

**REGIONE
MARCHE**



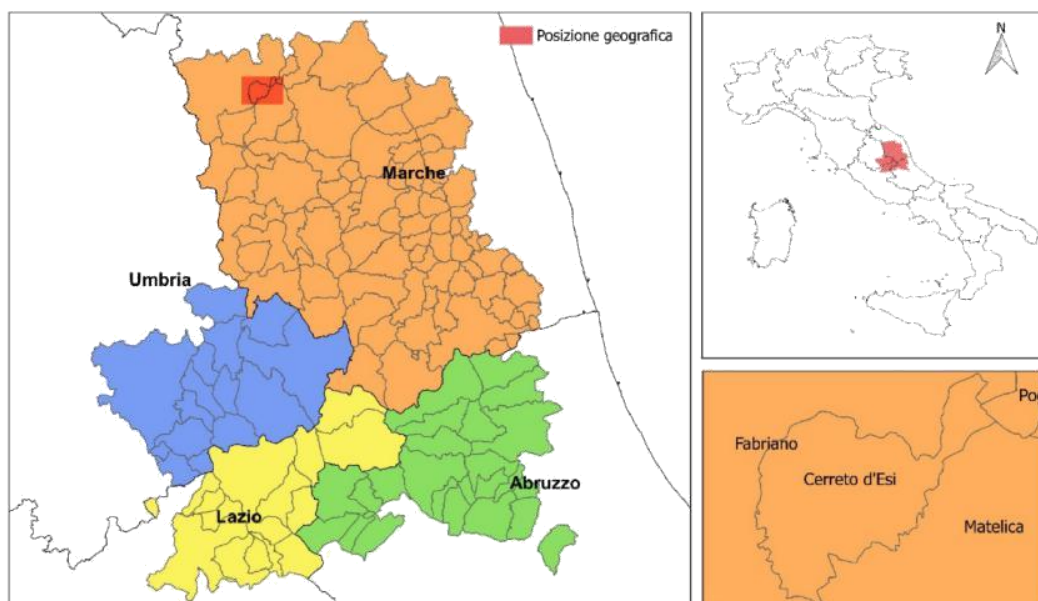
**COMMISSARIO STRAORDINARIO
RICOSTRUZIONE SISMA - 2016**

Microzonazione sismica di livello 3 del comune di Cerreto d'Esi ai sensi
dell'Ordinanza del Commissario Straordinario n.24 registrata
il 15 maggio 2017 al n.1065

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione illustrativa dello studio di microzonazione sismica di livello 3

Regione Marche
Comune di Cerreto d'Esi



Soggetto realizzatore in RTP:

Dott. Geol. Mario Conti
Dott. Geol. Marino Mentoni
Dott. Geol. Fabrizio Mantoni
Dott. Geol. Antonello Donnini
Dott. Geol. Fabrizio Bendia

dicembre 2017

CENTROMS

CENTRO PER LA
MICROZONAZIONE SISMICA
E LE SUE APPLICAZIONI

Indice

1. Introduzione	4
1.1 Finalità degli studi	4
1.2 Descrizione generale dell’area comunale	4
1.3 Definizione dei documenti di base utilizzate nello studio	5
1.4 Aree da sottoporre agli studi di MS	5
2. Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento	5
2.1 Sismicità storica dell’area di studio	5
2.2 Sismicità recente dell’area di studio	8
2.3 Pericolosità sismica di base	10
3. Assetto geologico e geomorfologico dell’area	12
3.1 Inquadramento geologico	12
3.2 Assetto geomorfologico	15
3.3 Assetto stratigrafico	15
3.4 Assetto strutturale ed elementi tettonici	16
4. Dati geotecnici e geofisici	16
4.1. Dati pregressi	16
4.2. Dati acquisiti ex-novo e descrizione del piano delle indagini	17
4.3. Caratteristiche delle strumentazioni utilizzate.....	18
4.3.1 Strumentazione per indagini sismiche MASW e rifrazione in onde sh	18
4.3.2 Strumentazione per indagini sismiche passive HVSR	18
4.3.3 Strumentazione per indagine sismica down-hole	18
4.4. Cenni teorici sulle indagini sismiche con metodologia MASW	18
4.5 Cenni teorici sulle indagini sismiche con metodologia a rifrazione	19
4.6 Cenni teorici sulle indagini sismiche passive HVSR	20
4.7 Cenni teorici sulle indagini sismiche tipo down-hole	21
5. Modello del sottosuolo finalizzato alla MS	22
5.1 Unità geologico-tecniche	22
5.2 Sezioni geologico-tecniche	23
5.3 Descrizione delle Microzone omogenee in prospettiva sismica	23
5.3.1 Descrizione delle zone stabili	23
5.3.2 Descrizione delle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali	26
6. Interpretazioni e incertezze	62
7. Metodologie di elaborazione e risultati	62
7.1 Zone stabili suscettibili di amplificazione	62
7.1.1 Scelta dell’input sismico (fornito dal Centro MS)	62
7.1.2 Simulazioni numeriche (eseguite dal Centro MS per la simulazione 2D)	62
7.1.3 Risultati	70
7.2 Zone instabili	77
7.2.1 Faglie attive e capaci (FAC)	77
7.2.2 Liquefazioni	77
7.2.3 Instabilità di versante sismo indotte	77
8. Categorie di sottosuolo	78
9. Elaborati cartografici.....	79
9.1. Carta delle indagini	79
9.2. Carta delle frequenze naturali dei terreni	79
9.3. Carta Geologico tecnica	80

9.4. Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS).....	80
9.5 Carte di Microzonazione sismica di livello 3	80
9.5.1. Carte dei fattori di amplificazione	80
9.6 Commenti finali e criticità.....	81
10. Confronto con la distribuzione dei danni degli eventi passati.....	81
11. Bibliografia	82

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

1. Introduzione

1.1 Finalità degli studi

Lo studio di Microzonazione sismica di terzo livello (MS3) del centro abitato di Cerreto d’Esi (AN) è stato realizzato con metodologie e procedure finalizzate alla redazione di cartografie di Microzonazione Sismica di livello 3, secondo i dettami degli Indirizzi e Criteri di Microzonazione Sismica, approvati dalla Conferenza delle Regioni in data 13 novembre 2008, i quali hanno il merito di aver omogeneizzato le metodologie di studio e le procedure (sia sotto il profilo formale sia sostanziale), creando un modus operandi condiviso nel panorama nazionale di settore. Il livello 3 rappresenta il livello più approfondito di indagini, che permette di giungere ad una microzonazione di dettaglio del territorio, basata su metodologie di analisi di tipo quantitativo.

Lo studio è stato eseguito in tutti i comuni di cui al gruppo b) dell’allegato 3, Ordinanza del Commissario straordinario n. 24 registrata il 15/05/2017 al n. 1065. Per il territorio comunale di Cerreto d’Esi le indagini hanno riguardato il capoluogo e le frazioni Cerquete e Case Carloni.

Nello specifico la MS individua e caratterizza:

- le **Zone Stabili**: aree nelle quali non si ipotizzano effetti locali di alcuna natura (litotipi assimilabili al substrato sismico in affioramento con morfologia pianeggiante o poco inclinata) e, pertanto, gli scuotimenti attesi sono equivalenti a quelli forniti dagli studi di pericolosità di base;
- le **Zone stabili suscettibili di amplificazione sismica**, in cui il moto sismico viene modificato a causa delle caratteristiche litostratigrafiche e/o geomorfologiche del territorio;
- le **Zone suscettibili di instabilità**, ovvero zone suscettibili di attivazione dei fenomeni di deformazione permanente del territorio indotti o innescati dal sisma (instabilità di versante, liquefazioni, presenza di cavità antropiche, faglie superficiali, ecc.).

Il livello 3 rappresenta il livello di maggiore approfondimento che viene realizzato nelle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, nei casi di situazioni geologiche e geotecniche complesse, non risolvibili con l’uso degli abachi, o per opere di particolare importanza, oppure nelle zone suscettibili di instabilità particolarmente gravose per complessità del fenomeno e/o diffusione areale, non risolvibili con l’uso di metodologie speditive. I risultati sono di tipo quantitativo, quali gli spettri di risposta per le amplificazioni.

Il prodotto di questo Livello è la **Carta di microzonazione sismica**.

1.2 Descrizione generale dell’area comunale

Il territorio del Comune di Cerreto D’Esi (AN), presenta una superficie complessiva di circa 16,8 Km², e confina a Nord e ad ovest con il comune di Fabriano (AN), a sud e ad est con il comune di Matelica (MC) e, per una piccola porzione a nord-est con il comune di Poggio San Vicino (MC).

L'abitato (centro storico e aree periferiche) si sviluppa quasi integralmente lungo la valle del Fiume Esino (quasi esclusivamente in destra idrografica), impostata all'interno del bacino di Camerino (sinclinorio camerte), con andamento circa N-S e, in parte, lungo la valle del Fosso delle Cerquete, suo tributario di destra.

Il territorio è quello tipicamente collinare dei bacini minori marchigiani, caratterizzati dalla presenza di termini silicoclastici, torbiditi, compresi tra le due dorsali calcaree (umbro -marchigiana ad est e marchigiana ad ovest).

Topograficamente il territorio si sviluppa tra la quota di circa 1.200 metri s.l.m. in prossimità della cima del Monte Cipollara, e la quota di 236 m.s.l., nell'estremo settore settentrionale della valle dell'Esino, che costituisce la linea di drenaggio principale con andamento prevalentemente meandriforme e direzione SSW-NNE, tra le quote di 280 e 236 metri s.l.m.

1.3 Definizione dei documenti di base utilizzate nello studio

La base cartografica utilizzata per l'indagine di MZS è costituita dalla Carta Tecnica Comunale (CTC), in scala 1:5.000.

Le specifiche tecniche e gli standard di riferimento con la quale sono stati realizzati gli elaborati cartografici per lo studio di MZS di 1° livello sono i seguenti:

- Standard di rappresentazione e archiviazione informatica (Versione 3.0), approvati dalla Commissione tecnica per la microzonazione sismica (articolo 5, comma 7 dell'OPCM 13 novembre 2010, n.3907);
- Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica – Dipartimento di Protezione Civile Nazionale (ICMS)- approvati il 13 novembre 2008 dalla conferenza delle Regioni e delle Province autonome.

1.4 Aree da sottoporre agli studi di MS

La scelta delle aree oggetto delle indagini di MZS di livello III è stata definita essenzialmente in relazione allo sviluppo e andamento delle aree urbanizzate e ad un loro intorno significativo, al fine di fornire un'approfondita conoscenza del locale contesto morfo-stratigrafico.

Rispetto all'area indagata nelle indagini di I livello, che si estende anche alle aree poco o niente urbanizzate e alla parte alto collinare-montana, gli approfondimenti di Livello III sono stati indirizzati esclusivamente alle aree di fondovalle del Fiume Esino e del Fosso delle Cerquete, che costituiscono circa il 90-95% dell'intera area urbanizzata comunale.

Per la redazione degli Elaborati cartografici è stata utilizzata la recente Carta Tecnica Comunale in scala 1:5.000, mentre le Sezioni geologico tecniche sono state realizzate alla scala 1:2.000.

2. Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento

2.1 Sismicità storica dell'area di studio

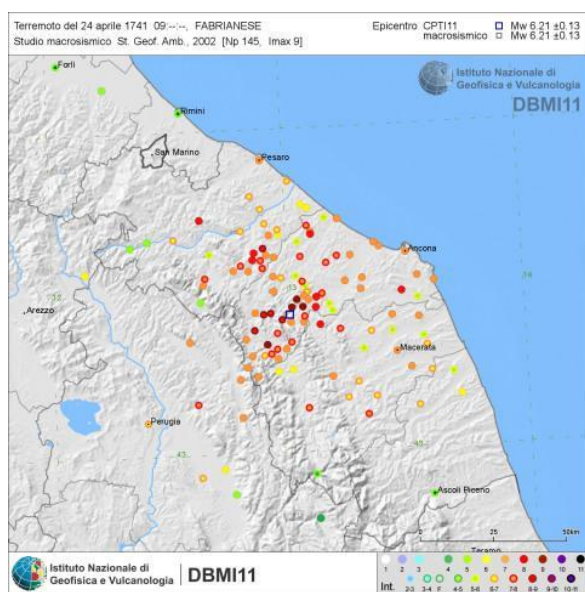
Il catalogo macrosismico italiano è stato realizzato per la prima volta da Stucchi nel 2007 in esso erano riportati i dati di intensità sismica utilizzati per la compilazione dei parametri del catalogo parametrico

utilizzato per la compilazione della Mappa di Pericolosità Sismica del territorio nazionale (MPS04, Gruppo di Lavoro MPS, 2004).

Il catalogo è stato aggiornato nel 2008 e nel 2010 che copre una finestra temporale 1000 – 2006. Nel 2011 è stata rilasciata la terza versione denominata DBMI11 a cura di Rovida, Camassi, Gasperini, Stucchi, riguarda il periodo 1000-2006 e contiene 2984 terremoti, rispetto alla versione precedente è stato ricalcolato il valore della magnitudo momento (Mw) e le soglie di riferimento. L'ultimo aggiornamento del catalogo parametrico dei terremoti italiani è denominato CPTI15 (Andrea Rovida, Mario Locati, Romano Camassi, Barbara Lolli, Paolo Gasperini), rappresenta una significativa evoluzione rispetto alle versioni precedenti, che sono quindi da considerare del tutto superate. Anche se i criteri generali di compilazione e la struttura sono gli stessi della precedente versione CPTI11, il contenuto del catalogo è stato ampiamente rivisto per quanto concerne la copertura temporale, estesa dal 2006 a tutto il 2014, il database macrosismico di riferimento (DBMI15; Locati et al., 2016), significativamente aggiornato.

Per quanto riguarda il Comune di Cerreto d'Es, l'intensità sismica massima registrata ha raggiunto il grado 7 della scala MCS, in occasione del terremoto del 24 aprile 1741 alle ore 9,20 con epicentro nel fabrianese, quindi vicinissimo a Cerreto d'Es. Si ritiene interessante riportare una descrizione dettagliata dell'evento tratta dal sito INGV e da una pubblicazione del 2001 a cura del dott. Enrico Priolo¹.

- DESCRIZIONE DELL'EVENTO SISMICO DEL 1741 (tratta da INGV Terremoti)



Il 24 aprile 1741 un violento terremoto (magnitudo Mw 6.2) colpì le Marche centro-settentrionali. Gli effetti più disastrosi si ebbero nel Fabrianese e in alcune località della media valle dell'Esino: a Fabriano crollarono circa 40 case e altri 800 edifici rimasero più o meno gravemente lesionati; inoltre crollarono o furono seriamente danneggiati la rocca, la cattedrale, quasi tutte le chiese e i conventi. Anche a Serra San Quirico ci fu un'elevata percentuale di crolli, mentre i vicini villaggi di Sasso e Mergo furono quasi distrutti. I morti furono una decina, i feriti documentati una trentina. Il terremoto causò danni più o meno gravi e diffusi in un'area molto estesa, comprendente circa cento località distribuite su quasi tutto il territorio marchigiano (da

Pesaro, Urbino e Urbania fino a Macerata, San Ginesio, Camerino, Matelica e Ancona) e anche in Umbria, in particolare a Gubbio, Valfabbrica, Foligno, Perugia e Bevagna.

Lo studio di Stucchi et al. (1991) evidenzia come, da un punto di vista prettamente sismologico-storico, il terremoto di Fabriano del 1741 sia molto importante per almeno un paio di ragioni:

¹ Istituto Nazionale di Oceanologia e geofisica sperimentale OGS

a) per le sue dimensioni; dalla distribuzione degli effetti macrosismici si ricava un valore di magnitudo "equivalente" M_w 6.2, che per l'Appennino settentrionale risulta tra i più elevati presenti nel Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani;

b) per la sua localizzazione. Infatti è avvenuto in un'area dove, a tutt'oggi, non sono conosciuti altri eventi di analoga rilevanza. La sua occorrenza, insieme a quella di altri importanti, forti terremoti avvenuti in aree limitrofe nel corso del Settecento (1747 Nocera Umbra; 1751 Gualdo Tadino; 1781 Cagli; 1799 Camerino), contribuisce in modo significativo alla definizione della pericolosità sismica del settore interno delle Marche.

L'estensione dell'area danneggiata, potrebbe suggerire che la scossa avesse una notevole profondità ipocentrale. Nella figura seguente, tratta dallo studio del dott. Priolo è indicata la famiglia degli epicentri ben allineati lungo un segmento di faglia con direzione antiappenninica. Lo studio del dott. Priolo ipotizza che l'evento sismico abbia prodotto un'accelerazione orizzontale PGA di 0,7 g per una frequenza superiore a 3 Hz.

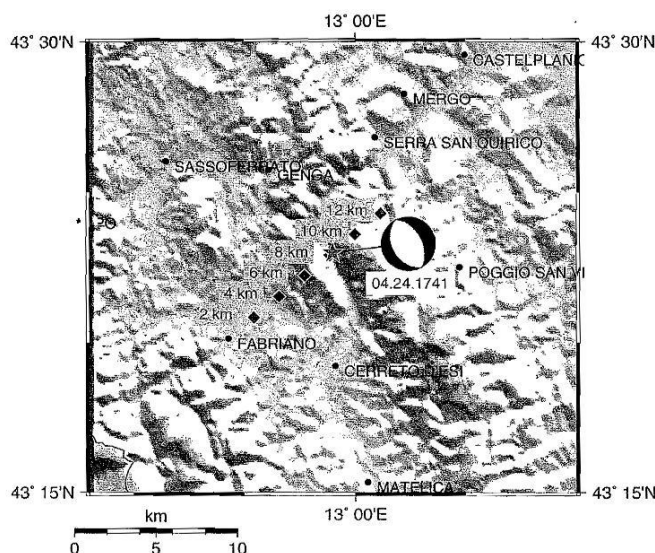


Fig. 1 – General map of the area. The star indicates the epicentre of April 24, 1741, $M = 6.2$ “fabrianese” event, which has been located on the basis of historical data [MONACHESI and STUCCHI, 1997]. A pure normal fault mechanism has been assumed (see text). Diamonds indicate the group of epicentres located at increasing distances from Fabriano (2, 4, 6, 8, 10, and 12 km, respectively) used in this study.

Fig. 1 – Mappa generale dell'area. Il simbolo a stella indica l'epicentro dell'evento “Fabrianese” $M = 6.2$ del 24 aprile 1741, la cui localizzazione è stata assegnata su basi storiche [MONACHESI e STUCCHI, 1998]. Il meccanismo focale è normale puro (cfr. testo). I simboli a diamante indicano la famiglia di epicentri simulati in questo studio, posti a distanza crescente da Fabriano (rispettivamente a 2, 4, 6, 8, 10 e 12 km).

A quel tempo l'Umbria e le Marche facevano parte dello Stato Pontificio, caratterizzato da una struttura amministrativa stratificata e da una forte interazione tra organi di governo centrali, periferici e locali. Questo contesto ha determinato la produzione di un vastissimo patrimonio di fonti storiche utili per la ricostruzione del quadro degli effetti dei terremoti umbro-marchigiani del Settecento. Sebbene Cerreto d'Esi si trovi vicinissima a Fabriano e all'area epicentrale di Albacina (circa 3 Km), nei vari documenti storici non sono riportate descrizioni di danni o vittime, evidentemente danni ci saranno stati ma probabilmente meno gravi che in altre località, sono citati infatti i villaggi di Sasso e Mergo, ma non Cerreto d'Esi; un ruolo importante deve averlo avuto la tipologia costruttiva, la qualità dei materiali da costruzione utilizzati e lo smorzamento, ovvero l'attenuazione dell'ampiezza dell'onda sismica, dovuto alle caratteristiche litologiche del sottosuolo.

2.2 Sismicità recente dell’area di studio

- DESCRIZIONE DELL’EVENTO SISMICO DEL 1997

In epoca recente il Comune di Cerreto d’Esi ha risentito dello sciame sismico iniziato il 26 settembre 1997 di magnitudo 5.7, con epicentro a Cesi di Serravalle Del Chienti, la sequenza delle scosse che durò fino al 26 giugno 1998 fu nettamente avvertita a Cerreto d’Esi che fu inserito nei comuni del cratere sismico. Numerose abitazioni di vecchia costruzione furono lesionate ma non gravemente, non vi furono crolli né tantomeno feriti, viceversa Fabriano e Matelica, le città più vicine a Cerreto d’Esi subirono danni piuttosto ingenti, a Fabriano il crollo di un cornicione fece una vittima.

- DESCRIZIONE DELL’EVENTO SISMICO DEL 2016-2017

Gli **eventi sismici del Centro Italia del 2016 e del 2017**, definiti dall'INGV *sequenza sismica Amatrice-Norcia-Visso*, hanno avuto inizio il 24 agosto 2016 con epicentri situati tra l'alta valle del Tronto, i Monti Sibillini, i Monti della Laga e i Monti dell'Alto Aterno. La prima scossa ha avuto magnitudo 6.0 con epicentro lungo la valle del Tronto tra i comuni di Accumoli (RI) e Arquata del Tronto (AP).

Due potenti repliche sono avvenute il 26 ottobre 2016 con epicentri al confine umbro-marchigiano, tra i comuni della Provincia di Macerata di Visso, Ussita e Castelsantangelo sul Nera. Il 30 ottobre 2016 è stata registrata la scossa più forte, di magnitudo momento 6.5 con epicentro tra i comuni di Norcia e Preci, in Provincia di Perugia. Il 18 gennaio 2017 è avvenuta una nuova sequenza di quattro forti scosse di magnitudo superiore a 5, con massima pari a 5.5, ed epicentri localizzati tra i comuni aquilani di Montoreale, Capitignano e Cagnano Amiterno.

L’analisi sismologica elaborata dall’INGV ha evidenziato che emerge chiaramente l’orientamento NNO-SSE della struttura sismogenetica, che si estenderebbe in maniera congrua con l’orientamento della catena appenninica, per circa 25–30 km di lunghezza e per circa 10–12 km di larghezza tra i comuni di Norcia e Amatrice, interessando una fascia crostale che si estende dalla superficie alla profondità di 10 km.[31]

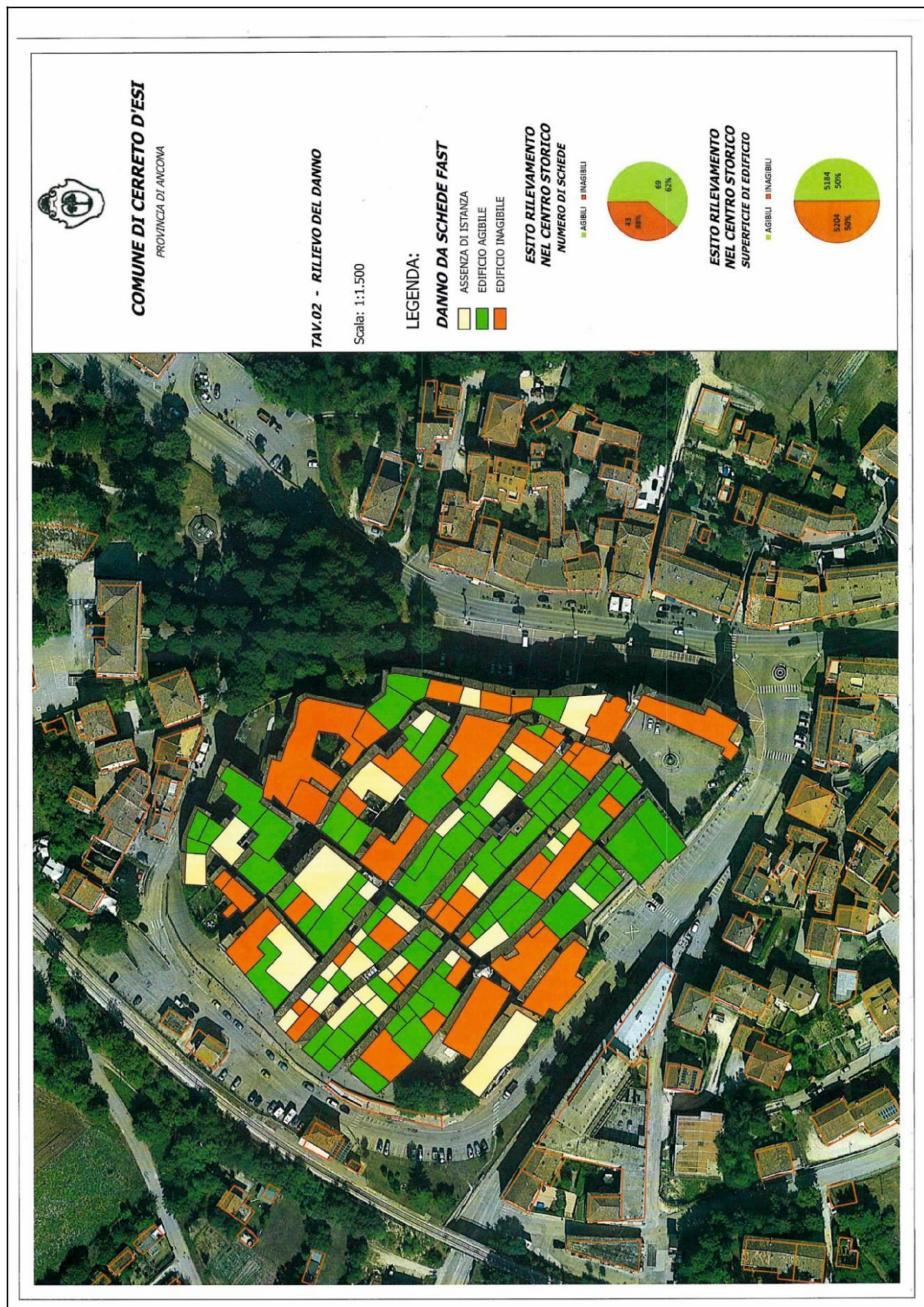
L’area sismogenetica, sempre secondo le osservazioni dell’INGV, sarebbe caratterizzata dalla presenza di diversi segmenti di faglia con elevata complessità strutturale.

La scossa principale avrebbe causato una rottura di un segmento di faglia orientato in direzione NNO-SSE e immergente verso SO. La rottura generata in corrispondenza della città di Accumoli si è propagata in direzioni opposte verso Amatrice (direzione S-SE) e verso Norcia (direzione N-NE).

Le località epicentrali più vicine a Cerreto d’Esi sono: Visso 44 Km e Norcia 59 Km. L’evento sismico del 30 ottobre 2016 è stato quello maggiormente avvertito a Cerreto d’Esi, a seguito del quale il territorio Comunale è stato inserito nell’elenco dei Comuni del Cratere sismico che, con Fabriano, rappresentano gli unici comuni della provincia di Ancona.

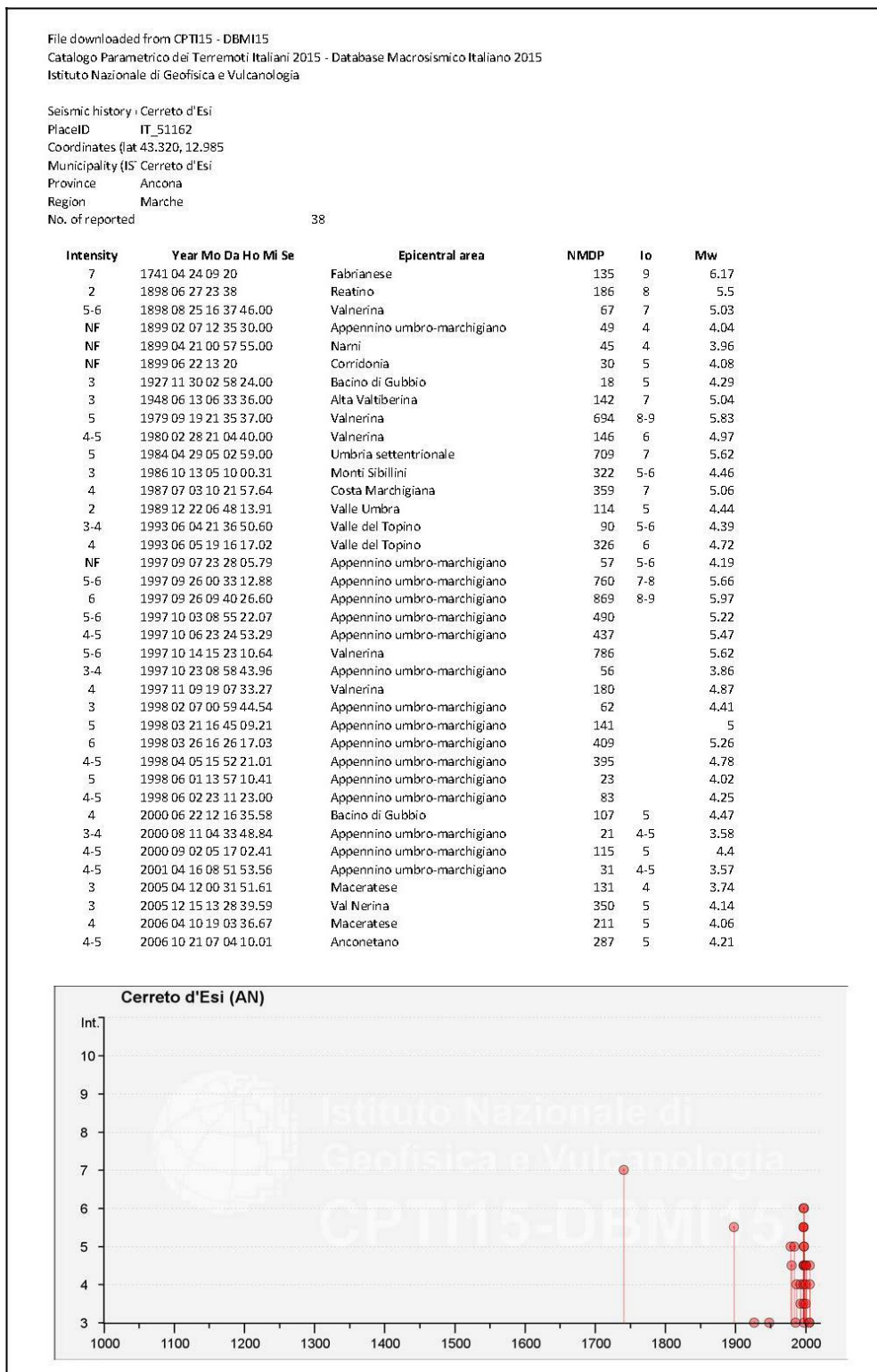
Le richieste di sopralluogo sono state 692; a seguito dei sopralluoghi sono risultati non utilizzabili 244 edifici, gli edifici del centro storico hanno riportato i danni più rilevanti.

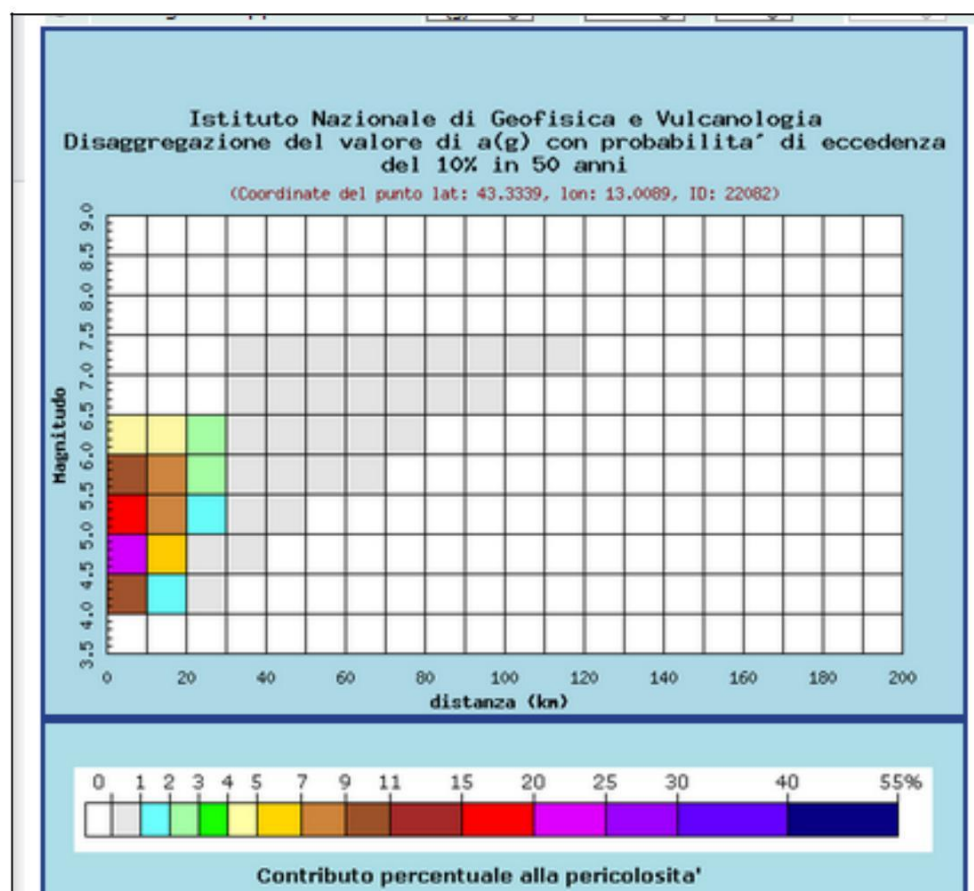
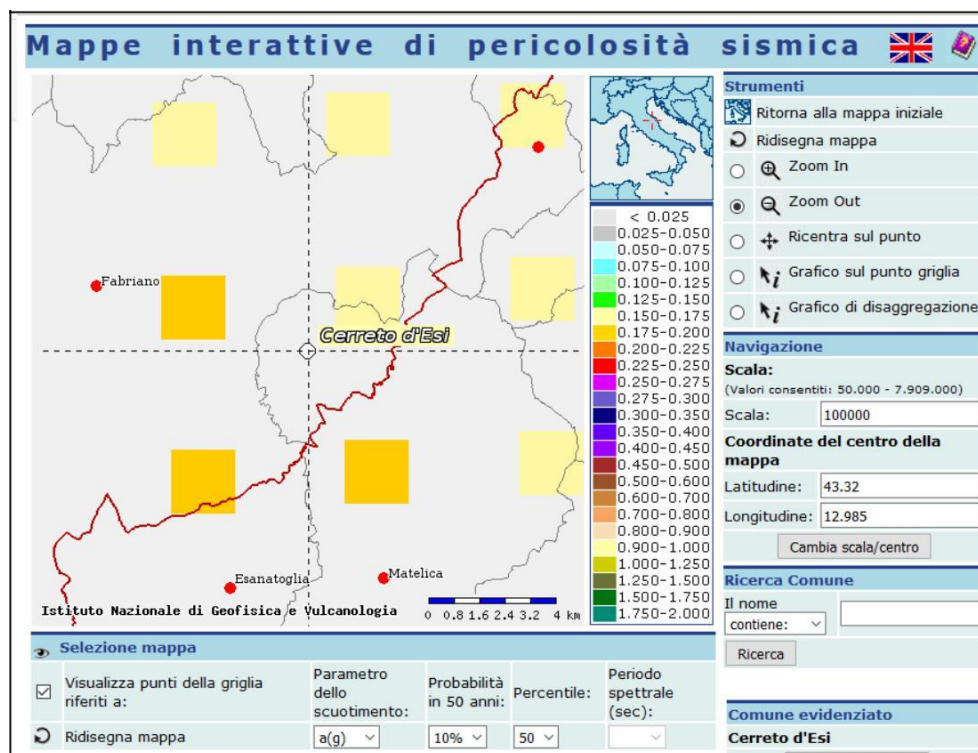
Nella Figura seguente si riporta, a titolo esemplificativo, la mappatura del danneggiamento eseguita dall’ufficio tecnico comunale per il centro storico (interno delle mura).



2.3 Pericolosità sismica di base

Come accennato precedentemente, per quanto riguarda il Comune di Cerreto d’Esi, l’intensità sismica massima registrata ha raggiunto il grado 7 della scala MCS, in occasione del terremoto del 24 aprile 1741 nel fabrianese, quindi molto prossimo a Cerreto d’Esi.





3. Assetto geologico e geomorfologico dell'area

3.1 Inquadramento geologico

L'area indagata rientra quasi totalmente nel sub-bacino di Matelica, appartenente al bacino di Camerino e, per la porzione nord-orientale, nella dorsale marchigiana, con la tipica successione stratigrafica che inizia con il Calcare Massiccio (Hettangiano-Sinemuriano p.p.) e proseguire fino al Messiniano.

Vengono di seguito sinteticamente descritte, utilizzando la classificazione del Progetto CARG - Marche le unità litostratigrafiche rilevate nel territorio, suddivise in unità della copertura e unità del substrato.

- UNITA' DELLA COPERTURA – Depositi Continentali

- **Depositi gravitativi** - (MUSa1, MUSa1q): depositi rimaneggiati e/o mobilitati a seguito di movimenti gravitativi in atto e/o quiescenti, dello spessore variabile, costituiti prevalentemente da limi argillosi e/o argilloso-sabbiosi, dalla struttura caotica con livelli saturi plastici e inclusi lapidei eterometrici

- **Depositi eluvio colluviali** - (MUSb2): costituiti prevalentemente da limi-argillosi, limi-sabbiosi e sabbie limose, talora inglobanti concrezioni carbonatiche e inclusi arenacei. Presentano spessori piuttosto variabili compresi tra 3-4 m fino a 15 m.

- **Depositi alluvionali attuali** - (MUSb): unità ubicate lungo il talweg attuale del Fiume Esino e lungo le incisioni del Fosso Fontenera e del Fosso delle Cerquete. Sono costituiti da alluvioni di fondovalle sciolte costituite da depositi ciottolosi, ghiaie e sabbie limose presenti lungo le zone pianeggianti, hanno estensione areale piuttosto limitata e comunque variabile nello spazio e nel tempo in relazione alle variazioni delle portate fluviali.

- **Depositi alluvionali recenti - terrazzi IV ordine** - (MUSbn) e **III ordine** (MTIbn): si rinvencono all'interno della piana alluvionale del Fiume Esino a quote comprese tra 10 m e 30 m dal fondovalle e sono caratterizzati da spessori variabili compresi tra 5 e 25 m. Essi sono costituiti principalmente da ghiaie ed elementi calcarei e calcareo-marnosi a spigoli appiattiti, intercalati ad orizzonti di argille siltose e livelli sabbiosi.

- **Depositi alluvionali – terrazzi II ordine** (ACbn) e **I ordine** (ACbn4): si rinvencono in aree limitate in sponda destra a quote maggiori di 30m dal fondovalle. Essi sono depositi fluvio-lacustri di ghiaie ad elementi calcarei e calcareo marnosi a granulometria piuttosto uniforme con lenti di sabbie grigio-giallastre e livelli argillo-siltosi grigio chiaro. Alla base, a volte, sono presenti argille marnose chiare, massicce e plastiche, inglobanti talora, sottili intercalazioni sabbiose e ciottolose.

- **Depositi di versante** - (MTIa): si rinvencono a quote comprese tra i 450m s.l.m. e gli 800 m s.l.m. lungo le pendici occidentali del Monte Cipollara. I clasti sono costituiti da elementi poligenici a granulometria variabile, fino alle dimensioni di 10-15 cm., appaiono generalmente a spigoli vivi e sono talora immersi in abbondante matrice limoso-sabbiosa.

- UNITA' DEL SUBSTRATO – Successione Umbro-Marchigiana-Romagnola

Nel Messiniano p.p. nel territorio oggetto di studio termina il processo di sedimentazione marina che, tra il Messiniano ed il Giurassico, ha portato, nel corso di una lunga e complessa evoluzione geologica, alla deposizione dei litotipi afferenti alla Successione Umbro-Marchigiana-Romagnola. Si parte infatti da un ambiente deposizionale pelagico dove la dislocazione della piattaforma carbonatica ha portato alla formazione di alti strutturali e profondi (Successione Giurassica Condensata e Successione Giurassica

Completa). Con l'inizio della Successione Calcarea e/o Marnosa Cretacico-Miocenica l'area subisce uno sprofondamento più omogeneo e le condizioni sedimentarie divengono generalmente più uniformi. Tali condizioni persistono fino al Miocene Inferiore quando inizia a prendere forma la dorsale umbro-marchigiana, con conseguente formazione di ambienti a diversa velocità deposizionale, che si è protratta fino al Pleistocene Inferiore.

In particolare si fa notare come i termini più antichi affiorino nella parte orientale del territorio comunale. Passando dei depositi più recenti ai più antichi abbiamo:

- **Formazione di Camerino** (Miocene sup.) in tutte le sue litofacies.

1. Litofacies Arenaceo-conglomeratica (FCIb): arenarie in grosse bancate con alla base clasti di Bisciario e Schlier intercalate a marne siltose o argillose grigiastre (presente solo sul lato orientale del territorio comunale) – rapporto arenaria/pelite >1.
2. Litofacies arenaceo pelitica (FCId): arenarie grigio-giallastre, a granulometria fine in strati sottili e marne argilloso-siltose scure.
3. Litofacies pelitico-arenacea (FCIe): marne argilloso-siltose e argille marnoso-siltose scure, sottilmente stratificate e rare intercalazioni di arenarie finissime grigie e siltiti scure.
4. Litofacies arenaceo-pelitica (FCIf): arenarie giallastre, medio grossolane, in strati medio-spessi alternate a marne siltose grigie.

- **Schlier** - Miocene Medio-Sup (SCH): marne siltose ed argille siltose grigiastre con intercalazioni marnose a stratificazione generalmente sottile.

- **Bisciario** - Miocene Medio (BIS): calcari scuri compatti intercalati a calcari marnosi biancastri, marne e marne argillose grigie ben stratificate con interstrati di argille siltose e orizzonti o lenti di selce nera. Il colore dominante nella zona è il grigio chiaro.

- **Scaglia Cinerea** – Miocene Medio (SCC): alternanza di marne e marne siltose grigio-verdastre con marne calcaree e calcari marnosi grigio-chiaro.

- **Scaglia Variegata** – Miocene Medio-Inf. (VAS): marne, marne calcaree e calcari marnosi variamente colorati caratterizzati da strati a spessore compreso tra 5 cm e 25 cm.

- **Scaglia Rosata** – Miocene Inf. - Cretaceo Sup (SAA): nel membro intermedio (SAA2) e membro inferiore (SAA1), costituita da strati calcarei e calcareo marnosi ben definiti con spessore variabile da 15 fino a 70 cm., il colore varia dal rosato al rosso mattone, ma non mancano litofacies biancastre. Frequente è la presenza di selce in liste e noduli. Il membro inferiore presenta una maggior componente calcarea rispetto a quello intermedio dove invece prevale la componente marnosa.

- **Scaglia Bianca** – Cretaceo Medio (SBI): calcari e calcari marnosi biancastri con liste di selce nera con spessori variabili tra 15 e 35 cm; è presente un orizzonte calcareo-siliceo-bituminoso poco sotto il contatto con la formazione precedente.

- **Marne a Fucoidi** – Cretaceo Medio - Inf. (FUC): marne policrome, calcari e calcari marnosi con selce policroma in liste e noduli. La stratificazione è piuttosto netta e varia tra i 10 e 25 cm negli strati prevalentemente calcareo marnosi e tra 1 e 5 cm negli strati prevalentemente marnoso argillosi.

- **Maiolica** - Cretaceo Inf. (MAI): calcari micritici biancastri con selce in liste e noduli e, a luoghi, con intercalazioni di dolomie e calcari dolomitici. Gli strati in genere sono piuttosto netti e il loro spessore può arrivare fino a 40cm.

- **Calcari Diasprini Umbro-Marchigiani** - Giurassico Medio-Sup. (CDU2) e (CDU1): calcari con selce in liste e noduli e, a luoghi, con intercalazioni di dolomie e calcari dolomitici. La stratificazione è in genere

piuttosto netta e sottile (4-10cm.) e la colorazione d'insieme è prevalentemente grigio-verdastra alternata a zone policrome.

- **Gruppo del Bugarone** – Giurassico Medio- Inf (BU): costituito da calcari e calcari marnosi nodulari con a luoghi marne a marne calcaree verdastre a stratificazione irregolare.

- **Calcare Massiccio del Burano** – Giurassico Inf (MAS): calcari micritici biancastri avana con sfumature rosate e nocciola a stratificazione generalmente massiccia fino a 4-5 m.

Rispetto all'area interessata dagli studi di I livello, in questa fase di approfondimento, avendo analizzato la sola porzione di territorio comunale urbanizzata (parte del fondovalle del Fiume Esino e del Fosso delle Cerquete), il substrato geologico interessato è costituito unicamente dalla **litofacies pelitica e pelitico-arenacea** del Bacino di Camerino e dalla Formazione dello **Schlier**.

Di seguito si riporta la colonna stratigrafica del sondaggio profondo (612 m), realizzato nel 1995 per ricerche idriche e ubicato in località Case Carloni (MOPS 6).

committente: AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI CERRETO D'ESI (AN)				località: Case Carloni	
data: 18.07.95 sondaggio n° 1				comune: CERRETO D'ESI	
Ditta esecutrice: Edilsoda di Castiglione Cosentino Scalo (CS)				diametro: 6''' (152 mm)	
Attrezzatura utilizzata: Perforatrice Soil mec a motocompressore atlas copco tricono ad inserti, circolazione diretta aria e schiumogeno					
profondità metri	spessore	campioni	litologia	descrizione litologica	H ₂ O fratture
18.5	18.5	-11		Ghiaie e sabbie limose DEPOSITI ALLUVIONALI	-18 debole percolazione
50	51.5	-21 -48 -60		Argille siltose marnose grigio scuro con veli sabbiosi grigi ARENARIE DI MATELICA - ASSOCIAZIONE PELITICA	
70					
100		-96 -103		Marne argillose siltose con intercalazioni marnose molto consistenti a -110 livello calcarenitico molto consistente	
150	145	-172		FORMAZIONE DELLO SCHLIER	
200				a -210 livello calcarenitico molto consistente	
215	20	-256		Calcarei marnosi e marne calcaree molto consistenti	
235				FORMAZIONE DEL BISCIARO	
250		-270			
300	95	-306 -322		Calcarei marnosi e marne calcaree di colore grigio chiaro	
330				FORMAZIONE DELLA SCAGLIA CINEREA	
350					
400	200	-402		Calcarei e calcari marnosi rossastri, con selce rossa al tetto ed al letto del litotipo; la fratturazione, a luoghi presente, è riempita da calcite	-363 portata 0.3 l/s
450		-480		FORMAZIONI DELLA SCAGLIA VARIEGATA E DELLA SCAGLIA ROSSA	
500		-550			
530	15	-590		Calcarei biancastri con selce nera FORMAZIONE DELLA SCAGLIA BIANCA	
545					
560	37			Calcarei marnosi e marne calcaree di colore biancastro o grigio chiaro FORMAZIONE DELLE MARNE A FUCOIDI	
582					
800				Calcarei bianchi molto consistenti con selce grigiasta	
650				Fine sondaggio -612 metri dal p.c.	
700				a 48 ore dal termine della perforazione livello piezometrico a -10.5 metri dal p.c.	
750					
800					
850					
livelli fratturati: * spessore compreso fra 0.5 e 1 m. ** spessore compreso fra 1 e 2 m *** spessore maggiore di 2 m.					

3.2 Assetto geomorfologico

La geomorfologia del territorio comunale è condizionata essenzialmente dalla litologia del locale substrato e dalla dinamica fluviale del Fiume Esino. Dal punto di vista morfostrutturale, possiamo dividere il territorio nel modo seguente:

- una zona occidentale, caratterizzata da una tipica morfologia collinare, scolpita su sedimenti terrigeni facilmente erodibili;
- la zona centrale, subpianeggiante, interessata dai depositi della copertura alluvionale quaternaria;
- la zona orientale, in cui, ad una fascia prettamente collinare, segue la zona montuosa di affioramento dei litotipi calcarei e calcareo marnosi della successione umbro-marchigiana (dorsale marchigiana), con una tipica morfologia articolata e pendenze medie nettamente superiori.

L'alveo del Fiume Esino e dei suoi principali tributari, come gran parte del reticolo idrografico marchigiano, è caratterizzato da fenomeni erosivi di approfondimento in alveo, sia nelle alluvioni che, localmente, nel substrato, e fenomeni di erosione laterale in corrispondenza di tratti meandriformi.

Tale bacino miocenico, a nord del centro abitato, tende a chiudersi in corrispondenza della dorsale di Monte Rustico-Borgo Tufico.

In gran parte del territorio comunale sono presenti fenomeni gravitativi di varia tipologia, estensione e stato di attività (scorrimenti, colamenti, deformazioni plastiche, ecc.), in particolare lungo i versanti delle aree collinari interessati da coltri limoso-argillose, dalle scadenti caratteristiche geotecniche e suscettibili alle variazioni di umidità. Tuttavia, all'interno dell'area individuata per gli approfondimenti di III livello, non sono presenti movimenti gravitativi in atto né potenziali.

Alcune aree sono interessate da materiali di riporto e tombamento, molto eterogenei, di brevi tratti di alvei fluviali del reticolo minore (Fosso delle Cerquete, in corrispondenza degli attuali giardini pubblici, e Fosso di Fontenera, in prossimità della zona industriale a sud del centro abitato).

Inoltre, il centro storico del paese presenta una fitta rete caveale segnalata dal PAI con Pericolosità elevata (P3) e rischio elevato (R3). In tale area la ricostruzione è condizionata alla messa in sicurezza dell'instabilità ed è stata esclusa dal presente studio di Microzonazione.

Infine, tra gli elementi che possono originare amplificazioni sismiche, sono state rilevate e cartografate scarpate morfologiche (fluviali) di altezza compresa tra 10.0 e 20.0 metri.

3.3 Assetto stratigrafico

L'assetto stratigrafico dell'area indagata è caratterizzato dalla sovrapposizione di depositi continentali quaternari e recenti sul locale substrato: i primi sono costituiti in netta prevalenza dalle alluvioni attuali e terrazze del Fiume Esino e del Fosso delle Cerquete, costituite da ghiaie, ghiaie sabbiose con intercalazioni discontinue, in livelli e tasche, di limi sabbiosi e limi argillosi, e, subordinatamente, da coltri eluvio colluviali limoso-argillose e limoso-sabbiose. Infine, in aree ristrette, sono stati cartografati materiali di riporto, anche di notevole spessore (spessore massimo circa 22.0 metri)

Lo spessore dei depositi alluvionali è compreso, prevalentemente, tra 20.0 e 30.0 nella piana alluvionale del Fiume Esino, e tra 10.0 e 20.0 metri nella valle del Fosso delle Cerquete.

Tali depositi poggiano direttamente sui litotipi prettamente pelitici e pelitico-arenacei del Bacino di Camerino (zona meridionale e centro orientale) e sulla Formazione dello Schlier nella zona centrale (centro abitato) e settentrionale.

3.4 Assetto strutturale ed elementi tettonici

L'assetto strutturale del territorio è caratterizzato da una piega a sinclinale con asse diretto da N-NW a S-SE e immergente verso S-SE (sinclinale camerte). Questa struttura si presenta più o meno complessa ed è attraversata da dorsali allungate sia in direzione appenninica (longitudinali) sia in direzione trasversale disarticolate, talora, da faglie distensive, mentre l'ala orientale si presenta interessata anche da una serie di pieghe a corto raggio di curvatura, che coinvolgono principalmente le formazioni delle Scaglie e del Bisciario.

Di norma le faglie longitudinali sono più antiche rispetto a quelle trasversali (antiappenniniche); la bibliografia in possesso ne ipotizza una sul fondovalle, tra C. Bargatano (355 m s.l.m.), Pian della Madonna e C. Le Busche (257 m s.l.m.). Lungo tale dislocazione potrebbe essersi imposta la primitiva direzione di drenaggio, condizionando la valle del F. Esino pertinente il territorio in studio.

Nel territorio indagato non sono presenti faglie attive e capaci né potenzialmente attive e capaci.

4. Dati geotecnici e geofisici

4.1. Dati pregressi

La prima fase del presente lavoro è consistita nella verifica dell'ubicazione e della tipologia delle indagini pregresse precedentemente raccolte per la redazione dello studio di MS di livello I. Si tratta in prevalenza di indagini geognostiche eseguite a corredo di progetti urbanistici ed edilizi reperite presso gli archivi comunali. Nella carta delle indagini sono riportate le verticali pregresse con la relativa simbologia di rappresentazione prevista dagli standard di rappresentazione e archiviazione informatica. Le informazioni relative alle indagini reperite sono state organizzate in una banca dati e georeferenziate su base cartografica CTR tramite GIS. Nel corso del precedente studio è stata reperita una sola prova di laboratorio significativa quindi, per quanto riguarda i parametri geotecnici, sono stati inseriti quelli relativi alle prove in sito pregresse (prove penetrometriche dinamiche, statiche e SPT) reperite presso gli archivi comunali.

Tali dati sono stati riassunti, per quanto riguarda i terreni di copertura quaternari, nella tabella seguente, stralciata dallo studio di livello I. Dalla tabella originaria sono stati omessi i parametri geotecnici relativi alle unità formazionali rilevabili nel territorio comunale oggetto del presente studio, in quanto solo in rari casi tali terreni sono stati direttamente raggiunti nel corso delle verticali reperite, come conseguenza dei discreti spessori delle coperture alluvionali in gran parte del territorio oggetto di studio.

			DEPOSITI DI COPERTURA			
			Depositi eluvio - colluviali (ec)	Depositi alluvionali		
			ML	GM	ML tf	ML lc
Prove in situ	Prova penetrometriche dinamiche e statiche E-CPT	NSPT equiv.	3-25	10-rifiuto	2-12	1-4
		Qc (MPa)	1-3	2-rifiuto	1-5	0,6-2
		Densità relativa (%)	18-25	30>85	20-50	15-40
		Coestione non drenata (MPa)	0,01-0,15		0,05-0,25	0,01-0,18
		Modulo di elasticità (MPa)	0,15-0,40		0,30-10	0,20-0,70
		Modulo edometrico (MPa)	0,35-0,60		0,35-1,4	0,25-10
		Angolo d’attrito (°)	20-28	27-35	27-33	22-28

4.2. Dati acquisiti ex-novo e descrizione del piano delle indagini

Per lo svolgimento del presente lavoro sono state eseguite, nel mese di agosto 2017, n° 14 linee sismiche con metodologia MASW, n° 2 linee sismiche a rifrazione in onde SH e n° 14 misure passive HVSR, ubicate in adiacenza dei suddetti stendimenti, unitamente alla prova sismica in foro di tipo Down-Hole eseguita direttamente dal Centro MS sul sondaggio attrezzato dagli scriventi.

Tali indagini geofisiche sono state eseguite per la caratterizzazione sismica delle MOPS individuate nel precedente studio di MS di livello 1, i cui perimetri sono stati poi successivamente modificati sulla base delle risultanze ottenute dalle stesse indagini di tipo geofisico.

MOPS	ID MASW	ID HVSR	ID RIFRAZIONE SH	ID HVSR
1041	L4MASW	P313HVSR	L4SR	
2003	L6 MASW	P324HVSR	L6SR	
2004	L9MASW	P309HVSR		P326DH
2004	L17MASW	P323HVSR		
2006	L12MASW	P317HVSR		
2006	L14MASW	P319HVSR		
2006	L15MASW	P320HVSR		
2007	L18MASW	P327HVSR		
2008	L11MASW	P307HVSR		
2011	L7MASW	P310HVSR		
2011	L8MASW	P314HVSR		
2011	L16MASW	P321HVSR		
2012	L10MASW	P311HVSR		
2013	L13MASW	P318HVSR		

4.3. Caratteristiche delle strumentazioni utilizzate

Le indagini geofisiche eseguite nell'ambito del presente lavoro sono state eseguite con strumentazioni aventi le caratteristiche tecniche di seguito descritte.

4.3.1 Strumentazione per indagini sismiche MASW e rifrazione in onde sh

Tale tipologie di indagini sono state eseguite utilizzando un Sismografo multicanale a trasmissione digitale della Sara Electronic Instruments dotato di memoria indipendente per ogni canale in grado di memorizzazione oltre 30.000 campioni. Gli intervalli di campionamento sono programmabili da 5 a 0.05 millisecondi, corrispondenti a frequenze di campionamento da 200 a 20000 Hz. La durata del campionamento è selezionabile fra 0.1 e 60 secondi. Elevata dinamica (96dB al convertitore, 155dB totale). Impedenza d'ingresso: >100kΩ. La trasmissione digitale dei dati consente un'elevata silenziosità e immunità ai rumori. Per l'acquisizione delle onde di superficie i sensori sono costituiti da una catena di geofoni verticali Geospace GS-11D da 4,5 Hz 4000 ohms del tipo elettromagnetico a bobina mobile equispaziati con interdistanza geofonica costante. Per l'acquisizione dei primi arrivi delle onde S, necessari per la tecnica a rifrazione, si sono invece utilizzati geofoni orizzontali Geospace da 10 Hz. Questi sono dei trasduttori di velocità in grado di tradurre in segnale elettrico la velocità con cui il suolo si sposta al passaggio delle onde sismiche prodotte da una specifica sorgente.

4.3.2 Strumentazione per indagini sismiche passive HVSR

Tale tipologia di indagini è stata eseguita con una strumentazione "Tromino" della Micromed spa, strumento che racchiude 3 canali velocimetrici a guadagno variabile, 3 canali accelerometrici, un canale analogico, un ricevitore GPS e un modulo radio ricevente/trasmittente. Tale strumento opera nell'intervallo di frequenze 0.1-1024 Hz ed è alimentato da due batterie AA.

4.3.3 Strumentazione per indagine sismica down-hole

La strumentazione utilizzata dai tecnici del Centro MS per l'esecuzione dell'indagine sismica in foro è un sismografo Geometrics Geode 16 canali con intervallo di acquisizione di 0,25 ms e un tempo di campionamento pari a 512 ms.

4.4. Cenni teorici sulle indagini sismiche con metodologia MASW

Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde compressive, più di due terzi dell'energia totale generata viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle onde superficiali. Le onde di Rayleigh sono generate dall'iterazione tra le onde di compressione e le onde di taglio verticali ogni qualvolta esiste una superficie libera in un mezzo omogeneo ed isotropo. Alla superficie libera hanno un moto ellittico retrogrado (antiorario) che si inverte ad una profondità di $\lambda/2\pi$. In un semispazio elastico, omogeneo ed isotropo, la velocità di propagazione delle onde di Rayleigh è indipendente dalla frequenza e il moto indotto dalla propagazione si smorza rapidamente sino ad estinguersi ad una profondità pari circa ad una lunghezza d'onda. Ciò vuol dire che la profondità raggiunta dipende dalla

lunghezza d’onda, e che, a diverse lunghezze d’onda corrisponde la stessa velocità di fase. In un mezzo verticalmente eterogeneo, costituito cioè da strati aventi proprietà meccaniche differenti, le onde superficiali presentano un comportamento dispersivo, ossia a frequenza diverse corrispondono diverse velocità di fase.

Ciò vuol dire che lunghezze d’onda diverse interessano strati differenti ai quali sono associate proprietà meccaniche diverse: ogni lunghezza d’onda si propaga ad una velocità di fase che dipende dalle caratteristiche dello strato interessato dalla propagazione. Per ottenere un profilo Vs bisogna produrre un treno d’onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore. I dati acquisiti vengono sottoposti ad una fase di processing che consente di stimare la curva di dispersione caratteristica del sito in oggetto, ovvero la velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza. Esistono diverse tecniche per estrarre dai sismogrammi acquisiti le caratteristiche dispersive del sito. La metodologia più diffusa è l’analisi spettrale nel dominio f-k (frequenza-numero d’onda).

I dati sismici registrati vengono sottoposti ad una doppia trasformata di Fourier che consente di passare dal dominio x-t (spazio-tempo) al dominio f-k. Lo spettro f-k del segnale consente di ottenere una curva di dispersione per le onde di Rayleigh, nell’ipotesi che nell’intervallo di frequenze analizzato le onde che si propagano con il maggior contenuto di energia siano proprio le onde di Rayleigh e che le caratteristiche del sito siano tali da consentire la propagazione delle onde superficiali e un comportamento dispersivo delle stesse. La velocità delle onde di Rayleigh è infatti associata ai massimi dello spettro f-k; si può così ottenere una curva di dispersione individuando ad ogni frequenza un picco spettrale al quale è associato un numero d’onda k e quindi una velocità delle onde di Rayleigh V_r determinabile in base alla teoria delle onde dalla relazione:

$$V_r(f) = 2\pi f/k$$

Riportando le coppie di valori V_r -f in un grafico si ottiene la curva di dispersione utilizzabile nella successiva fase di inversione. La fase di inversione deve essere preceduta da una parametrizzazione del sottosuolo, che viene di norma schematizzato come un mezzo visco – elastico a strati piano paralleli, omogenei ed isotropi, nel quale l’eterogeneità è rappresentata dalla differenziazione delle caratteristiche meccaniche degli strati. Il processo di inversione è iterativo: a partire da un profilo di primo tentativo, costruito sulla base di metodi semplificati, il problema diretto viene risolto diverse volte variando i parametri che definiscono il modello. Il processo termina quando viene individuato quel set di parametri di modello che minimizza la differenza tra il set di dati sperimentali (curva di dispersione misurata) e il set di dati calcolati (curva di dispersione sintetica). Il processo di inversione si basa su algoritmi di minimizzazione ai minimi quadrati che consentono di automatizzare la procedura. La procedura MASW comprende tre passi successivi:

- acquisizione delle onde superficiali (ground roll)
- estrazione della curva di dispersione caratteristica del sito
- inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale (1D) delle Vs

4.5 Cenni teorici sulle indagini sismiche con metodologia a rifrazione

Il metodo sismico a rifrazione si basa sulla misura dei tempi di primo arrivo delle onde sismiche (P o SH) generate in superficie da una sorgente sismica e captate da ricevitori, anch’essi in superficie, disposti su un allineamento a diverse distanze dalla sorgente. I tempi di primo arrivo, correlati alle diverse distanze sorgente-ricevitore, permettono la stima delle geometrie del sottosuolo e delle velocità di propagazione delle onde sismiche. La tecnica di prospezione sismica a rifrazione consiste nella misura dei tempi di primo arrivo

delle onde sismiche generate in un punto in superficie (punto di energizzazione) in corrispondenza di una molteplicità di punti disposti allineati sulla superficie topografica (geofoni). Lo studio della propagazione delle onde sismiche consente di valutare le proprietà meccaniche e fisiche dei terreni attraversati, di stimare il loro grado di consistenza e di ottenere informazioni sulla natura e sulla geometria del sottosuolo. I principali limiti della sismica a rifrazione risiedono nell'impossibilità teorica di rilevare strati a velocità inferiore rispetto a quelli sovrastanti (inversioni di velocità), in quanto il raggio incidente la superficie di separazione tra i due mezzi si approfondirebbe sempre di più non creando l'onda birifratta.

Un'altra limitazione di tale metodologia si può verificare in presenza di strati di ridotto spessore, per i quali è possibile che la relativa birifratta non arrivi in alcun geofono per prima, per il fatto che il tratto di superficie dove arriva per prima è molto breve e può non contenere alcun geofono o al più uno solo. Infatti uno strato per essere visto deve essere campionato da almeno due geofoni e se questo non avviene è come se non esistesse (stato nascosto). Entrambe le situazioni appena descritte possono portare a sottostimare o sovrastimare le velocità delle onde sismiche e degli spessori delle coperture. Si ritiene inoltre opportuno ricordare che la velocità delle onde di compressione in terreni saturi dipende talora in maniera determinante dalle vibrazioni trasmesse dal fluido interstiziale e non dallo scheletro solido e perciò tale valore può non essere rappresentativo delle proprietà meccaniche del mezzo attraversato.

Utilizzando quindi le distanze tra il punto di energizzazione e quelli di ricezione e i tempi di primo arrivo dei segnali sismici, si ricavano le dromocrone (curve tempi-distanze), dalle quali si risale poi, utilizzando il metodo del Delay - time, alle velocità reali nei singoli sismostrati, al loro spessore, profondità, forma ed inclinazione. La validità del modello bidimensionale viene successivamente verificata attraverso una procedura iterativa basata sulla determinazione dell'errore minimo quadrato tra le dromocrone osservate e quelle teoriche (Ray-tracing). L'elaborazione dei dati sismici acquisiti è stata pertanto effettuata attraverso la procedura sopra descritta, consistente sinteticamente nell'esecuzione delle seguenti fasi: individuazione del tempo di primo arrivo delle onde di taglio su ciascuna traccia di ogni sismogramma → dromocrone → modello delay time → procedura di ray-tracing.

4.6 Cenni teorici sulle indagini sismiche passive HVSr

La prova HVSr è una tecnica di sismica passiva che si basa sull'analisi del campo delle vibrazioni ambientali finalizzata alla determinazione delle caratteristiche del sottosuolo al di sotto del punto di osservazione. Considerando che il rumore è caratterizzato da lunghezze d'onda anche molto grandi, confrontabili con quelle tipiche dei fenomeni sismici, tale tecnica di sismica passiva trova una ideale applicazione negli studi della risposta sismica locale. In particolare essa permette di individuare situazioni sismo-stratigrafiche potenzialmente responsabili di fenomeni di risonanza sismica, consentendo una stima delle frequenze alle quali il moto del terreno può risultare amplificato a causa di questi fenomeni e la determinazione dei periodi di risonanza delle coperture sedimentarie.

Tale tipologia di prova effettua una valutazione sperimentale dei rapporti di ampiezza spettrale fra le componenti orizzontali (H) e la componente verticale (V) delle vibrazioni ambientali sulla superficie del terreno misurati in un punto con un apposito sismometro a tre componenti. Il risultato di questa tipologia di prova è una curva sperimentale che rappresenta il valore del rapporto fra le ampiezze spettrali medie delle vibrazioni ambientali in funzione della frequenza di vibrazione. Le frequenze alla quali la curva H/V mostra dei massimi sono legate alle frequenze di risonanza del terreno al di sotto del punto di misura. La frequenza di risonanza sarà tanto più precisa quanto maggiore è il contrasto di impedenza sismica responsabile del

fenomeno, ovvero dove sono maggiori gli effetti potenzialmente pericolosi. In assenza di contrasti di impedenza alla base della copertura, il rapporto H/V sarà all'incirca unitario.

I criteri SESAME (2004) considerano significativi solo picchi con ampiezza H/V superiore a 2. Tale tipologia di indagine richiede una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz), l'assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze e sorgenti di rumore uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione. Se tali ipotesi sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate. Si esegue una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x,y,z) con una singola stazione. Tale registrazione deve essere effettuata per una durata non inferiore ai 20 minuti. Si effettua poi un'operazione detta di windowing, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del succitato progetto SESAME tale dimensione, detta Long Period, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre "long", che sono sincronizzate fra le tracce.

Queste finestre vengono filtrate in base a criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione. Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a tapering e/o lisciamiento secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee. Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea. Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale Z, ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia.

Questo permette quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di windowing. Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito. L'ulteriore ipotesi che questo rapporto spettrale possa ritenersi una buona approssimazione dell'ellitticità del modo fondamentale della propagazione delle onde di Rayleigh, permette di confrontare questi due al fine di ottenere una stima del profilo stratigrafico.

4.7 Cenni teorici sulle indagini sismiche tipo down-hole

La prova Down-hole è finalizzata alla determinazione dei profili delle onde sismiche di compressione e di taglio con la profondità. Essa consiste nel produrre sulla superficie del terreno una perturbazione mediante una sorgente meccanica e nel misurare il tempo d'arrivo delle onde dirette alle varie profondità all'interno di un foro opportunamente predisposto. L'attrezzatura per prove Down-hole è costituita da:

- un sistema di ricezione, costituito da due geofoni da foro 3D con dispositivo meccanico di bloccaggio, accoppiati e orientabili dalla superficie mediante un sistema di aste rigide;

- una sorgente di onde S, realizzata tramite un pendolo, che consente di controllare l’energia di battuta, costituita da una trave in legno e alluminio forgiata in modo da garantire la perfetta aderenza al terreno;
- una sorgente di onde P, costituita da un martello e una piastra metallica;
- un sistema di acquisizione, costituito da un sismografo, al quale è collegato un dispositivo di trigger.

Una volta verificato che il foro è completamente libero e misurata la profondità del sondaggio e il livello di falda, vengono posizionati i due geofoni a fondo foro. Essi vengono poi bloccati alle pareti del foro e vengono eseguite più battute orizzontali destre e sinistre e altrettante battute verticali, acquisendo poi la media delle energizzazioni effettuate.

Successivamente vengono sbloccati i geofoni e fatti avanzare di un metro, controllando che l’orientazione rispetto alla sorgente non venga modificata e la prova viene ripetuta fino ad arrivare alla superficie. L’interpretazione delle misure, ai fini della determinazione del profilo della velocità delle onde S e delle onde P, viene effettuata con il metodo delle velocità d’intervallo a partire da un’analisi visuale dei dati e dallo studio delle funzioni di cross-correlazione.

5. Modello del sottosuolo finalizzato alla MS

5.1 Unità geologico-tecniche

Di seguito si riporta la legenda della Carta geologico-tecnica dell’intero territorio comunale, con le relative unità rilevate e cartografate:



Nella sola area ricadente all’interno del perimetro urbanizzato, analizzato in dettaglio, il locale substrato è costituito dalla litofacies pelitica e pelitico-arenacea del Bacino di Camerino, e dalla Formazione dello Schlier (**substrato sismico**).

5.2 Sezioni geologico-tecniche

Al fine di rappresentare significativamente il modello del sottosuolo, l'assetto strutturale, la geometria, gli spessori e i rapporti tra depositi di copertura e substrato, sono state realizzate n. 4 Sezioni geologico-tecniche, in scala 1:2.000, orientate trasversalmente agli assi vallivi e allegate al presente studio (elaborato Sezioni geologico-tecniche).

Le sezioni 1, 2 e 3 mostrano l'assetto morfologico-stratigrafico attraverso la valle del Fiume Esino, mentre la Sezione 4 taglia trasversalmente la valle del Fosso delle Cerquete; dall'analisi di tale elaborato si può notare quanto segue:

- un notevole spessore dei sedimenti alluvionali, disposti su più ordini di terrazzi (fino a circa 30.0 m), caratterizzati da variabilità granulometrica e tessiturale, sia in senso laterale che verticale;
- i depositi alluvionali poggiano su substrati diversi, in particolare:
 - nella zona centro settentrionale il substrato è costituito dalle marne calcaree e marne argillose della Formazione dello Schlier, che costituisce il nucleo di una blanda anticlinale;
 - la zona meridionale (comprendente anche la valle del Fosso delle Cerquete), il locale substrato è rappresentato dai termini pelitico e pelitico-arenacei del Bacino di Camerino.

La **Formazione dello Schlier**, a differenza delle litofacies prettamente pelitiche con velocità Vs medie di circa 450 m/s, costituisce il **substrato sismico (Vs > 800.0 m/s)**.

Occorre far notare, tuttavia, come i risultati della prova down-hole abbiano mostrato velocità leggermente superiori agli 800.0 m/s anche per le alluvioni ghiaiose, a partire da 21.0 m circa di profondità.

Nell'elaborato delle Sezioni geologico-tecniche tale limite (substrato sismico) è stato evidenziato mediante un tratteggio di colore rosso.

5.3 Descrizione delle Microzone omogenee in prospettiva sismica

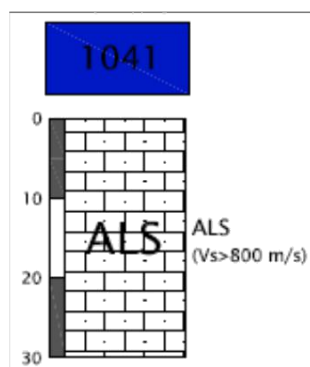
Per la realizzazione del presente lavoro è stata operata una sintesi derivante dalla sovrapposizione dei dati geologici, geomorfologici, geotecnici e geofisici reperiti e acquisiti. Le microzone vengono classificate in tre categorie:

- zone stabili dove non si ipotizzano effetti locali di rilievo di alcuna natura; il substrato geologico è in affioramento con morfologia pianeggiante o poco inclinata;
- zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, nelle quali sono attese amplificazioni del moto sismico come effetto dell'assetto litostratigrafico e morfologico locale;
- zone suscettibili di instabilità, nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio (instabilità di versante, liquefazioni, faglie attive e capaci, cedimenti differenziali).

5.3.1 Descrizione delle zone stabili

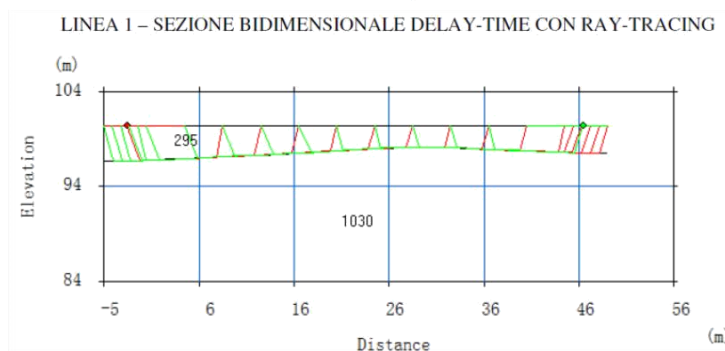
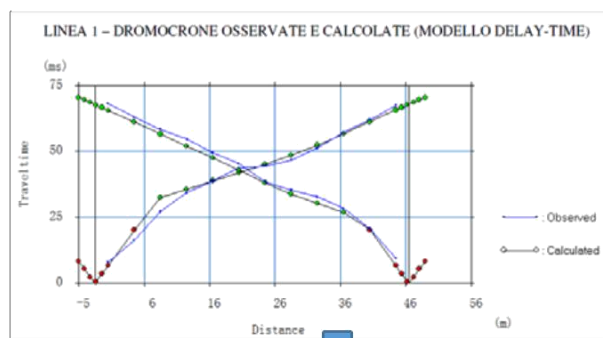
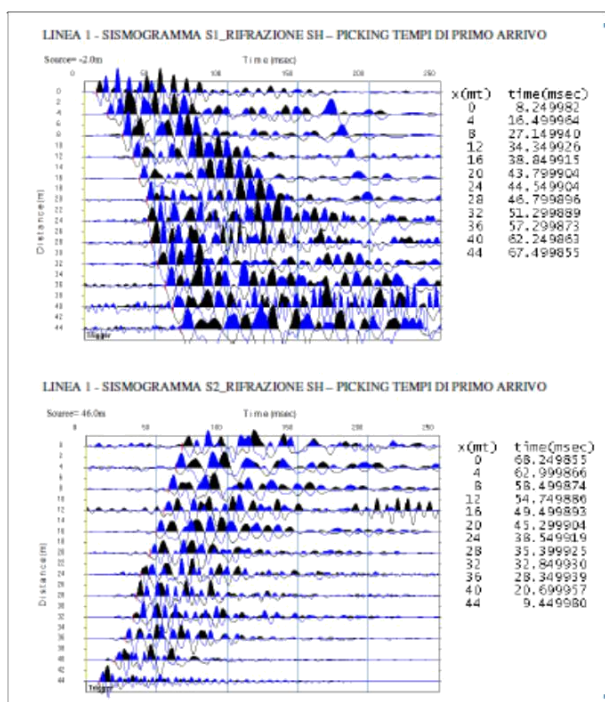
Di seguito si riporta la descrizione delle colonne stratigrafiche di riferimento delle microzone omogenee in prospettiva sismica individuate nel territorio oggetto di indagine.

MOPS 1041



Dall'analisi delle indagini geognostiche reperite e dai rilievi di superficie eseguiti si evince come la successione stratigrafica della microzona in oggetto sia caratterizzata dalla locale formazione geologica, riferibile all'unità formazionale dello Schlier (ALS), costituita da marne, marne calcaree e marne argillose, affiorante o sub-affiorante. Le indagini geofisiche eseguite nell'ambito del presente lavoro (L4MASW, P313HVS e L4SR) hanno evidenziato come il litotipo in oggetto, caratterizzato da una velocità di propagazione delle onde di taglio superiori a 800 m/s, rappresenti il bedrock sismico nel territorio comunale in studio, così come confermato anche dal Down-Hole eseguito dal Centro MS, che ha raggiunto, al di sotto dei depositi alluvionali del fiume Esino, tale unità formazionale.

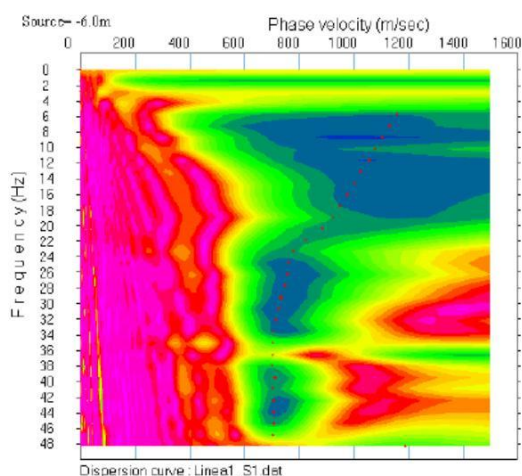
MOPS 1041 - Indagine sismica a rifrazione in onde SH - L4SR



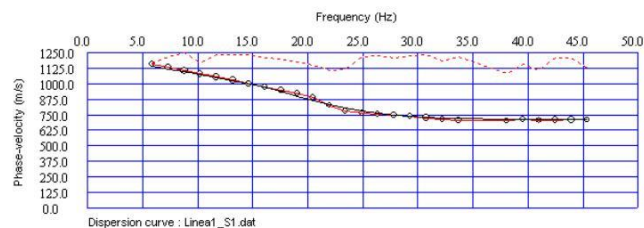
L'indagine a rifrazione in onde SH, caratterizzata da sismogrammi di discreta qualità, ha evidenziato la presenza, al di sotto della porzione più superficiale e areata della locale successione stratigrafica, di materiali caratterizzati da velocità delle onde di taglio ampiamente superiori a 800 m/sec.

MOPS 1041 - Indagine sismica con metodologia MASW - L4MASW

CURVA DI DISPERSIONE SPERIMENTALE CON PICKING

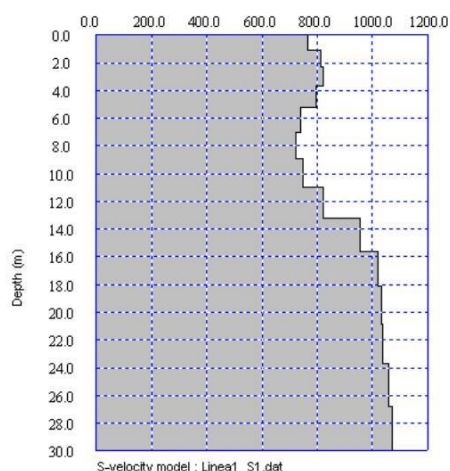


CURVA DI DISPERSIONE SPERIMENTALE E CALCOLATA



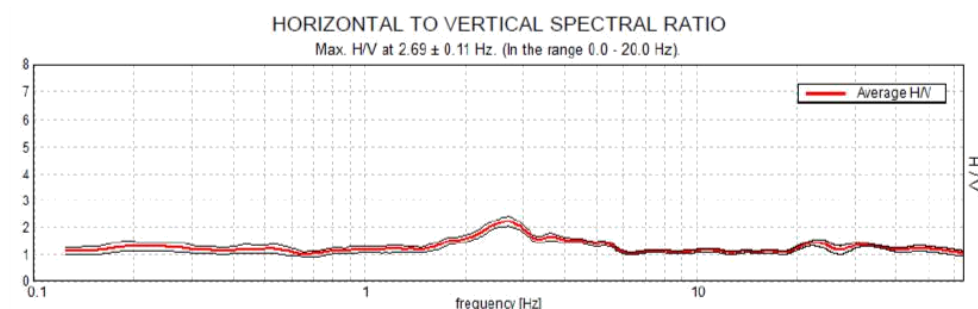
Profondità (mt)	h _i (mt)	V _i (m/s)	h _i /V _i	V _{s30} (m/s)
0,00 ÷ 1,07	1,07	769	0,0014	901
1,07 ÷ 2,31	1,24	812	0,0015	
2,31 ÷ 3,71	1,40	823	0,0017	
3,71 ÷ 5,27	1,57	795	0,0020	
5,27 ÷ 7,01	1,73	740	0,0023	
7,01 ÷ 8,90	1,90	722	0,0026	
8,90 ÷ 10,96	2,06	748	0,0028	
10,96 ÷ 13,19	2,23	822	0,0027	
13,19 ÷ 15,58	2,39	956	0,0025	
15,58 ÷ 18,13	2,55	1022	0,0025	
18,13 ÷ 20,85	2,72	1034	0,0026	
20,85 ÷ 23,74	2,88	1039	0,0028	
23,74 ÷ 26,79	3,05	1060	0,0029	
26,79 ÷ 30,00	3,21	1071	0,0030	
Σ h _i =	30,00	Σ h _i H _i /V _i =	0,0333	

MODELLO V_s



La registrazione MASW è caratterizzata da una curva di dispersione sperimentale univocamente definita, così come da una buona sovrapposizione tra essa e quella calcolata a seguito delle procedure di inversione effettuate. Il profilo monodimensionale della velocità delle onde di taglio sopra riportato ha evidenziato la presenza del bedrock sismico a partire già a profondità prossime alla superficie topografica.

MOPS 1041 - Indagine sismica passiva HVSR - P313HVSR

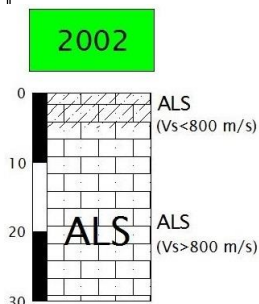


Dall'analisi della curva dei rapporti spettrali H/V sopra riportata si evince la presenza di un modesto fenomeno amplificativo, con picco H/V dell'ordine di 2 circa, rilevabile ad una frequenza di 2,69 Hz circa

(\Rightarrow frequenza di risonanza del sottosuolo), all'interno del campo delle frequenze di interesse ingegneristico (0,5÷10 Hz). Tale curva, discretamente appiattita, è compatibile con le risultanze delle altre tipologie di indagini sismiche eseguite all'interno della stessa MOPS, dalle quali risulta come il substrato sismico si presenti sub-affiorante alla superficie topografica.

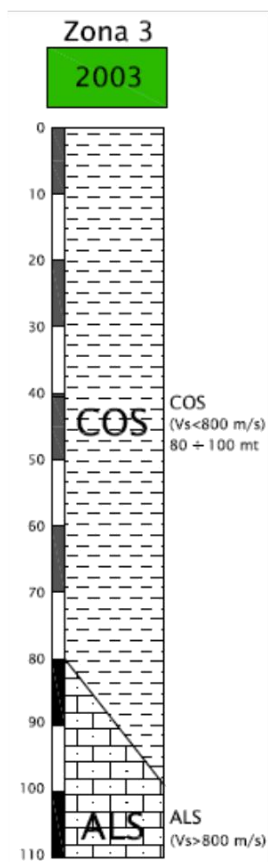
5.3.2 Descrizione delle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

MOPS 2002



La successione stratigrafica della microzona in oggetto, non direttamente indagata in quanto esterna alla perimetrazione MS3, è caratterizzata dalla presenza della formazione geologica basale, riferibile all'unità formazionale dello Schlier (ALS) e costituita da marne, marne calcaree e marne argillose, sub-affiorante alla superficie topografica. Nella sua porzione più superficiale, per uno spessore dell'ordine di qualche metro, essa si presenta fortemente alterata e decompressa.

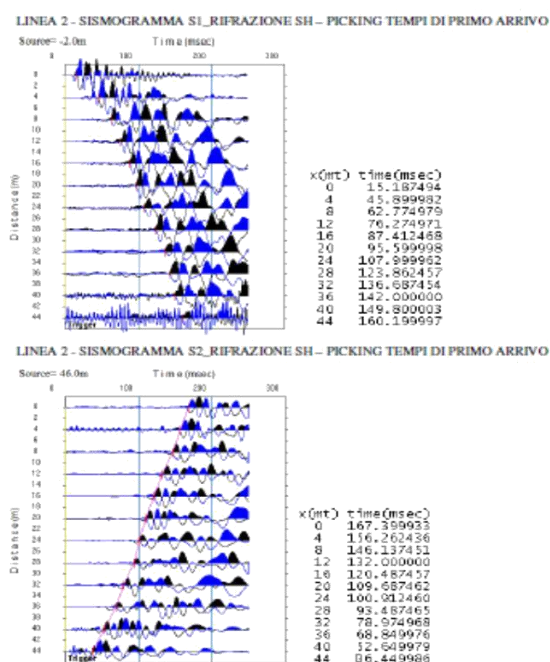
MOPS 2003



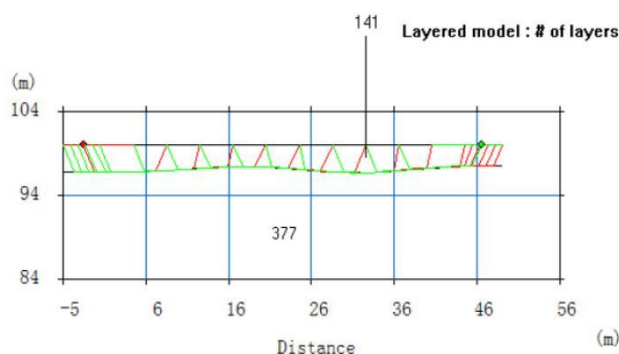
Dall'analisi delle indagini geognostiche reperite e dai rilievi di superficie eseguiti si evince come la successione stratigrafica della microzona in oggetto sia caratterizzata dalla locale formazione geologica riferibile all'unità formazionale di Camerino (COS), costituita da litofacies pelitico-arenacee e arenaceo-pelitiche, affiorante o sub-affiorante alla superficie topografica. Le indagini geofisiche eseguite nell'ambito del presente lavoro (L6MASW, P324HVS e L6SR) hanno evidenziato come il litotipo in oggetto è caratterizzato da velocità di propagazione delle onde di taglio ampiamente inferiori a 800 m/s, tali da non poter essere considerato come bedrock sismico.

MOPS 2003 - Indagine sismica a rifrazione in onde SH – L6SR

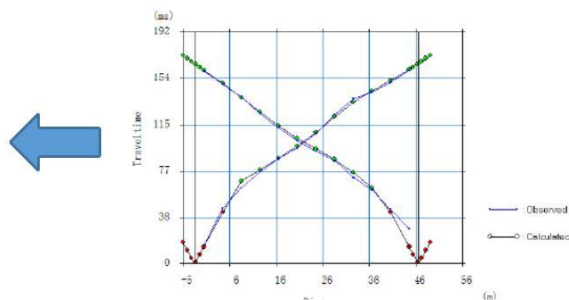
L'indagine sismica a rifrazione in onde SH, caratterizzata anche questo caso da sismogrammi di discreta qualità, ha evidenziato la presenza, al di sotto della porzione più superficiale e areata della locale successione stratigrafica, di materiali caratterizzati da velocità delle onde di taglio dell'ordine di 377 m/s, ampiamente inferiori al valore di riferimento del bedrock sismico



LINEA 1 – SEZIONE BIDIMENSIONALE DELAY-TIME CON RAY-TRACING

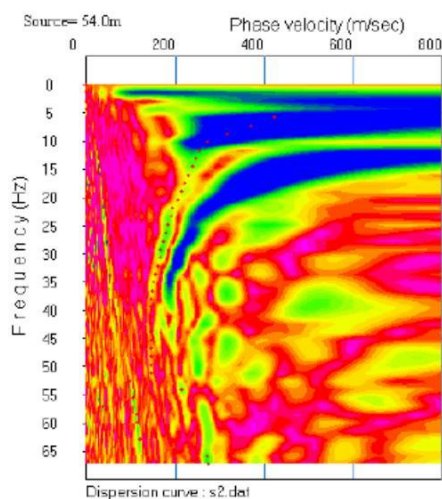


LINEA 1 – DROMOCRONE OSSERVATE E CALCOLATE (MODELLO DELAY-TIME)

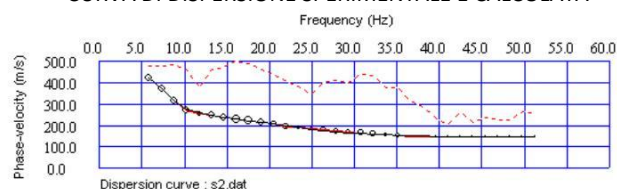


MOPS 2003 - Indagine sismica con metodologia MASW – L6MASW

CURVA DI DISPERSIONE SPERIMENTALE CON PICKING

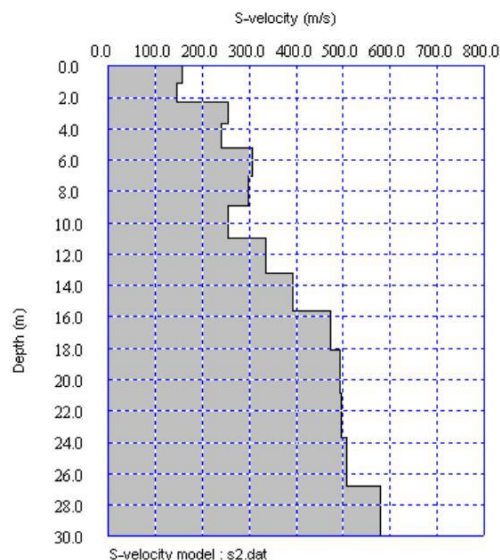


CURVA DI DISPERSIONE SPERIMENTALE E CALCOLATA



MODELLO Vs

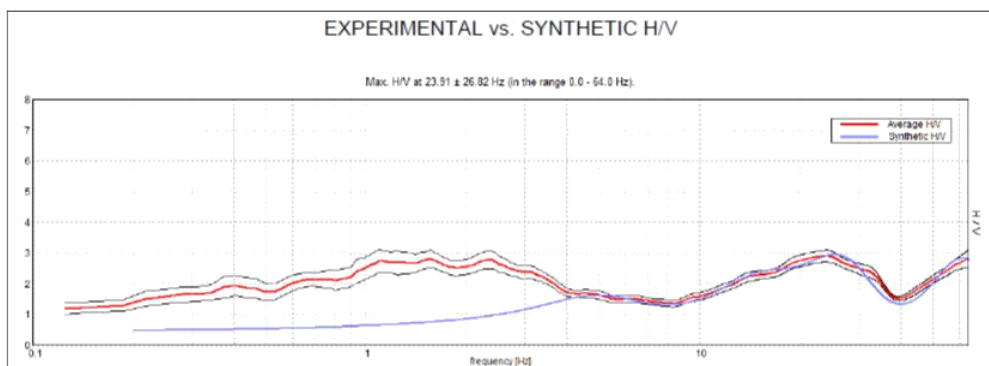
Profondità (mt)	hi (mt)	Vi (m/s)	hi/Vi	Vs30 (m/s)
0,00 ÷ 1,07	1,07	158	0,0068	339
1,07 ÷ 2,31	1,24	146	0,0085	
2,31 ÷ 3,71	1,40	254	0,0055	
3,71 ÷ 5,27	1,57	240	0,0065	
5,27 ÷ 7,01	1,73	306	0,0057	
7,01 ÷ 8,90	1,90	298	0,0064	
8,90 ÷ 10,96	2,06	256	0,0081	
10,96 ÷ 13,19	2,23	336	0,0066	
13,19 ÷ 15,58	2,39	393	0,0061	
15,58 ÷ 18,13	2,55	473	0,0054	
18,13 ÷ 20,85	2,72	493	0,0055	
20,85 ÷ 23,74	2,88	497	0,0058	
23,74 ÷ 26,79	3,05	507	0,0060	
26,79 ÷ 30,00	3,21	578	0,0056	
Σhi=	30,00	ΣhVi=	0,0884	



La registrazione MASW è caratterizzata da una curva di dispersione sperimentale univocamente definita, così come da una buona sovrapposizione tra essa e quella calcolata a seguito delle procedure di inversione effettuate. Il profilo monodimensionale sopra riportato ha evidenziato la presenza di terreni caratterizzati da

basse velocità di propagazione delle onde di taglio per tutta la profondità considerata, sensibilmente inferiori a quelle assunte dal substrato sismico di riferimento.

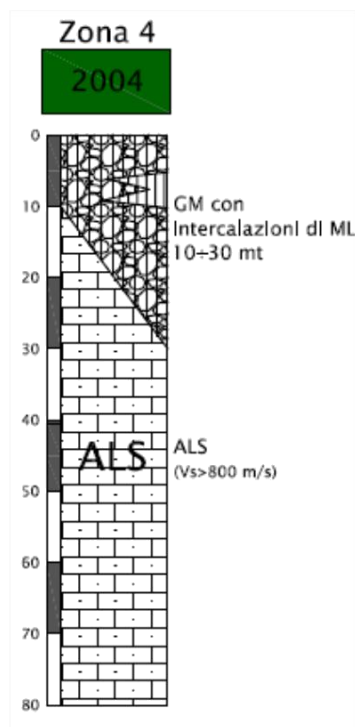
MOPS 2003 - Indagine sismica passiva HVSR - P324HVSR



Dall'analisi della curva dei rapporti spettrali H/V sopra riportata si evince la presenza di due discreti picchi della curva H/V, dell'ordine di 3 circa, rilevabili rispettivamente ad una frequenza di 26,82 Hz e 2,30 Hz circa, con quest'ultimo all'interno del campo delle frequenze di interesse ingegneristico e presumibilmente corrispondente al passaggio tra la formazione di Camerino e il sottostante Bedrock sismico riferibile all'unità formazione dello Schlier. Per la determinazione della profondità del bedrock rigido di riferimento, necessaria per le successive analisi di risposta sismica locale, si è poi proceduto all'inversione congiunta tra la curva di dispersione ottenuta dalla misura MASW, che vincola maggiormente la parte superficiale del profilo di Vs, e la curva H/V ottenuta dalla misura a stazione singola associata allo stendimento sismico attivo, che dà invece maggiori informazioni sull'andamento delle velocità delle onde di taglio in profondità e sull'entità del contrasto di impedenza sismico. Tale modellazione è stata eseguita utilizzando il software HV-INV, che si basa sull'apporto di tutte le fasi sismiche (campo completo: onde di volume e onde superficiali) seguendo la teoria del Campo Diffuso (Sanchez-Sesma *et al.* 2011). L'inversione congiunta eseguita per la MOPS 2003 ha permesso di individuare il bedrock sismico di riferimento a partire da una profondità di 91 m al di sotto della superficie topografica. Di seguito è riportata la sismo-stratigrafia inserita nel software Strata ottenuta dalle inversioni congiunte effettuate con il suddetto software HV-INV. Tali inversioni hanno permesso di definire i range di spessore e velocità da attribuire ai terreni sovrastanti il bedrock sismico. I dati numerici inseriti nel software Strata provengono da un'analisi di dettaglio delle caratteristiche litologiche, meccaniche e sismiche dei terreni costituenti la successione stratigrafica della MOPS in esame.

General Settings Soil Types Soil Profile Motion(s) Output Specification Compute Results							
Site Profile							
<input type="button" value="Add"/> <input type="button" value="Insert"/> <input type="button" value="Remove"/>							
	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)	Minimum (m/s)	Maximum (m/s)	Varied
1	0.00	3.00	1_Apiro (CLfd, CLec, CLcd)	240.00	<input checked="" type="checkbox"/> 200.00	<input checked="" type="checkbox"/> 300.00	<input checked="" type="checkbox"/>
2	3.00	44.00	Substrato fratturato (lineare)	440.00	<input checked="" type="checkbox"/> 400.00	<input checked="" type="checkbox"/> 500.00	<input checked="" type="checkbox"/>
3	47.00	44.00	Substrato fratturato (lineare)	560.00	<input checked="" type="checkbox"/> 520.00	<input checked="" type="checkbox"/> 600.00	<input checked="" type="checkbox"/>
4	91.00	Half-Space	Bedrock	1050.00	<input checked="" type="checkbox"/> 810.00	<input checked="" type="checkbox"/> 1070.00	<input checked="" type="checkbox"/>

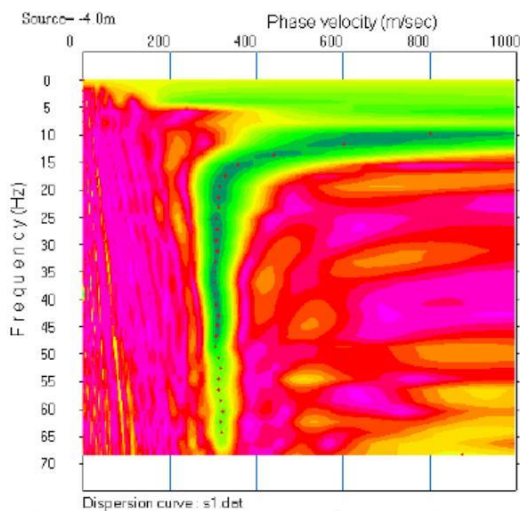
MOPS 2004



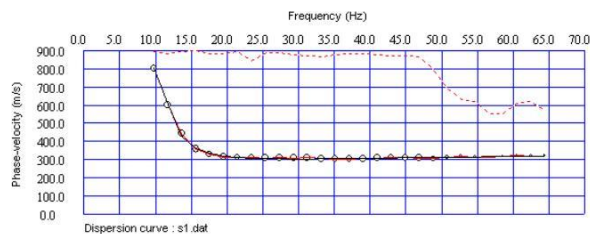
Dall'analisi delle indagini geognostiche reperite si evince come la successione stratigrafica della microzona in oggetto sia costituita da coperture quaternarie di origine alluvionale, caratterizzate da spessori compresi tra 10÷30 metri circa, costituite da ghiaie in matrice prevalentemente limoso-sabbiosa frammista in percentuali variabili, con intercalazioni lentiformi di terreni fini a basso stato di addensamento/consistenza. L'addensamento dei depositi prettamente ghiaiosi è generalmente elevato ma comunque caratterizzato da una certa variabilità in funzione del contenuto in matrice. La successione stratigrafica prosegue verso il basso con la formazione geologica basale riferibile all'unità formazionale dello Schlier (ALS), costituita da marne, marne calcaree e marne argillose. Le indagini geofisiche eseguite nell'ambito del presente lavoro, e in particolare quelle effettuate all'interno nella microzona in oggetto (L9MASW+P309HVS, L17MASW+P323HVS e P326DH) hanno evidenziato come il litotipo in esame sia sempre caratterizzato da velocità di propagazione delle onde di taglio superiori a 800 m/s, andando conseguentemente a rappresentare il bedrock sismico.

MOPS 2004 - Indagine sismica con metodologia MASW – L9MASW

CURVA DI DISPERSIONE SPERIMENTALE CON PICKING

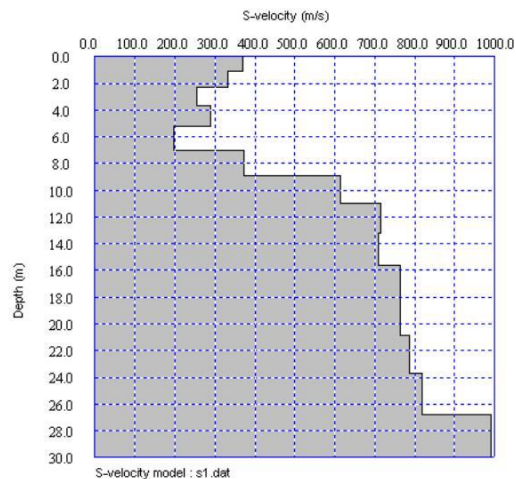


CURVA DI DISPERSIONE SPERIMENTALE E CALCOLATA



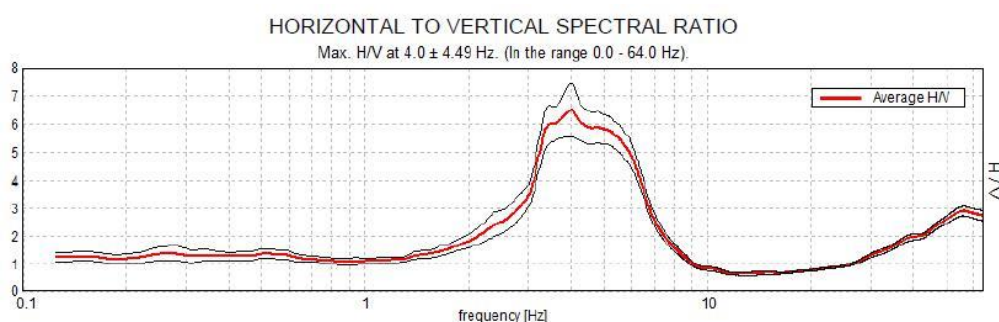
Profondità (mt)	hi (mt)	Vi (m/s)	hi/Vi	Vs30 (m/s)
0.00 ÷ 1.07	1.07	370	0.0029	511
1.07 ÷ 2.31	1.24	333	0.0037	
2.31 ÷ 3.71	1.40	256	0.0055	
3.71 ÷ 5.27	1.57	289	0.0054	
5.27 ÷ 7.01	1.73	199	0.0087	
7.01 ÷ 8.90	1.90	374	0.0051	
8.90 ÷ 10.96	2.06	615	0.0034	
10.96 ÷ 13.19	2.23	714	0.0031	
13.19 ÷ 15.58	2.39	709	0.0034	
15.58 ÷ 18.13	2.55	764	0.0033	
18.13 ÷ 20.85	2.72	762	0.0036	
20.85 ÷ 23.74	2.88	785	0.0037	
23.74 ÷ 26.79	3.05	818	0.0037	
26.79 ÷ 30.00	3.21	990	0.0032	
Σhi=	30.00	ΣhVi/Vi=	0.0587	

MODELLO Vs



La registrazione MASW è caratterizzata da una curva di dispersione sperimentale univocamente definita, così come da una buona sovrapposizione tra essa e quella calcolata a seguito delle procedure di inversione effettuate. Il profilo monodimensionale sopra riportato ha evidenziato la presenza di terreni caratterizzati da basse velocità di propagazione delle onde di taglio sino ad una profondità di 9,00 m circa dal p.c., in corrispondenza della quale si assiste ad un evidente incremento del valore di V_s , in corrispondenza presumibilmente del tetto del banco ghiaioso ad elevato stato di addensamento. A partire da tale quota il valore di V_s tende a crescere gradualmente con la profondità, sino a raggiungere il tetto del sottostante substrato sismico (ALS) ad una profondità dell'ordine di 27 m dal p.c. Dal profilo sopra riportato si evince inoltre come il valore di V_s raggiunga la velocità di 800 m/s già all'interno della porzione basale dei suddetti depositi alluvionali ad elevato stato di addensamento.

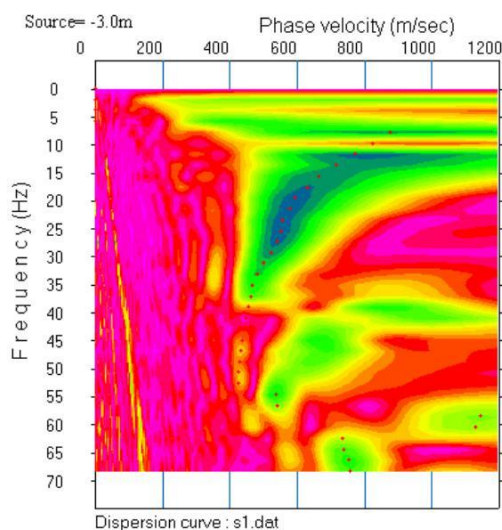
MOPS 2004 - Indagine sismica passiva HVSR – P309HVSR (\Leftrightarrow L9MASW)



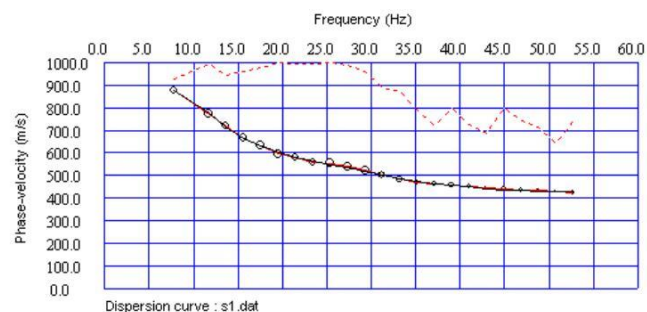
Dall'analisi della curva dei rapporti spettrali H/V sopra riportata si evince la presenza di un elevato picco della curva H/V, dell'ordine di 6,5 circa, rilevabile ad una frequenza di 4 Hz, all'interno del campo delle frequenze di interesse ingegneristico. Tale picco è presumibilmente connesso al passaggio tra le coperture alluvionali e il sottostante Bedrock sismico riferibile all'unità formazione dello Schlier.

MOPS 2004 - Indagine sismica con metodologia MASW – L17MASW

CURVA DI DISPERSIONE SPERIMENTALE CON PICKING

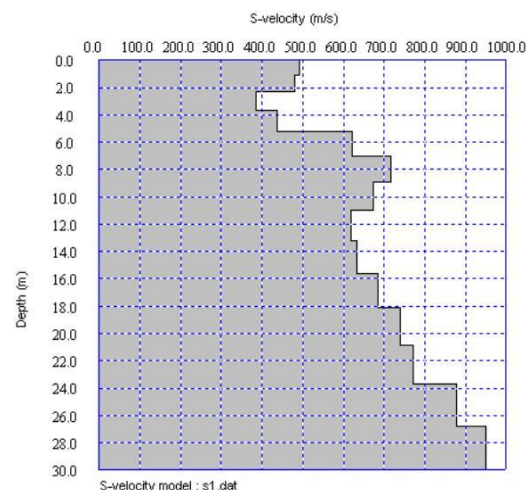


CURVA DI DISPERSIONE SPERIMENTALE E CALCOLATA



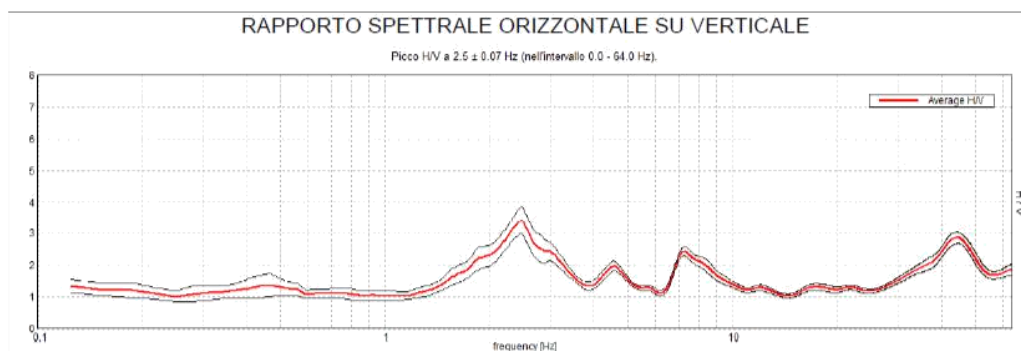
Profondità (m)	h _i (m)	V _i (m/s)	h _i /V _i	V _{s30} (m/s)
0,00 ÷ 1,07	1,07	492	0,0022	654
1,07 ÷ 2,31	1,24	480	0,0026	
2,31 ÷ 3,71	1,40	384	0,0036	
3,71 ÷ 5,27	1,57	438	0,0036	
5,27 ÷ 7,01	1,73	621	0,0028	
7,01 ÷ 8,90	1,90	717	0,0026	
8,90 ÷ 10,96	2,06	675	0,0031	
10,96 ÷ 13,19	2,23	620	0,0036	
13,19 ÷ 15,58	2,39	632	0,0038	
15,58 ÷ 18,13	2,55	685	0,0037	
18,13 ÷ 20,85	2,72	740	0,0037	
20,85 ÷ 23,74	2,88	771	0,0037	
23,74 ÷ 26,79	3,05	878	0,0035	
26,79 ÷ 30,00	3,21	950	0,0034	
Σh _i =	30,00	Σh _i /V _i =	0,0458	

MODELLO V_s



La registrazione MASW è caratterizzata da una curva di dispersione sperimentale univocamente definita, così come da una buona sovrapposizione tra essa e quella calcolata a seguito delle procedure di inversione effettuate. L'esame del profilo monodimensionale delle onde di taglio sopra riportato evidenzia la presenza di un discreto incremento del valore di V_s ad una profondità di 5,00 m circa dal p.c. A partire da tale quota il valore di V_s tende a cresce, escludendo un lieve decremento nell'intervallo compreso tra 9 ÷ 11 m circa, gradualmente con la profondità, sino a raggiungere il tetto del sottostante substrato sismico (ALS) ad una profondità dell'ordine di 24 m dal p.c.

MOPS 2004 - Indagine sismica passiva HVSR – P323HVSR (⇔L17MASW⇔ P326DH)

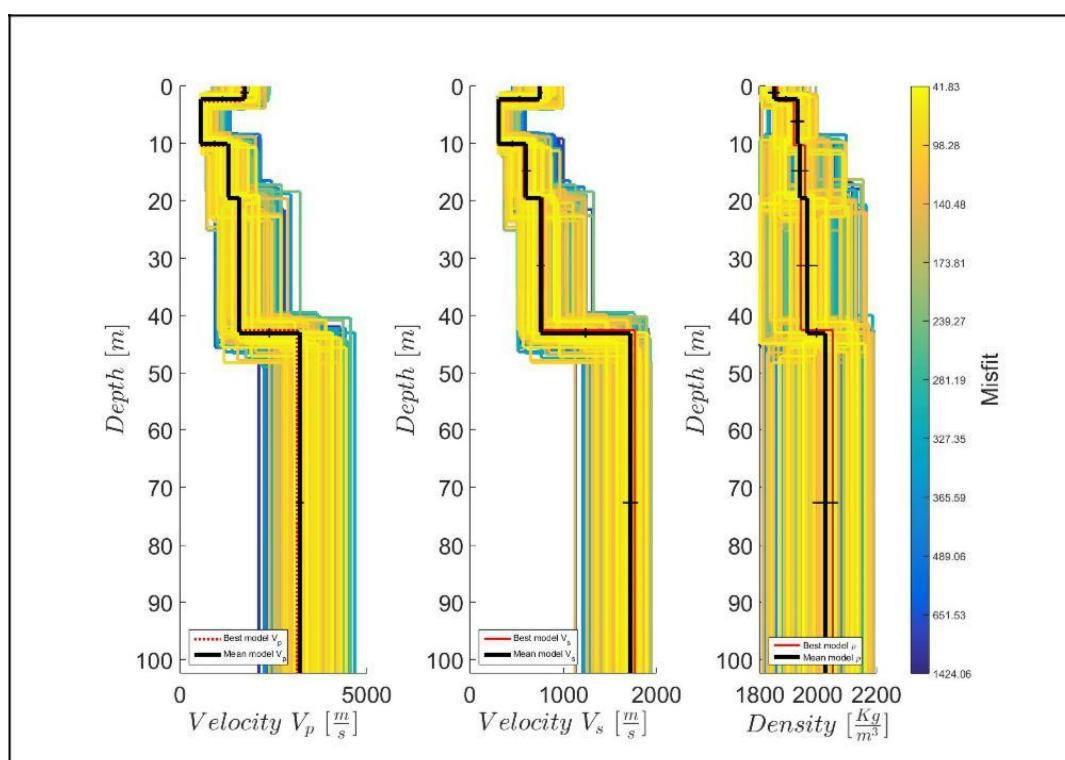


Dall'analisi della curva dei rapporti spettrali H/V sopra riportata si evince la presenza di un discreto picco, dell'ordine di 3,5 circa, rilevabile ad una frequenza di 2,50 Hz, all'interno del campo delle frequenze di interesse ingegneristico. Tale picco è presumibilmente connesso al passaggio tra le coperture alluvionali e il sottostante Bedrock sismico riferibile all'unità formazione dello Schlier.

Per determinare la profondità del bedrock rigido di riferimento, necessaria per le successive analisi di risposta sismica locale, si è poi proceduto all'inversione congiunta tra la curva di dispersione ottenuta dalla misura MASW, che vincola maggiormente la parte superficiale del profilo di V_s, e la curva H/V ottenuta dalla misura a stazione singola associata allo stesso stendimento sismico attivo, che dà invece maggiori informazioni sull'andamento delle velocità delle onde di taglio in profondità e sull'entità del contrasto di impedenza sismica. Tale modellazione ha permesso di individuare il bedrock sismico di riferimento a partire da una profondità di 21.0 m al di sotto della superficie topografica.

Di seguito viene riportata la sismostratigrafia inserita nel software Strata proveniente dalle inversioni congiunte effettuate con il suddetto software HV-INV. Tali inversioni hanno permesso di definire i range di spessore e velocità da attribuire ai terreni sovrastanti il bedrock sismico. I dati numerici inseriti nel software Strata provengono da un’analisi di dettaglio delle caratteristiche litologiche, meccaniche e sismiche dei terreni costituenti la successione stratigrafica della MOPS in esame.

All’interno di tale zona è stato eseguito il Down-hole nel settore meridionale e indagini HVSR e MASW nel settore settentrionale (Via Dante); per queste ultime sono state eseguite n°3 inversioni congiunte, delle quali la più rappresentativa è riportata nella figura seguente.




File Edit Tools Window Help							
General Settings Soil Types Soil Profile Motion(s) Output Specification Compute Results							
Site Profile							
	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)	Minimum (m/s)	Maximum (m/s)	Varied
1	0.00	9.00	Rollins et al. (1998) (GW, GP, GM, GC)	280.00	<input checked="" type="checkbox"/> 240.00	<input checked="" type="checkbox"/> 350.00	<input checked="" type="checkbox"/>
2	9.00	12.00	Rollins et al. (1998) (GW, GP, GM, GC)	455.00	<input checked="" type="checkbox"/> 400.00	<input checked="" type="checkbox"/> 500.00	<input checked="" type="checkbox"/>
3	21.00	Half-Space	Bedrock	1150.00	<input checked="" type="checkbox"/> 1100.00	<input checked="" type="checkbox"/> 1260.00	<input checked="" type="checkbox"/>

MOPS 2004 – Down-Hole P326DH

Il profilo di velocità delle onde di taglio ottenuto dalla prova Down-Hole eseguita dai tecnici incaricati dal Centro MS conferma come l'unità formazione dello Schlier (ALS) rappresenti senz'altro il bedrock sismico, rilevabile a partire da una profondità di 28.0 m circa dal p.c. Già comunque all'interno del banco ghiaioso, ad una profondità di 21.0 m, le onde di taglio raggiungono il valore di riferimento di 800 m/s.

Dal confronto con il profilo ottenuto dall'indagine sismica MASW si evince la discreta congruenza tra le due tipologie di indagine.

 UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE DICEA DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE	Committente: CENTRO MS	
	Cantiere: Cerreto d'esi	Data esecuzione: 10/10/2017
	Sondaggio: S1	Pagina: 1/3
	Prof. sondaggio [m]: 36	Prova: DH1

PROVA DOWN-HOLE

MODALITÀ DI ACQUISIZIONE

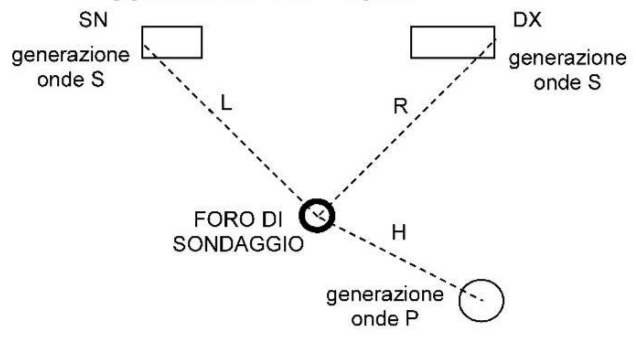
Acquisitore tipo Geometrics GEODE 16 CH	Intervallo acquisizione [ms] 0.25
Numero di geofoni / sensori per geofono 2(sup-inf) / 3(X-Y-Z)	Tempo di campionamento [ms] 512
Canali impiegati CH7: inf_X; CH8: inf_Y; CH9: inf_Z CH10: sup_X; CH11: sup_Y; CH12: sup_Z	Filtri in acquisizione [Hz] NO


MODALITÀ ESECUTIVE

Sequenza misure 2 orizzontali (DX-SN) 1 verticale (V)	N. Battute /misura 2 per DX e SN 1 per V	Note:
Passo di misura [m] 1.00	Prof. max misure [m] 35.00	

SCHEMA DELLA PROVA

L [m]: 1.70
R [m]: 1.70
H [m]: 1.58





INTERPRETAZIONE - PROFILI DI VELOCITÀ

Cantiere: Cerreto d'esi

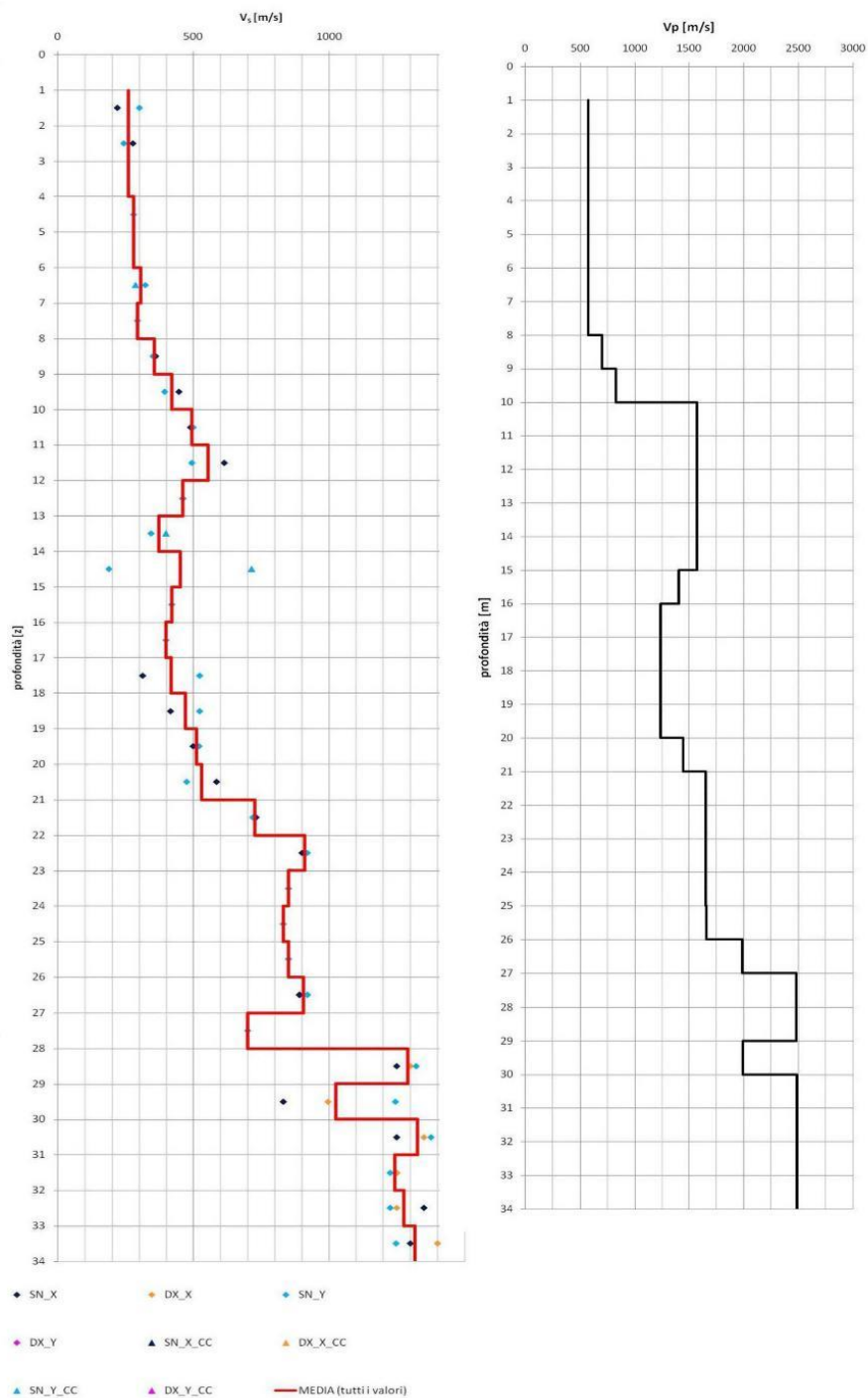
Sondaggio: S1

Prova: DH1

z	V _S	V _P	v
[m]	[m/s]	[m/s]	[-]
1.50	261	573	0.37
2.50	260	573	0.37
3.50	260	573	0.37
4.50	282	573	0.34
5.50	282	573	0.34
6.50	305	573	0.30
7.50	294	573	0.32
8.50	358	700	0.32
9.50	421	830	0.33
10.50	487	1571	0.45
11.50	554	1571	0.43
12.50	463	1571	0.45
13.50	372	1571	0.47
14.50	452	1571	0.45
15.50	425	1403	0.45
16.50	399	1235	0.44
17.50	418	1237	0.44
18.50	470	1239	0.42
19.50	500	1239	0.40
20.50	531	1446	0.42
21.50	733	1652	0.38
22.50	903	1652	0.28
23.50	874	1652	0.31
24.50	845	1652	0.33
25.50	846	1657	0.32
26.50	892	1987	0.37
27.50	706	2481	0.46
28.50	1278	2483	0.32
29.50	1024	1991	0.32
30.50	1278	2486	0.32
31.50	1278	2487	0.32
32.50	1278	2489	0.32
33.50	1447	2489	0.31

z: profondità intermedia tra
geofoni sup e inf

v: coefficiente di Poisson



Vs determinata con: metodo di intervallo e cross-correlazione (_CC)

Vp determinata con: metodo di intervallo, cross-correlazione e dromocrone

INTERPRETAZIONE - SISMOSTRAGRAFIA

Cantiere: Cerreto d'esi

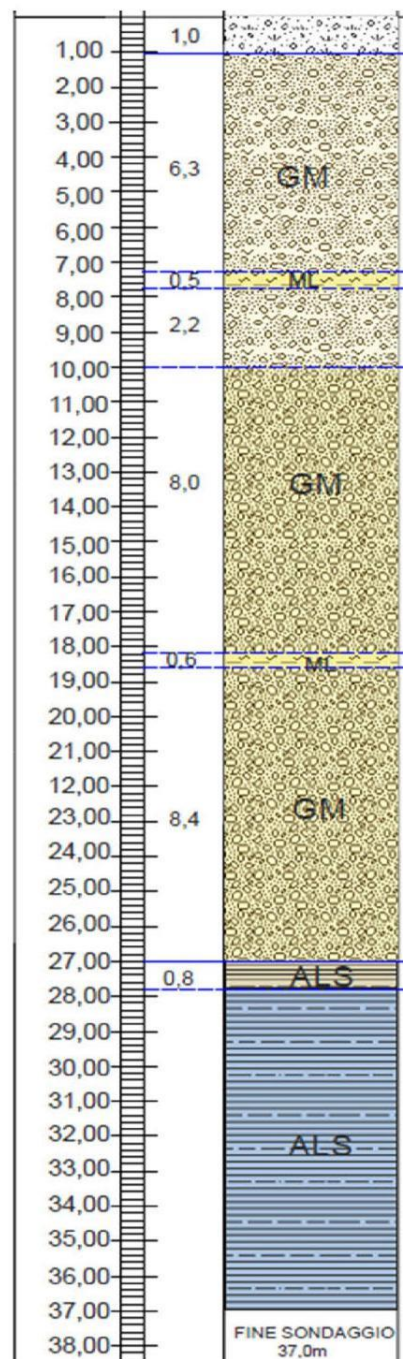
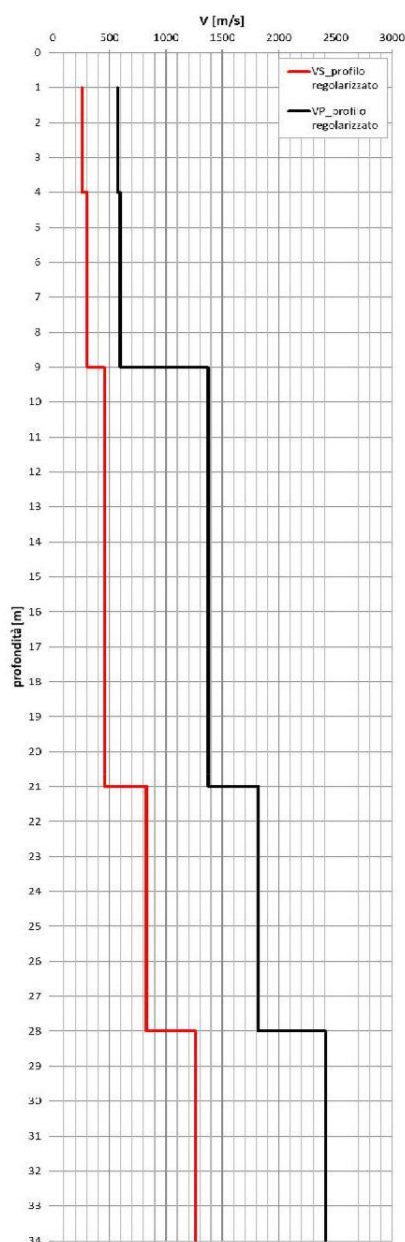
Sondaggio: S1

Prova: DH1

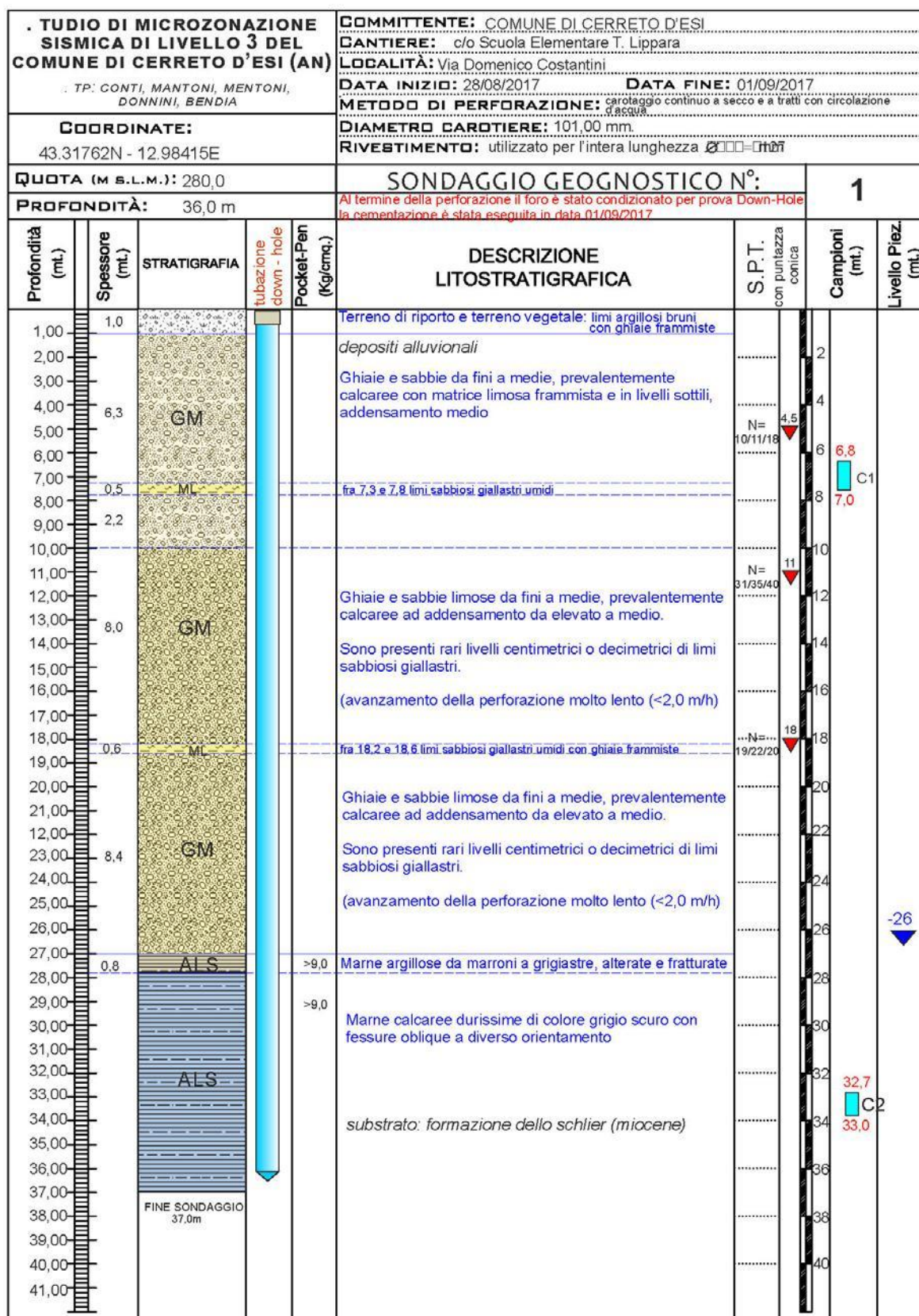
z	V _S	V _P	v
[m]	[m/s]	[m/s]	[-]
1.50			
2.50	260	573	0.37
3.50			
4.50			
5.50			
6.50	304	598	0.33
7.50			
8.50			
9.50			
10.50			
11.50			
12.50			
13.50			
14.50	458	1374	0.43
15.50			
16.50			
17.50			
18.50			
19.50			
20.50			
21.50			
22.50			
23.50			
24.50	829	1819	0.35
25.50			
26.50			
27.50			
28.50			
29.50			
30.50	1261	2388	0.32
31.50			
32.50			
33.50			

z: profondità intermedia tra
geofoni sup e inf

v: coefficiente di Poisson



Le figure seguenti mostrano la colonna stratigrafica dettagliata del sondaggio geognostico attrezzato per il down-hole e le foto delle carote di terreno estratto.

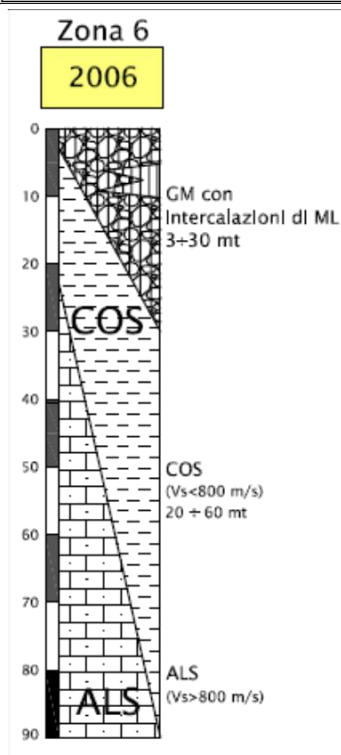








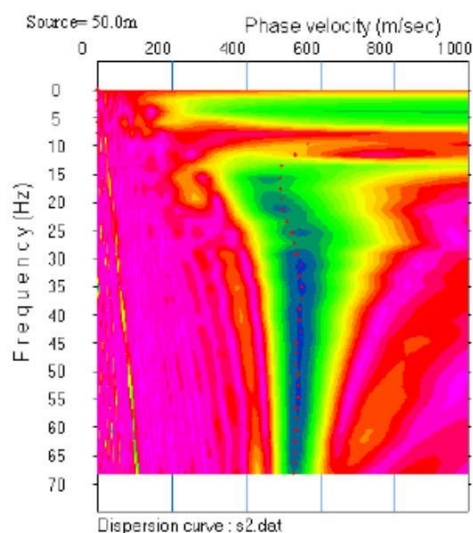
MOPS 2006



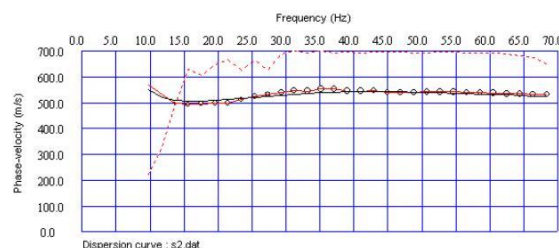
Dall’analisi delle indagini geognostiche reperite si evince come la successione stratigrafica della microzona in oggetto sia costituita da coperture quaternarie di origine alluvionale, caratterizzate da spessori compresi tra 3÷30 metri circa, costituite da ghiaie in matrice prevalentemente limoso-sabbioso frammista in percentuali variabili, con intercalazioni lentiformi di terreni fini a basso stato di addensamento/consistenza. L’addensamento dei depositi prettamente ghiaiosi è generalmente elevato ma comunque caratterizzato da una certa variabilità in funzione del contenuto in matrice. La successione stratigrafica prosegue verso il basso dapprima con la formazione geologica riferibile all’unità di Camerino (COS), costituita da litofacies pelitico-arenacee e arenaceo-pelitiche, caratterizzata da spessori compresi tra 20÷60 m circa. Le indagini geofisiche eseguite all’interno della MOPS in oggetto, come quelle effettuate in tutte il territorio comunale, hanno evidenziato come tale litotipo sia caratterizzato da velocità di propagazione delle onde di taglio ampiamente inferiori a 800 m/s, non potendo pertanto essere considerato come bedrock sismico. La locale successione stratigrafica prosegue verso il basso con l’unità formazione dello Schlier (ALS), rilevabile a partire da profondità comprese tra 20÷90 m circa. Le indagini geofisiche eseguite nell’ambito del presente lavoro hanno invece evidenziato come il litotipo in esame, costituito da marne, marne calcaree e marne argillose, sia sempre caratterizzato da velocità di propagazione delle onde di taglio superiori a 800 m/s, andando pertanto a rappresentare il bedrock sismico.

MOPS 2006 - Indagine sismica con metodologia MASW – L12MASW

CURVA DI DISPERSIONE SPERIMENTALE CON PICKING

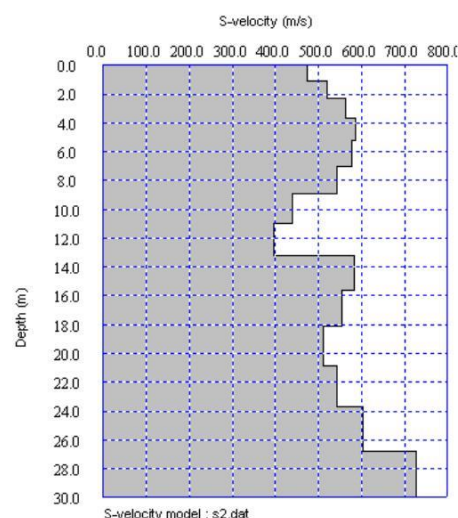


CURVA DI DISPERSIONE SPERIMENTALE E CALCOLATA



Profondità (m)	hi (m)	Vi (m/s)	hi/Vi	Vs30 (m/s)
0,00 ÷ 1,07	1,07	475	0,0023	542
1,07 ÷ 2,31	1,24	520	0,0024	
2,31 ÷ 3,71	1,40	563	0,0025	
3,71 ÷ 5,27	1,57	586	0,0027	
5,27 ÷ 7,01	1,73	577	0,0030	
7,01 ÷ 8,90	1,90	544	0,0035	
8,90 ÷ 10,96	2,06	441	0,0047	
10,96 ÷ 13,19	2,23	396	0,0056	
13,19 ÷ 15,58	2,39	582	0,0041	
15,58 ÷ 18,13	2,55	555	0,0046	
18,13 ÷ 20,85	2,72	510	0,0053	
20,85 ÷ 23,74	2,88	544	0,0053	
23,74 ÷ 26,79	3,05	604	0,0051	
26,79 ÷ 30,00	3,21	728	0,0044	
Σhi=	30,00	ΣhVi/Vi=	0,0554	

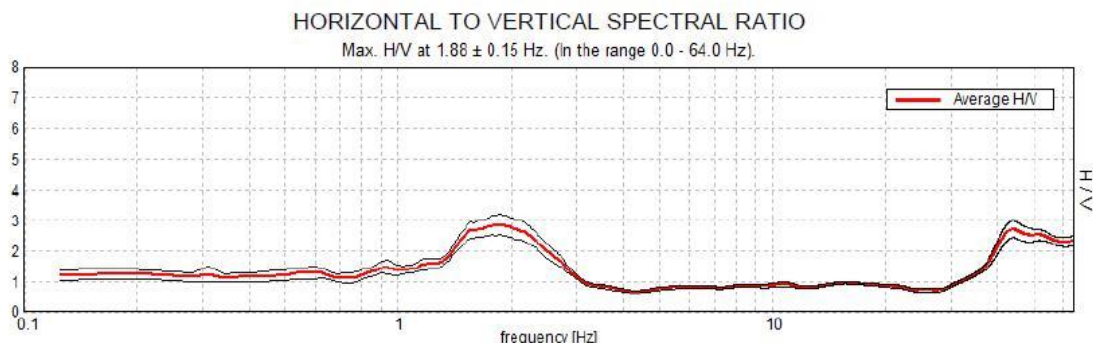
MODELLO Vs



La registrazione MASW è caratterizzata da una curva di dispersione sperimentale univocamente definita, così come da una buona sovrapposizione tra essa e quella calcolata a seguito delle procedure di inversione effettuate. Il profilo monodimensionale sopra riportato ha evidenziato la presenza di terreni caratterizzati da una discreta velocità di propagazione delle onde di taglio già a partire da profondità prossima al p.c.

Nell'intervallo di profondità compreso tra 7,00÷11,00 m circa si assiste ad una inversione del valore di Vs che registra un decremento complessivo dell'ordine di 180 m/s circa.

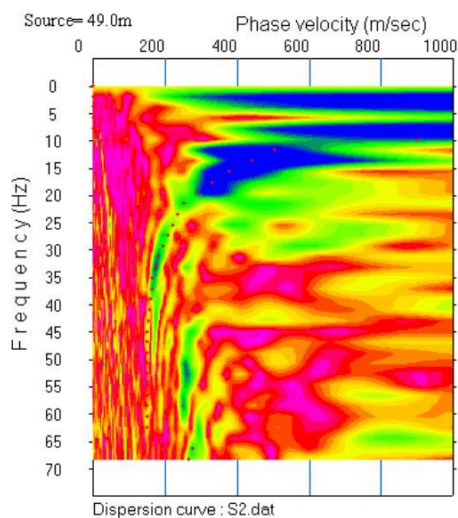
MOPS 2006 - Indagine sismica passiva HVSR – P317HVSR (⇔L12MASW)



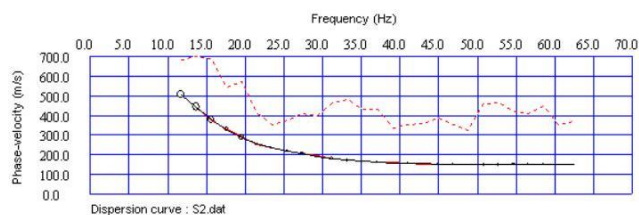
Dall'analisi della curva dei rapporti spettrali H/V sopra riportata si evince la presenza di un discreto picco, dell'ordine di 3 circa, rilevabile ad una frequenza di 1,88 Hz, all'interno del campo delle frequenze di interesse ingegneristico. Tale picco è presumibilmente connesso al passaggio tra i terreni pelitico-arenacei e arenaceo-pelitici della formazione di Camerino (COS) e quelli del sottostante substrato sismico dello Schlier (ALS).

MOPS 2006 - Indagine sismica con metodologia MASW – L14MASW

CURVA DI DISPERSIONE SPERIMENTALE CON PICKING

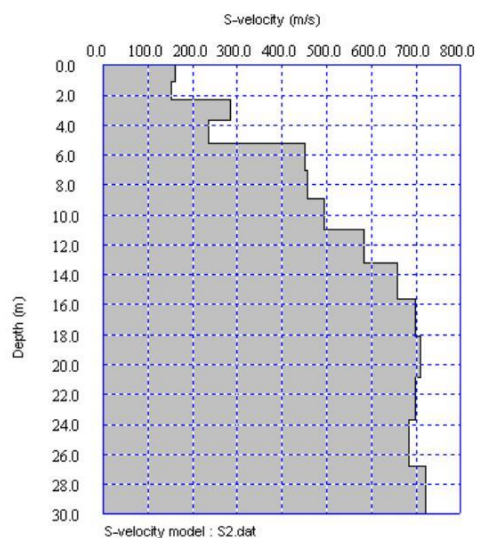


CURVA DI DISPERSIONE SPERIMENTALE E CALCOLATA



MODELLO Vs

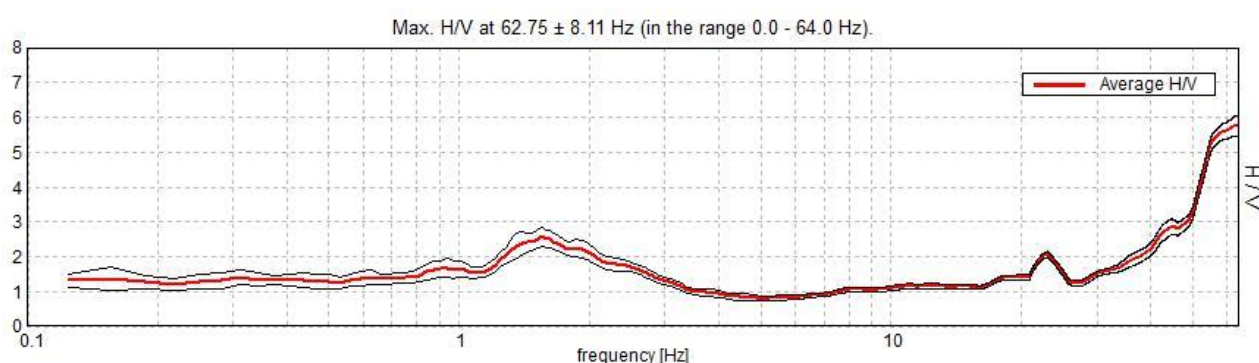
Profondità (mt)	hi (mt)	Vi (m/s)	hi/Vi	Vs30 (m/s)
0,00 ÷ 1,07	1,07	161	0,0067	450
1,07 ÷ 2,31	1,24	150	0,0082	
2,31 ÷ 3,71	1,40	284	0,0049	
3,71 ÷ 5,27	1,57	235	0,0067	
5,27 ÷ 7,01	1,73	451	0,0038	
7,01 ÷ 8,90	1,90	458	0,0041	
8,90 ÷ 10,96	2,06	495	0,0042	
10,96 ÷ 13,19	2,23	583	0,0038	
13,19 ÷ 15,58	2,39	658	0,0036	
15,58 ÷ 18,13	2,55	698	0,0037	
18,13 ÷ 20,85	2,72	710	0,0038	
20,85 ÷ 23,74	2,88	698	0,0041	
23,74 ÷ 26,79	3,05	684	0,0045	
26,79 ÷ 30,00	3,21	722	0,0045	
Σhi=	30,00	ΣhHi/Vi=	0,0666	



La registrazione MASW è caratterizzata da una curva di dispersione sperimentale univocamente definita, così come da una buona sovrapposizione tra essa e quella calcolata a seguito delle procedure di inversione effettuate.

Il profilo monodimensionale sopra riportato ha evidenziato la presenza di terreni caratterizzati da basse velocità di propagazione delle onde di taglio fin ad una profondità di 5,00 m circa dal p.c., a partire dalla quale il valore di V_s tende a crescere gradualmente con la profondità sino ad assumere valori pressoché costanti, dell'ordine di 700 m/s, da una quota di 16 m circa.

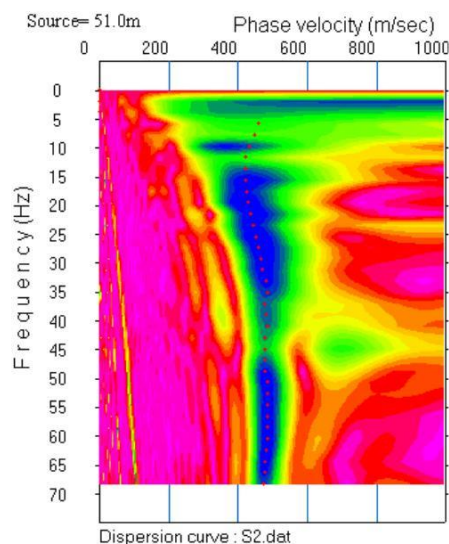
MOPS 2006 - Indagine sismica passiva HVSr – P319HVSr (\Leftrightarrow L14MASW)



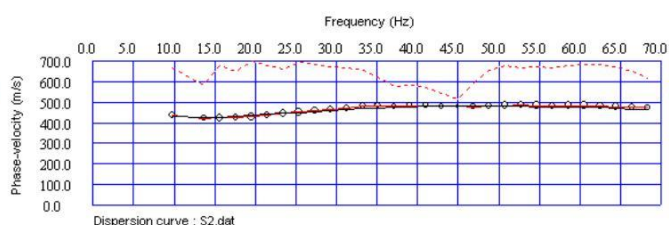
Dall'analisi della curva dei rapporti spettrali H/V sopra riportata si evince la presenza di un discreto picco, dell'ordine di 2,5 circa, rilevabile ad una frequenza di 1,60 Hz, all'interno del campo delle frequenze di interesse ingegneristico. Tale picco è presumibilmente connesso al passaggio tra i terreni pelitico-arenacei e arenaceo-pelitici della formazione di Camerino (COS) e quelli del sottostante substrato sismico dello Schlier (ALS).

MOPS 2006 - Indagine sismica con metodologia MASW – L15MASW

CURVA DI DISPERSIONE SPERIMENTALE CON PICKING



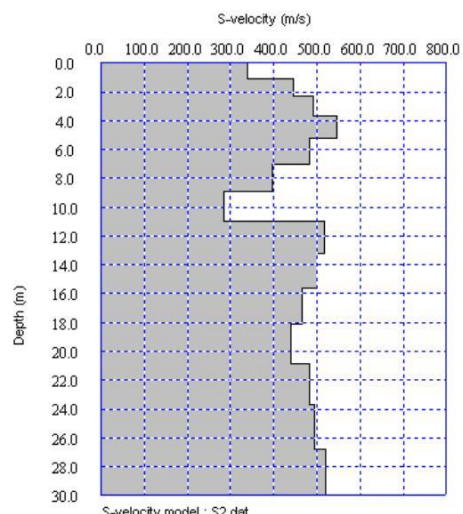
CURVA DI DISPERSIONE SPERIMENTALE E CALCOLATA



Profondità (m)	hi (m)	Vi (m/s)	hi/Vi	Vs30 (m/s)
0,00 ÷ 1,07	1,07	340	0,0032	452
1,07 ÷ 2,31	1,24	445	0,0028	
2,31 ÷ 3,71	1,40	491	0,0029	
3,71 ÷ 5,27	1,57	546	0,0029	
5,27 ÷ 7,01	1,73	482	0,0036	
7,01 ÷ 8,90	1,90	396	0,0048	
8,90 ÷ 10,96	2,06	284	0,0073	
10,96 ÷ 13,19	2,23	517	0,0043	
13,19 ÷ 15,58	2,39	500	0,0048	
15,58 ÷ 18,13	2,55	465	0,0055	
18,13 ÷ 20,85	2,72	441	0,0062	
20,85 ÷ 23,74	2,88	484	0,0060	
23,74 ÷ 26,79	3,05	493	0,0062	
26,79 ÷ 30,00	3,21	520	0,0062	
$\Sigma hi =$		30,00	$\Sigma hi/Vi =$	0,0664

MODELLO Vs

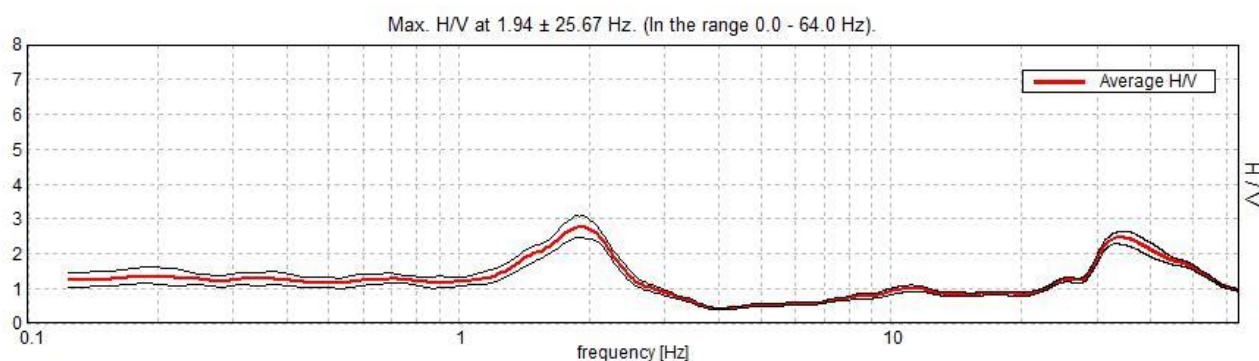
MODELLO Vs



La registrazione MASW è caratterizzata da una curva di dispersione sperimentale univocamente definita, così come da una buona sovrapposizione tra essa e quella calcolata a seguito delle procedure di inversione effettuate. Il profilo monodimensionale sopra riportato ha evidenziato la presenza di terreni caratterizzati da una discreta velocità di propagazione delle onde di taglio già a partire da profondità prossima al p.c.

Nell'intervallo di profondità compreso tra 5,00 ÷ 11,00 m circa si assiste ad una graduale inversione del valore di Vs che registra un decremento complessivo dell'ordine di 260 m/s.

MOPS 2006 - Indagine sismica passiva HVSR – P320HVSR (↔L15MASW)

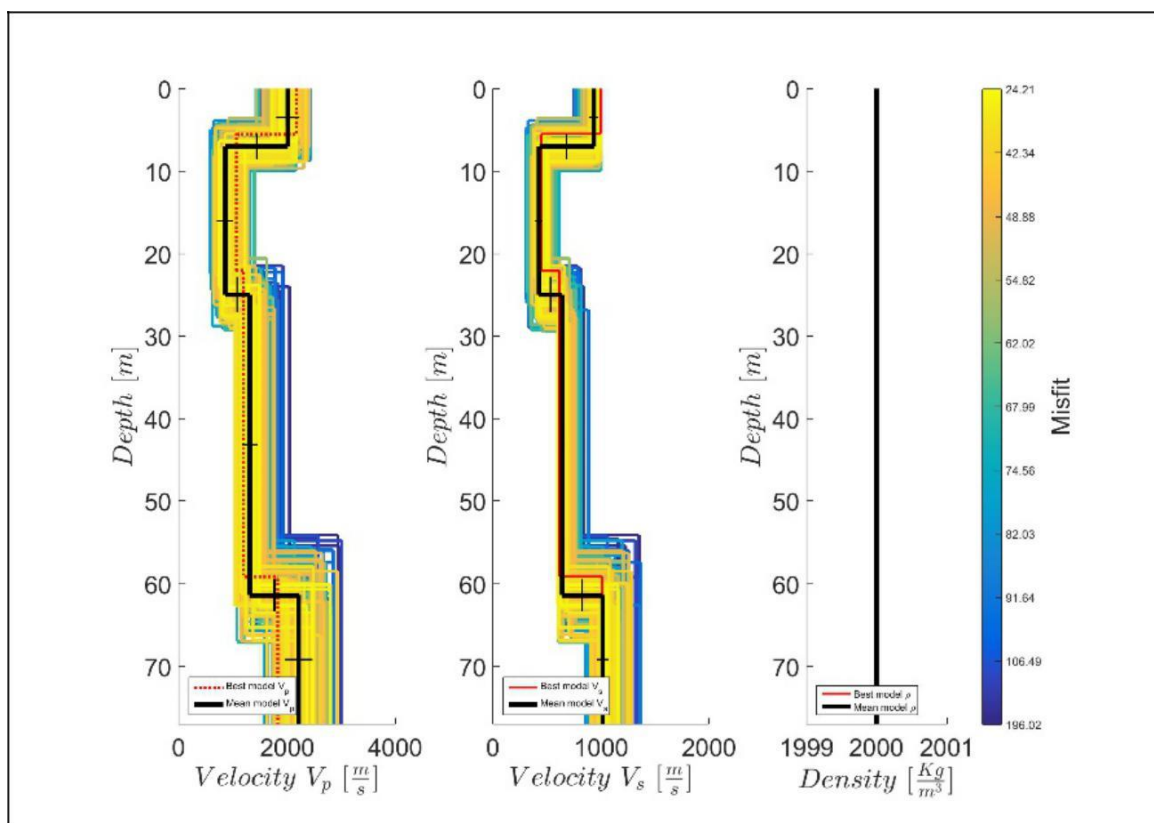


Dall'analisi della curva dei rapporti spettrali H/V sopra riportata si evince la presenza di un discreto picco della curva H/V, dell'ordine di 2,8 circa, rilevabile ad una frequenza di 1,94 Hz, all'interno del campo delle frequenze di interesse ingegneristico. Tale picco è presumibilmente connesso al passaggio tra i terreni pelitico-arenacei e arenaceo-pelitici della formazione di Camerino (COS) e quelli del sottostante substrato sismico dello Schlier (ALS).

Per determinare la profondità del bedrock rigido di riferimento, necessaria per le successive analisi di risposta sismica locale, si è poi proceduto all'inversione congiunta tra la curva di dispersione ottenuta dalla misura MASW, che vincola maggiormente la parte superficiale del profilo di Vs, e la curva H/V ottenuta dalla misura a stazione singola associata allo stendimento sismico attivo, che dà invece maggiori informazioni sull'andamento delle velocità delle onde di taglio in profondità e sull'entità del contrasto di impedenza sismico. Tale modellazione ha permesso di individuare il bedrock sismico di riferimento a partire da una profondità di 64 m al di sotto della superficie topografica. Di seguito viene riportata la sismostratigrafia

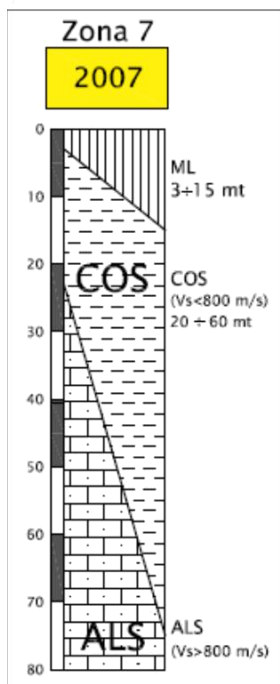
inserita nel software Strata proveniente dalle inversioni congiunte effettuate con il suddetto software HV-INV. Tali inversioni hanno permesso di definire i range di spessore e velocità da attribuire ai terreni sovrastanti il bedrock sismico. I dati numerici inseriti nel software Strata provengono da un'analisi di dettaglio delle caratteristiche litologiche, meccaniche e sismiche dei terreni costituenti la successione stratigrafica della MOPS in esame.

Per la definizione del profilo di V_s della zona 6 sono state eseguite n° 3 inversioni congiunte HVSR – Masw: la più rappresentativa in quanto congruente con la successione stratigrafica locale è riportata nella figura seguente.



General Settings Soil Types Soil Profile Motion(s) Output Specification Compute Results							
Site Profile							
	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	V_s (m/s)	Minimum (m/s)	Maximum (m/s)	Varied
1	0.00	20.00	Rollins et al. (1998) (GW, GP, GM, GC)	500.00	<input checked="" type="checkbox"/> 450.00	<input checked="" type="checkbox"/> 550.00	<input checked="" type="checkbox"/>
2	20.00	22.00	Substrato fratturato (lineare)	520.00	<input checked="" type="checkbox"/> 500.00	<input checked="" type="checkbox"/> 600.00	<input checked="" type="checkbox"/>
3	42.00	22.00	Substrato fratturato (lineare)	550.00	<input checked="" type="checkbox"/> 520.00	<input checked="" type="checkbox"/> 650.00	<input checked="" type="checkbox"/>
4	64.00	Half-Space	Bedrock	1100.00	<input checked="" type="checkbox"/> 1000.00	<input checked="" type="checkbox"/> 1200.00	<input checked="" type="checkbox"/>

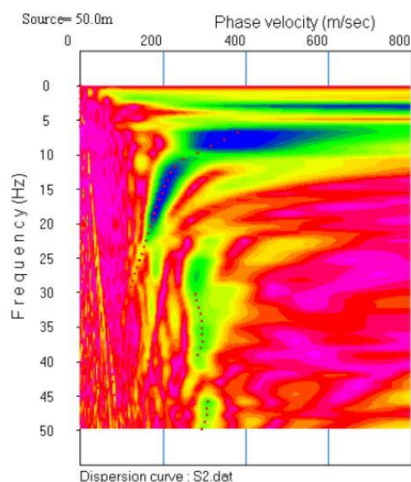
MOPS 2007



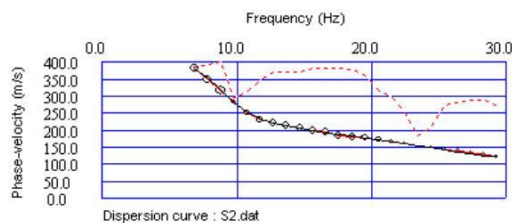
Dall'analisi delle indagini geognostiche reperite si evince come la successione stratigrafica della microzona in oggetto sia costituita da coperture eluvio-colluviali di natura prevalentemente limoso-argillosa e/o argilloso-limosa, generalmente caratterizzate da una bassa consistenza e dalle mediocri caratteristiche geotecniche. Tali depositi, caratterizzati da uno spessore compreso tra 3÷15 metri circa, sovrastano la locale formazione geologica basale costituita dapprima da litofacies pelitico-arenacee e arenaceo-pelitiche riferibili all'unità di Camerino (COS), caratterizzata da spessori compresi tra 20÷60 m circa, e, di seguito, dai litotipi marnosi, marnoso calcarei e marnoso argillosi dell'unità formazionale dello Schlier (ALS), rilevabili a partire da profondità comprese tra 20÷75 m circa, che costituisce il bedrock sismico dell'area in esame.

MOPS 2007 - Indagine sismica con metodologia MASW – L18MASW

CURVA DI DISPERSIONE SPERIMENTALE CON PICKING

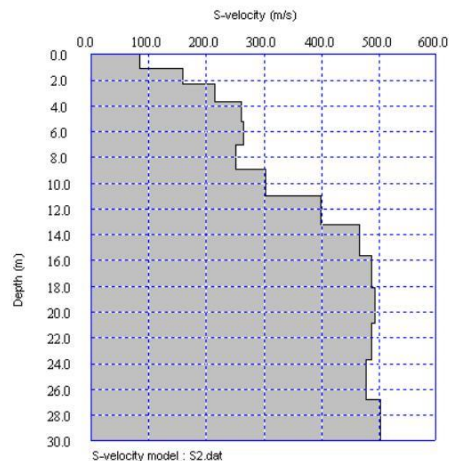


CURVA DI DISPERSIONE SPERIMENTALE E CALCOLATA

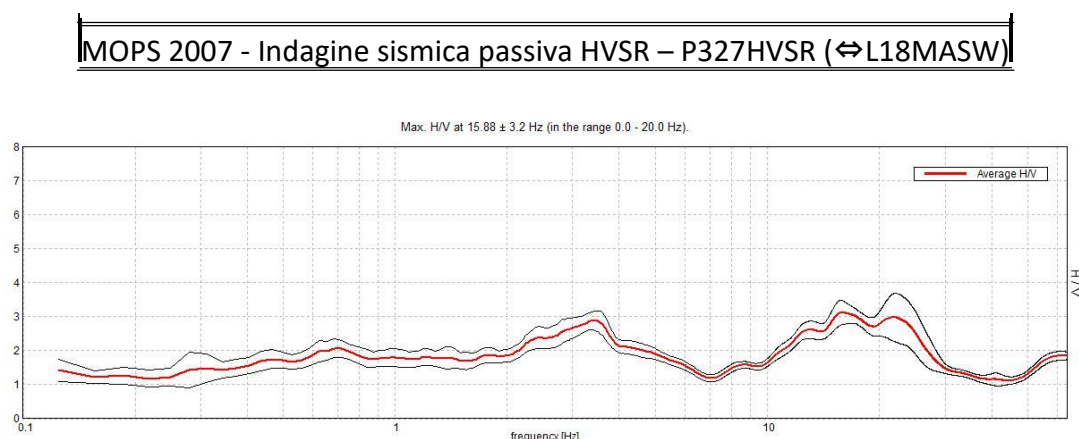


Profondità (mt)	hi (mt)	Vi (m/s)	hi/Vi	Vs30 (m/s)
0,00 ÷ 1,07	1,07	83	0,0129	318
1,07 ÷ 2,31	1,24	159	0,0078	
2,31 ÷ 3,71	1,40	214	0,0066	
3,71 ÷ 5,27	1,57	260	0,0060	
5,27 ÷ 7,01	1,73	264	0,0065	
7,01 ÷ 8,90	1,90	251	0,0076	
8,90 ÷ 10,96	2,06	303	0,0068	
10,96 ÷ 13,19	2,23	398	0,0056	
13,19 ÷ 15,58	2,39	467	0,0051	
15,58 ÷ 18,13	2,55	487	0,0052	
18,13 ÷ 20,85	2,72	493	0,0055	
20,85 ÷ 23,74	2,88	488	0,0059	
23,74 ÷ 26,79	3,05	479	0,0064	
26,79 ÷ 30,00	3,21	502	0,0064	
Σhi=	30,00	Σhhi/Vi=	0,0943	

MODELLO Vs



La registrazione MASW è caratterizzata da una curva di dispersione sperimentale univocamente definita, così come da una buona sovrapposizione tra essa e quella calcolata a seguito delle procedure di inversione effettuate. Il profilo monodimensionale sopra riportato ha evidenziato la presenza di terreni caratterizzati da una bassa velocità di propagazione delle onde di taglio sino ad una profondità di 11,00 m circa, in corrispondenza della quale si assiste ad un discreto incremento del valore di V_s che si stabilizza poi, assumendo valori di poco inferiori a 500 m/s, a partire da una quota di 14,00÷15,00 m circa.

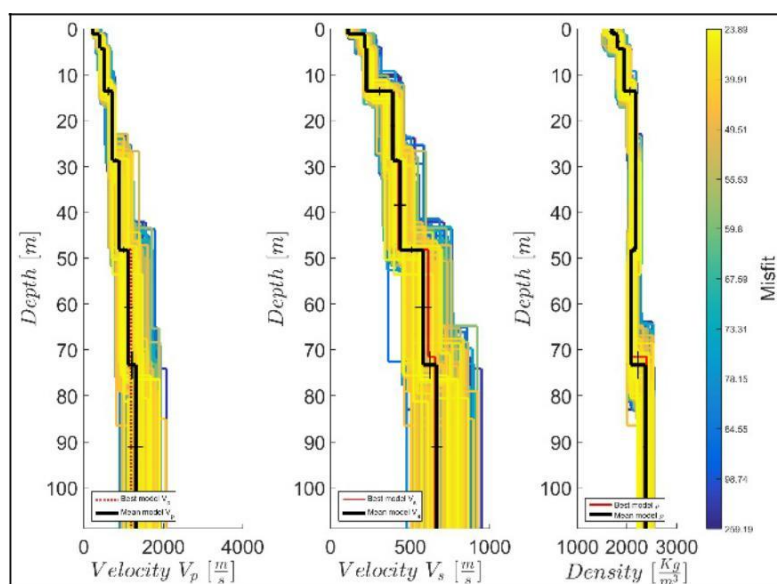


Dall'analisi della curva dei rapporti spettrali H/V sopra riportata si evince la presenza di due discreti picchi, dell'ordine di circa 3,0, rilevabili rispettivamente alle frequenze di 22 e 3,5 Hz, con quest'ultima all'interno del campo delle frequenze di interesse ingegneristico. Tali picchi sono presumibilmente connessi ai passaggi tra le coperture di alterazione superficiale e i sottostanti depositi pelitico-arenacei riferibili alla formazione di Camerino (COS) e tra questi e il sottostante substrato sismico dello Schlier (ALS).

Per determinare la profondità del bedrock rigido di riferimento, necessaria per le successive analisi di risposta sismica locale, si è poi proceduto all'inversione congiunta tra la curva di dispersione ottenuta dalla misura MASW, che vincola maggiormente la parte superficiale del profilo di V_s , e la curva H/V ottenuta dalla misura a stazione singola associata allo stendimento sismico attivo, che dà invece maggiori informazioni sull'andamento delle velocità delle onde di taglio in profondità e sull'entità del contrasto di impedenza sismico. Tale modellazione ha permesso di individuare il bedrock sismico di riferimento a partire da una profondità di 51 m al di sotto della superficie topografica. Di seguito viene riportata la sismostratigrafia inserita nel software Strata proveniente dalle inversioni congiunte effettuate con il suddetto software HV-INV. Tali inversioni hanno permesso di definire i range di spessore e velocità da attribuire ai terreni sovrastanti il bedrock sismico. I dati numerici inseriti nel software Strata provengono da un'analisi di dettaglio delle caratteristiche litologiche, meccaniche e sismiche dei terreni costituenti la successione stratigrafica della MOPS in esame.

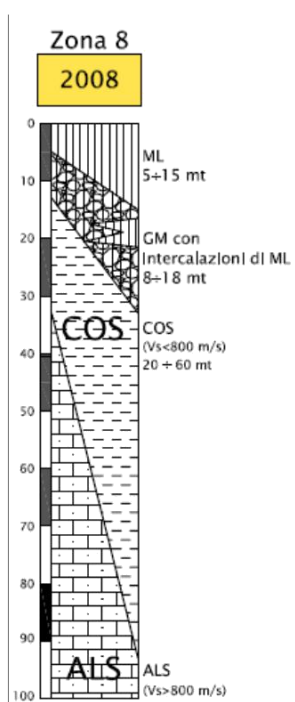
Per la zona 7 l'inversione congiunta ripetuta per n. 4 volte ha fornito valori non del tutto convincenti; pertanto, nella modellazione 1D si è ritenuto opportuno dare maggiore affidamento al risultato della prova MASW.

Si riporta di seguito il risultato della modellazione apparentemente più attendibile.



General Settings Soil Types Soil Profile Motion(s) Output Specification Compute Results							
Site Profile							
	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)	Minimum (m/s)	Maximum (m/s)	Varied
1	0.00	9.00	1_Apiro (CLfd, CLec, CLcd)	232.00	<input checked="" type="checkbox"/> 175.00	<input checked="" type="checkbox"/> 290.00	<input checked="" type="checkbox"/>
2	9.00	21.00	Substrato fratturato (lineare)	540.00	<input checked="" type="checkbox"/> 500.00	<input checked="" type="checkbox"/> 580.00	<input checked="" type="checkbox"/>
3	30.00	21.00	Substrato fratturato (lineare)	615.00	<input checked="" type="checkbox"/> 580.00	<input checked="" type="checkbox"/> 650.00	<input checked="" type="checkbox"/>
4	51.00	Half-Space	Bedrock	1050.00	<input checked="" type="checkbox"/> 810.00	<input checked="" type="checkbox"/> 1070.00	<input checked="" type="checkbox"/>

MOPS 2008

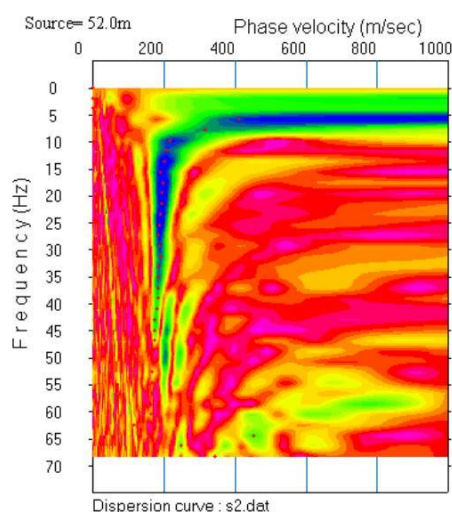


Dall’analisi delle indagini geognostiche reperite si evince come la successione stratigrafica della microzona in oggetto sia costituita, a partire dalla superficie topografica, da coperture alluvionali fini di natura prevalentemente limoso-sabbiosa e/o sabbioso-argillosa, caratterizzate da spessori compresi tra 5÷15 m circa, con possibili interdigitazioni di colluvioni litologicamente indifferenziate. La locale successione stratigrafica prosegue verso il basso con depositi prettamente alluvionali, caratterizzati da spessori compresi tra 8÷18 metri circa, costituiti da ghiaie in matrice prevalentemente limoso-sabbioso frammista in percentuali variabili, con intercalazioni lentiformi di terreni fini a basso stato di addensamento/consistenza. L’addensamento dei depositi prettamente ghiaiosi è generalmente elevato ma comunque caratterizzato da una certa variabilità in funzione del contenuto in matrice. La successione stratigrafica prosegue verso il basso dapprima con la formazione geologica riferibile all’unità di Camerino (COS), costituita da litofacies pelitico-arenacee e arenaceo-pelitiche, caratterizzata da spessori compresi tra 20÷60 m circa. Le indagini geofisiche eseguite all’interno

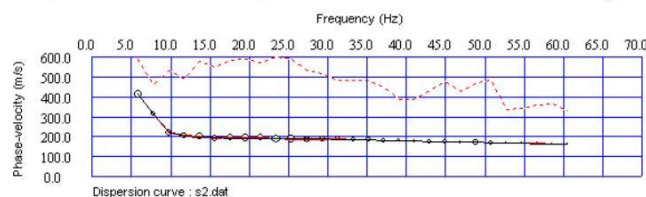
della MOPS in oggetto, come quelle in tutte il territorio comunale, hanno evidenziato come tale litotipo sia sempre caratterizzato da velocità di propagazione delle onde di taglio ampiamente inferiori a 800 m/s, non potendo pertanto essere considerato come bedrock sismico. La locale successione stratigrafica prosegue verso il basso con l'unità formazione dello Schlier (ALS), rilevabile a partire da profondità comprese tra 30÷90 m. Le indagini geofisiche eseguite nell'ambito del presente lavoro hanno evidenziato come il litotipo in esame, costituito da marne, marne calcaree e marne argillose, sia sempre caratterizzato da velocità di propagazione delle onde di taglio superiori a 800 m/s, andando pertanto a rappresentare il bedrock sismico.

MOPS 2008 - Indagine sismica con metodologia MASW – L11MASW

CURVA DI DISPERSIONE SPERIMENTALE CON PICKING

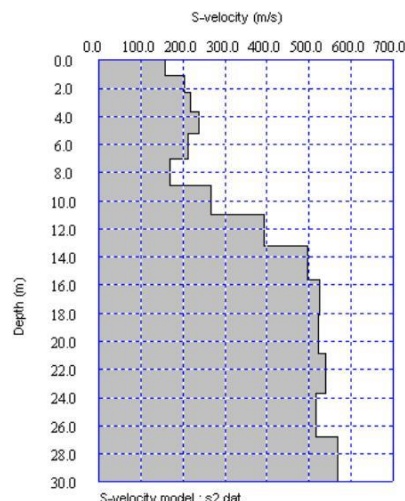


CURVA DI DISPERSIONE SPERIMENTALE E CALCOLATA



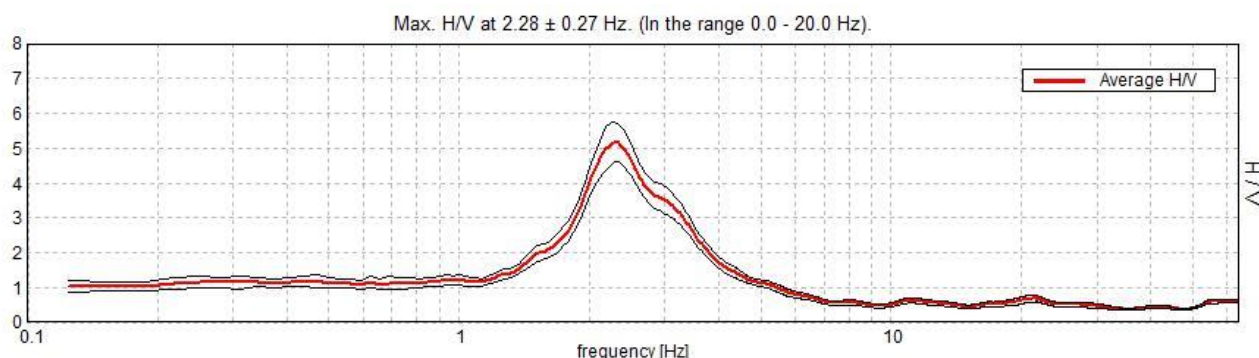
MODELLO Vs

Profondità (m)	hi (m)	Vi (m/s)	hi/Vi	Vs30 (m/s)
0,00 ÷ 1,07	1,07	157	0,0068	332
1,07 ÷ 2,31	1,24	204	0,0061	
2,31 ÷ 3,71	1,40	217	0,0065	
3,71 ÷ 5,27	1,57	238	0,0066	
5,27 ÷ 7,01	1,73	212	0,0081	
7,01 ÷ 8,90	1,90	169	0,0112	
8,90 ÷ 10,96	2,06	268	0,0077	
10,96 ÷ 13,19	2,23	392	0,0057	
13,19 ÷ 15,58	2,39	496	0,0048	
15,58 ÷ 18,13	2,55	525	0,0049	
18,13 ÷ 20,85	2,72	523	0,0052	
20,85 ÷ 23,74	2,88	540	0,0053	
23,74 ÷ 26,79	3,05	517	0,0059	
26,79 ÷ 30,00	3,21	569	0,0057	
Σ hi=	30,00	Σ hHi/Vi=	0,0904	



La registrazione MASW è caratterizzata da una curva di dispersione sperimentale univocamente definita, così come da una buona sovrapposizione tra essa e quella calcolata a seguito delle procedure di inversione effettuate. Il profilo monodimensionale sopra riportato ha evidenziato la presenza di terreni caratterizzati da una bassa velocità di propagazione delle onde di taglio sino ad una profondità di 11,00 m circa, in corrispondenza della quale si assiste ad un discreto incremento del valore di Vs che si stabilizza poi, assumendo valori dell'ordine di 500 m/s, a partire da una quota di 13,00 m circa.

MOPS 2008 - Indagine sismica passiva HVSR – P307HVSR (↔L11MASW)



Dall'analisi della curva dei rapporti spettrali H/V sopra riportata si evince la presenza di un rilevante picco, dell'ordine di 5,0 circa, rilevabile ad una frequenza di 2,28 Hz, all'interno del campo delle frequenze di interesse ingegneristico.

Tale picco è presumibilmente connesso al passaggio tra i depositi pelitico-arenacei e arenaceo-pelitici riferibili alla formazione di Camerino (COS) e il sottostante substrato sismico dello Schlier (ALS).

Per determinare la profondità del bedrock rigido di riferimento, necessaria per le successive analisi di risposta sismica locale, si è poi proceduto all'inversione congiunta tra la curva di dispersione ottenuta dalla misura MASW, che vincola maggiormente la parte superficiale del profilo di Vs, e la curva H/V ottenuta dalla misura a stazione singola associata allo stendimento sismico attivo, che dà invece maggiori informazioni sull'andamento delle velocità delle onde di taglio in profondità e sull'entità del contrasto di impedenza sismico.

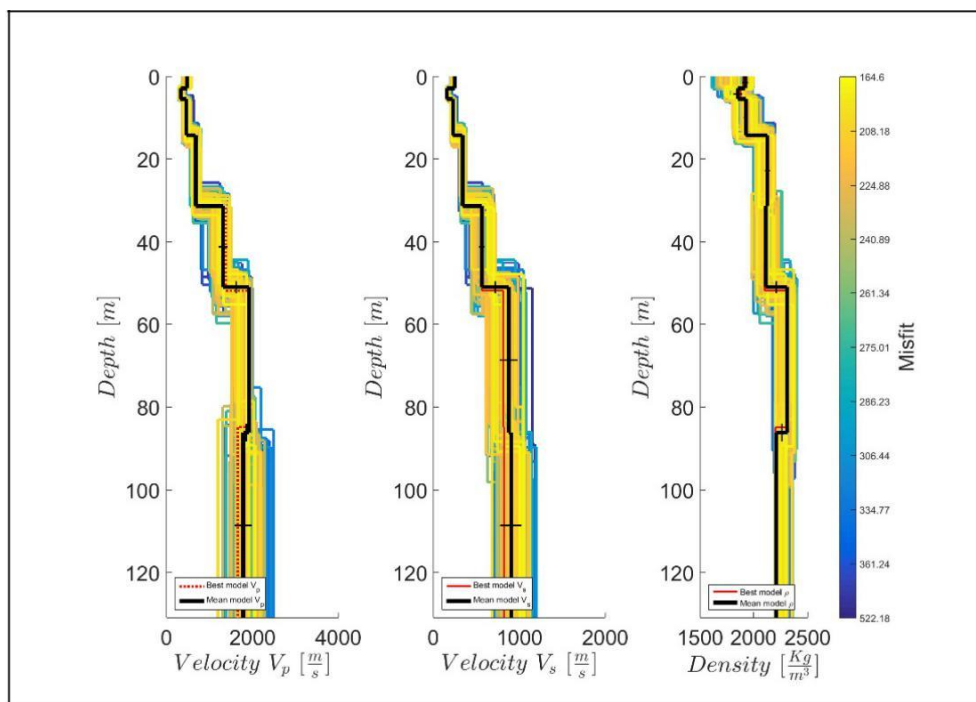
Tale modellazione ha permesso di individuare il bedrock sismico di riferimento a partire da una profondità di 63 m al di sotto della superficie topografica.

Di seguito viene riportata la sismostratigrafia inserita nel software Strata proveniente dalle inversioni congiunte effettuate con il suddetto software HV-INV.

Tali inversioni hanno permesso di definire i range di spessore e velocità da attribuire ai terreni sovrastanti il bedrock sismico.

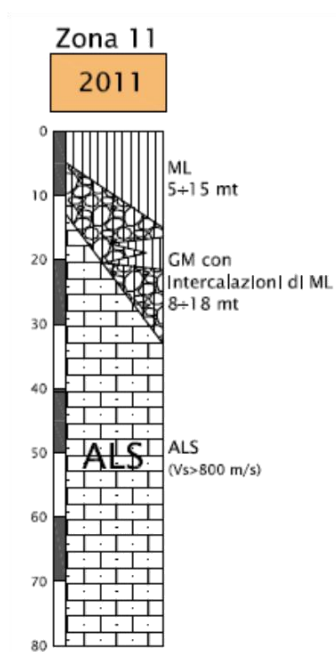
I dati numerici inseriti nel software Strata provengono da un'analisi di dettaglio delle caratteristiche litologiche, meccaniche e sismiche dei terreni costituenti la successione stratigrafica della MOPS in esame.

Per la definizione del profilo di Vs della zona 8 sono state eseguite n° 3 inversioni congiunte HVSR – Masw: la più rappresentativa in quanto congruente con la successione stratigrafica locale è riportata nella figura seguente.



General Settings Soil Types Soil Profile Motion(s) Output Specification Compute Results							
Site Profile							
	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)	Minimum (m/s)	Maximum (m/s)	Varied
1	0.00	10.00	2_Esanatoglia (MLf, MLca, MLfi, MLcc, MLic)	240.00	<input checked="" type="checkbox"/> 180.00	<input checked="" type="checkbox"/> 260.00	<input checked="" type="checkbox"/>
2	10.00	13.00	Rollins et al. (1998) (GW, GP, GM, GC)	350.00	<input checked="" type="checkbox"/> 320.00	<input checked="" type="checkbox"/> 450.00	<input checked="" type="checkbox"/>
3	23.00	20.00	Substrato fratturato (lineare)	500.00	<input checked="" type="checkbox"/> 450.00	<input checked="" type="checkbox"/> 520.00	<input checked="" type="checkbox"/>
4	43.00	20.00	Substrato fratturato (lineare)	540.00	<input checked="" type="checkbox"/> 480.00	<input checked="" type="checkbox"/> 560.00	<input checked="" type="checkbox"/>
5	63.00	Half-Space	Bedrock	1000.00	<input checked="" type="checkbox"/> 900.00	<input checked="" type="checkbox"/> 1100.00	<input checked="" type="checkbox"/>

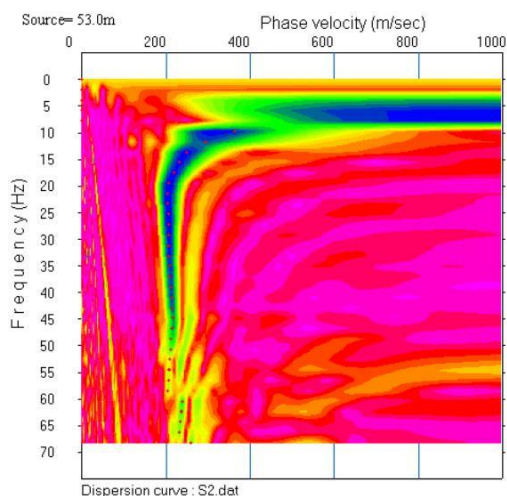
MOPS 2011



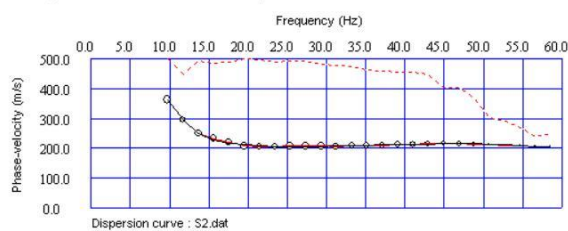
Dall'analisi delle indagini geognostiche reperite si evince come la successione stratigrafica della microzona in oggetto sia costituita, a partire dalla superficie topografica, da coperture alluvionali fini di natura prevalentemente limoso-sabbiosa e/o sabbioso-argillosa, caratterizzate da spessori compresi tra 5÷15 m circa, con possibili interdigitazioni di colluvioni litologicamente indifferenziate. La locale successione stratigrafica prosegue verso il basso con depositi prettamente alluvionali, caratterizzati da spessori compresi tra 8÷18 metri circa, costituiti da ghiaie in matrice prevalentemente limoso-sabbioso frammista in percentuali variabili, con intercalazioni lentiformi di terreni fini a basso stato di addensamento/consistenza. L'addensamento dei depositi prettamente ghiaiosi è generalmente elevato ma comunque caratterizzato da una certa variabilità in funzione del contenuto in matrice. La successione stratigrafica prosegue verso il basso con i litotipi marnosi, marnoso calcarei e marnoso argillosi dell'unità formazione dello Schlier (ALS), che rappresentano il locale bedrock sismico.

MOPS 2011 - Indagine sismica con metodologia MASW – L7MASW (\Leftrightarrow P310HVS)

CURVA DI DISPERSIONE SPERIMENTALE CON PICKING

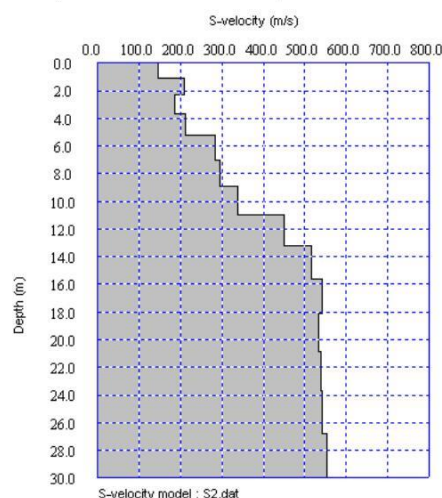


CURVA DI DISPERSIONE SPERIMENTALE E CALCOLATA



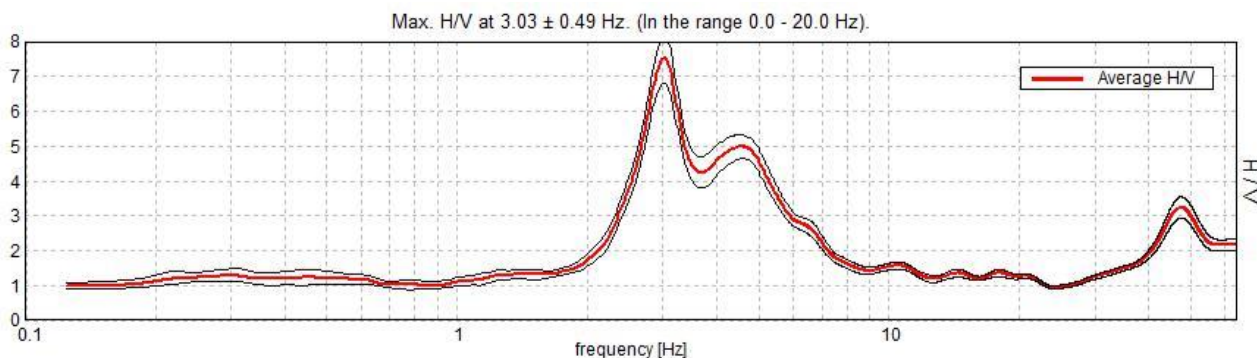
MODELLO Vs

Profondità (mt)	hi (mt)	Vi (m/s)	hi/Vi	Vs30 (m/s)
0.00 ÷ 1.07	1.07	146	0.0073	361
1.07 ÷ 2.31	1.24	209	0.0059	
2.31 ÷ 3.71	1.40	187	0.0075	
3.71 ÷ 5.27	1.57	211	0.0074	
5.27 ÷ 7.01	1.73	283	0.0061	
7.01 ÷ 8.90	1.90	294	0.0065	
8.90 ÷ 10.96	2.06	338	0.0061	
10.96 ÷ 13.19	2.23	449	0.0050	
13.19 ÷ 15.58	2.39	518	0.0046	
15.58 ÷ 18.13	2.55	543	0.0047	
18.13 ÷ 20.85	2.72	534	0.0051	
20.85 ÷ 23.74	2.88	539	0.0053	
23.74 ÷ 26.79	3.05	542	0.0056	
26.79 ÷ 30.00	3.21	553	0.0058	
$\Sigma hi =$	30.00	$\Sigma hVi/Vi =$	0.0830	



La registrazione MASW è caratterizzata da una curva di dispersione sperimentale univocamente definita, così come da una buona sovrapposizione tra essa e quella calcolata a seguito delle procedure di inversione effettuate. Il profilo monodimensionale sopra riportato ha evidenziato la presenza di terreni caratterizzati da una bassa velocità di propagazione delle onde di taglio sino ad una profondità di 11,00 m circa, in corrispondenza della quale si assiste ad un discreto incremento del valore di Vs che si stabilizza poi, assumendo valori di poco superiori a 500 m/s, a partire da una quota di 13,00 m circa.

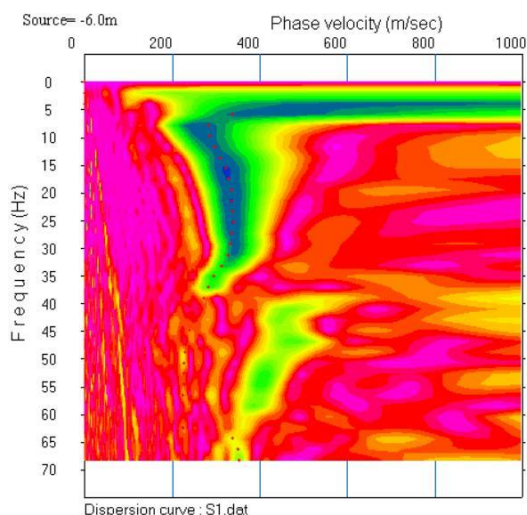
MOPS 2011 - Indagine sismica passiva HVSR – P310HVS (\Leftrightarrow L7MASW)



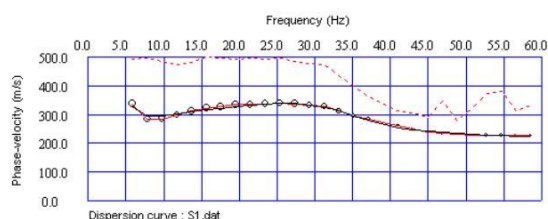
Dall'analisi della curva dei rapporti spettrali H/V sopra riportata si evince la presenza di un rilevante picco, dell'ordine di 7,5 circa, rilevabile ad una frequenza di 3 Hz, all'interno del campo delle frequenze di interesse ingegneristico. Tale picco è presumibilmente connesso al passaggio tra i depositi alluvionali e il sottostante substrato sismico dello Schlier (ALS).

MOPS 2011 - Indagine sismica con metodologia MASW – L8MASW (\leftrightarrow P314HVSr)

CURVA DI DISPERSIONE SPERIMENTALE CON PICKING

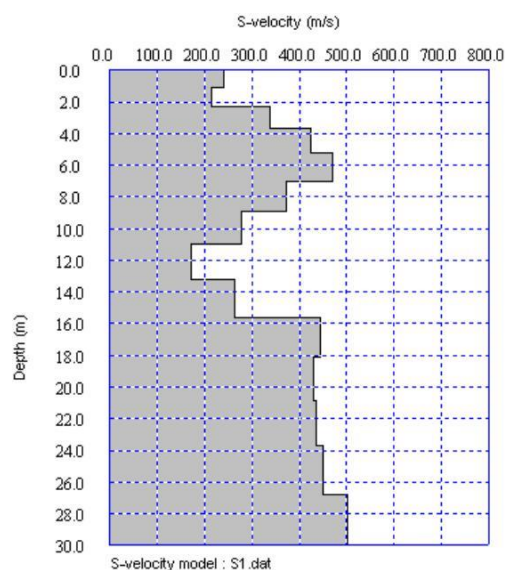


CURVA DI DISPERSIONE SPERIMENTALE E CALCOLATA



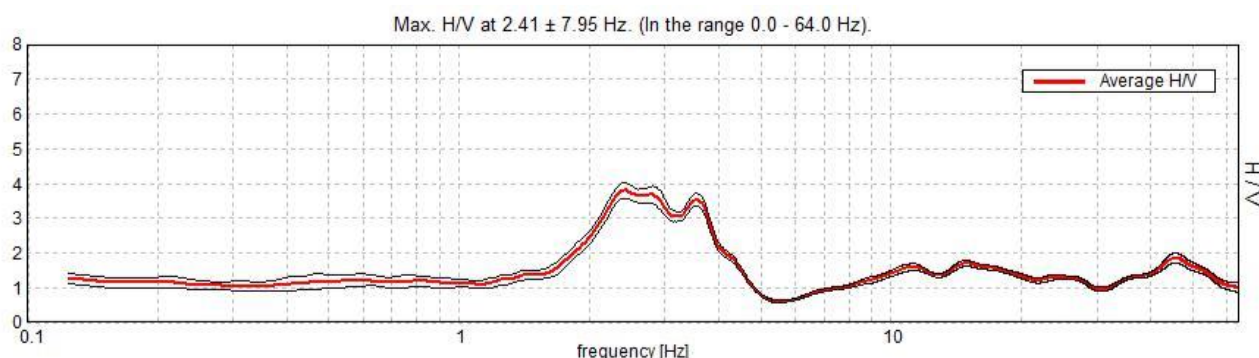
Profondità (mt)	hi (mt)	Vi (m/s)	hi/Vi	Vs30 (m/s)
0,00 ÷ 1,07	1,07	242	0,0044	340
1,07 ÷ 2,31	1,24	214	0,0058	
2,31 ÷ 3,71	1,40	338	0,0041	
3,71 ÷ 5,27	1,57	424	0,0037	
5,27 ÷ 7,01	1,73	470	0,0037	
7,01 ÷ 8,90	1,90	372	0,0051	
8,90 ÷ 10,96	2,06	277	0,0074	
10,96 ÷ 13,19	2,23	171	0,0130	
13,19 ÷ 15,58	2,39	265	0,0090	
15,58 ÷ 18,13	2,55	445	0,0057	
18,13 ÷ 20,85	2,72	429	0,0063	
20,85 ÷ 23,74	2,88	435	0,0066	
23,74 ÷ 26,79	3,05	450	0,0068	
26,79 ÷ 30,00	3,21	502	0,0064	
Σhi=	30,00	ΣhVi/Vi=	0,0882	

MODELLO Vs



La registrazione MASW è caratterizzata da una curva di dispersione sperimentale univocamente definita, così come da una buona sovrapposizione tra essa e quella calcolata a seguito delle procedure di inversione effettuate. Il profilo monodimensionale sopra riportato ha evidenziato la presenza di terreni caratterizzati da una discreta velocità di propagazione delle onde di taglio già a partire da profondità prossima al p.c. Nell'intervallo di profondità compreso tra 7,00÷13,00 m circa si assiste ad una graduale inversione del valore di Vs che registra un decremento complessivo dell'ordine di 300 m/s.

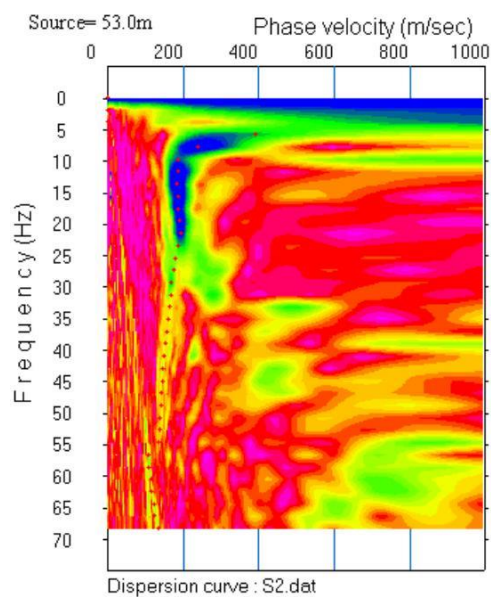
MOPS 2011 - Indagine sismica passiva HVSR – P314HVSR (⇔L8MASW)



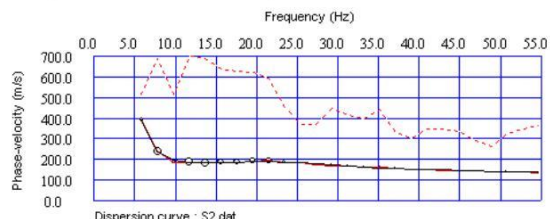
Dall'analisi della curva dei rapporti spettrali H/V sopra riportata si evince la presenza di un elevato picco, dell'ordine di 4,0 circa, rilevabile ad una frequenza di 2,41 Hz, all'interno del campo delle frequenze di interesse ingegneristico. Tale picco è presumibilmente connesso al passaggio tra i depositi alluvionali e il sottostante substrato sismico dello Schlier (ALS).

MOPS 2011 - Indagine sismica con metodologia MASW – L16MASW (⇔P321HVSR)

CURVA DI DISPERSIONE SPERIMENTALE CON PICKING

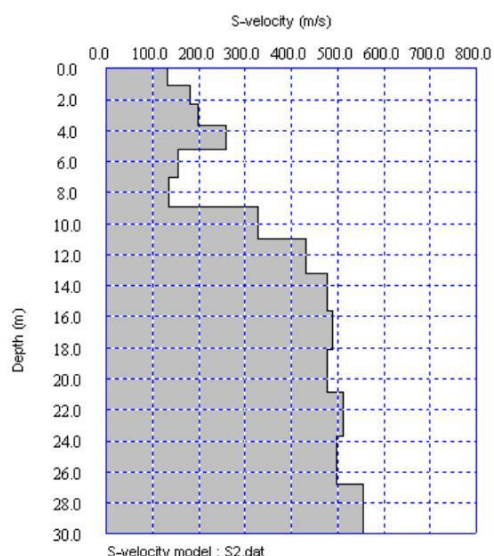


CURVA DI DISPERSIONE SPERIMENTALE E CALCOLATA

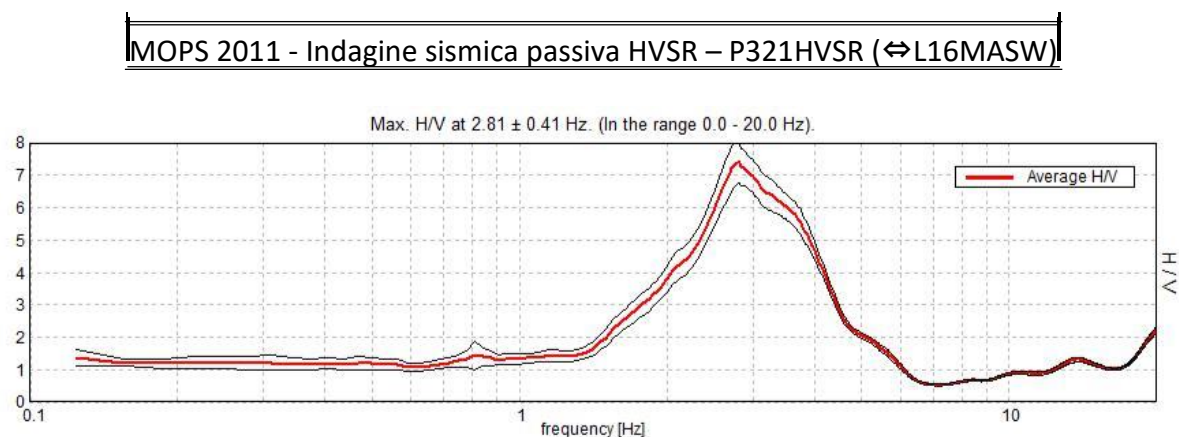


Profondità (mt)	h _i (mt)	V _i (m/s)	h _i /V _i	Vs30 (m/s)
0.00	1.07	132	0.0081	305
1.07	2.31	179	0.0069	
2.31	3.71	198	0.0071	
3.71	5.27	258	0.0061	
5.27	7.01	156	0.0111	
7.01	8.90	135	0.0140	
8.90	10.96	328	0.0063	
10.96	13.19	430	0.0052	
13.19	15.58	476	0.0050	
15.58	18.13	488	0.0052	
18.13	20.85	476	0.0057	
20.85	23.74	512	0.0056	
23.74	26.79	497	0.0061	
26.79	30.00	554	0.0058	
Σ h _i =		30.00	Σ h _i /V _i =	0.0983

MODELLO V_s



La registrazione MASW è caratterizzata da una curva di dispersione sperimentale univocamente definita, così come da una buona sovrapposizione tra essa e quella calcolata a seguito delle procedure di inversione effettuate. Il profilo monodimensionale sopra riportato ha evidenziato la presenza di terreni caratterizzati da una bassa velocità di propagazione delle onde di taglio sino ad una profondità di 9,00 m circa, in corrispondenza della quale si assiste ad un discreto incremento del valore di V_s che si stabilizza poi, assumendo valori dell'ordine di 500 m/s, a partire da una quota di 13,00 m circa.

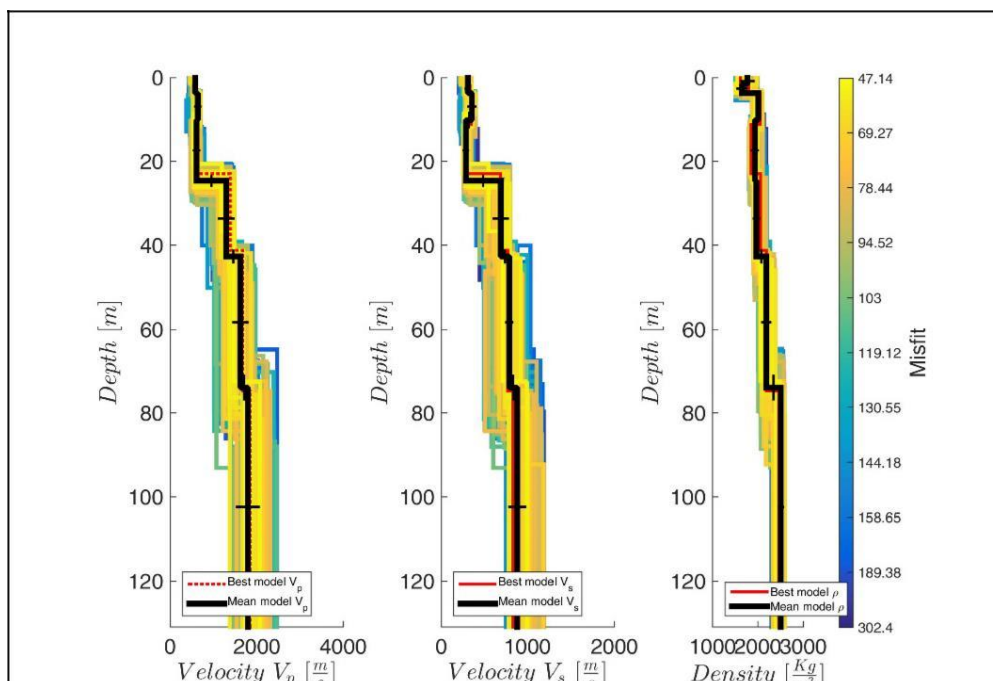


Dall'analisi della curva dei rapporti spettrali H/V sopra riportata si evince la presenza di un rilevante picco della curva H/V, dell'ordine di 7,3 circa, rilevabile ad una frequenza di 2,81 Hz, all'interno del campo delle frequenze di interesse ingegneristico. Tale picco è presumibilmente connesso al passaggio tra i depositi alluvionali costituenti la porzione più superficiale della locale successione stratigrafica e il sottostante substrato sismico dello Schlier (ALS).

Per determinare la profondità del bedrock rigido di riferimento, necessaria per le successive analisi di risposta sismica locale, si è poi proceduto all'inversione congiunta mediante il codice di calcolo HV-Inv tra la curva di dispersione ottenuta dalla misura MASW, che vincola maggiormente la parte superficiale del profilo di V_s , e la curva H/V ottenuta dalla misura a stazione singola associata allo stendimento sismico attivo, che dà invece maggiori informazioni sull'andamento delle velocità delle onde di taglio in profondità e sull'entità del contrasto di impedenza sismico. La procedura di inversione è stata ripetuta per n. 3 volte in un sito e n. 4 volte in un altro (all'interno della stessa Mops), al fine di ottenere una maggiore approssimazione. Tale modellazione ha permesso di individuare il bedrock sismico di riferimento a partire da una profondità di 23 metri al di sotto della superficie topografica. Di seguito viene riportata la sismostratigrafia inserita nel software Strata proveniente dalle inversioni congiunte effettuate con il suddetto software HV-INV. Tali inversioni hanno permesso di definire i range di spessore e velocità da attribuire ai terreni sovrastanti il bedrock sismico. I dati numerici inseriti nel software Strata provengono da un'analisi di dettaglio delle caratteristiche litologiche, meccaniche e sismiche dei terreni costituenti la successione stratigrafica della MOPS in esame.

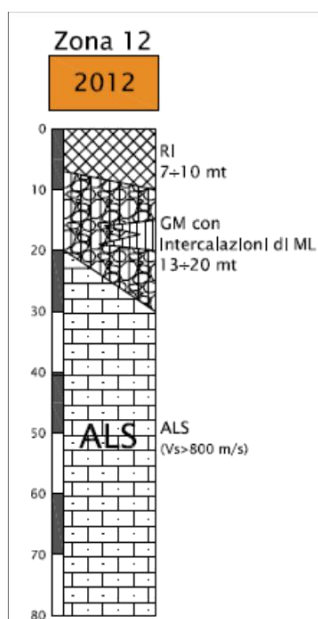
Per far fronte al problema della non unicità delle soluzioni nella procedura di inversione si è proceduto ad invertire congiuntamente differenti tipi di dati sperimentali dipendenti dagli stessi parametri del sottosuolo.

Per la Mops11 sono state eseguite indagini HVSR e MASW in 2 siti distinti e sono state eseguite n°3 inversioni congiunte per il primo sito e n°4 inversioni congiunte per il secondo. Nell'elaborazione dei risultati mediante modellazione 1D si è tenuto conto della media ponderata dei risultati ottenuti.



General Settings Soil Types Soil Profile Motion(s) Output Specification Compute Results							
Site Profile							
<div> <div>+ Add</div> <div>Insert</div> <div>Remove</div> </div>							
Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)	Minimum (m/s)	Maximum (m/s)	Varied	
1 0.00	10.00	2_Esanatoglia (MLtf, MLca, MLfl, MLcc, MLic)	240.00	<input checked="" type="checkbox"/> 200.00	<input checked="" type="checkbox"/> 300.00	<input checked="" type="checkbox"/>	
2 10.00	13.00	Rollins et al. (1998) (GW, GP, GM, GC)	420.00	<input checked="" type="checkbox"/> 380.00	<input checked="" type="checkbox"/> 500.00	<input checked="" type="checkbox"/>	
3 23.00	Half-Space	Bedrock	900.00	<input checked="" type="checkbox"/> 850.00	<input checked="" type="checkbox"/> 1100.00	<input checked="" type="checkbox"/>	

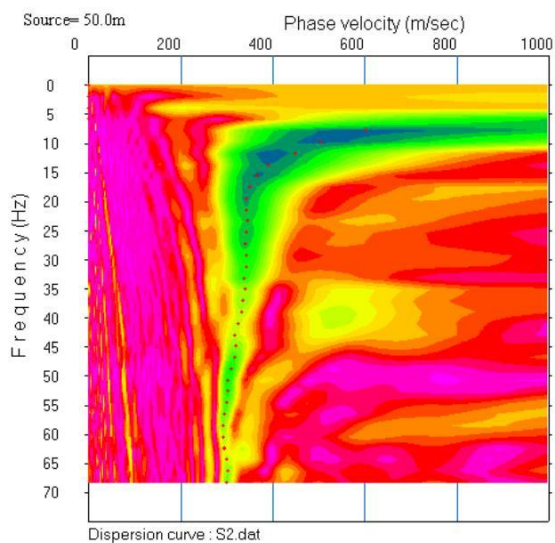
MOPS 2012



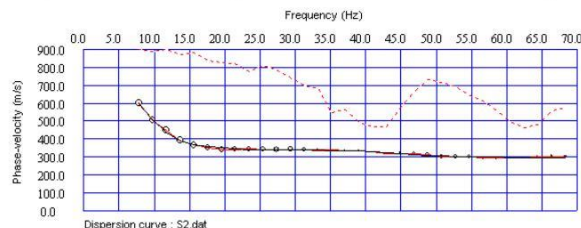
La successione stratigrafica della microzona in oggetto è costituita da spessori variabili, compresi tra 7÷10 metri circa, di terreni di riporto antropici di natura eterogenea, generalmente caratterizzati da un basso stato di consistenza/addensamento e dalle scadenti caratteristiche geotecniche. La locale successione stratigrafica prosegue verso il basso con depositi prettamente alluvionali, caratterizzati da spessori compresi tra 13÷20 metri circa, costituiti da ghiaie in matrice prevalentemente limoso-sabbioso frammista in percentuali variabili, con intercalazioni lentiformi di terreni fini a basso stato di addensamento/consistenza. L'addensamento dei depositi prettamente ghiaiosi è generalmente elevato ma comunque caratterizzato da una certa variabilità in funzione del contenuto in matrice. La successione stratigrafica prosegue verso il basso con i litotipi marnosi, marnoso calcarei e marnoso argillosi dell'unità formazione dello Schlier (ALS), che rappresentano il locale bedrock sismico.

MOPS 2012 - Indagine sismica con metodologia MASW – L10MASW (⇔P311HVSr)

CURVA DI DISPERSIONE SPERIMENTALE CON PICKING

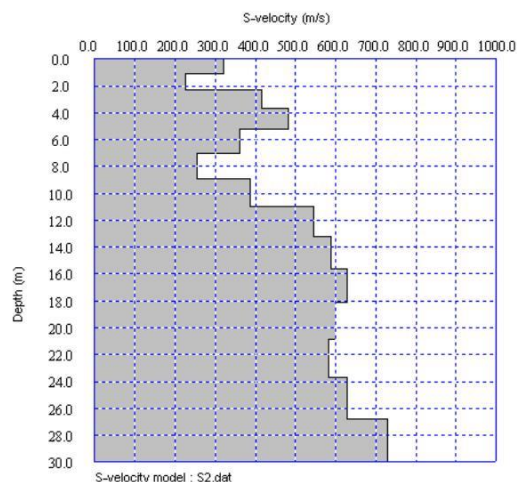


CURVA DI DISPERSIONE SPERIMENTALE E CALCOLATA



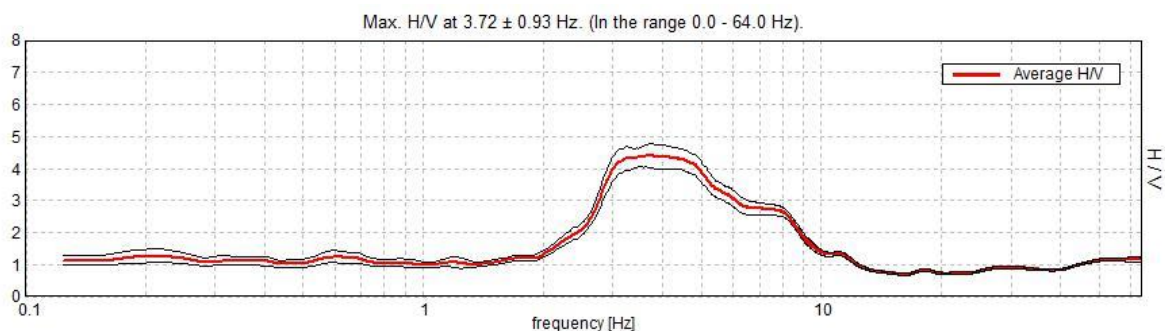
Profondità (mt)	hi (mt)	Vi (m/s)	hi/Vi	Vs30 (m/s)
0.00 ÷ 1.07	1.07	320	0.0033	469
1.07 ÷ 2.31	1.24	226	0.0055	
2.31 ÷ 3.71	1.40	417	0.0034	
3.71 ÷ 5.27	1.57	481	0.0033	
5.27 ÷ 7.01	1.73	362	0.0048	
7.01 ÷ 8.90	1.90	255	0.0074	
8.90 ÷ 10.96	2.06	388	0.0053	
10.96 ÷ 13.19	2.23	544	0.0041	
13.19 ÷ 15.58	2.39	588	0.0041	
15.58 ÷ 18.13	2.55	629	0.0041	
18.13 ÷ 20.85	2.72	601	0.0045	
20.85 ÷ 23.74	2.88	582	0.0050	
23.74 ÷ 26.79	3.05	630	0.0048	
26.79 ÷ 30.00	3.21	728	0.0044	
Σ hi:	30.00	Σ hVi/Vi:	0.0639	

MODELLO Vs



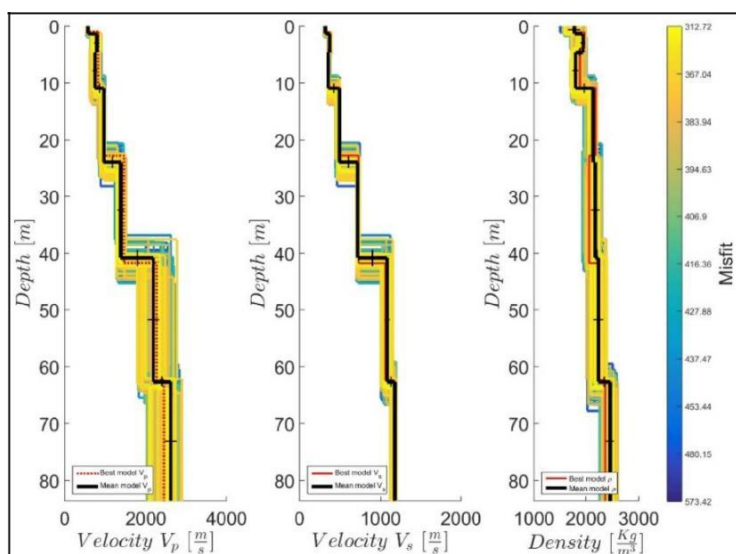
La registrazione MASW è caratterizzata da una curva di dispersione sperimentale univocamente definita, così come da una buona sovrapposizione tra essa e quella calcolata a seguito delle procedure di inversione effettuate. Il profilo monodimensionale sopra riportato ha evidenziato la presenza di terreni caratterizzati da una discreta velocità di propagazione delle onde di taglio già a partire da profondità prossime al p.c. Nell'intervallo di profondità compreso tra 5,00÷9,00 m circa si assiste ad una inversione del valore di Vs che registra un decremento complessivo dell'ordine di 230 m/s.

MOPS 2012 - Indagine sismica passiva HVSr – P311HVSr (⇔L10MASW)



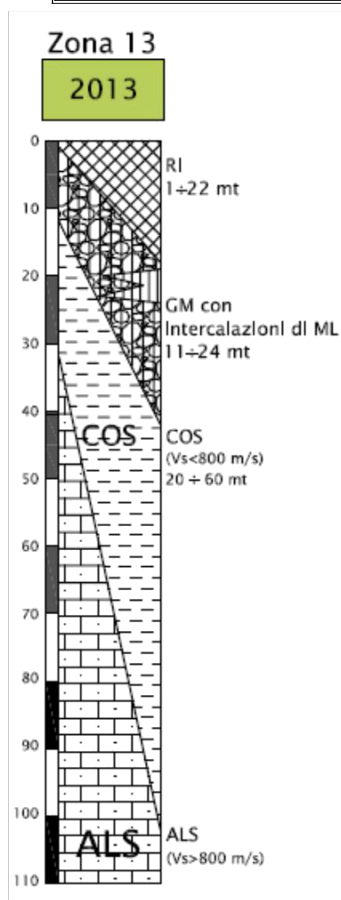
Dall’analisi della curva dei rapporti spettrali H/V sopra riportata si evince la presenza di un rilevante picco, dell’ordine di 4,5 circa, rilevabile ad una frequenza di 3,72 Hz, all’interno del campo delle frequenze di interesse ingegneristico. Tale picco è presumibilmente connesso al passaggio tra i depositi alluvionali costituenti la porzione più superficiale della locale successione stratigrafica e il sottostante substrato sismico dello Schlier (ALS). Per determinare la profondità del bedrock rigido di riferimento, necessaria per le successive analisi di risposta sismica locale, si è poi proceduto all’inversione congiunta tra la curva di dispersione ottenuta dalla misura MASW, che vincola maggiormente la parte superficiale del profilo di Vs, e la curva H/V ottenuta dalla misura a stazione singola associata allo stendimento sismico attivo, che dà invece maggiori informazioni sull’andamento delle velocità delle onde di taglio in profondità e sull’entità del contrasto di impedenza sismico. Tale modellazione ha permesso di individuare il bedrock sismico di riferimento a partire da una profondità di 25 m al di sotto della superficie topografica. Di seguito viene riportata la sismostratigrafia inserita nel software Strata proveniente dalle inversioni congiunte effettuate con il suddetto software HV-INV. Tali inversioni hanno permesso di definire i range di spessore e velocità da attribuire ai terreni sovrastanti il bedrock sismico. I dati numerici inseriti nel software Strata provengono da un’analisi di dettaglio delle caratteristiche litologiche, meccaniche e sismiche dei terreni costituenti la successione stratigrafica della MOPS in esame.

Per far fronte al problema della non unicità delle soluzioni nella procedura di inversione si è proceduto a invertire congiuntamente differenti tipi di dati sperimentali dipendenti dagli stessi parametri del sottosuolo. In questo caso sono state eseguite n° 3 inversioni congiunte; nella figura seguente è riportata quella utilizzata per la modellazione 1d.



File Edit Tools Window Help							
General Settings Soil Types Soil Profile Motion(s) Output Specification Compute Results							
Site Profile							
+ Add Insert Remove							
Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)	Minimum (m/s)	Maximum (m/s)	Varied	
1 0.00	9.00	Rollins et al. (1998) (riporto)	300.00	<input checked="" type="checkbox"/> 280.00	<input checked="" type="checkbox"/> 350.00	<input checked="" type="checkbox"/>	
2 9.00	16.00	Rollins et al. (1998) (GW, GP, GM, GC)	480.00	<input checked="" type="checkbox"/> 450.00	<input checked="" type="checkbox"/> 520.00	<input checked="" type="checkbox"/>	
3 25.00	Half-Space	Bedrock	1000.00	<input checked="" type="checkbox"/> 900.00	<input checked="" type="checkbox"/> 1100.00	<input checked="" type="checkbox"/>	

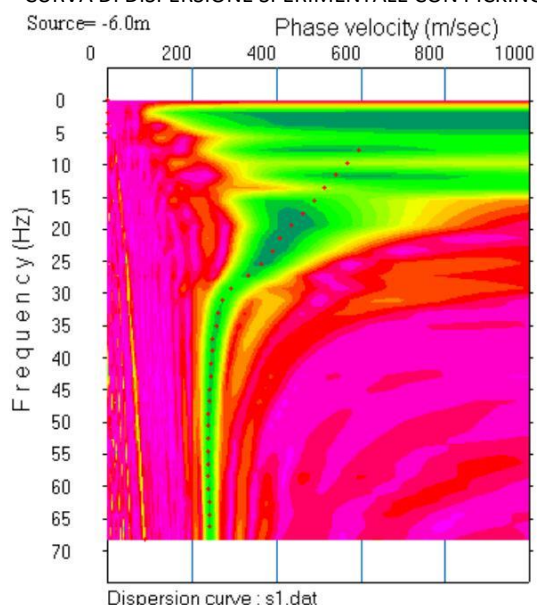
MOPS 2013



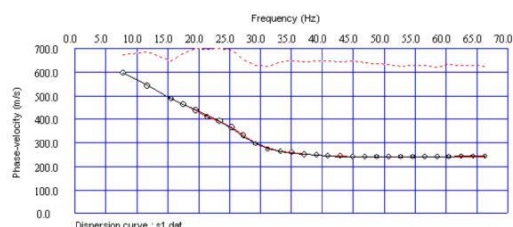
La successione stratigrafica della microzona in oggetto è costituita da spessori variabili, compresi tra 1÷22 metri circa, di terreni di riporto antropici di natura eterogenea, generalmente caratterizzati da un basso stato di consistenza/addensamento e dalle scadenti caratteristiche geotecniche. Essi vanno a sovrastare depositi prettamente alluvionali, caratterizzati da spessori compresi tra 11÷24 metri circa, costituiti da ghiaie in matrice prevalentemente limoso-sabbioso frammista in percentuali variabili, con intercalazioni lentiformi di terreni fini a basso stato di addensamento/consistenza. L'addensamento dei depositi prettamente ghiaiosi è generalmente elevato ma comunque caratterizzato da una certa variabilità in funzione del contenuto in matrice. La successione stratigrafica prosegue verso il basso dapprima con la formazione geologica riferibile all'unità di Camerino (COS), costituita da litofacies pelitico-arenacee e arenaceo-pelitiche, caratterizzata da spessori compresi tra 20÷60 m circa. Le indagini geofisiche eseguite hanno evidenziato come il litotipo in oggetto sia caratterizzato da velocità di propagazione delle onde di taglio ampiamente inferiori a 800 m/s, non potendo pertanto essere considerato come bedrock sismico. La locale successione stratigrafica prosegue verso il basso con l'unità formazione dello Schlier (ALS), rilevabile a partire da profondità comprese tra 30÷106 m circa. Le indagini geofisiche eseguite nell'ambito del presente lavoro hanno evidenziato come il litotipo in esame, costituito da marne, marne calcaree e marne argillose, sia sempre caratterizzato da velocità di propagazione delle onde di taglio superiori a 800 m/s, andando pertanto a rappresentare il bedrock sismico dell'area in studio.

MOPS 2013 - Indagine sismica con metodologia MASW – L13MASW (⇔P318HVSR)

CURVA DI DISPERSIONE SPERIMENTALE CON PICKING

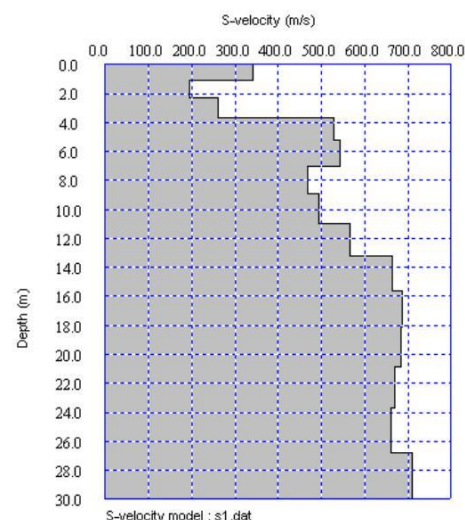


CURVA DI DISPERSIONE SPERIMENTALE E CALCOLATA



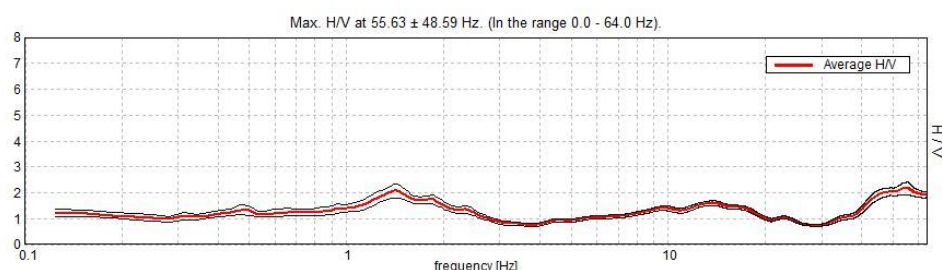
Profondità (m)	h _i (m)	V _i (m/s)	h _i /V _i	V _{s30} (m/s)
0,00 ÷ 1,07	1,07	340	0,0032	518
1,07 ÷ 2,31	1,24	196	0,0063	
2,31 ÷ 3,71	1,40	262	0,0053	
3,71 ÷ 5,27	1,57	530	0,0030	
5,27 ÷ 7,01	1,73	542	0,0032	
7,01 ÷ 8,90	1,90	468	0,0041	
8,90 ÷ 10,96	2,06	493	0,0042	
10,96 ÷ 13,19	2,23	564	0,0039	
13,19 ÷ 15,58	2,39	664	0,0036	
15,58 ÷ 18,13	2,55	686	0,0037	
18,13 ÷ 20,85	2,72	683	0,0040	
20,85 ÷ 23,74	2,88	669	0,0043	
23,74 ÷ 26,79	3,05	661	0,0046	
26,79 ÷ 30,00	3,21	711	0,0045	
Σh _i =	30,00	Σh _i /V _i =	0,0579	

MODELLO V_s



La registrazione MASW è caratterizzata da una curva di dispersione sperimentale univocamente definita, così come da una buona sovrapposizione tra essa e quella calcolata a seguito delle procedure di inversione effettuate. Il profilo monodimensionale sopra riportato ha evidenziato la presenza di terreni caratterizzati da una bassa velocità di propagazione delle onde di taglio sino ad una profondità di 4,00 m circa dal p.c., in corrispondenza della quale si assiste ad un evidente incremento del valore di V_s che si stabilizza poi, dopo un tratto a velocità pressoché costante, a partire da una quota di 14,00 m circa, assumendo valori di poco inferiori a 700 m/s.

MOPS 2013 - Indagine sismica passiva HVSR – P318HVSR (⇔L13MASW)

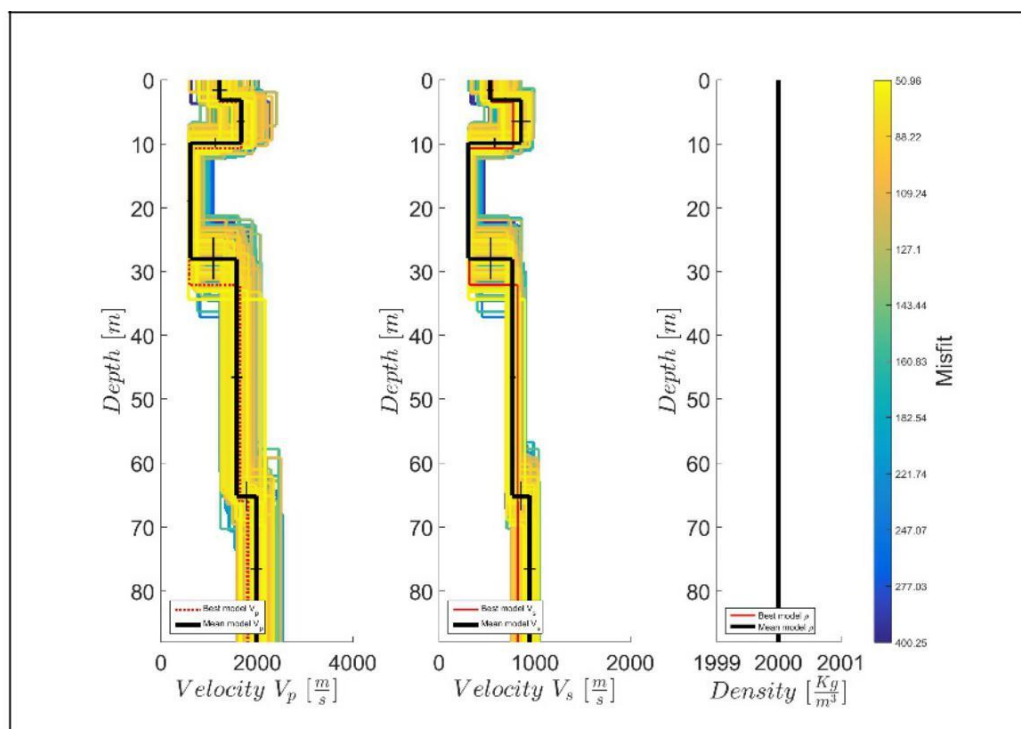


Dall'analisi della curva dei rapporti spettrali H/V sopra riportata si evince la presenza di un modesto picco, dell'ordine di 2,0 circa, rilevabile ad una frequenza di 1,50 Hz, all'interno del campo delle frequenze di interesse ingegneristico. Tale picco è presumibilmente connesso al passaggio tra i depositi pelitico-arenacei e arenaceo-pelitici riferibili alla formazione di Camerino (COS) e il sottostante substrato sismico dello Schlier (ALS).

Per determinare la profondità del bedrock rigido di riferimento, necessaria per le successive analisi di risposta sismica locale, si è poi proceduto all'inversione congiunta tra la curva di dispersione ottenuta dalla misura MASW, che vincola maggiormente la parte superficiale del profilo di V_s, e la curva H/V ottenuta dalla misura a stazione singola associata allo stendimento sismico attivo, che dà invece maggiori informazioni sull'andamento delle velocità delle onde di taglio in profondità e sull'entità del contrasto di impedenza sismico. Tale modellazione ha permesso di individuare il bedrock sismico di riferimento a partire da una profondità di 69 m al di sotto della superficie topografica. Di seguito viene riportata la sismostratigrafia inserita nel software Strata proveniente dalle inversioni congiunte effettuate con il suddetto software HV-

INV. Tali inversioni hanno permesso di definire i range di spessore e velocità da attribuire ai terreni sovrastanti il bedrock sismico. I dati numerici inseriti nel software Strata provengono da un’analisi di dettaglio delle caratteristiche litologiche, meccaniche e sismiche dei terreni costituenti la successione stratigrafica della MOPS in esame.

All’interno della zona 13 sono state eseguite n°3 inversioni congiunte: quella più rappresentativa è riportata nella figura seguente.



File Edit Tools Window Help							
General Settings Soil Types Soil Profile Motion(s) Output Specification Compute Results							
Site Profile							
+ Add Insert - Remove							
	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)	Minimum (m/s)	Maximum (m/s)	Varied
1	0.00	11.00	Rollins et al. (1998) (riporto)	500.00	<input checked="" type="checkbox"/> 450.00	<input checked="" type="checkbox"/> 700.00	<input checked="" type="checkbox"/>
2	11.00	18.00	Rollins et al. (1998) (GW, GP, GM, GC)	600.00	<input checked="" type="checkbox"/> 550.00	<input checked="" type="checkbox"/> 700.00	<input checked="" type="checkbox"/>
3	29.00	20.00	Substrato fratturato (lineare)	420.00	<input checked="" type="checkbox"/> 400.00	<input checked="" type="checkbox"/> 500.00	<input checked="" type="checkbox"/>
4	49.00	20.00	Substrato fratturato (lineare)	450.00	<input checked="" type="checkbox"/> 420.00	<input checked="" type="checkbox"/> 520.00	<input checked="" type="checkbox"/>
5	69.00	Half-Space	Bedrock	1000.00	<input checked="" type="checkbox"/> 900.00	<input checked="" type="checkbox"/> 1100.00	<input checked="" type="checkbox"/>

La tabella seguente riporta la sintesi delle 11 MOPS in cui è stata suddivisa l’area di indagine.

COMUNE	MOPS	SPESSORE MIN (m)	SPESSORE MAX (m)	tipo_gt	SIGLA GEOL o Descrizione	LOG	Vs med (m/s)	Vs Min (m/s)	Vs max (m/s)
CERRETO D'ESI	1041	120	160	ALS	Schlier (SCH)	SS	1100	900	1260
	2003	40	80	COS	Litofacies pelitica (Fcif)	SG	496	440	553
	2004	10	30	GM, ML	Depositi alluvionali (Musbn)	TC	582	261	903
		130	160	ALS	Schlier (SCH)	SS	1235	1024	1447
	2006	3	30	GM, ML	Depositi alluvionali (Musbn)	TC	295	200	390
		20	60	COS	Litofacies pelitica (Fcif)	SG	500	450	550
		130	160	ALS	Schlier (SCH)	SS	1235	1024	1447
	2007	3	15	ML	Depositi colluviali (MUSb2)	TC	279	187	370
		20	60	COS	Litofacies pelitica (Fcif)	SG	640	540	740
				ALS	Schlier (SCH)	SS	1235	1024	1447
	2008	5	15	ML	Depositi alluvionali (Musbn)	TC	175	150	200
		8	18	GM, ML	Depositi alluvionali (Musbn)	TC	300	280	320
		20	40	COS	Litofacies pelitica (Fcif)	SG	540	400	680
				ALS	Schlier (SCH)	SS	1235	1024	1447
	2011	5	15	ML	Lim. sabbioso-argillosi	TC	235	220	250
		8	18	GM, ML	Depositi alluvionali (Musbn)	TC	270	260	280
				ALS	Schlier (SCH)	SS	1235	1024	1447
	2012	7	10	RI	Materiale di riporto	TC	335	310	360
		13	20	GM, ML	Depositi alluvionali (Musbn)	TC	500	480	520
				ALS	Schlier (SCH)	SS	1235	1024	1447
	2013	1	22	RI	Materiale di riporto	TC	520	420	620
		11	24	GM, ML	Depositi alluvionali (Musbn)	TC	500	400	600
		40	55	COS	Litofacies pelitica (Fcif)	SG	525	300	750
				ALS	Schlier (SCH)	SS	1235	1024	1447

6. Interpretazioni e incertezze

Data l’elevato spessore dei sedimenti alluvionali, gran parte delle indagini geognostiche dirette eseguite nel territorio comunale (sondaggi e penetrometrie), non arrivano a profondità tali da intercettare il locale substrato. Pertanto, nella stesura delle sezioni, in alcuni casi lo spessore di tali depositi è stato stimato sulla base di considerazioni geometriche.

7. Metodologie di elaborazione e risultati

7.1 Zone stabili suscettibili di amplificazione

7.1.1 Scelta dell’input sismico (fornito dal Centro MS)

L'estrazione degli accelerogrammi di input prevede la determinazione di altri parametri sismologici, oltre il valore di ag. In particolare, bisognerà conoscere per il sito in esame i dati di disaggregazione (variabilità in termini di magnitudo e distanza), desumibili dalla pagina del sito dell'Istituto di Geofisica e Vulcanologia di Milano <http://esse1-gis.mi.ingv.it> dedicata ai dati di pericolosità sismica nazionale. Si accede ad una pagina webgis, in cui va indicato il comune oggetto d'indagine il risultato è riportato nella figura seguente, la probabilità di accadimento (il valore più vicino al tempo di ritorno più vicino a quello di progetto) ed il percentile (sempre 50 per la progettazione ai sensi delle NTC2008). Vengono quindi calcolati i valori di magnitudo-distanza con relativa probabilità. Per quanto concerne l'estrazione degli accelerogrammi di input naturali, si è fatto riferimento alla banca dati ITACA i sette accelerogrammi utilizzati per le modellazioni 1D sono stati forniti dal centro Ms.

7.1.2 Simulazioni numeriche (eseguite dal Centro MS per la simulazione 2D)

Analisi della risposta sismica mediante modellazione 2D

L’analisi di risposta sismica condotta mediante l’uso del codice STRATA con un approccio lineare equivalente 1D, non consente di tenere conto di effetti indotti dalla presenza di marcate variazioni laterali nelle proprietà sismiche dei corpi geologici sepolti, né di quelli provocati da morfologie complesse della superficie del terreno.

Questi ultimi effetti possono indurre marcate variazioni dello scuotimento anche a piccola scala ovvero all’interno della specifica Microzona Omogenea in Prospettiva Sismica (MOPS), la cui effettiva omogeneità è garantita solo in prima approssimazione, ovvero alla scala della microzonazione sismica.

Anche gli esiti prodotti dallo studio di microzonazione sismica di livello III, in quanto finalizzati alla valutazione del livello di pericolosità sismica alla scala dell’abitato, non possono essere considerati sostitutivi di una specifica analisi di risposta sismica locale finalizzata alla progettazione o alla verifica sismica del singolo manufatto.

Tuttavia può risultare utile valutare preliminarmente l’entità degli effetti non considerati nella modellazione 1D della risposta sismica mediante l’uso di appositi abachi o modellazioni più avanzate.

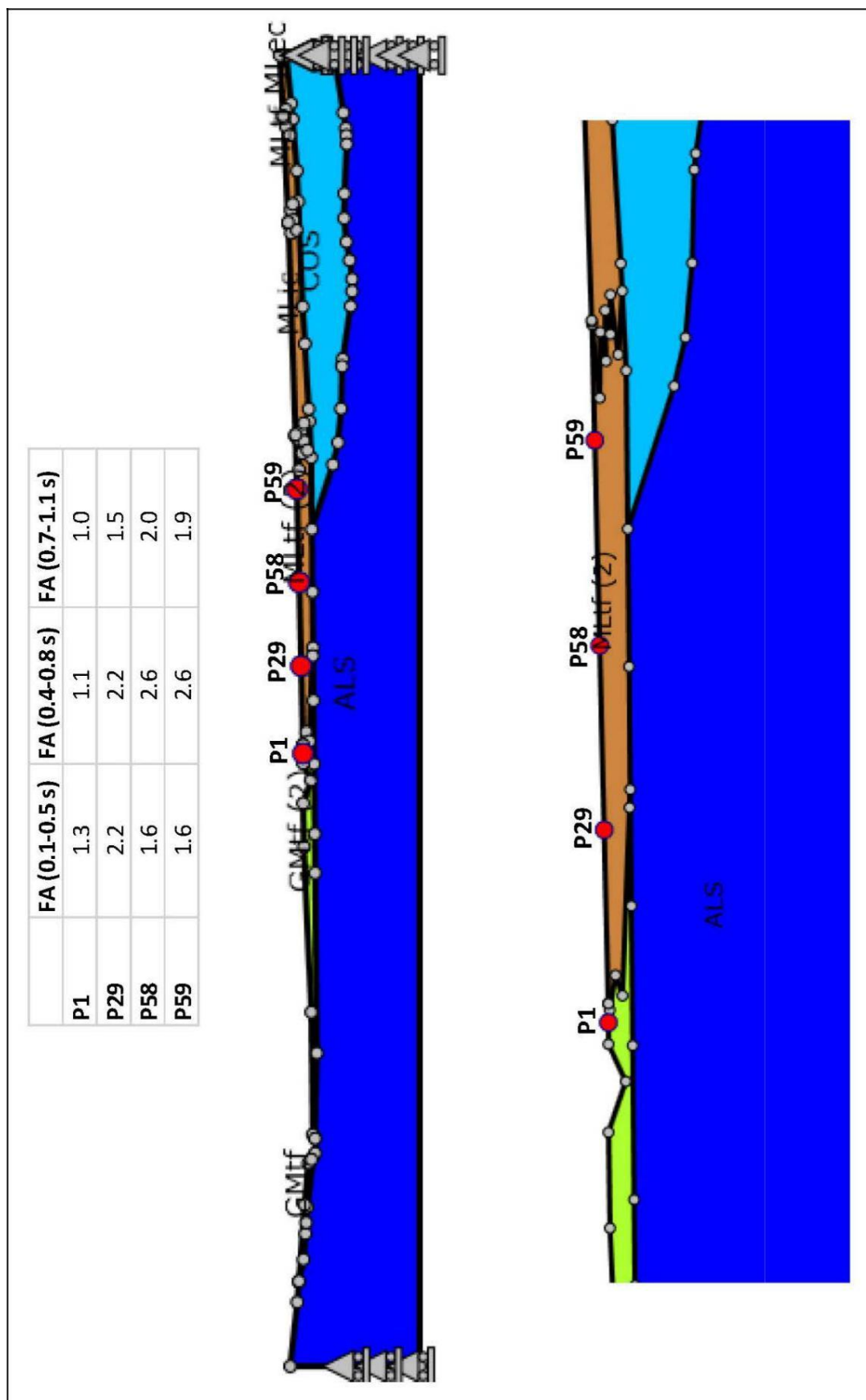
A questo scopo vengono esaminati i risultati di una modellazione numerica 2D su una sezione rappresentativa delle condizioni del sottosuolo del territorio indagato (Sez.3) in modo da valutare il possibile

scostamento dai valori di FA ottenuti nelle diverse MOPS con quelli dedotti in alcuni punti dall’analisi 2D della risposta sismica.

Questa analisi è stata condotta dal Centro di Microzonazione Sismica utilizzando un codice agli elementi finiti (LSR_2D prodotto dalla ditta STACEC S.p.A) che implementa l’algoritmo lineare equivalente QUAD4M (Idriss et al., 1994) e seguendo le prescrizioni definite nei protocolli operativi definiti nell’ambito delle attività di microzonazione sismica nell’area dell’Italia Centrale (Figura seguente).

Dato che si tratta comunque di un’analisi di microzonazione sismica non finalizzata alla progettazione, i dati relativi ai valori di Vs assunti per le diverse formazioni (gruppi GT) corrispondono alla mediana degli intervalli di variazione assegnati alla formazione considerata.

Non è stato fatto alcun tentativo di ottimizzazione in rapporto alle misure disponibili localmente.



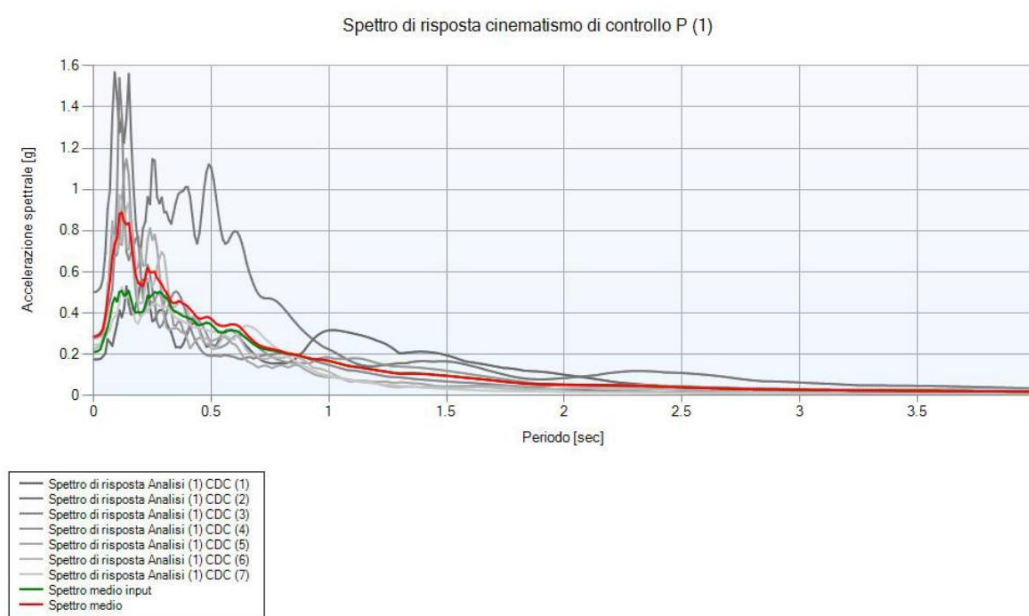
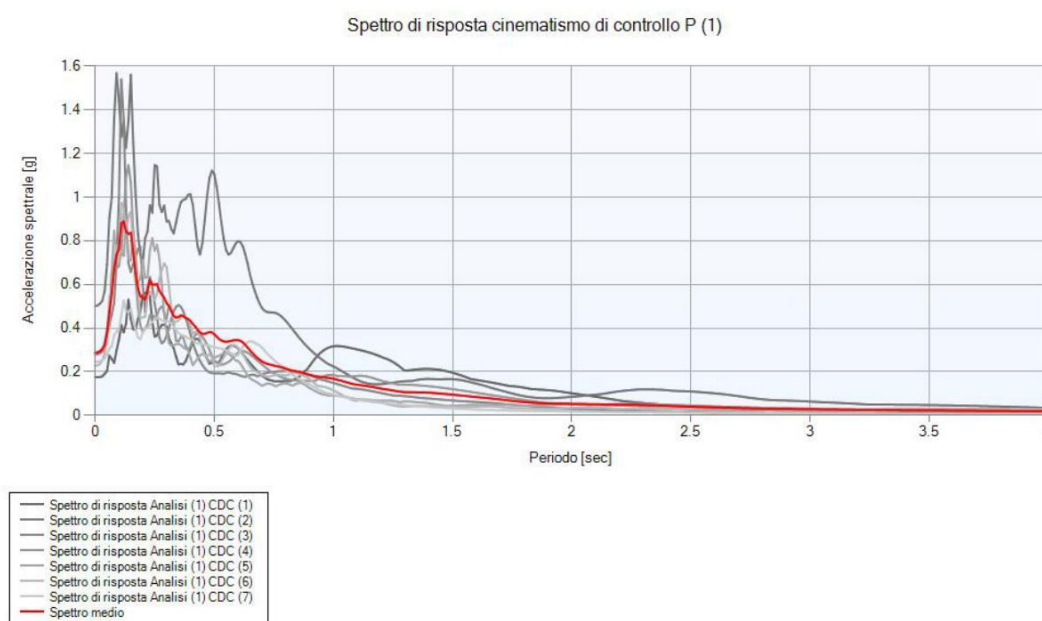
In alcuni punti della sezione giudicati rappresentativi degli effetti attesi, sono stati ricavati di fattori di amplificazione (FA) nelle tre fasce di periodo di vibrazione, gli spettri di risposta relativi ai sette accelerogrammi rappresentativi della pericolosità sismica di riferimento (moto di input) e i sette

accelerogrammi alla superficie. I valori di FA sono stati confrontati con quelli dedotti per la stessa MOPS dall'analisi 1D per valutarne la relativa congruità. Nel caso in cui questi ultimi risultassero meno cautelativi i risultati della modellazione 1D sono stati sostituiti da quelli dedotti dalla modellazione 2D. Il confronto è stato eseguito utilizzando i seguenti criteri:

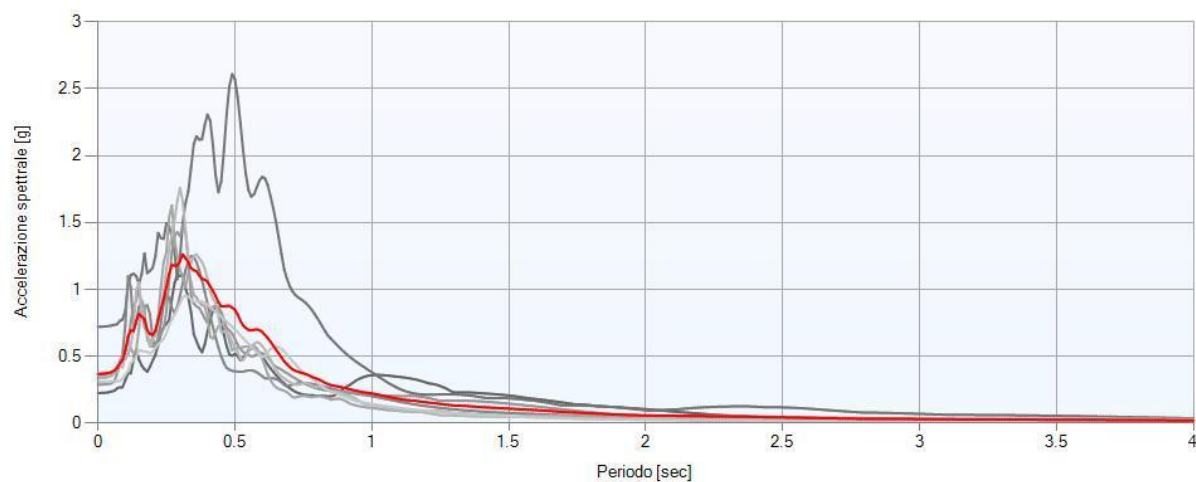
1. *il parametro guida è il valore di FA nell'intervallo 0.1-0.5 s*
2. *lo scarto tra i valori di FA ottenuti dalla modellazione 1D e quella 2D sia ≥ 0.2*

Di seguito si riportano gli spettri di risposta lungo alcune verticali di controllo della Sezione 3.

Gli FA dell'analisi 2D si discostano, talora sensibilmente, dai risultati dell'analisi 1D, essendo quest'ultimi localmente inferiori. Occorre tuttavia ribadire come la stratigrafia delle MOPS considerate nell'analisi, sia estremamente eterogenea sia in senso laterale che verticale, giustificandosi in tal modo tali discrepanze nei valori di FA ottenuti con le due metodologie.

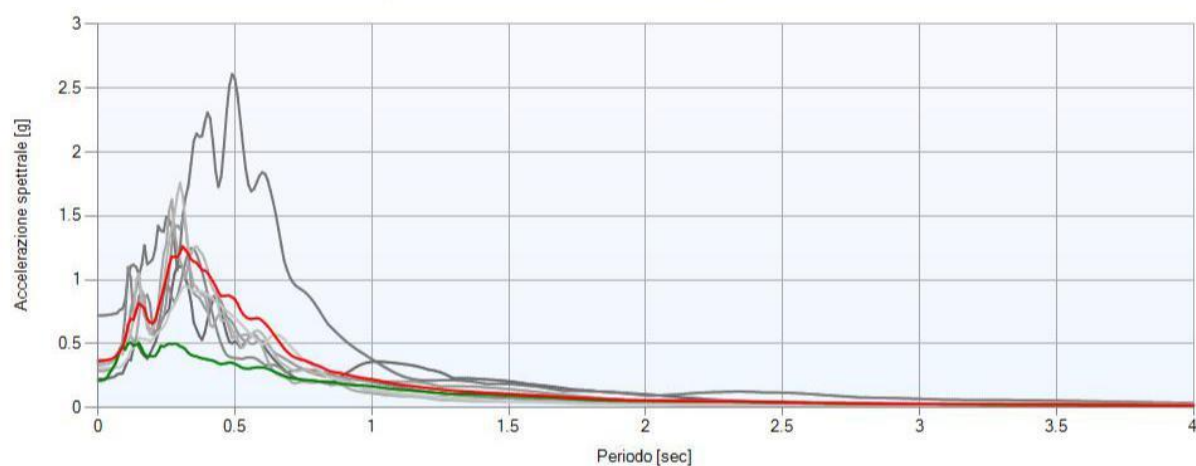


Spettro di risposta cinematicismo di controllo P (29)



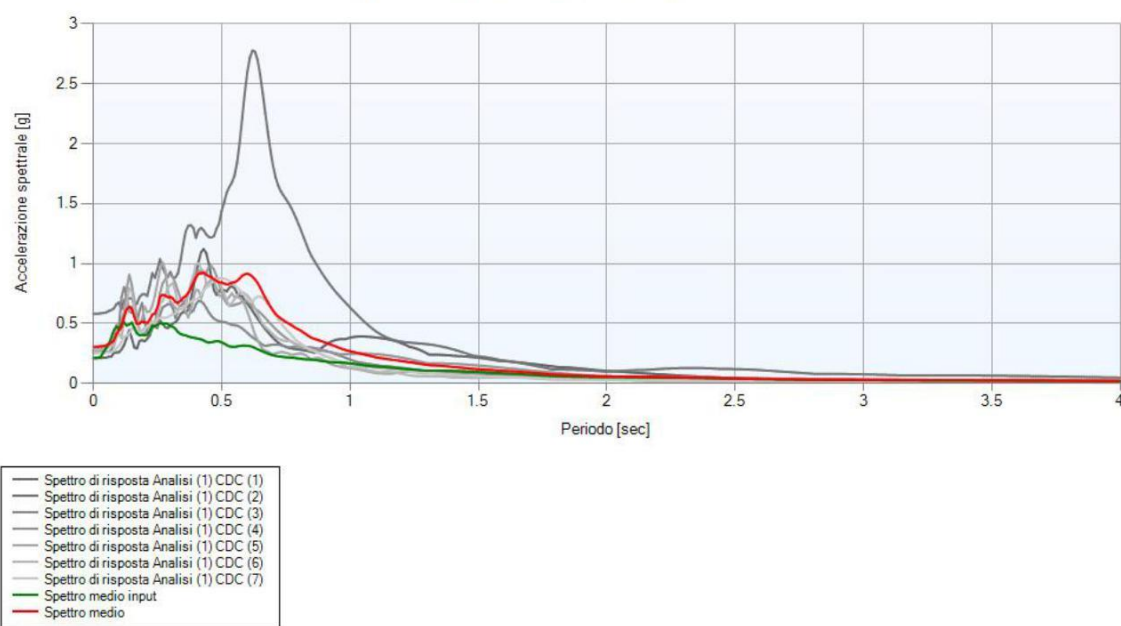
- Spettro di risposta Analisi (1) CDC (1)
- Spettro di risposta Analisi (1) CDC (2)
- Spettro di risposta Analisi (1) CDC (3)
- Spettro di risposta Analisi (1) CDC (4)
- Spettro di risposta Analisi (1) CDC (5)
- Spettro di risposta Analisi (1) CDC (6)
- Spettro di risposta Analisi (1) CDC (7)
- Spettro medio

Spettro di risposta cinematicismo di controllo P (29)

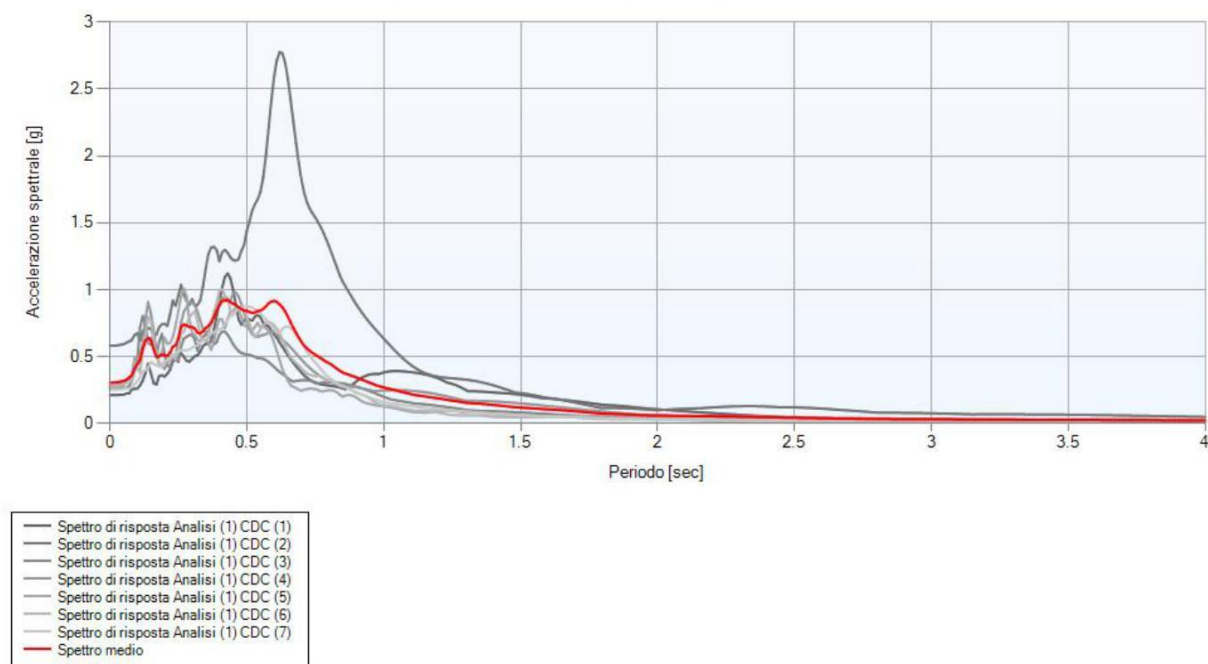


- Spettro di risposta Analisi (1) CDC (1)
- Spettro di risposta Analisi (1) CDC (2)
- Spettro di risposta Analisi (1) CDC (3)
- Spettro di risposta Analisi (1) CDC (4)
- Spettro di risposta Analisi (1) CDC (5)
- Spettro di risposta Analisi (1) CDC (6)
- Spettro di risposta Analisi (1) CDC (7)
- Spettro medio input
- Spettro medio

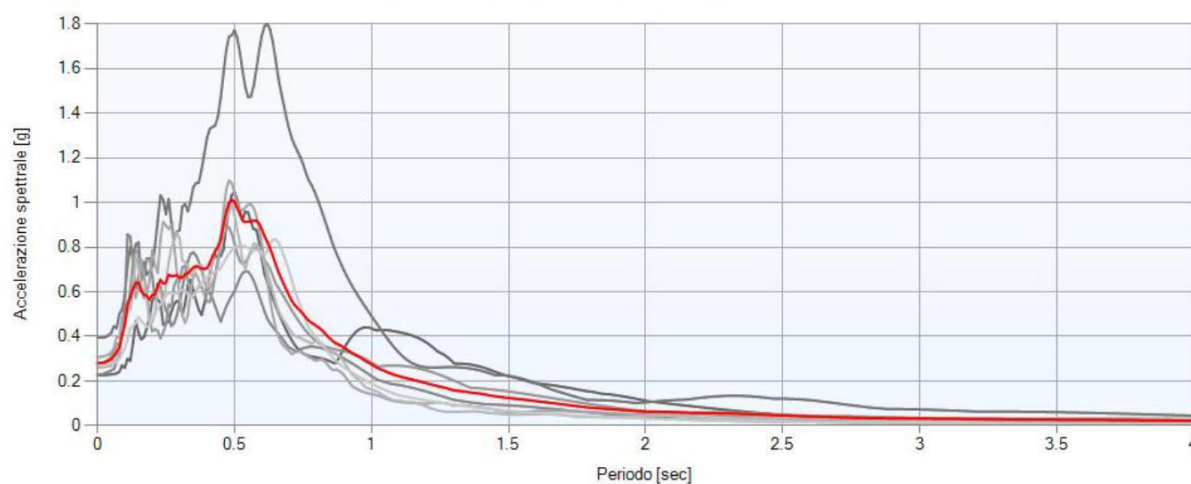
Spettro di risposta cinematicismo di controllo P (58)



Spettro di risposta cinematicismo di controllo P (58)

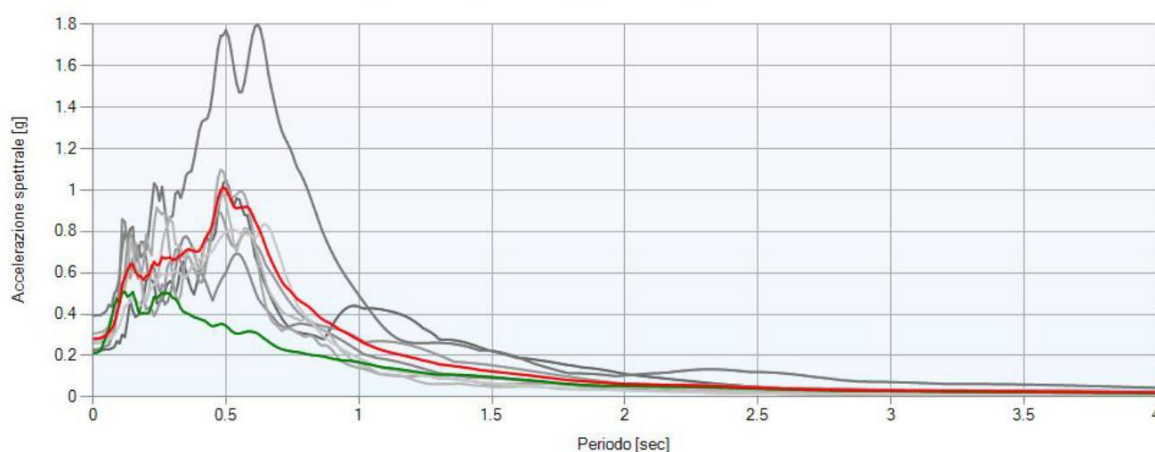


Spettro di risposta cinematisimo di controllo P (59)



- Spettro di risposta Analisi (1) CDC (1)
- Spettro di risposta Analisi (1) CDC (2)
- Spettro di risposta Analisi (1) CDC (3)
- Spettro di risposta Analisi (1) CDC (4)
- Spettro di risposta Analisi (1) CDC (5)
- Spettro di risposta Analisi (1) CDC (6)
- Spettro di risposta Analisi (1) CDC (7)
- Spettro medio

Spettro di risposta cinematisimo di controllo P (59)

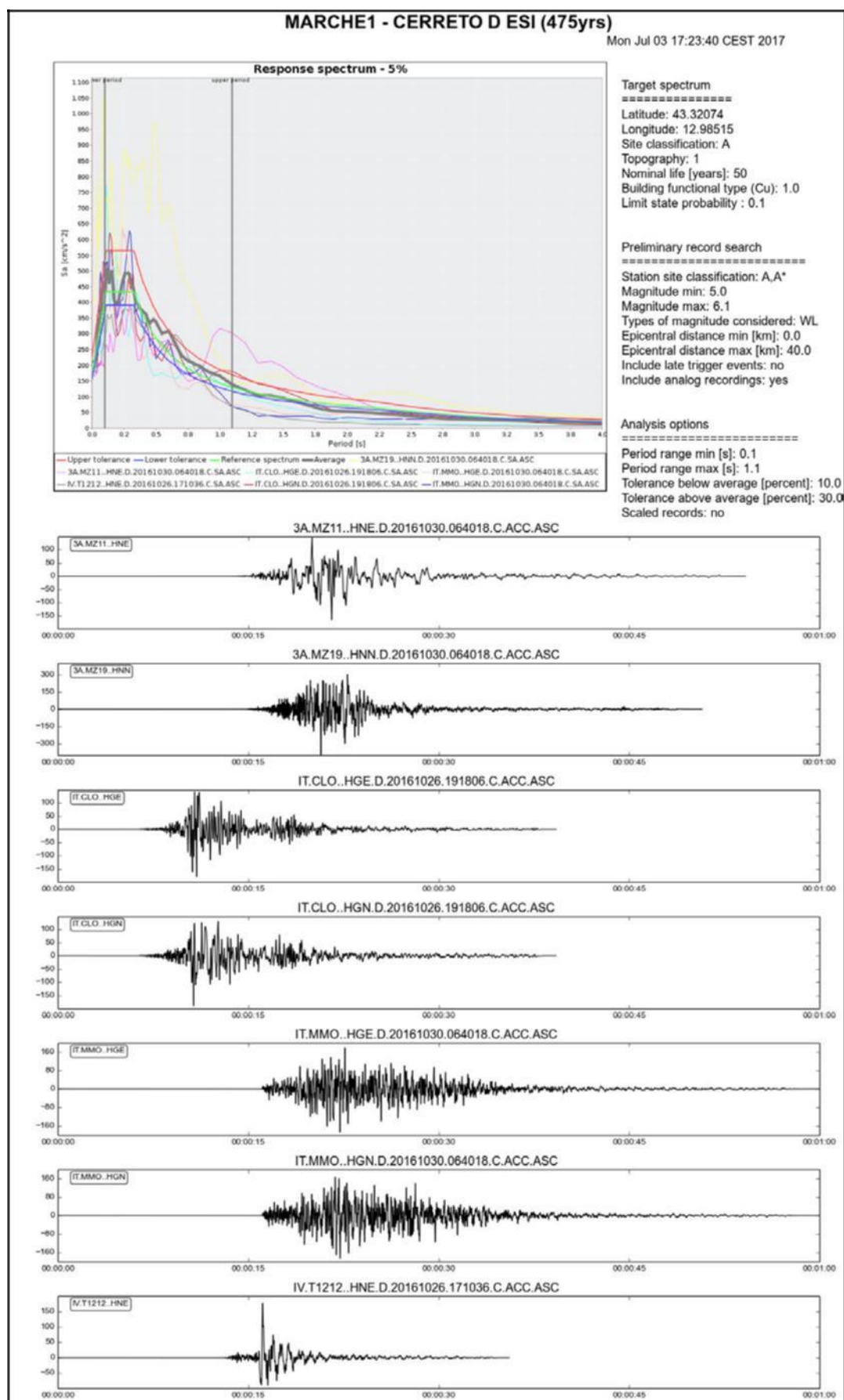


- Spettro di risposta Analisi (1) CDC (1)
- Spettro di risposta Analisi (1) CDC (2)
- Spettro di risposta Analisi (1) CDC (3)
- Spettro di risposta Analisi (1) CDC (4)
- Spettro di risposta Analisi (1) CDC (5)
- Spettro di risposta Analisi (1) CDC (6)
- Spettro di risposta Analisi (1) CDC (7)
- Spettro medio input
- Spettro medio

La Tabella seguente riassume i risultati ottenuti.

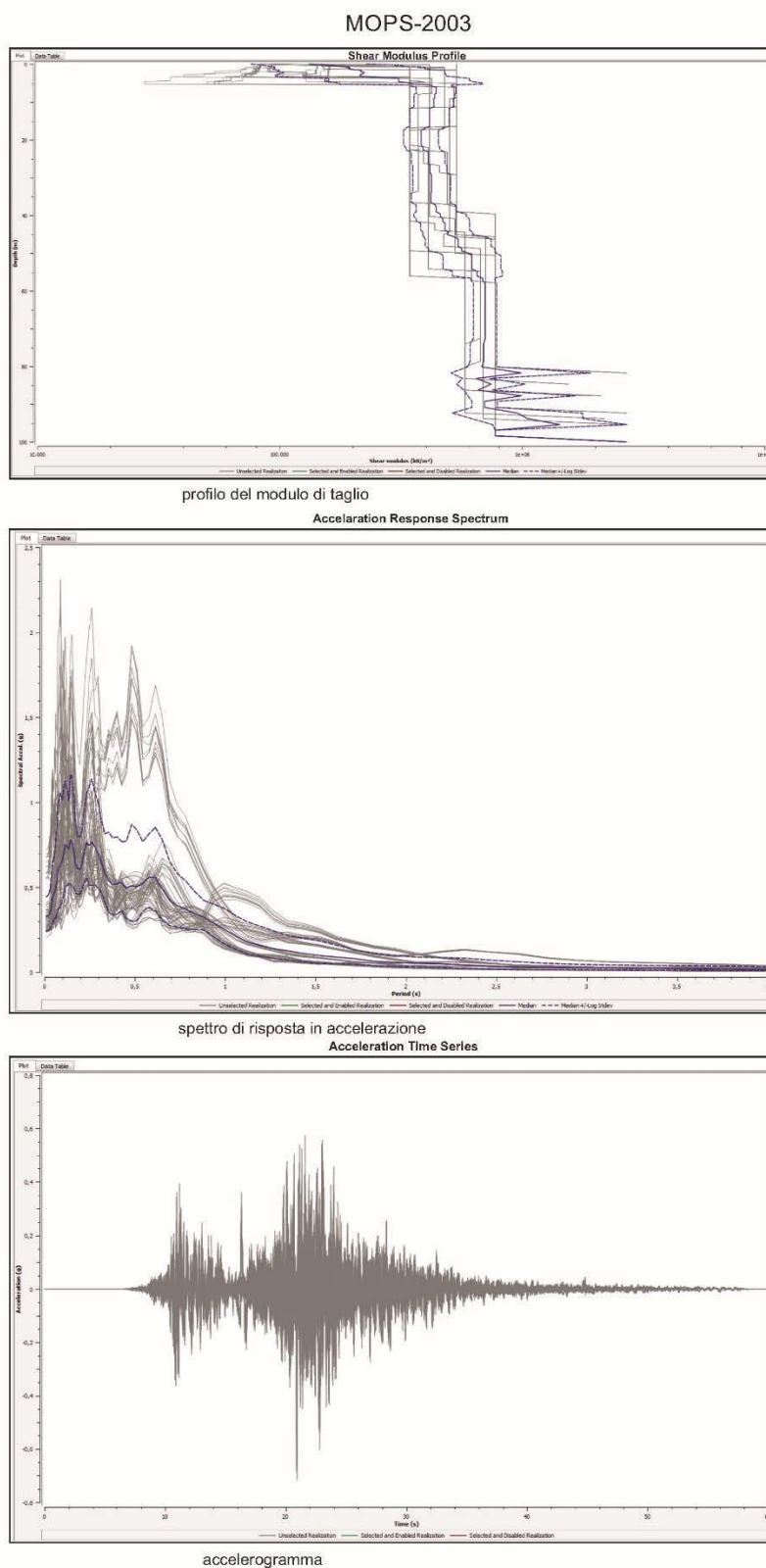
	FA (0.1-0.5 s)	FA (0.4-0.8 s)	FA (0.7-1.1 s)
P1	1.3	1.1	1.0
P29	2.2	2.2	1.5
P58	1.6	2.6	2.0
P59	1.6	2.6	1.9

La Figura seguente mostra lo spettro medio degli accelerogrammi selezionati.

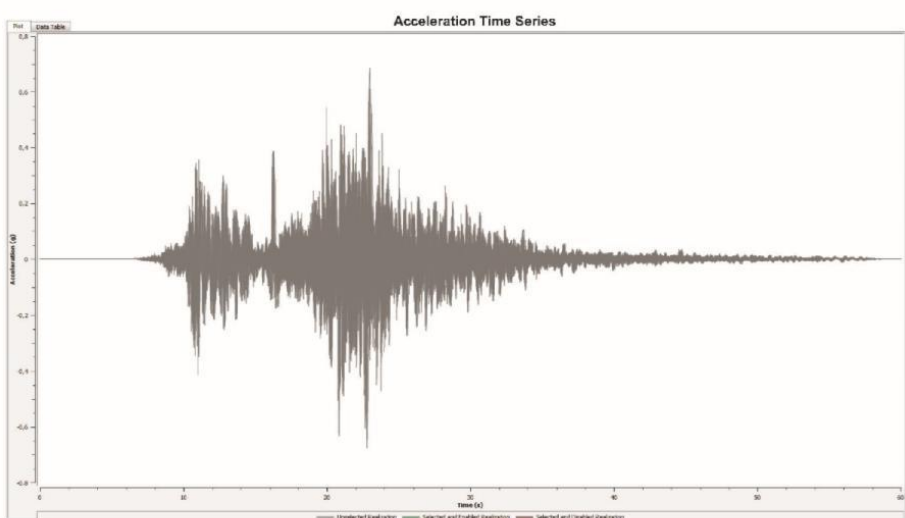
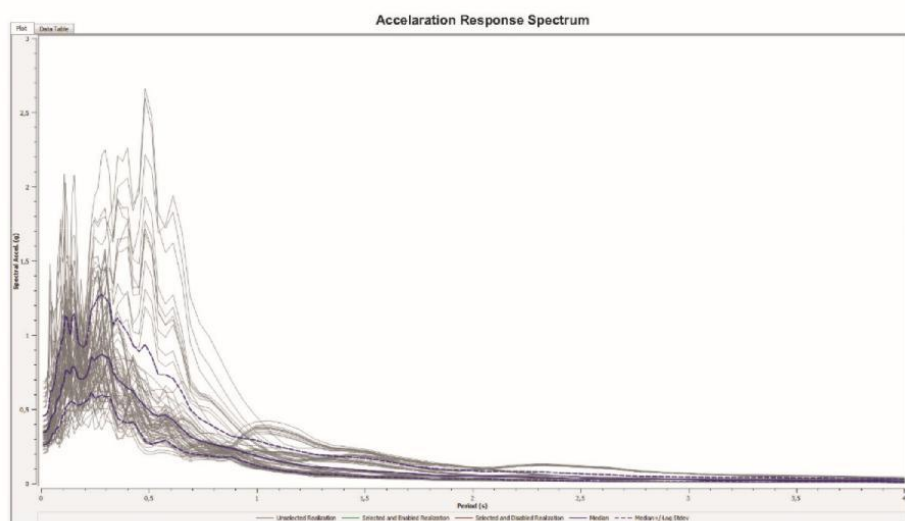
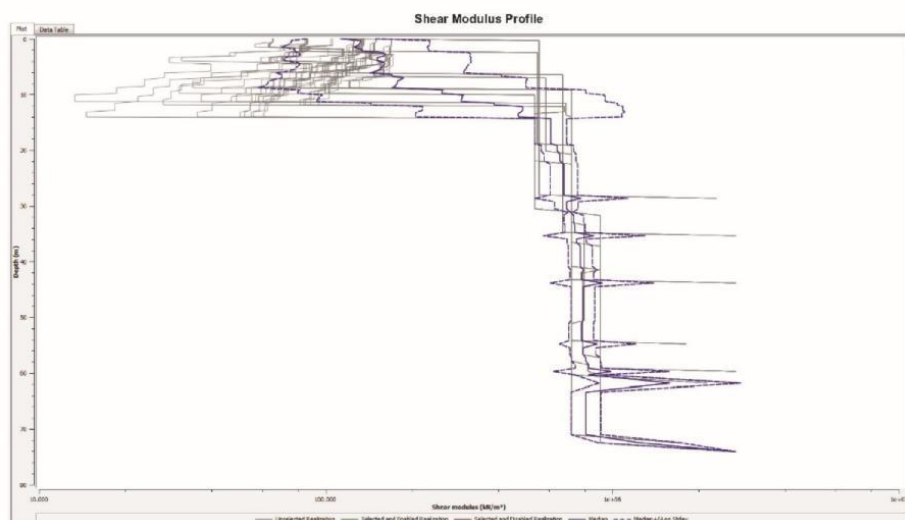


7.1.3 Risultati

I risultati completi dell'analisi monodimensionale 1D, eseguiti con il codice di calcolo STRATA, sono stati riportati nell'apposita cartella, all'interno della FTP comunale, denominata Consegna_Finale. Di seguito, si riportano in forma grafica, per ognuna delle MOPS indagata, i relativi grafici (Modulo di taglio, Spettro di risposta in accelerazione e Accelerogramma).

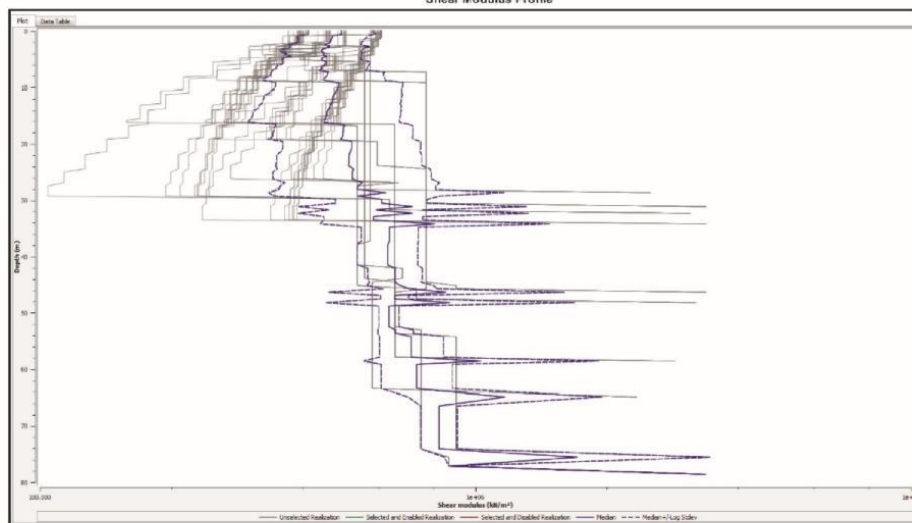


MOPS-2007

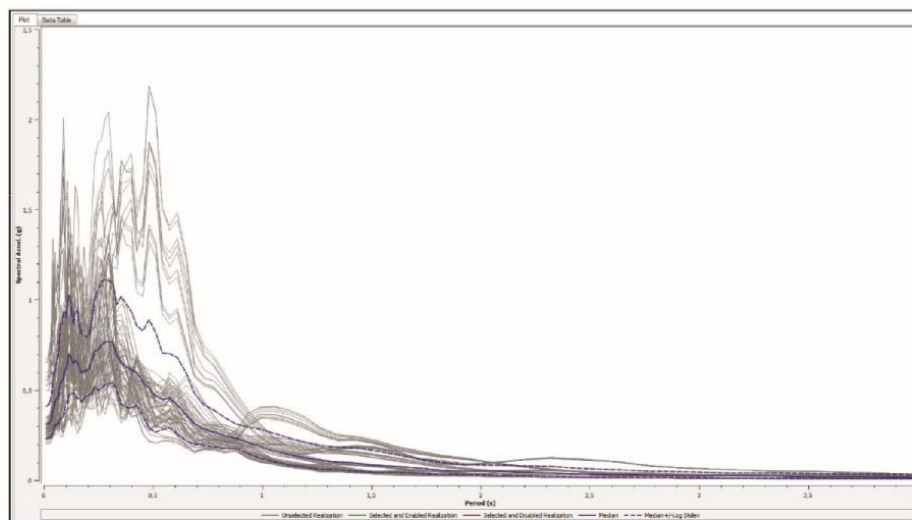


MOPS-2006

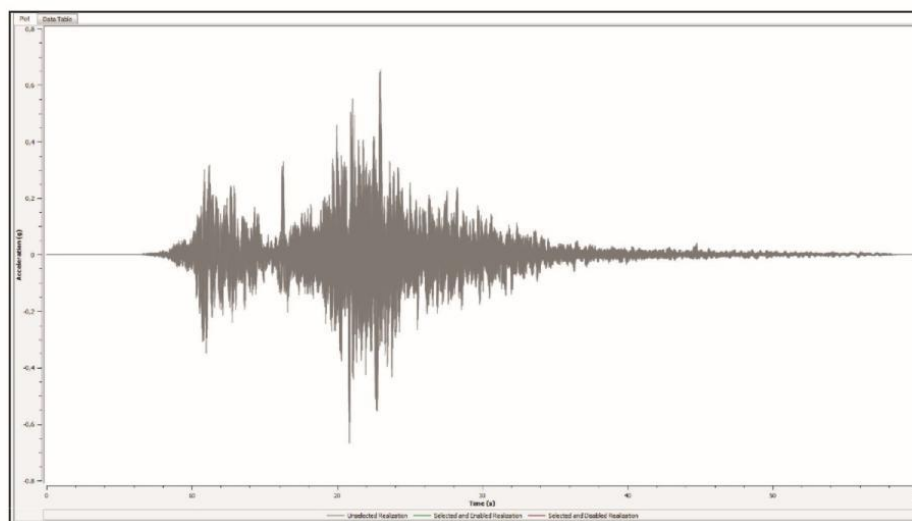
Shear Modulus Profile



Acceleration Response Spectrum

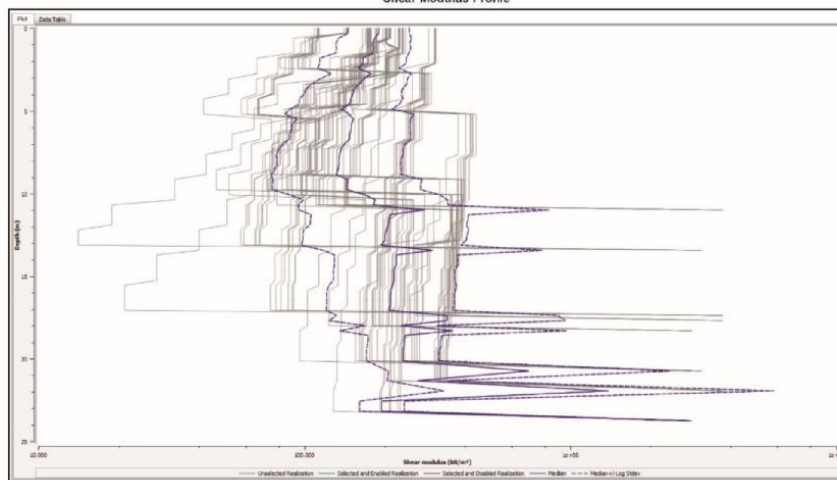


Acceleration Time Series

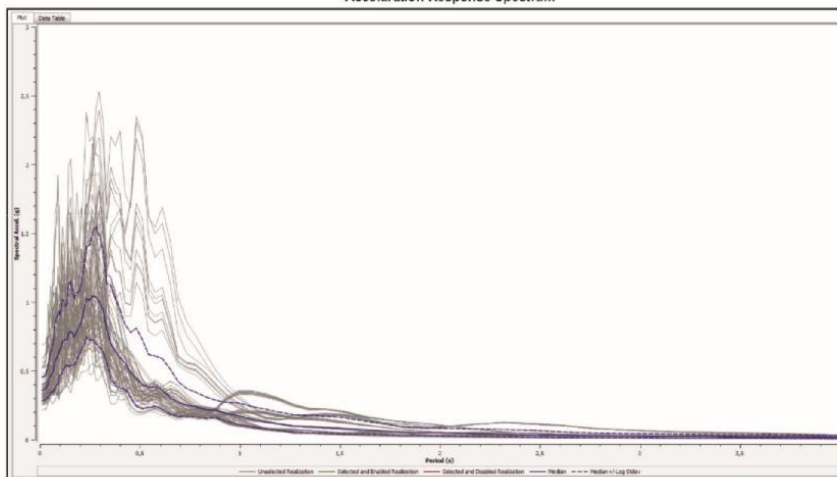


MOPS-2004

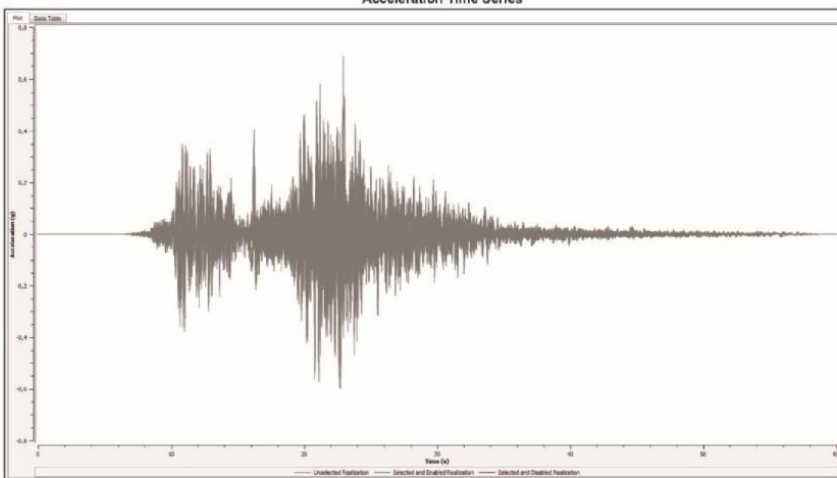
Shear Modulus Profile



Acceleration Response Spectrum

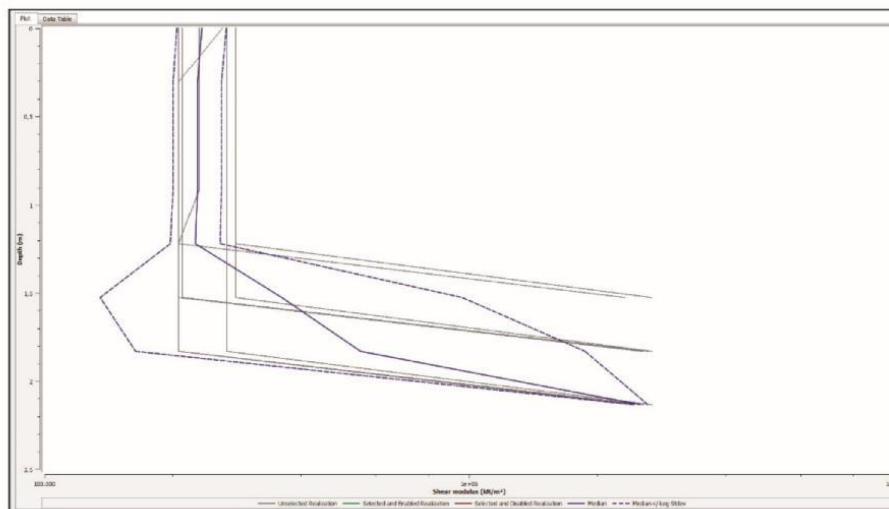


Acceleration Time Series

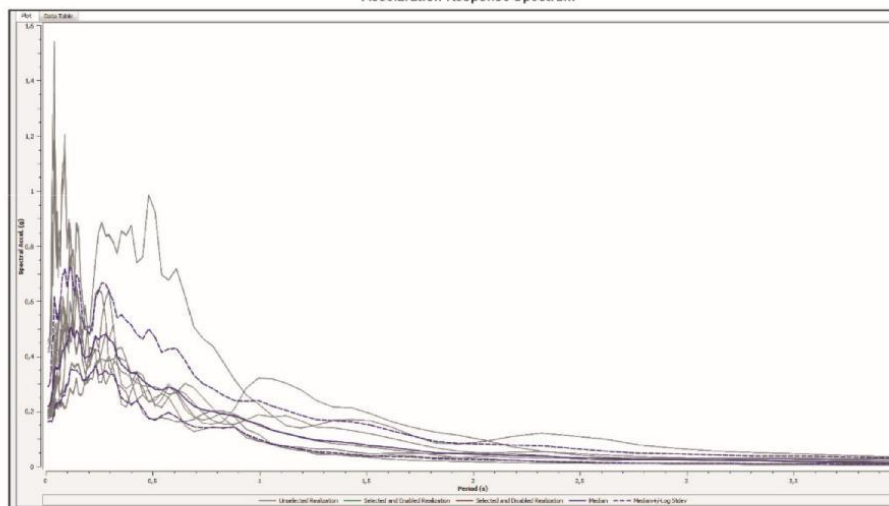


MOPS-1041

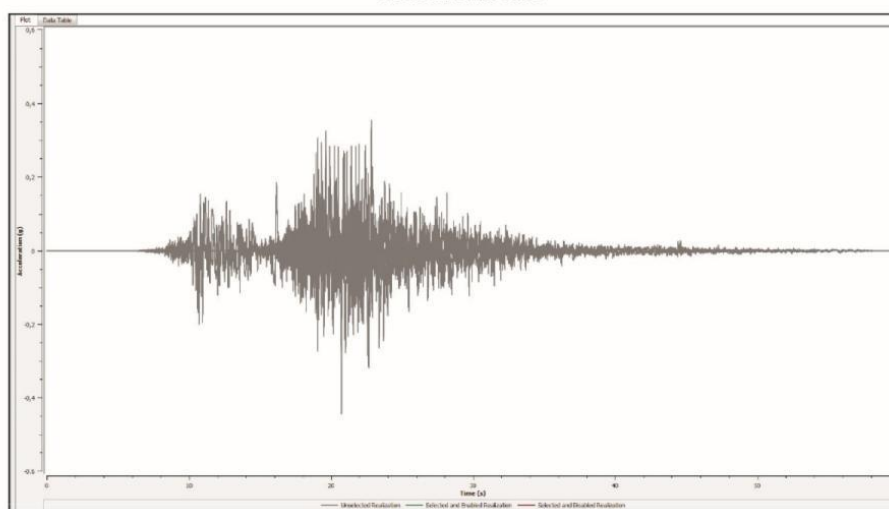
Shear Modulus Profile



Acceleration Response Spectrum

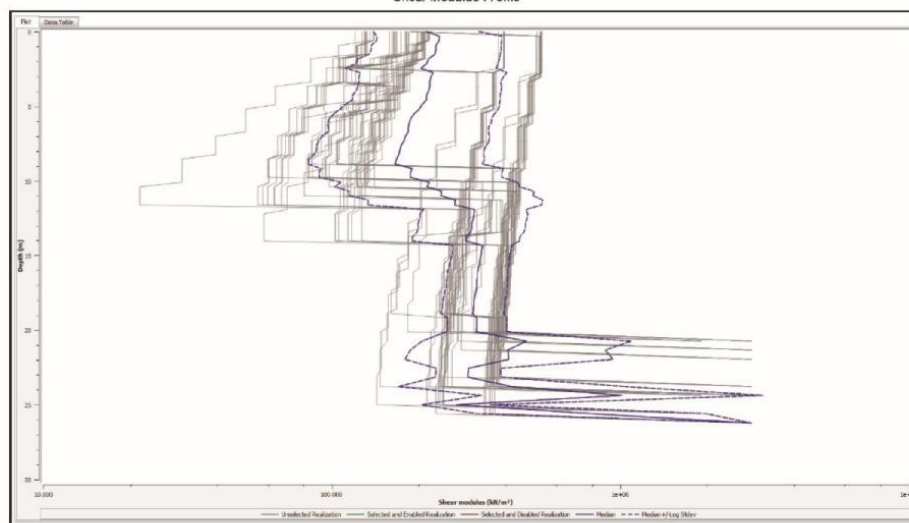


Acceleration Time Series

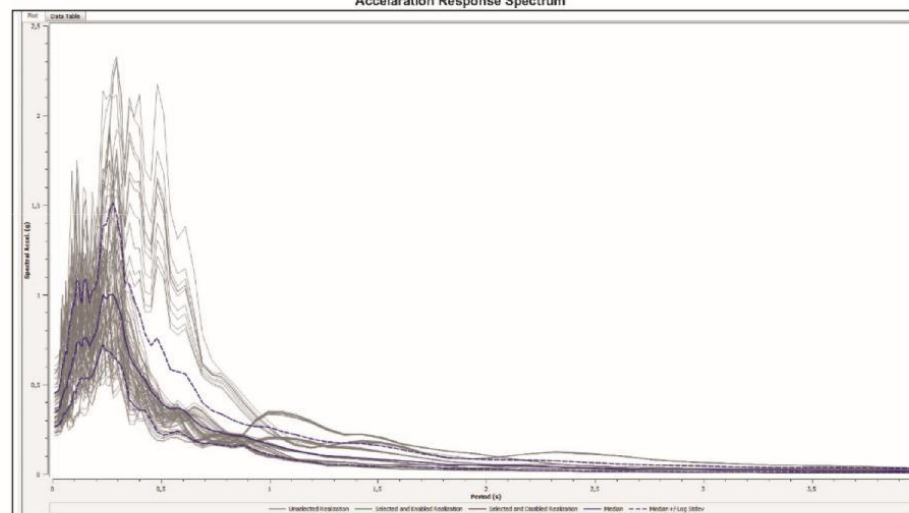


MOPS-2012

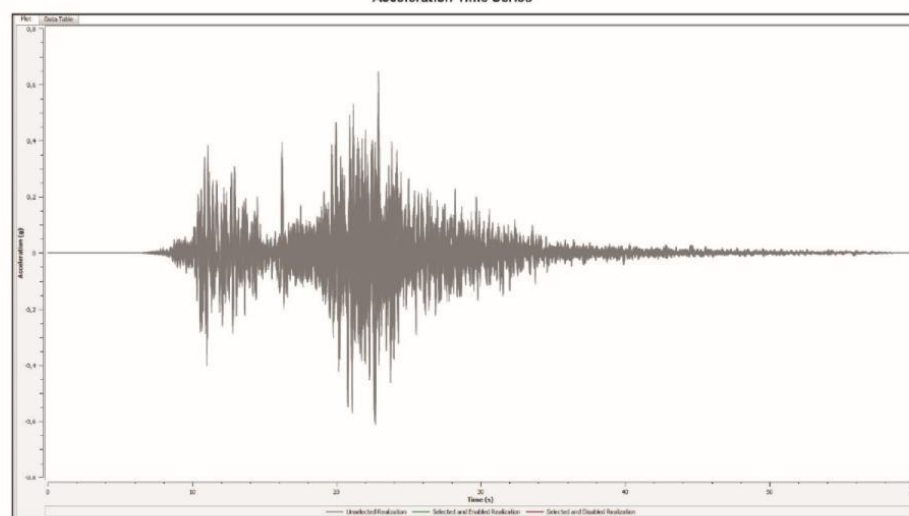
Shear Modulus Profile



Acceleration Response Spectrum

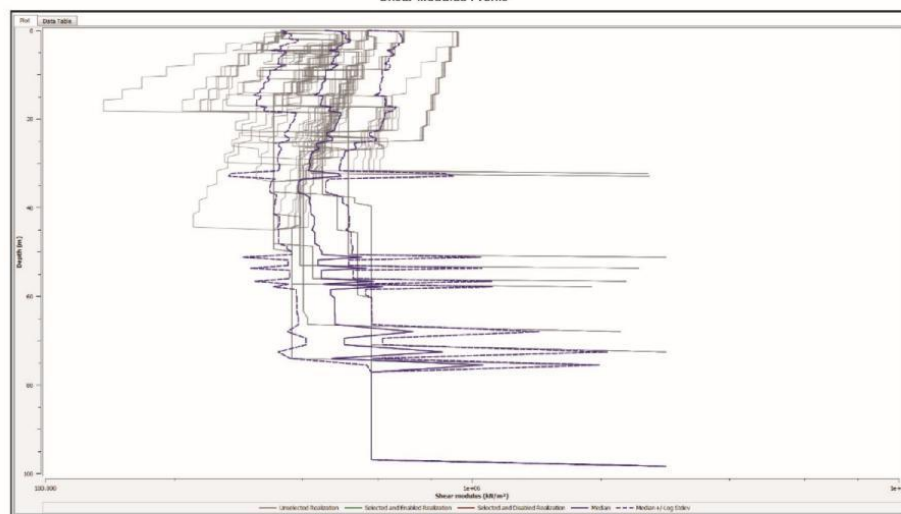


Acceleration Time Series

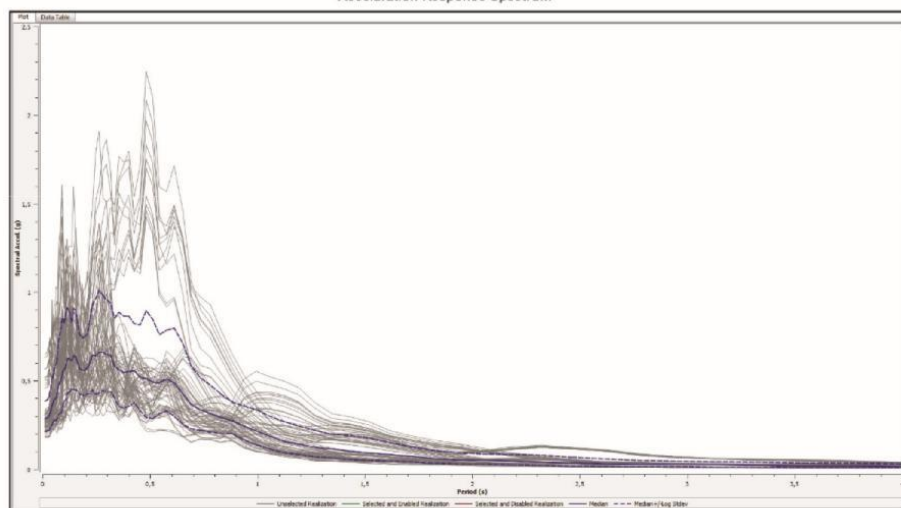


MOPS-2013

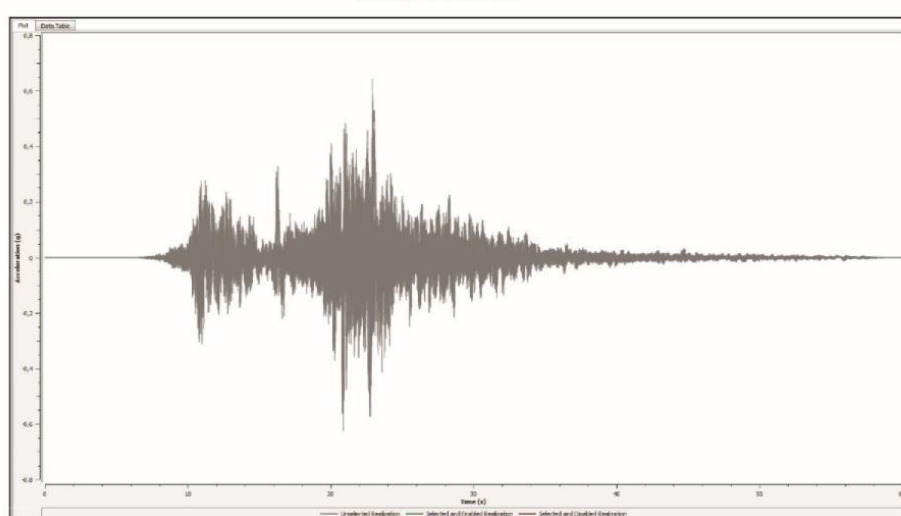
Shear Modulus Profile



Acceleration Response Spectrum



Acceleration Time Series



La risposta sismica locale è stata parametrizzata in termini di amplificazione dell'accelerazione massima FA, come mostrato nella tabella seguente.

CERRETO D'ESI			
MOPS	FA 0,1 - 0,5	FA 0,4 - 0,8	FA 0,7 - 1,1
2003	1,53	1,78	1,78
2007	1,79	1,59	1,30
2011	1,68	1,96	1,57
2012	1,88	1,41	1,18
2013	1,44	1,65	1,54
2008	1,85	2,54	2,18
2004	1,90	1,49	1,22
2006	1,62	1,61	1,35
1041	1,00	1,00	1,00

Valori del Coefficiente Fa per ogni MOPS

7.2 Zone instabili

7.2.1 Faglie attive e capaci (FAC)

Nel territorio indagato non sono presenti faglie attive e capaci né potenzialmente attive e capaci.

7.2.2 Liquefazioni

7.2.2.1 Suscettibilità dei terreni alla liquefazione

Il settore nord orientale del territorio studiato è caratterizzato dalla presenza di depositi alluvionali fini prevalentemente sabbioso limosi, con livello piezometrico prossimo al piano campagna nei periodi di massimo ravvenamento della falda freatica. I dati presenti in letteratura si limitano ad un paio di prove penetrometriche statiche che hanno fornito bassi valori di resistenza alla punta, non esistono prove di laboratorio per la caratterizzazione fisica e le necessarie analisi granulometriche. Per la valutazione della suscettibilità dei terreni alla liquefazione sarebbe stato necessario eseguire nuove verticali investigative proporzionate all'estensione dell'area. Non essendo state eseguite tali indagini si è provveduto a segnalare una zona di attenzione per liquefazione di tipo 1

La "verifica a liquefazione" dovrà essere eseguita preventivamente in occasione di nuove edificazioni.

7.2.3 Instabilità di versante sismo indotte

I rilievi geomorfologici, le indagini geognostiche reperite ed i dati provenienti da letteratura e dal Piano Assetto Idrogeologico regionale, non hanno evidenziato zone instabili all'interno dell'area perimetrata. Tuttavia il centro storico del paese presenta una fitta rete caveale segnalata dal PAI con Pericolosità elevata (P3) e rischio elevato (R3). In tale area la ricostruzione è condizionata alla messa in sicurezza dell'instabilità ed è stata esclusa dallo studio di Microzonazione di livello 3.

8. Categorie di sottosuolo

La definizione della categoria di sottosuolo non può essere omogeneamente assegnata nell’ambito di ogni MOPS, in quanto quest’ultima è caratterizzata da una variabilità geotecnica e di spessore della copertura tali da comprendere spesso diverse categorie di sottosuolo; inoltre le indagini eseguite risultano in numero inadeguato a tale scopo.

In ogni caso, a mero titolo indicativo, non valido per la progettazione degli edifici, si riportano di seguito le categorie di suolo per tutte le MOPS individuate:

MOPS	Categoria di Suolo
1041	A
2003	C
2004	B*
2006	B*
2007	C
2008	C
2011	C
2012	---*
2013	B

- **MOPS 1041 ⇒ CATEGORIA A ($V_s = 1.100 \div 1.260$ m/s)**

- **MOPS 2003 ⇒ CATEGORIA C ($V_s = 339$ m/s)**

- **MOPS 2004 ⇒ CATEGORIA B* ($V_s = 470 \div 654$ m/s)**

** Il profilo monodimensionale ottenuto dall’indagine sismica L9MASW eseguita all’interno della MOPS di interesse ha evidenziato la presenza di terreni caratterizzati da basse velocità di propagazione delle onde di taglio sino ad una profondità di 9,00 m circa dal p.c., in corrispondenza della quale si assiste ad un evidente incremento del valore di V_s . Anche se non si raggiungono valori di V_s tipici del bedrock sismico è comunque evidenziale un elevato contrasto di impedenza sismica con un incremento, rilevabile nell’intervallo compreso tra 7,00 ÷ 9,00 m circa, di oltre 400 m/s che potrebbe portare a classificare i terreni costituenti la locale successione stratigrafica nella categoria di sottosuolo E. Meno evidente e più superficiale è invece il contrasto di impedenza sismica rilevabile sulla linea L17MASW eseguita sempre all’interno della stessa MOPS, sulla base della quale, nonostante la presenza di lievi inversioni di velocità a diverse profondità, è possibile attribuire il sottosuolo esaminato alla categoria B.*

- **MOPS 2006 ⇒ CATEGORIA B* ($V_s = 450 \div 542$ m/s)**

Il profilo monodimensionale ottenuto dalla linea sismica L12MASW ha evidenziato la presenza, nell’intervallo di profondità compreso tra 7,00 ÷ 11,00 m circa, di un decremento del valore di V_s dell’ordine di 180 m/s circa. Tale inversione di velocità, se ritenuta significativa, non consente l’utilizzo del metodo semplificato previsto dalle N.T.C. 2008 per la definizione dell’input sismico di progetto. La stessa argomentazione vale anche per il profilo L15MASW, in corrispondenza del quale, nell’intervallo di profondità compreso tra 5,00÷11,00 m circa, si assiste ad una graduale

inversione del valore di V_s che registra un decremento complessivo dell'ordine di 260 m/s. In corrispondenza del profilo ottenuto dalla linea L14MASW non si rilevano invece inversioni significative con i terreni del sottosuolo attribuibili alla categoria B.

- MOPS 2007 \Rightarrow CATEGORIA C ($V_s = 318$ m/s)

- MOPS 2008 \Rightarrow CATEGORIA C ($V_s = 332$ m/s)

- MOPS 2011 \Rightarrow CATEGORIA C* ($V_s = 305 \div 361$ m/s)

** Dal profilo della registrazione L7MASW si assiste ad un graduale incremento della velocità delle onde di taglio con la profondità, con V_{s30} che assume valori dell'ordine di 361 m/s, rendendo così i terreni costituenti la locale successione stratigrafica attribuibili alla categoria di suolo B. In corrispondenza del profilo di V_s ottenuto dalla registrazione L8MASW, eseguita all'interno della stessa MOPS, si assiste invece, nell'intervallo di profondità compreso tra 7,00 \div 13,00 m circa, ad una graduale inversione del valore della velocità delle onde di taglio V_s , con un decremento complessivo dell'ordine di 300 m/s. Tale inversione di velocità, se significativa, non consente l'utilizzo del metodo semplificato previsto dalle N.T.C. 2008 per la definizione dell'input sismico di progetto. Dal profilo ottenuto dall'indagine sismica L16MASW non si rilevano infine inversioni significative, con i terreni di sedime classificabili nella categoria di suolo C.*

- MOPS 2012 \Rightarrow CATEGORIA ---* ($V_s = 469$ m/s)

Il profilo monodimensionale ottenuto dalla registrazione L10MASW ha evidenziato, nell'intervallo di profondità compreso tra 5,00 \div 9,00 m circa, la presenza di una inversione della velocità delle onde di taglio con un decremento complessivo dell'ordine di 230 m/s. Anche in questo caso tale inversione di velocità, se significativa, non consente l'utilizzo del metodo semplificato previsto dalle N.T.C. 2008 per la definizione dell'input sismico di progetto.

- MOPS 2013 \Rightarrow CATEGORIA B ($V_s = 518$ m/s)

9. Elaborati cartografici

9.1. Carta delle indagini

La carta delle indagini consente di visualizzare l'ubicazione delle prospezioni geologiche e geofisiche utilizzate per lo studio di microzonazione sismica e comprende, quindi, sia quelle reperite che quelle realizzate per l'attuale approfondimento. Nella cartografia, a scala 1:5.000, ad ogni tipologia d'indagine sono associati i corrispettivi simboli grafici previsti dagli standard stabiliti dal Dipartimento di Protezione Civile.

Non sono state graficamente distinte le prove pregresse, mentre la posizione dei simboli identifica l'ubicazione dei siti in cui sono state effettuate le diverse indagini.

9.2. Carta delle frequenze naturali dei terreni

In questa tavola sono riportati, in scala 1:5.000, i punti di misura di microtremore a stazione singola che mostrano il rapporto spettrale H/V alle diverse frequenze. I simboli riportati in carta con diversi colori e dimensioni indicano il picco di ampiezza significativo a frequenza più bassa, che corrisponde al valore di

frequenza fondamentale (f_0) e l’ampiezza relativa. Sulla base dei dati ottenuti dalle misure di microtremore sismico sono state individuate le classi di frequenza.

9.3. Carta Geologico tecnica

Nella Carta Geologico Tecnica sono riportati i limiti delle unità litologiche riconosciute nell’area di studio, distinte sulla base delle caratteristiche fisiche delle rocce e non della loro età, controllando, integrando e modificando leggermente la Carta geologico-tecnica di I Livello.

La carta riporta anche gli elementi tettonici non attivi: faglie, pieghe, sovrascorrimenti e gli elementi geomorfologici significativi.

9.4. Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)

Questa carta individua le zone dove, sulla base delle caratteristiche litostratigrafiche e geomorfologiche, è possibile prevedere un comportamento omogeneo in caso di terremoto. Nella carta, le microzone sono distinte in:

a) zone stabili, in cui non si ipotizzano effetti locali significativi il moto sismico non viene modificato, nel nostro caso sono una zona di limitata estensione in loc. Coldolfo.

b) zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, in cui sono attese amplificazioni più o meno elevate del moto sismico.

c) zone suscettibili di instabilità, in cui gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio. I principali tipi di instabilità sono: instabilità di versante, liquefazioni, faglie attive e capaci, cedimenti differenziali, aree con cavità sotterranee. Nel nostro caso è presente un’area ricca di cavità ipogee sulla quale tuttavia non sono stati fatti approfondimenti di liv.3, in quanto non previsti nel disciplinare di incarico.

9.5 Carte di Microzonazione sismica di livello 3

9.5.1. Carte dei fattori di amplificazione

Questa carta, in scala 1:5.000, riporta la suddivisione del territorio in Zone stabili, Zone suscettibili di amplificazione e Zone suscettibili di amplificazione e attenzione per rischio di liquefazione (vedi cartografia delle MOPS).

L’obiettivo di questa cartografia è quello di riportare i valori di amplificazione stimati in termini di rapporto tra PGA al sito e PGA di riferimento (FAPGA) e di rapporto tra Intensità di Housner al sito e quella al sito di riferimento per intervalli di periodi compresi tra 0,1 e 0,5 secondo (FHa 1-0,5S), 0,4 e 0,8secondi (FHa 4-0,8S) e tra 0,7 e 1,1secondi (FHa 0,7-1,1S).

I valori ottenuti per mezzo delle modellazioni 1D e 2D, mostrano che il territorio comunale di Cerreto d’Esi è suscettibile di amplificazione sismica anche elevata per la totalità delle zone riguardanti il centro

abitato. Si evidenzia che all’interno di ogni Mops, a causa del ridotto numero di punti di indagini previste, (è stata eseguita una sola prova sismica Down-hole) la risposta sismica locale può risultare eterogenea.

CERRETO D'ESI			
MOPS	FA 0,1 - 0,5	FA 0,4 - 0,8	FA 0,7 - 1,1
2003	1,53	1,78	1,78
2007	1,79	1,59	1,30
2011	1,68	1,96	1,57
2012	1,88	1,41	1,18
2013	1,44	1,65	1,54
2008	1,85	2,54	2,18
2004	1,90	1,49	1,22
2006	1,62	1,61	1,35
1041	1,00	1,00	1,00

Tab.1 - Valori del Coefficiente Fa per ogni MOPS

Gli accelerogrammi calcolati in superficie, gli spettri di risposta elastici ed i valori dei Fattori di Amplificazione evidenziano valori nettamente superiori a quelli di riferimento (NTC '08).

9.6 Commenti finali e criticità

Lo studio eseguito sotto la direzione ed il controllo del Centro Ms di Roma che ha fornito i codici di calcolo necessari all’esecuzione delle analisi di risposta sismica locale, per le inversioni congiunte HVSR – MASW, per l’estrazione degli accelerogrammi e per il calcolo dei fattori di amplificazione. Sebbene sia stato eseguito un cospicuo numero di nuove indagini geofisiche indirette per ogni MOPS ad integrazione di quelle esistenti, l’esecuzione di una sola prova Down-Hole limita in parte la correttezza dei risultati non consentendo di tener conto di effetti indotti dalla presenza di marcate variazioni laterali nelle proprietà sismiche dei corpi geologici sepolti. In particolare si fa riferimento alla *zona 4* che comprende gran parte del centro abitato compresi gli edifici strategici, quali scuole e sede comunale. In tale area sebbene la successione litostratigrafia risulti correlabile, in corrispondenza della prova Down-hole i depositi alluvionali (terreni di copertura prevalentemente ghiaiosi e molto addensati) sembrano raggiungere valori di Vs maggiori di 800m/s tale valore non trova pieno riscontro in altri punti interni allo stesso perimetro.

Si ribadisce pertanto quanto già riportato al paragrafo 7.1.2, ovvero che lo studio di microzonazione sismica di livello III, in quanto finalizzato alla valutazione del livello di pericolosità sismica alla scala dell’abitato, non può essere considerato sostitutivo di una specifica analisi di risposta sismica locale finalizzata alla progettazione o alla verifica sismica del singolo manufatto.

10. Confronto con la distribuzione dei danni degli eventi passati

Come accennato in precedenza, in riferimento al sisma del 1741, sebbene Cerreto d’Esi si trovi vicinissima a Fabriano e all’area epicentrale di Albacina (circa 3 Km), nei vari documenti storici non sono riportate descrizioni di danni o vittime.

Evidentemente danni ci saranno stati ma probabilmente meno gravi che in altre località: sono citati infatti i villaggi di Sasso e Mergo, ma non Cerreto d’Esi; un ruolo importante deve averlo avuto la tipologia

costruttiva, la qualità dei materiali da costruzione utilizzati e lo smorzamento, ovvero l'attenuazione dell'ampiezza dell'onda sismica, dovuto alle caratteristiche litologiche del sottosuolo.

L'evento sismico del 1997 con epicentro a Colfiorito, ha causato danni limitati agli edifici più vecchi e vulnerabili ma non si sono verificati crolli né danni alle persone. E' stata lesionata la scuola media la cui struttura risale i primi anni del 1900 e la sede comunale anch'essa molto antica; entrambi gli edifici sono stati oggetto di miglioramento sismico. Alcune abitazioni del centro storico risultano lesionate in vario grado.

Il comune di Cerreto d'Es è stato inserito nell'elenco di comuni maggiormente danneggiati dal recente terremoto del 2016 a seguito delle scosse del 29 e 30 ottobre. Anche in questo caso i danni reali sono risultati limitati soprattutto a causa della notevole distanza dagli epicentri; tuttavia le strutture strategiche, scuola media, asilo nido, scuola elementare e la sede comunale hanno riportato lesioni anche piuttosto gravi

La sede comunale è parzialmente inagibile, mentre l'asilo nido è risultato inagibile ed è stato chiuso; la scuola elementare e la scuola media in un primo momento dichiarate inagibili sono state oggetto di interventi di messa in sicurezza che hanno consentito lo svolgimento dell'anno scolastico seppure con parecchi giorni di ritardo.

11. Bibliografia

- Albarello D., Castellaro S., (2011): *Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola*. In "Contributi per l'aggiornamento degli Indirizzi e Criteri per la microzonazione sismica", Ingegneria sismica, a. XXVIII, n. 2.
- ASTM, (1985): *Classification of Soils for Engineering Purposes: Annual Book of ASTM Standards*, D 2487-83, 04.08, American Society for Testing and Materials, 1985, pp. 395-408.
- Bigi G., Cosentino D., Parotto M., Sartori R., Scandone, P., (1990): *Structural model of Italy - Sheet n°1*, in: Castellarin A., Coli M., Dal Piaz G.V., Sartori R., Scandone P., Vai G.B. (Eds.), *Structural model of Italy*. CNR, Progetto Finalizzato Geodinamica, Roma.
- Blake A., (1941): *On the estimation of focal depth from macroseismic data*, Bull. Seismol. Soc. Am., 31, 3.
- Caputo R. and Papathanasiou G., (2012): *Ground failure and liquefaction phenomena triggered by the 20 May, 2012 Emilia-Romagna (Northern Italy) earthquake: case study of Sant'Agostino - San Carlo - Mirabello zone*. Nat. Haz. Earth System Sciences, 12(11), 3177-3180, doi:10.5194/nhess-12-3177-2012.
- Carta Geologica regionale alla scala 1:10.000, Sezione 301080 – Cerreto d'Es, - Regione Marche.
- Carte di pericolosità di base (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>), spettri di risposta di riferimento, registrazioni accelerometriche (<http://itaca.mi.ingv.it/>), faglie sismogenetiche (<http://diss.rm.ingv.it/diss/>).
- Castellaro S., (2012): "H/V: un contributo oltre Vs30", In: *Tecniche speditive per la stima dell'amplificazione sismica e della dinamica degli edifici*, a cura di Marco Mucciarelli, ARACNE editrice, 448 pp.
- Castellaro S. e Mulargia F., (2011): *Seismic soil classification from a different perspective*. Annual meeting of the Seismological Society of America, Memphis (Tennessee, USA), Apr. 13-15.
- Castello B., Selvaggi G., Chiarabba C., Amato A., (2006): *CSI Catalogo della sismicità italiana 1981-2002*, versione 1.1. INGV-CNT, Roma. <http://csi.rm.ingv.it/>.
- Castiglioni G., Biancotti A., Bondesan M., Cortemiglia G.C., Elimi C., Favero V., Gasperi G., Marchetti G., Orombelli G., Pellegrini G. B. e Tellini C., (1999): "Geomorphological map of the Po Plain, Italy, at scale of 1:250.000". *Earth Surf. Proc. Land.*, **24**, 1115-1120.
- Cerrina Feroni A., Ottria G., Martinelli P., Martelli L., Catanzariti R., (2002): *Carta geologico-strutturale dell'Appennino Emiliano-Romagnolo*, 1: 250,000. SELCA, Firenze.
- Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2015. *Standard di rappresentazione e archiviazione informatica*. a. Versione 4.0b. Roma, ottobre 2015. 122 pp. Link: http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/StandardMS_4_0b.pdf.
- Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2017. *Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Liquefazione (LQ)*. Dipartimento della protezione civile, Roma. Versione 1.0. http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/LG_Liq_v1_0.pdf.
- Comune di Cerreto d'Es (AN) - *Indagini di Microzonazione sismica di livello 1*. (a cura dei dott. geol F. Lunardi, V. Bassani e A. Acciarri, 2015).
- Comune di Cerreto d'Es (AN) - *Indagini geologiche per il Piano regolatore Generale* (a cura dei dott. geol F. Lunardi e V. Bassani, 2009).

- Contributi per l'aggiornamento degli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica". Supplemento alla rivista Ingegneria Sismica Anno XXVIII - n.2.
- Contributi per l'aggiornamento degli Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica. Ingegneria Sismica, Anno XXVIII – n.2 – 2011. http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/aggiornamento_indirizzi_microzonazione_sismica.pdf.
- DAL 112/2007: Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, c. 1, della L. R. 20/2000 per *Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica*. Deliberazione dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia-Romagna n. 112 del 02/05/2007, Bollettino Ufficiale della Regione Emilia-Romagna n. 64 del 17/05/2007.
- Decreto legge n.8 del 9 febbraio 2017, convertito con modificazioni dalla Legge 7 aprile 2017, n. 45AA.VV., (2011) Allegato 3, Ordinanza del Commissario straordinario n. 24 registrata il 15/05/2017 al n. 1065
- Decreto Legge n. 8 del 9 febbraio 2017 (Nuovi interventi urgenti in favore delle popolazioni colpite dagli eventi sismici del 2016 e del 2017) convertito, con modificazioni, dalla Legge 7 aprile 2017, n. 45.
- Devoti, R., A. Esposito, G. Pietrantonio, A. R. Pisani, and F. Riguzzi, (2011): Evidence of large scale deformation patterns from GPS data in the Italian subduction boundary, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 311, 230–241, doi:10.1016/j.epsl.2011.09.034.
- DGR Emilia-Romagna n. 1919/2013: Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione dei contributi di cui all'ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 52/13 a favore degli Enti locali.
- DISS Working Group, (2010): *Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.1.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas*. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>.
- Gruppo di Lavoro MS, (2008): *Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica*. Conferenza delle Regioni e Province Autonome – Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 3 vol. e CD-rom. http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/view_pub.wp?contentId=PUB1137.
- Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G., Valensise G., (2007): CFTI4Med, *Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 B.C.-1997) and the Mediterranean Area (760 B.C.-1500)*, INGV-SGA; <http://storing.ingv.it/cfti4med/>.
- Gruppo di lavoro MS, 2008. Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica. Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome - Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 3 vol. e Dvd. Disponibili nel sito web del Dipartimento della Protezione Civile, area "Rischio Sismico". Link: <http://www.protezionecivile.gov.it>
- Idriss, I. M.; Lysmer, John; Hwang, Richard N.; Seed, H. Bolton; QUAD-4: a computer program for evaluating the seismic response of soil structures by variable damping finite element procedures, Center for Geotechnical Modeling, Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Davis, 1994.
- ISIDe Working Group, (INGV, 2010): Italian Seismological Instrumental and parametric database. <http://iside.rm.ingv.it>.
- Lo Presti D., Meisina C and Squeglia N., (2009): Applicabilità di prove penetrometriche statiche nella ricostruzione del profilo stratigrafico, *Rivista Italiana di Geotecnica*, vol. 2, pp. 9-33.
- Locati M., Camassi R. and Stucchi M. (eds.), (2011): *DBMI11, the 2011 version of the Italian Macroseismic Database*. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>.
- Martelli L., (2011): Quadro sismotettonico dell'Appennino emiliano-romagnolo e della Pianura Padana centrale. Atti del 30° convegno nazionale GNGTS, Trieste 14-17 novembre 2011, sessione 1.2, 152-156.
- Mucciarelli M. (a cura di), (2012): *Tecniche speditive per la stima dell'amplificazione sismica e della dinamica degli edifici*.
- NTC, (2008): *Norme Tecniche per le Costruzioni - DM 14 gennaio 2008*. Gazzetta Ufficiale, n. 29 del 4 febbraio 2008, Supplemento Ordinario n. 30, www.cslp.it, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma.
- Pasolini C., Gasperini P., Albarello D., Lolli B. e D'Amico V., (2008): "The Attenuation of Seismic Intensity in Italy, Part I: Theoretical and Empirical Backgrounds, *Bull Seism. Soc. Am.*, Vol. 98(2), 682-691.
- Progetto ITHACA - *Catalogo delle faglie capaci* - <http://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/ithaca-catalogo-dellefaglie-capaci>.
- Regione Emilia Romagna, 2015. Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia- Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica. Allegato A3 - Procedure di riferimento per le analisi di terzo livello di approfondimento.
- Ricci Lucchi F., (1986): The Oligocene to Recent foreland basins of the northern Apennines, in: Allen, P., Homewood, P. (Eds.), *Foreland basins*. Blackwell Scientific, Oxford, pp. 105-139.

- Ricci Lucchi F., Colalongo M.L., Cremonini G., Gasperi G., Iaccarino S., Papani G., Raffi S., Rio D., (1982): Evoluzione sedimentaria e paleogeografica nel margine appenninico, in: Cremonini G., Ricci Lucchi F. (Eds.). Guida alla Geologia del margine appenninico-padano Pitagora-Technoprint, Bologna, pp. 17-46.
- Robertson P.K., Cabal K. L., (2012): Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering, 5th edition. Gregg Drilling & Testing Inc. www.cpt-robertson.com.
- Robertson P.K., Campanella R.G., Gillespie D. & Rice A., (1986): Seismic CPT to Measure In-situ Shear Wave Velocity, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 112(8), 791-803.
- Robertson P.K. e Wride C.E., (1998): Evaluating Cyclic Liquefaction Potential using the CPT, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 35, No. 3.
- Rovida A., Camassi R., Gasperini P. e Stucchi M., (2011): *CPTI11, La versione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani*, Milano Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI>.
- Significato e contenuto degli studi di MS di livello 2 e 3. Link: http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/Significato_e_contenuto_degli_studi_di_MS_di_livello_2_e_3.pdf.
- Software per l'archiviazione delle indagini per la MS (SoftMS versione 4.0). Link: Software per l'archiviazione delle indagini per la MS (SoftMS versione 4.0).

Cerreto d’Esi, gennaio 2018

RTP Cerreto d’Esi:

dott. geol. Mario Conti

dott. geol. Marino Mentoni

dott. geol. Fabrizio Mantoni

dott. geol. Antonello Donnini

dott. geol. Fabrizio Bendia

Collaboratore esterno:

dott. Gianluca Conti