) di profondità all'interno dei depositi alluvionali, da ritenere tuttavia poco significativo per la ridotta profondità cui è collocabile. E' in ogni modo possibile individuare una costante che unisce queste prove e molte di quelle riferite alle altre MOPS, cioè la presenza di un modesto picco (ampiezze generalmente inferiori a 2) tra 1 e 2 Hz, corrispondenti a profondità comprese tra 50 e 100 m, quindi interna alle Argille azzurre plioceniche, dove, in prima approssimazione, potrebbe essere collocato il substrato sismico.

La distribuzione spaziale rispetto alle MOPS di primo livello, assieme ai dati ottenuti, è sintetizzata, nella seguente tabella sinottica 6 (per i dettagli sulle singole registrazioni si rimanda ai report allegati):

n°	MOPS MS1	Frequenza (Hz)	Ampiezza
1	2003	3,9	3
2	2003	8,3	2
3	2001	0,88	1,7
4	2003	5,0	2,3
5	2003	6,7	2,4
6	2005	0,5	2,1
7	2003	3,6	2,8
8	2005	2,2	2,1
9	2004	1,6	1,9
10	2005	1,0	1,6
11	instabile	2,6	2,3
12	2004	1,8	1,8
13	instabile	0,5	1,8
14	2004	1,2	1,2
15	2004	1,5	1,4
16	instabile	3,0	1,8
17	2004	8,0	2,7
18	2004	10,2	1,9
19	2006	0,5	1,5
20	2001	4,0	2,8
21	2004	8,3	3,0
22	2004	1,5	2,5
23	2005	1,5	1,7
24	2005	1,5	1,8
25	2001	1,6	2,0
26	instabile	3,1	2,1
27	2006	1,7	2,6

Tabella 6. Sintesi registrazioni HVSR



5.3 MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)

Lo strumento utilizzato è un sismografo digitale DAQ-Link III della Seismic Source; per ogni singola registrazione è stato adottato uno stendimento a 24 geofoni verticali (4,5Hz). La distanza intergeofonica adottata è stata di 2 m, determinando, per ciascuna registrazione, un profilo della lunghezza di 48 m.

L'energizzazione è stata ottenuta impiegando una massa battente da 50 kg con smorzamento per limitare la generazione di segnali ad alta frequenza.

Le registrazioni sono state ripartite uniformemente all'interno dell'area da microzonare; la seguente tabella 7 sintetizza le singole localizzazioni rispetto alle MOPS di primo livello e le velocità determinate mediante procedura d'inversione (per i dettagli consultare l'allegato report):

n°	MOPS MS1	Vs ₃₀ (m/s)
1	2005	270,6
2	2003	276,2
3	2003	380,8
4	2004	368,8
5	2005	379,5
6	instabile	469,3
7	2004	302,9
8	2004	451,7

Tabella 7. Sintesi registrazioni MASW

5.4 SASW (Spectral Analysis of Surface Waves)

Questo tipo di registrazione è stata adottata per il centro storico in quanto richiede spazi minimi per gli stendimenti. Le registrazioni sono state effettuate con apparecchio GDS Instruments a 6 geofoni, distanziati di un metro.

L'energizzazione è avvenuta impiegando una massa battente da 10 kg con smorzamento per limitare la generazione di segnali a alta frequenza. La seguente tabella 8 sintetizza le velocità determinate (per i dettagli consultare l'allegato report):

n°	MOPS MS1	Vs ₃₀ (m/s)
1	2001	458,7
2	2001	472,1

Tabella 8. Sintesi registrazioni SASW

5.5 Rifrazione sismica

Registrazione effettuata con stendimento a 24 geofoni, distanziati di 5m, per una lunghezza complessiva dello stendimento di 120m.

La generazione delle onde sh è stata ottenuta con mazza da 8 kg su trave ortogonale allo stendimento. La sintesi del risultato è mostrata nella seguente tabella 9:

DITTA: COMUNE DI MONDOLFO		Pagina 22
OGGETTO: Microzonazione sismica di 2° livello	Rif. Lavoro : 1466	Dicembre 2018

n°	MOPS MS1	Vs ₃₀ (m/s)
1	2004	410

Tabella 9. Rifrazione sismica

5.6 Analisi delle registrazioni

Escludendo le zone definite instabili (l'area instabile per liquefazione dello studio presentato nel 2014, è stata ampliata includendo, per affinità litostratigrafica e idrogeologica, la MOPS 2006), la seguente tabella 10 sintetizza i risultati complessivamente ottenuto su ogni singola MOPS del 1° livello di microzonazione, versione 2014:

MOPS MS1	Frequenza (Hz)	Ampiezza	Vs ₃₀ (m/s)
2001	0,88	1,7	407
	1,6	2,0	458,7
	4,0	2,8	472,1
2003	3,9	3	276,2 380,8
	8,3	2	
	5,0	2,3	
	6,7	2,4	
2004	3,66	2,8	302,9 368,8 451,7
	1,6	1,9	
	1,2	1,2	
	1,5	1,4	
	1,8	1,8	
	8,0	2,7	
	10,2	1,9	
	8,3	3,0	
2005	0,53	2,1	270,6 379,5
	2,2	2,1	
	1,0	1,6	
	1,5	1,6	
	1,5	1,8	
2006 ⁵	1,75	2,6	469,3
	0,56	1,5	

Tabella 10. Sintesi registrazioni geofisiche

Una stima semi-qualitativa di controllo delle velocità Vs₃₀ ottenute per inversione delle registrazioni MASW e SASW, è stata effettuata ricorrendo al metodo $\lambda 40$ e cioè l'individuazione dell'intercetta tra la funzione $Vs_{30} = \lambda 40m \cdot f$ e la curva $Vs(f)$, dove f

⁵ Nella revisione del primo livello è stata inclusa nelle zone instabili per liquefazione



rappresenta la frequenza in Hz. I risultati di questa verifica sono sintetizzati nella seguente tabella 11 (i grafici di stima delle velocità sono riportati nell'allegato rapporto delle misure, cui si rimanda):

	Inversione Vs₃₀ (m/s)	λ40m Vs₃₀ (m/s)
MASW 1	270,6	284
MASW 2	276,2	260
MASW 3	380,8	355
MASW 4	368,8	365
MASW 5	379,5	370
MASW 6	469,3	470
MASW 7	302,9	295
MASW 8	451,7	475
SASW 1	458,7	570
SASW 2	472,1	560

Tabella 11. Confronto velocità equivalenti ottenute per inversione e con retta λ40m

Per quanto riguarda le MASW, vi è una buona convergenza dei valori di velocità, mentre le SASW offrono invece scostamenti significativi; ciò è probabilmente da imputare a una minore risoluzione alle basse frequenze (onde superficiali a maggiore lunghezza) a causa della ridotta lunghezza del dispositivo di registrazione (la scelta SASW è stata imposta dagli spazi limitati che offriva il centro storico).

Il complesso delle registrazioni geofisiche, mostra velocità delle Vs₃₀ significativamente inferiori a 800 m/s e valori di frequenza f₀ raramente superiori a 2; ciò consente di collocare, in accordo con il modello geologico-stratigrafico delineato nel primo livello, il substrato sismico a profondità superiori a 30 m, ben al di sotto del substrato geologico (probabilmente all'interno della formazione pliocenica delle Argille azzurre, a profondità comprese tra 50 e 100 m). Altro elemento che emerge dalle registrazioni, è l'assenza di significativi contrasti d'impedenza, con valori di H/V ≤ 3, elemento questo che fa supporre che il substrato sismico non rappresenti un marcato contrasto d'impedenza.

6. FATTORI DI AMPLIFICAZIONE

6.1 Modalità e applicazione degli abachi

Con riferimento al documento “*Abachi e modalità applicative per il loro utilizzo nella redazione di carte di Microzonazione Sismica di livello II nell’area marchigiana*”, i domini geologici afferenti il territorio di Mondolfo sono:

- **Terrigeno**, comprende il centro storico di Mondolfo (coincide approssimativamente alla MOPS 2001 dello studio di 1° livello).
- **Alluvionale**, la parte restante dell’area studiata.

La profondità del substrato sismico è sempre superiore a 30 metri, pertanto gli abachi che sono stati utilizzati nella definizione dei fattori di amplificazione FA sono:

Zona Terrigena

FA 0.1 < T < 0.5 s

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	
Vs30 (m/s)	<200	1.2	1.6	2.0							1.5
	300	1.2	1.4	1.6	1.8	2.1	2.3	2.2	2.0	1.9	1.7
	500	1.2	1.3	1.6	1.5	1.7	1.8	1.9	1.8	1.7	1.6
	700	0.9	1.3	1.4	1.6	1.5	1.6	1.5	1.4	1.4	1.4
	≥800										

FA 0.4 < T < 0.8 s

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	
Vs30 (m/s)	<200	2.0	2.6	2.7							2.5
	300	1.6	2.0	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	1.7	1.9
	500	1.3	1.5	1.8	1.6	1.6	1.6	1.6	1.5	1.5	1.6
	700	1.2	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5	1.6	1.6	1.5	1.6
	≥800										

FA 0.7 < T < 1.1 s

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	
Vs30 (m/s)	<200	2.6	3.0	2.9							2.9
	300	1.9	2.0	1.8	1.7	1.8	1.7	1.8	1.7	1.6	1.8
	500	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.5
	700	1.4	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3	1.5	1.4	1.4
	≥800										

Zona Alluvionale

FA 0.1 < T < 0.5 s

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	
Vs30 (m/s)	<200	1.0	1.3	1.5							1.3
	300	1.3	1.4	1.5	1.8	1.9	2.0	2.0	1.9	1.7	1.5
	500	1.2	1.3	1.4	1.6	1.7	1.8	1.5	1.5	1.5	1.5
	700	0.9	1.1	1.3		1.4			1.2	1.1	1.1
	≥800										

FA 0.4 < T < 0.8 s

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	
Vs30 (m/s)	<200	1.8	2.1	2.1							2.0
	300	1.6	2.0	1.9	1.8	1.7	1.9	1.9	1.7	1.7	1.9
	500	1.3	1.5	1.6	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.5
	700	1.1	1.3	1.5		1.3			1.3	1.3	1.3
	≥800										

FA 0.7 < T < 1.1 s

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	
Vs30 (m/s)	<200	2.5	2.7	1.8							2.6
	300	2.0	2.2	1.7	1.7	1.7	1.8	1.8	1.7	1.6	1.9
	500	1.5	1.5	1.3	1.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4	1.5
	700	1.3	1.4	1.3		1.2			1.3	1.4	1.4
	≥800										

Nella definizione delle velocità e delle frequenze da inserire negli abachi, si è scelto di non assumere sempre i valori per i quali il fattore di amplificazione risultava essere più conservativo, ma, quando disponibili molti dati di frequenza, come nelle MOPS 2004 e 2005, quelli maggiormente ricorrenti o che esprimevano una tendenza, scartando gli estremi.