

# **MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO I e II**

## **COMUNE DI CESENA**

### **RELAZIONE ILLUSTRATIVA**

A CURA DI:

**DR. GEOL. SILVIA CASTELLARO**

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI BOLOGNA  
DIPARTIMENTO DI FISICA E ASTRONOMIA  
VIALE CARLO BERTI PICHAT 8  
40127 BOLOGNA  
silvia.castellaro@unibo.it

CON LA COLLABORAZIONE DI:

**DR. GEOL. CLAUDIA TOMASSOLI**  
PER LA PARTE CARTOGRAFICA

**DR. GEOL. FELICE CANTALAMESSA**  
PER LA FASE DI ACQUISIZIONE DATI DI CAMPAGNA

**DR. GEOL. RICCARDO PANZERI**  
PER LA FASE DI ACQUISIZIONE DATI DI CAMPAGNA  
PER LA PARTE GEOLOGICA DELLA RELAZIONE ILLUSTRATIVA

30 aprile 2013 (rev. II, 8 marzo 2016)

## INDICE

RELAZIONE ILLUSTRATIVA .....	1
INDICE .....	2
PREMESSA .....	5
1. INTRODUZIONE .....	6
2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO.....	7
2.1 Aspetti sismotettonici.....	7
2.2 Classificazione sismica del comune di Cesena .....	9
3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA .....	9
3.1 Collocazione geografica del Comune di Cesena.....	9
3.2 Quadro geologico-strutturale dell'Emilia-Romagna .....	10
3.3 Litostratigrafia dell'area di studio.....	12
2.3.1 Le formazioni dell'Appennino.....	12
2.3.2 Le coperture continentali quaternarie.....	15
4. BASE DATI GEOTECNICI E GEOFISICI .....	20
4.1 Indagini esistenti e di nuova acquisizione.....	20
4.2 Profondità delle indagini .....	21
5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO .....	24
5.1 Frane.....	25
5.2 Detriti di versante.....	25
5.3 Aree soggette a liquefazione del terreno .....	25
6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE.....	29
7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI.....	29
7.1 Indagini di nuova acquisizione .....	29
7.2 Strumentazione impiegata e geometrie.....	30
7.3 MASW, ReMi™ ed ESAC .....	30
7.4 Misure in campo libero a stazione singola .....	31
7.5 PIANURA.....	32
7.6 DEPOSITI ALLUVIONALI TERRAZZATI E CONOIDI INTERMEDI E ALTI .....	33
7.7 FASCIA APPENNINICA.....	34
7.8 Analisi numerica di risposata sismica locale.....	35
PARTE 1: DEFINIZIONE DEL MODELLO DI SOTTOSUOLO.....	35
PARTE 2: FUNZIONE DI TRASFERIMENTO BEDROCK → SUPERFICIE E VALORI DI ACCELERAZIONE DI PICCO ATTESI IN SUPERFICIE .....	36

PARTE 3: SPETTRO DI RISPOSTA.....	37
8. ELABORATI CARTOGRAFICI.....	38
8.1 CARTA DELLE FREQUENZE DI RISONANZA ( $f_0$ e $f$ ) .....	38
8.2 CARTA $V_sH$ - $V_s30$ .....	41
8.3 CARTE DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE .....	42
NOTA SULL'AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA .....	42
CARTE $F_a$ - $F_v$ .....	42
CARTE $F_{aPGA0}$ , $F_{a0.1-0.5s}$ , $F_{a0.5-1s}$ .....	45
COMMENTI .....	49
9. ANALISI DI STRUTTURE EDILIZIE RILEVANTI.....	51
MODI DI VIBRARE.....	51
RIMOZIONE DELL'EFFETTO DEL SOTTOSUOLO .....	51
SMORZAMENTO.....	51
9.1 Palazzo Comunale.....	52
9.2 Scuola Materna Carducci .....	55
9.3 Scuola Elementare Sant'Egidio .....	57
9.4 Scuola Materna Mulini.....	59
10. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI .....	61
11. BIBLIOGRAFIA.....	63
12. ALLEGATI.....	66
ALLEGATO 1 . CARTA GEOLOGICA E SEZIONI .....	66
ALLEGATO 2. STORIA SISMICA DEL COMUNE DI CESENA.....	78
ALLEGATO 3. RISULTATI DELLE INDAGINI.....	80
TR 01/AR 01: Giardini Teatro Verdi.....	80
TR 02: Case Montecavallo .....	82
TR 03/AR 02: Formignano.....	83
TR 04: Case La Tomba.....	85
TR 05: Casa del Diavolo .....	86
TR 06/AR 03: Case Venzi.....	87
TR 07: Osteria Piavola.....	89
TR 08: Borgo Rose .....	90
TR 09: Monte Aguzzo .....	91
TR 10: Monte Lorenzone .....	92
TR 11/AR 04: Roversano.....	93
TR 12: via Carducci.....	95
TR 13: Giardini Serravalle.....	96
TR 14: Rocca Malatestiana.....	97
TR 15: via Ravennate-Almerici .....	98

TR 16: Palazzetto dello Sport - Ippodromo .....	99
TR 17: Scuola Ippodromo.....	100
TR 18: via Machiavelli - Ciminiera.....	101
TR 19/AR 05: Tipano .....	102
TR 20/AR 06: Tessello.....	104
TR 21/AR 07: Ponte Vecchio.....	105
TR 22/AR 08: via Calisese .....	107
TR 23: Carpineta.....	109
TR 24: Casale.....	110
TR 25: Case Missiroli .....	111
TR 26/AR 09: PEP Via Lambruschini (Cesena) .....	112
TR 27/AR 10: Monte Rocca .....	114
TR 28: San Tommaso - Cimitero.....	116
TR 29: Bulgarnò – Chiesa.....	117
TR 30: via Zavalloni.....	118
TR 31: Provezza – Via San Cristoforo.....	119
TR 32/AR 11: Macerone .....	120
TR 33/AR 12: Pioppa .....	122
TR 34/AR 13: Ronta – Via Ravennate .....	124
TR 35/AR 14: Ponte Badesse – Via Genocchi .....	126
TR 36: Ponte Badesse – Via Bosoni .....	128
TR 37/AR 15: Palazzaccio (Cesena).....	129
ALLEGATO 4. APPENDICE .....	131
ALLEGATO 5. ULTERIORI ALLEGATI .....	154



## PREMESSA

Il presente lavoro è stato condotto con la collaborazione del dr. Geol. Felice Cantalamessa e del dr. Riccardo Panzeri per la parte inerente l'acquisizione dati di campagna e con la collaborazione della dr.ssa Geol. Claudia Tomassoli per la parte cartografica. Si ringrazia il dr. Geol. Alessandro Biondi per tutta l'assistenza fornita.

I risultati delle indagini e i valori dei parametri presentati in questa relazione, redatti secondo le linee guida degli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (ICMS, 2008 e integrazioni 2011) e l'Atto di Indirizzo per la Microzonazione Sismica in Emilia Romagna (2007 e integrazione del 2011), sono intesi a solo uso della microzonazione sismica del territorio comunale di Cesena e pertanto ai soli fini di *pianificazione* urbanistica. In nessun caso i risultati delle indagini e i valori dei parametri potranno essere impiegati ai fini della *progettazione edilizia* in zona sismica per la quale vigono unicamente le Norme Tecniche sulle Costruzioni (NTC, 2008).

Le scale e i metodi della Microzonazione Sismica non coincidono con quelli della progettazione edilizia in zona sismica. Nessuna responsabilità potrà essere attribuita agli autori di questa relazione per l'uso improprio dei dati in essa presentati.

La relazione illustrativa è strutturata secondo lo schema proposto nel paragrafo 1.6.4 degli ICMS (2008) e secondo gli Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica, ver. 3.0.

# 1. INTRODUZIONE

La presente relazione illustra la base-dati ed i metodi impiegati ai fini della MicroZonazione Sismica (MZS) di Livello 1 e 2 del territorio comunale di Cesena. Per la componente geologica di dettaglio sono altresì consultabili le pag. 48-61 della relazione “Microzonazione sismica del territorio comunale. Approccio di tipo qualitativo-semiquantitativo” (Antolini, 2005).

Per le definizioni di Livello 1 e 2 si sono seguiti (e pertanto si rimanda a) gli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (2008 e integrazione del 2011) e l’Atto di Indirizzo per la MZS in Emilia Romagna (2007 e integrazione del 2011).

Saranno illustrati mezzi e metodi che hanno permesso di compilare:

- 1) le carte delle frequenze di amplificazione per risonanza dei terreni,
- 2) la carta delle velocità “mediate”<sup>1</sup> delle onde di taglio fino al bedrock (VsH) o fino a 30 m (Vs30) nei casi di bedrock non raggiunto dalle indagini,
- 3) le carte dei fattori di amplificazione:

*Secondo gli ICMS (2008):*

- Fa      fattore di amplificazione dello spettro dell’accelerazione a basso periodo (in prossimità del periodo proprio al quale si verifica il massimo della risposta in accelerazione),
- Fv      fattore di amplificazione dello spettro di velocità a periodo proprio, per il quale si verifica la massima risposta in pseudovelocità.

*Secondo l’Atto di Indirizzo per la MZS in Emilia Romagna (2007):*

- Fa<sub>PGA0</sub>,    fattore di amplificazione di PGA<sub>0</sub>, (Peak Ground Acceleration, accelerazione sismica di picco al bedrock),
- Fa<sub>0.1-0.5s</sub> dell’intensità spettrale Is nell’intervallo di periodo 0.1-0.5 s,
- Fa<sub>0.5-1s</sub>    dell’intensità spettrale Is nell’intervallo di periodo 0.5-1 s.

---

<sup>1</sup> Non si tratta in realtà di velocità medie ma di velocità dello strato omogeneo equivalente ad uno spessore di 30 m.

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

L'Emilia-Romagna è interessata da una sismicità che può essere definita media relativamente alla sismicità nazionale, con terremoti storici di magnitudo massima compresa tra 5.5 e 6 della scala Richter ( $M_L$ ) e intensità del IX - X grado della scala Mercalli (MCS). I maggiori terremoti ( $M > 5.5$ ) si sono verificati nel settore sud-orientale, in particolare nell'Appennino romagnolo e lungo la costa riminese (Boccaletti *et al.* 2004a; 2004b).

Il territorio della provincia di Forlì-Cesena è storicamente interessato da frequente e intensa attività sismica (Figura 1). L'elenco dei maggiori terremoti risentiti nel comune di Cesena dall'anno 1000 al 2006 è riportato nell'Allegato 2 (Locati *et al.*, 2011a; 2011b) dove si evidenziano effetti diretti di intensità fino all'VIII grado MCS. Per questi motivi già dal 1927, a seguito dei forti terremoti che tra il 1916 e il 1920 hanno interessato la Romagna e la dorsale appenninica toscano-emiliana, alcuni comuni dell'Appennino forlivese sono stati classificati sismici di 2<sup>a</sup> categoria e dal 1983 tale classificazione è stata estesa all'intero territorio provinciale, comprendendo quindi anche Cesena (Biondi, 2009).

### 2.1 Aspetti sismotettonici

L'attività sismica che interessa il territorio cesenate è principalmente dovuta a strutture sismogenetiche (faglie attive<sup>2</sup>) localizzate nel sottosuolo del settore appenninico, lungo il margine appenninico-padano e nel sottosuolo padano.

La sismicità è superficiale con eventi generati spesso a profondità inferiori ai 15 km e compresa in gran parte nei primi 35, in particolare lungo strutture che interessano il basamento. Ciò è in accordo con l'assetto generale dell'Appennino romagnolo che genera accavallamenti lungo superfici orientate circa WNW-ESE e vergenti verso NNE che giungono fino al basamento. I meccanismi focali indicano che le deformazioni di queste strutture sono prevalentemente di tipo compressivo e transpressivo (Boccaletti *et al.*, 2004a; 2004b). Nella stessa zona sono presenti anche terremoti più superficiali con meccanismi focali distensivi (come ad esempio la sequenza sismica del 2011 nel Montefeltro, Balocchi, 2011), probabilmente legati all'attività di strutture estensionali al di sopra dell'anticlinale profonda (Figura 2).

Il cesenate risente inoltre della sismicità delle zone sismogenetiche limitrofe, quali il Mugello, il riminese e l'alto Adriatico, dove in passato si sono verificati terremoti con magnitudo stimata anche maggiore di 6.

---

<sup>2</sup> Sebbene alcune faglie a lento movimento non generino sismi, la maggior parte dei terremoti è provocato dal repentino scorrimento tra le due superfici di faglia. La definizione di "faglia attiva" non è univoca: si fa normalmente riferimento alla possibilità che una faglia possa attivarsi in un intervallo di tempo futuro che interessa la nostra società (Wallace, 1986). La previsione viene fatta basandosi sui movimenti avvenuti nella "recente storia geologica". Sulla definizione del termine "recente" non c'è tuttavia accordo; una delle definizioni più comunemente accettata è quella della U.S Nuclear Regulatory Commission (1982), che, considera attive (o "capaci") le faglie che presentano un'attivazione negli ultimi 35.000 anni o almeno due negli ultimi 500.000 anni (Boccaletti *et al.* 2004a; 2004b).

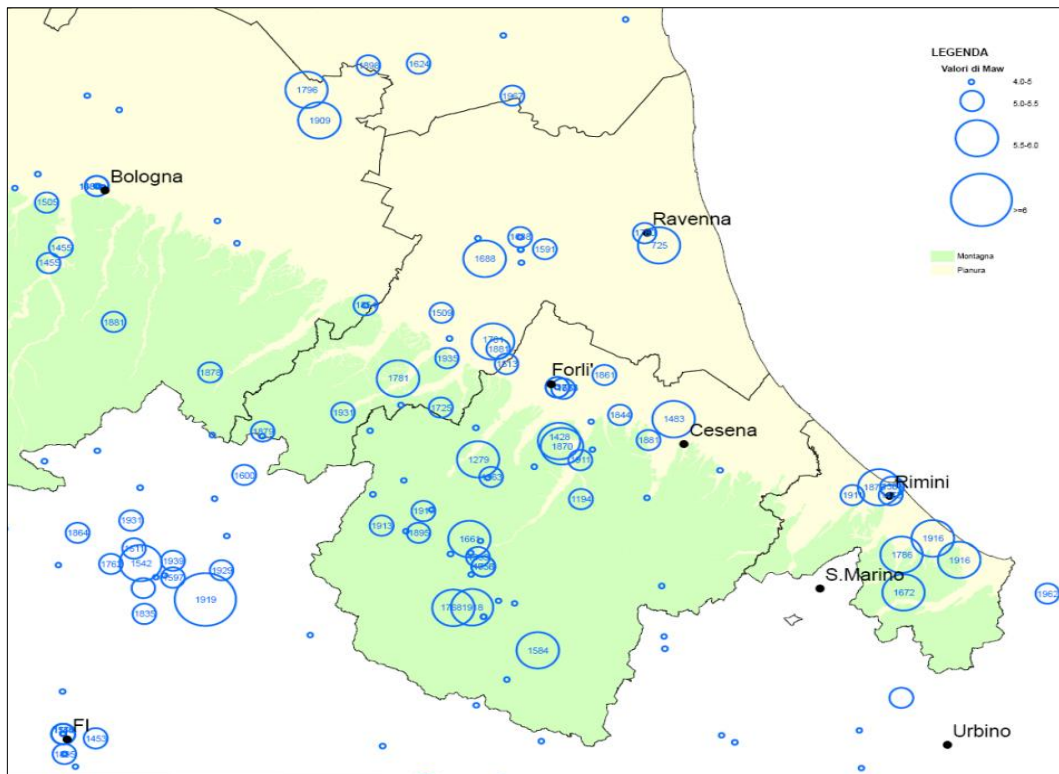


Figura 1. Epicentri dei principali terremoti storici che hanno interessato la Romagna negli ultimi 1000 anni (Stucchi *et al.*, 2007). Le dimensioni dei cerchi sono proporzionali alle magnitudo stimate.

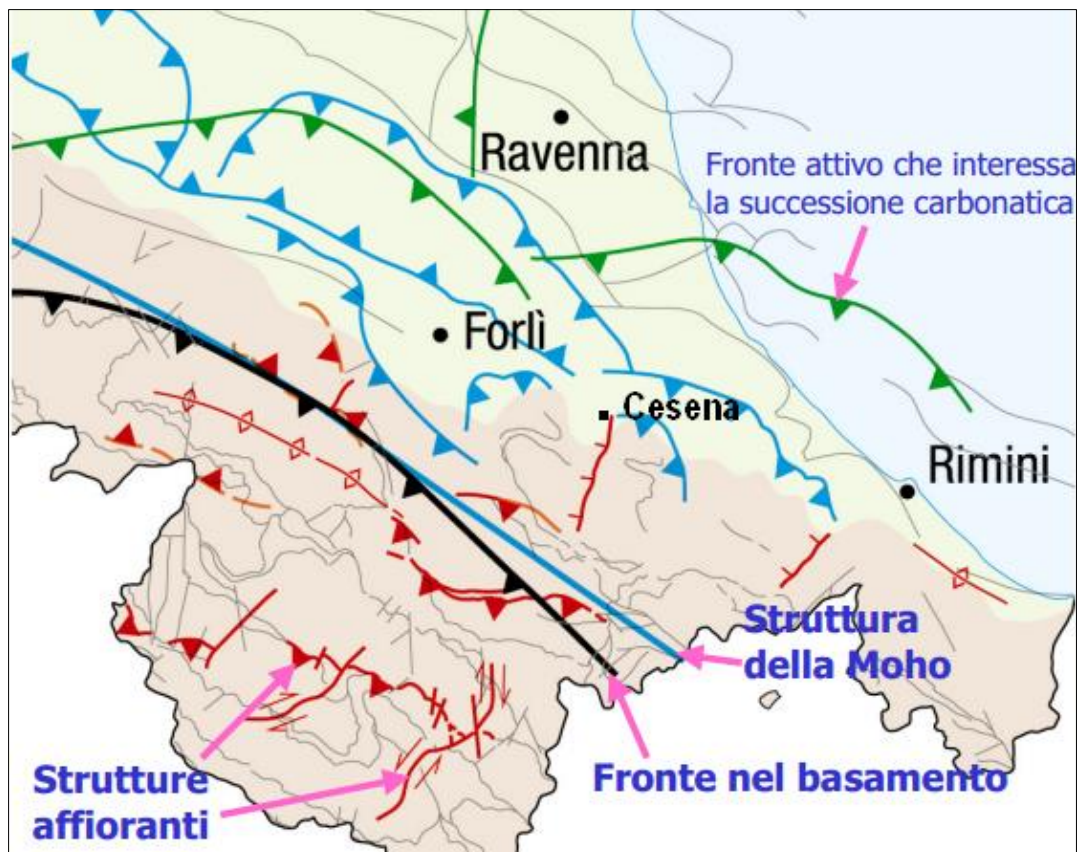


Figura 2. Schema delle principali strutture attive della Romagna (Boccaletti *et al.*, 2004a; 2004b, modificato da Biondi, 2009).

## 2.2 Classificazione sismica del comune di Cesena

A seguito del terremoto di  $M_w = 6$  che colpì il Molise il 31 ottobre del 2002, fu emanata l'OPCM n. 3274/2003 che prevedeva una nuova classificazione sismica dei comuni italiani, basata sulla Mappa di Pericolosità Sismica MPS04 (Meletti e Montaldo, 2007). Tale mappa, divenuta ufficialmente la mappa di riferimento per il territorio nazionale con l'emanazione dell'OPCM 3519/2006, costituisce il riferimento, per l'azione sismica, delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC, 2008).

Il territorio nazionale è suddiviso in maglie di  $5 \times 5$  km (Figura 3) per ciascuna delle quali è fornita una stima dell'accelerazione di picco al bedrock ( $PGA_0$  = Peak Ground Acceleration orizzontale) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, ottenuta dal metodo probabilistico indipendente dal tempo di Cornell (1968). I valori sono espressi in frazioni dell'accelerazione di gravità  $g$  e sono riferiti al substrato omogeneo rigido con velocità delle onde di taglio  $V_s > 800$  m/s, ossia in assenza di amplificazione locale.

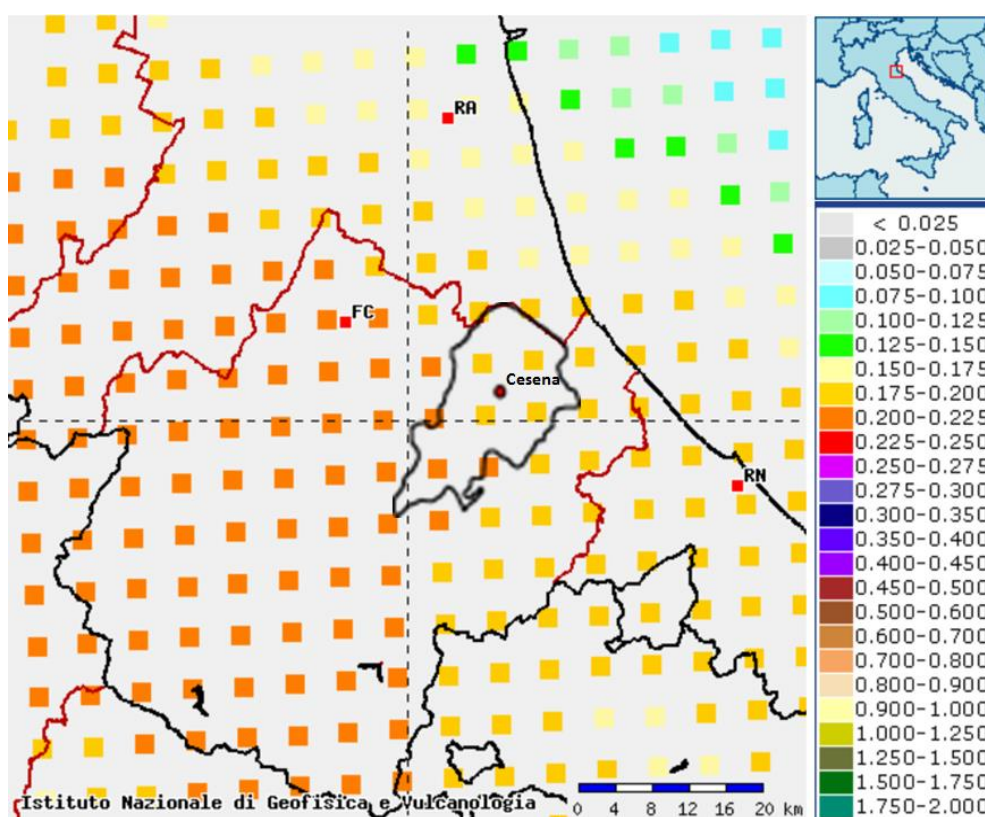


Figura 3. Stralcio della Mappa di Pericolosità Sismica di riferimento per il territorio nazionale. I valori in legenda si riferiscono all'accelerazione massima al bedrock (in  $g$ ) aventi una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (Meletti e Montaldo, 2007).

## 3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

### 3.1 Collocazione geografica del Comune di Cesena

Il Comune di Cesena si trova al centro della Romagna sull'intersezione tra le antiche vie Emilia e Romea ed è dominato dal basso corso del fiume Savio. Comprende una zona di pianura a nord ed una collinare a sud con un'elevazione media di 44 m.s.l.m., dai +5 metri sul confine NE ai +480 metri di Monte Cavallo. La zona collinare, oltre a buona parte del bacino idrografico del Savio, comprende



anche parte del bacino del fiume Ronco e del torrente Bevano a nord-ovest mentre a sud-est corre il torrente Pisciatello che in parte delimita il confine comunale. Tra questo e la valle del Savio troviamo: il Rio Cesuola, con andamento NS, che confluisce nel Savio in prossimità dell'abitato di Cesena e più a est il Rio Marano e Donegaglia che tagliano in direzione NE-SW confluendo nel Rio Pisciatello. I depositi fluviali caratterizzano le valli terrazzate della zona collinare e disegnano le morfologie di contatto con la pianura in senso stretto definendo la fascia delle conoidi.

### 3.2 Quadro geologico-strutturale dell'Emilia-Romagna

La Pianura Padana e l'Appennino settentrionale benché morfologicamente assai differenti, sono espressione dello stesso sistema strutturale evolutosi a partire dall'Oligocene quando ebbe inizio la fase continentale della collisione tra le placche europea e quella africana, iniziata nel Cretaceo e proseguita con la completa subduzione della crosta oceanica dell'antico bacino Ligure-Piemontese. Questa vasta pianura è l'espressione superficiale del riempimento del Bacino Padano, un bacino molassico composito, del quale soltanto la parte meridionale corrisponde all'avanfossa degli Appennini sviluppatasi a partire dal Pliocene medio-superiore (circa 3,5 milioni di anni fa).

La struttura profonda del Bacino Padano, indagata con perforazioni petrolifere ed esplorazione sismica a riflessione<sup>3</sup>, mostra una struttura a pieghe e sovrascorrimenti (Figura 4). I processi genetici di queste strutture sono tuttora attivi ed ascrivibili ad un campo di stress caratterizzato da una direzione di massima compressione orizzontale orientata approssimativamente NS con accorciamento dell'ordine dei 7 mm/anno (Boccaletti *et al.*, 2011). Le geometrie delle principali strutture recenti del crinale, del basamento, del margine e dei fronti padani sepolti si accordano a questa interpretazione che è tra l'altro avvalorata dagli studi dei meccanismi focali dei recenti terremoti dell'Appennino emiliano-romagnolo e della Pianura Padana centrale (Martelli, 2011). Il grado di deformazione dell'intero Bacino Padano diminuisce verso l'alto, a testimoniare una diminuzione nel tempo dell'attività tettonica nel corso del riempimento del bacino. Tuttavia sono le strutture sepolte più avanzate che mostrano le maggiori dislocazioni recenti (Pieghe Emiliane, tutto l'arco delle Pieghe Ferraresi e le Pieghe Adriatiche) evidenziando un meccanismo di avanzamento dell'embricatura al fronte (*foreland propagation piggy-back sequence*).

L'appennino emiliano-romagnolo è una catena formata da varie falde sovrapposte secondo una strutturazione a duplex complesso (Cerrina Feroni *et al.*, 2001) dove le successioni sedimentarie marine oligo-mioceniche di avanfossa (Unità Toscane e Umbro-Marchigiane) sono state diffusamente ricoperte da coltri alloctone di sedimenti marini profondi di età cretaceo-paleogenica (melange delle unità liguri) e depositi sin-orogenetici di bacini interni (unità epiliguri). Tuttavia l'assetto geologico regionale permette di suddividere quest'area appenninica in due settori, uno emiliano a Ovest e un settore romagnolo a Est. L'appennino romagnolo presenta un maggior sollevamento ed un'ampia struttura anticlinale dove la coltre alloctona è assente. Studi sui sedimenti alluvionali dell'appennino romagnolo hanno dimostrato che le liguridi ricoprivano diffusamente l'intera area

---

<sup>3</sup> Pochi mesi prima dell'entrata in guerra, nel 1940 l'AGIP fece arrivare in pianura padana dagli USA l'attrezzatura di prospezione geofisica per la ricerca di strutture geologiche sepolte tramite il metodo della sismica a riflessione. Ciò permise una vera rivoluzione nel campo della ricerca di idrocarburi e portò alla scoperta e perforazione, nel 1943, nei pressi di Lodi, di quello che divenne il più ricco giacimento metanifero d'Europa dell'epoca. L'importanza della scoperta dal punto di vista geologico fu capire che il giacimento era impostato su una trappola strutturale di tipo anticlinale sepolta sotto la spessa copertura di sedimenti alluvionali. Le conoscenze geologiche del tempo fecero sospettare la presenza di numerose altre simili strutture. Questo spinse a concentrare la ricerca nella val Padana, di cui ormai era stata accertata la natura di bacino sedimentario metanogenico, spingendo prima l'AGIP e poi l'ENI ad investire grandi risorse (Fonte: Wikipedia, 2013).

prima di essere erose prevalentemente tra il Pliocene superiore e il Pleistocene medio, scoprendo la sottostante Formazione Marnoso-Arenacea (Cerrina Feroni *et al.*, 2001). L'ampia finestra tettonica, il Klippe dell'alta Val Marecchia e la struttura della Linea del Sillaro (Figura 5) si accordano con la struttura tipo duplex i cui livelli di scollamento sono favoriti dalla presenza di litologie poco competenti (marne oligoceniche al tetto, evaporiti triassiche a letto).

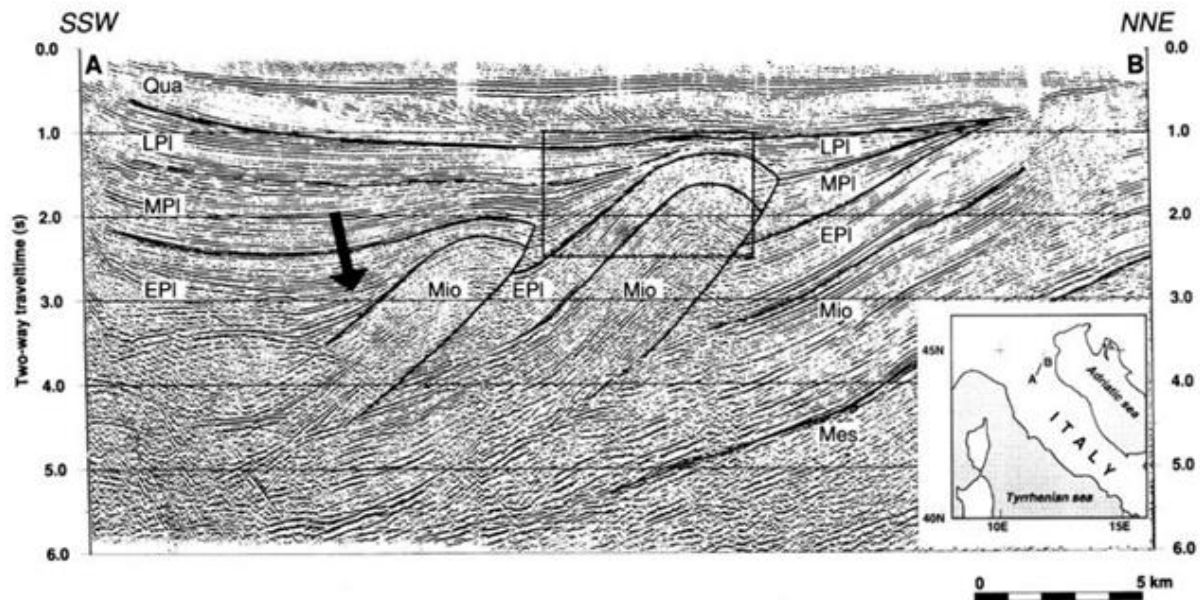


Figura 4. Struttura profonda della pianura padana. L'immagine è ottenuta mediante interpretazione di sezione sismica bilanciata a riflessione. Mes = Basamento mesozoico, Mio = miocene, EPI = pliocene inferiore, MPI = pliocene medio, LPI = pliocene superiore, Qua = quaternario (Zoetemeijer, 1993).

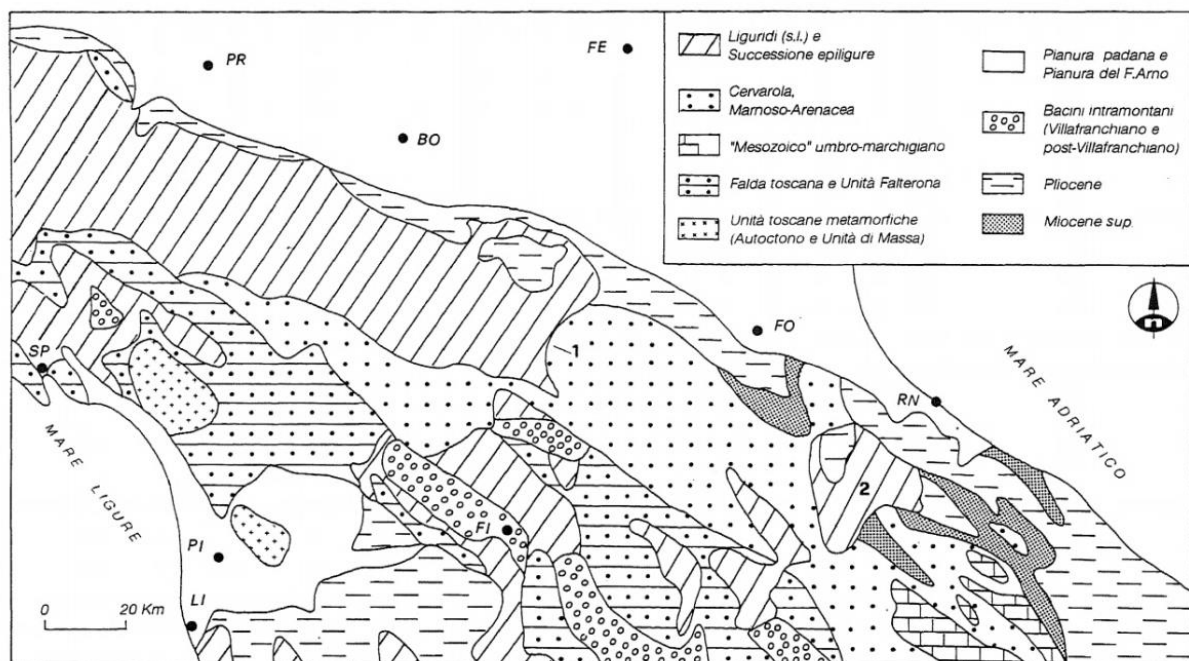


Figura 5. Schema geologico dell'Appennino settentrionale. 1) Linea del Sillaro, 2) Coltri della Val Marecchia (Feroni *et al.*, 1997).

Anche il margine appenninico-padano mostra le testimonianze morfo-strutturali e stratigrafiche di un sollevamento recente in particolare i vari ordini di terrazzi fluviali che cingono le numerose valli disposte ortogonalmente al fronte appenninico (Boccaletti *et al.*, 2010).

## 2.3 Litostratigrafia dell'area di studio

Il Comune di Cesena copre un territorio vario dal punto di vista geologico, comprendendo formazioni litoidi di origine marina affioranti o sub-affioranti in area collinare a sud, depositi terrazzati e conoidi di alto e medio corso fluviale lungo le valli ad andamento SW-NE, e depositi alluvionali quaternari di pianura a nord. Questa suddivisione risponde non solo alle diverse caratteristiche geomorfologiche ma anche ai fini dello studio di microzonazione sismica<sup>4</sup>.

### 2.3.1 Le formazioni dell'Appennino

La fascia appenninica cesenate si presenta assai complessa a causa degli elementi strutturali (pieghe, faglie e sovrascorrimenti) che la tagliano in direzione NO-SE (Figura 6). È caratterizzata da un'ampia struttura anticlinale ripiegata che eleva il basamento rispetto alle circostanti aree dell'Appennino Emiliano a Ovest e di quello Umbro-Marchigiano a Sud-Est. L'erosione ha asportato completamente le coltri alloctone di copertura che altrove ricoprono i terreni più recenti (Feroni *et al.*, 1997), esponendo le successioni flyscioidi mioceniche e i successivi depositi plio-pleistocenici.

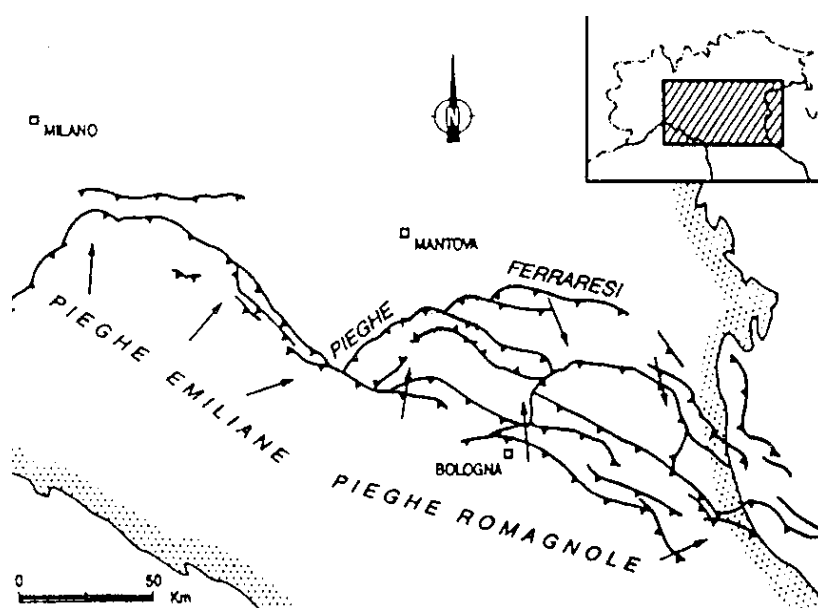


Figura 6. Pieghe e sovrascorrimenti arcuati vergenti a Nord-Est caratterizzano l'Appennino emiliano-romagnolo (Fonte: [MeteoWeb](#)).

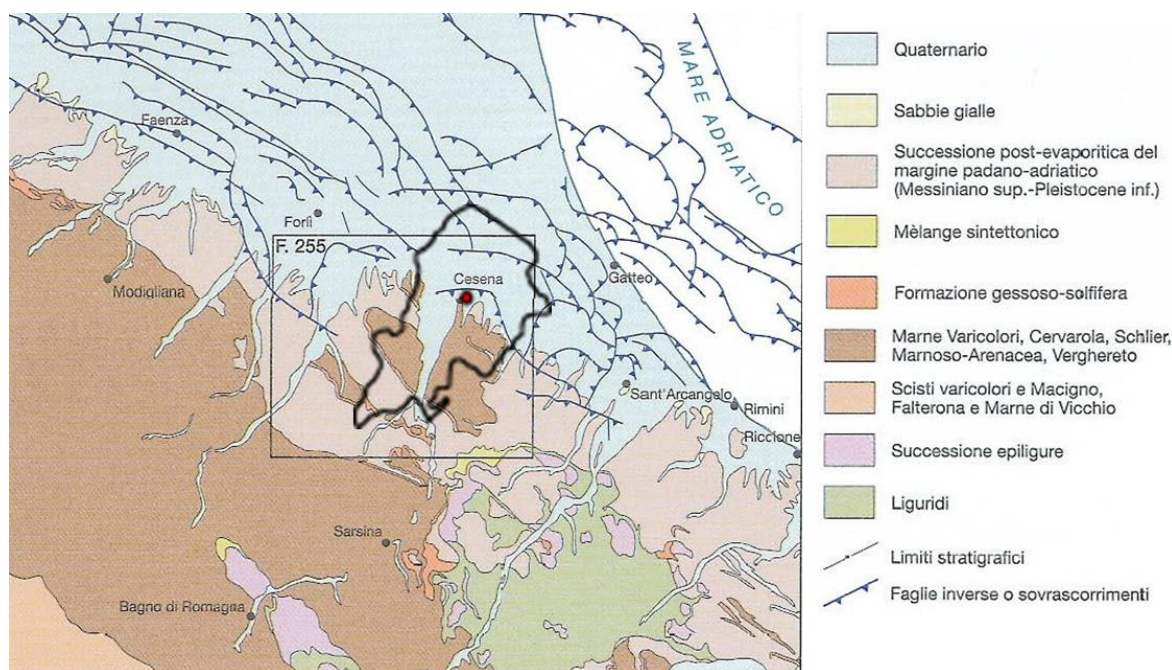
Le Unità litostratigrafiche appenniniche presenti nel territorio comunale e cartografate nel foglio 255 della Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000 (2009) appartengono al Dominio Umbro-Marchigiano-Romagnolo tra cui si distinguono (Benini *et al.*, 2009):

- la Formazione Marnoso Arenacea (FMA),
- la successione messiniana che segna la "crisi di salinità" del Mediterraneo,



- i depositi plio-pleistocenici bacinali prevalentemente fini di provenienza appenninica,
- le coperture continentali quaternarie terrazzate dei fondivalle che si raccordano stratigraficamente con le successioni di pianura.

La fascia di pianura e le aree intravallive sono caratterizzate da depositi plio-quaternari descritti da unità stratigrafiche a limiti inconformi (UBSU – *Unconformity-Bounded Stratigraphic Units*) che caratterizzano il Sintema Emiliano Romagnolo.



**Figura 7. Schema geologico semplificato della Romagna (Carta geologica D'Italia 1:50000 - CARG, Foglio 255, modificata). Il contorno indica i confini amministrativi del Comune di Cesena.**

### 2.3.1.a La Formazione Marnoso-Arenacea

Si tratta di una successione di circa 4000 m (nel suo massimo sviluppo regionale), composta da sequenze torbiditiche di origine prevalentemente alpina (paleocorrenti provenienti prevalentemente da NW e WNW) e subordinatamente appenninica<sup>5</sup>, intervallate da livelli di peliti e marne emipelagiche. La composizione della frazione arenitica, feldspatica o litica, lo spessore medio degli strati e il rapporto arenarie-pelite (A/P) è assai variabile lungo l'intero profilo della successione e permette la suddivisione della FMA in numerosi membri e litofacies in parte eteropici e databili tra il Langhiano e il Messiniano inferiore.

Nel territorio comunale affiorano estesamente i membri più recenti dell'intera successione ossia il Membro di Castel del Rio (FMA<sub>12</sub>) e Fontanelice (FMA<sub>13</sub>), non facilmente distinguibili, e il Membro di Borgo Tossignano (FMA<sub>14</sub>) mentre i membri di Dovadola e Modigliana sono rari in affioramento. FMA<sub>13</sub> è diffuso come Litofacies della Val Samoggia (FMA<sub>13b</sub>) con tipiche alternanze marnoso-

<sup>5</sup>Alle torbiditi di provenienza alpina caratterizzanti la Formazione Marnoso-Arenacea romagnola si intercalano in posizione inferiore delle torbiditi calcaree di provenienza da SE e ESE. Alla più imponente di queste Ricci Lucchi e Piali (1973) hanno dato il nome di "*Strato Contessa*", un importante orizzonte guida che tuttavia nel foglio in esame non affiora. Assieme ad altre torbiditi calcaree, di minore potenza ma caratterizzate da analoga provenienza, sono state dagli stessi autori denominate "*colombine*" e sono di fondamentale importanza nella definizione stratigrafica come marker regionali.

arenacee (A/P da 1:3 a 5:1), in un'ampia fascia a cavallo della valle del Savio corrispondente all'asse anticlinalico principale.

Chiude la successione l'unità dei Ghioli di Letto (GHL) che rappresenta la fine della sedimentazione torbidity per disattivazione del bacino, dovuta alla migrazione del sistema catena-avanfossa verso NE, ed è accompagnata dalla comparsa, più o meno continua, di episodi anossici, testimoniati dalla presenza di marne scure, bituminose, talora con abbondante contenuto diatomeitico (livelli tripolacei). Il rapporto A/P è basso e predominano i depositi emipelagici (marne grigie e silt intervallati da rari e sottili strati arenacei poco cementati). Alcuni affioramenti si osservano sui fianchi delle anticlinali di Pian di Spino e Osteria di Piavola (Allegato 1, Carta Geologica 1: 50.000, Foglio 255).

### **2.3.1.b La successione messiniana**

Questa successione corrisponde al Gruppo della Gessoso-solfifera, unità di rango superiore istituita di recente (CARG 2009). Comprende la Formazione della Vena del Gesso (VDG) (già Gessoso-Solfifera), la Formazione di Sapigno (GNO) (già Ghioli di Tetto) e la Formazione a Colombacci (FCO).

Nell'area di studio non affiorano i gessi selenitici macrocristallini che caratterizzano, più a NO, il contrafforte della Vena del Gesso, ma solo gessi microcristallini risedimentati (gessareniti e gessoruditi) intercalati da peliti bituminose fetide, che seguono un livello di base calcareo-dolomitico finemente laminato. L'ambiente deposizionale è ascrivibile a bacini più profondi e ripidi, interessati dall'attiva fase tettonica intramessiniana (Roveri *et al.*, 2006).

I depositi evaporitici della VDG sono coperti da terreni argilloso-sabbiosi di origine torbidity con alta presenza di peliti ed emipelagiti di color nocciola o scuro, bituminose, in starti sottili (GNO). In questa unità si riconosce un livello stratificato di arenarie vulcano-clastiche gradate (tufiti) costituite da prevalente vetro vescicolare e lamellare (Orizzonte vulcano-clastico di Osteria di Piavola, Cremonini e Farabegoli, 1982).

Segue la Formazione a colombacci, talora anch'essa interessata dagli sconvolgimenti legati alla fase tettonica intramessiniana e quindi non sempre agevolmente distinguibile, anche a causa di una elevata affinità litologica con le unità sottostanti. Essa è ampiamente rappresentata nella sinclinale Giaggiolo-Cella, che si estende con asse WNW-ESE a sud del territorio comunale. La FCO è formata da più litofacies, fra cui domina quella a prevalenti peliti: si tratta di marne, marne argillose e siltose, grigie, grigio-azzurre, grigio-scure, grigio-verdastre e brune, a volte leggermente arenacee, in strati da sottili a medi non sempre netti. A luoghi si trovano livelli o lento arenitiche e/o conglomeratiche interpretate come fronti deltizi o piane di marea. Caratteristici di questa formazione sono i cosiddetti "colombacci", sei livelli stratificati decimetrici composti da strati sottili e molto sottili di calcare micritico bianco, più o meno marnoso, alternati a veli e strati molto sottili di marne grigie, a volte fittamente laminate. La posizione stratigrafica di tali lenti non è costante e riconducibile a una successione in qualche modo omogenea. L'unità al suo interno è interessata da scivolamenti gravitativi, favoriti dalla discordanza deposizionale su GNO (Benini *et al.*, 2009).

### **2.3.1.c I depositi marini plio-pleistocenici**

Questa successione comprende il Gruppo del Santerno e le Sabbie Gialle di Imola.

Il Gruppo del Santerno è costituito prevalentemente da peliti di scarpata con intercalazioni di torbidity arenaceo-pelitiche e frane sottomarine deposte tra il pliocene inferiore e il pleistocene

inferiore, passando a peliti ed arenarie di piattaforma e quindi a depositi francamente arenacei di piattaforma interna e spiaggia sommersa. Il ciclo regressivo si chiude in discordanza con le Sabbie gialle di Imola, depositi di ambiente litoraneo. Il gruppo è formato dalle Marne di Cella (CEA), caratteristiche per la sottile stratificazione e il colore chiaro, affioranti proprio nei pressi dell'abitato di Cesena. Seguono crono-stratigraficamente le cosiddette Argille Azzurre (FAA), caratterizzate da numerose litofacies e membri con caratteri anche molto diversi. Alle argille più o meno marnose, spesso bioturbate, si alternano corpi lenticolari spesso eteropici a componente arenitica dominante. Si riconoscono in particolare le Arenarie di Borello (FAA<sub>2a</sub>) e le calcareniti del Membro dello Spungone (FAA<sub>3</sub>).

Chiudono la successione le Sabbie di Imola (IMO) che si ritrovano raramente e non sono presenti in affioramento all'interno del comune di Cesena. Marcano il passaggio da ambiente marino a continentale, sono sostituite da sabbie grossolane in discordanza sulle sottostanti formazioni più antiche. Età Pleistocene medio – Ioniano (Benini *et al.*, 2009).

### 2.3.2 Le coperture continentali quaternarie

Osservando la carta geologica a piccola scala di Figura 7 si evince come i depositi quaternari di origine continentale, costituiti da ghiaie, sabbie, limi e argille di origine fluviale, occupino ben più della metà del territorio comunale. I depositi del Fiume Savio formano un corpo conico allungato che da Borello scende verso la pianura generando l'ampia conoide su cui sorge in parte l'abitato di Cesena. Più a sud-est alcune conoidi minori confluiscono in quella del Torrente Pisciatello che si protende verso nord (Figura 13).

In generale le sabbie e le ghiaie che caratterizzano i depositi terrazzati<sup>6</sup> di alto e medio corso fluviale si spingono verso la pianura dando origine ad una fascia pressoché continua che cinge il margine pedeappenninico (in verde in Figura 8), detta *fascia delle conoidi*<sup>7</sup>. Verso Nord la pianura è caratterizzata dalle *channel-belt* dei principali corsi d'acqua - ad andamento meandriforme - con depositi da sabbiosi a sabbioso-limosi, intercalati da piane alluvionali con sedimenti limoso-argillosi (Allegato 1, Carta Geologica 1:50.000, Foglio 255).

#### 2.3.2.a Depositi alluvionali terrazzati

I depositi di terrazzo alluvionale si rinvencono nelle aree intervallive e sono caratterizzati da morfologie pianeggianti o debolmente inclinate verso l'asta fluviale e raccordati al versante da profili concavi dovuti al sedimento colluviale. La base è generalmente netta ed erosiva sul substrato o su sedimenti più vecchi mentre il margine vallivo è caratterizzato da scarpate erosive, spesso arrotondate e addolcite nei profili per cause sia naturali sia antropiche. Dove le valli incise si aprono sulla pianura, i materiali trasportati dall'alta energia dei corsi d'acqua hanno creato ampi ambienti deposizionali caratterizzati dalla coalescenza dei ventagli di sedimenti abbandonati dai corsi d'acqua. Tra essi si riconoscono intervallati i depositi siltoso-argillosi di interconoide.

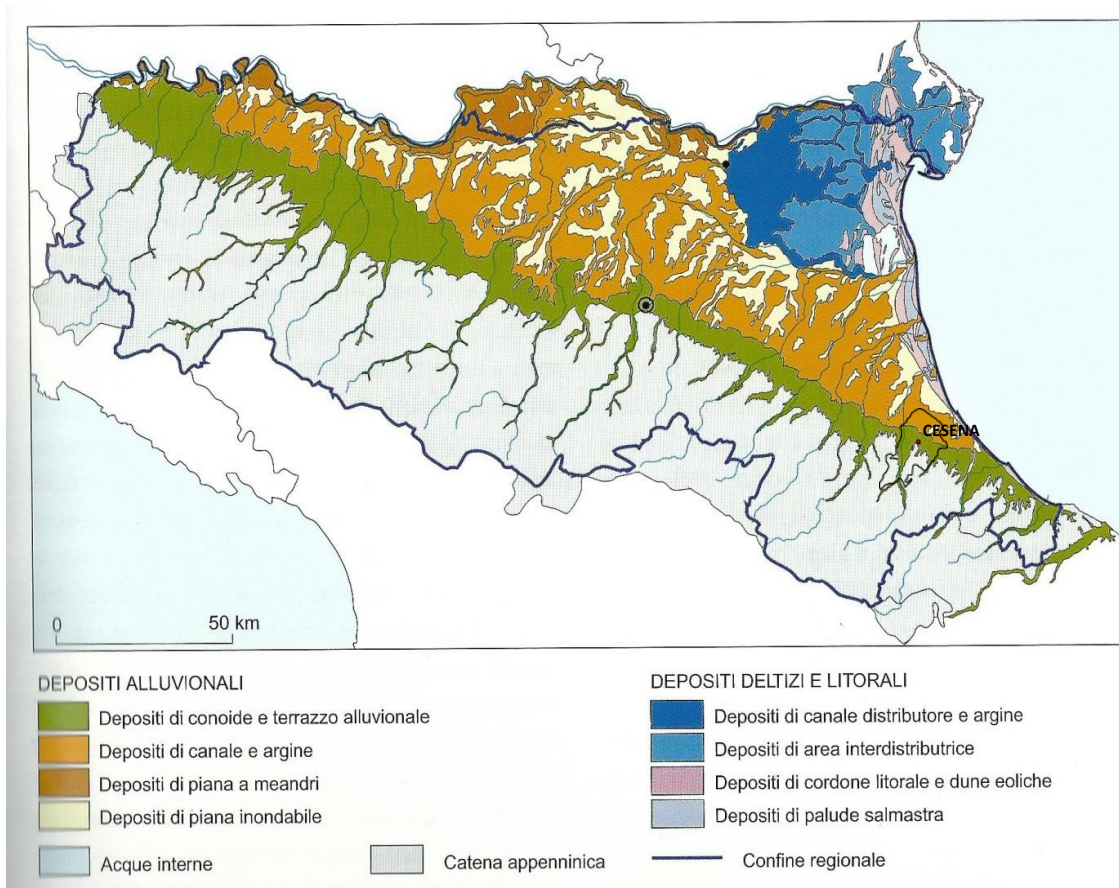
---

<sup>6</sup> Nelle note illustrative della Carta Geologica D'Italia 1:100.000, (Cremonini e Farabegoli, 1983), per le valli dei fiumi Rabbi, Bidente e Savio sono descritti 4 ordini di terrazzo sulla base dei dislivelli fra i depositi fluviali e la quota dell'alveo corrispondente (CARG, 2009).

<sup>7</sup> Le litologie presenti nei bacini drenati dai corsi d'acqua cesenati, influenzano la granulometria dei depositi che risultano ricchi di sabbie derivanti dai flysch della marnoso-arenacea di cui si è già detto. Le ghiaie sono più rare rispetto ad altre parti dell'Appennino (Appennino nord-occidentale e Val Marecchia) dove sono presenti complessi carbonatici ed ofiolitici assai più competenti da cui residuano facilmente clasti grossolani.

La stratigrafia di queste aree è molto complessa, generata dal divagare del corso d'acqua nel tempo e dal continuo alternarsi di fasi erosive e deposizionali, con propaggini sepolte che si spingono al di sotto dei più fini sedimenti di pianura. Tuttavia, la fascia pedemontana è caratterizzata da depositi, spessi anche centinaia di metri, di ghiaie e sabbie amalgamate con rare lenti di materiale fine che costituiscono serbatoi d'acqua e aree preferenziali per l'insediamento antropico abitativo ed industriale<sup>8</sup>. Le favorevoli caratteristiche geotecniche, morfologiche, idrogeologiche ed idrauliche hanno da sempre indotto l'uomo ad insediarsi in modo stabile.

La stratigrafia di questi depositi si basa sulla definizione di unità allostratigrafiche che comprendono le UBSU e si estendono spazialmente ad ogni superficie di correlazione sequenziale anche non disconforme. Parea (1991) fornisce un primo esempio di approccio stratigrafico-sequenziale ai depositi quaternari affioranti di questo settore della pianura inquadrando i principali terrazzi intravallivi ed i depositi della pianura alluvionale nell'area fra il fiume Rabbi ed il fiume Marecchia all'interno di quattro sequenze deposizionali che si sarebbero sviluppate durante gli ultimi cicli glacio-eustatici tardo quaternari.



**Figura 8. Gli ambienti della pianura emiliano-romagnola (Regione Emilia-Romagna, 1999 - *Carta Geologica di Pianura dell'Emilia Romagna in scala 1:250.000*, S.EL.CA., Firenze).**

Lo schema stratigrafico generale della Pianura Padana è rappresentato in Figura 11 dove le superfici di trasgressione segnano la fase di innalzamento del livello eustatico e conseguente alluvionamento delle zone costiere e di deposizione intravalliva. Amorosi e Calalongo (2005) hanno evidenziato le caratteristiche variazioni cicliche su scala dei 100ka che interessano spessori di 50-100 metri di



alluvioni padane, legate ai cicli glacio-eustatici del tardo quaternario. Queste fasi T-R (trasgressivo-regressive) definiscono i limiti dei corpi sedimentari descritti e utilizzati nella più recente Cartografia Geologica d'Italia.

Il Supersistema Emiliano-Romagnolo (Sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore, AEI, e Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore, AES) è l'unità stratigrafica che comprende l'insieme dei depositi quaternari di origine continentale affioranti al margine appenninico padano ed i sedimenti ad essi correlati nel sottosuolo della pianura emiliano-romagnola. Questi ultimi, nell'area forlivese e cesenate, includono depositi alluvionali e deltizi passanti, verso la pianura più aperta e la costa (Fogli 240 e 241, CARG, 2005), a depositi litorali e marini. In affioramento il Supersistema Emiliano-Romagnolo presenta un limite inferiore fortemente discordante sui depositi marini pliocenici e miocenici.

Il Sistema Inferiore (AEI) è stato descritto dai sondaggi e copre l'intervallo temporale che va dai 650 ai 450-350 mila anni fa (Pleistocene medio) ed è costituito da alternanze cicliche di argille, limi, sabbie e ghiaie di conoide e piana alluvionale che passano rapidamente sottocorrente a depositi di piana deltizia. Lo spessore massimo rilevato nella pianura cesenate, interamente sepolto, è di 60 metri.

Il Sistema Superiore (AES) comprende tutti i depositi continentali affioranti nell'area di studio e buona parte di quelli sepolti con uno spessore da pochi metri dei depositi terrazzati vallivi ai circa 200 metri della pianura NE.

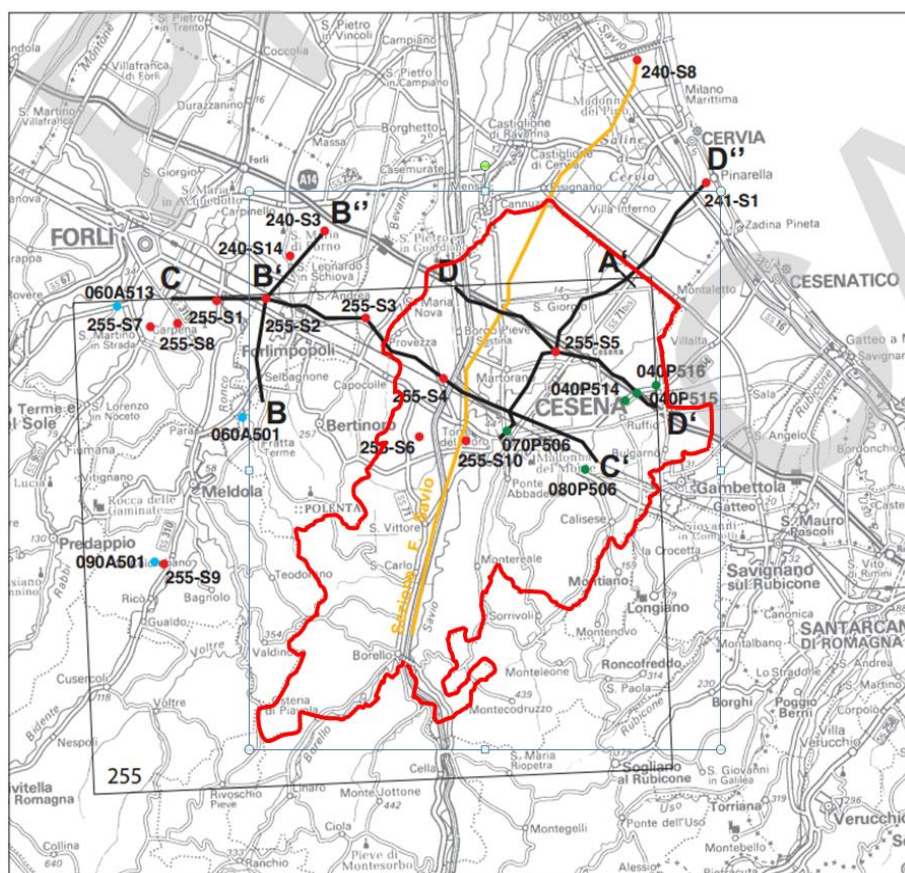


Figura 9. Carta dei sondaggi e delle sezioni utilizzate per la realizzazione del Foglio 255 della Carta Geologica d'Italia 1:50.000. In rosso il confine amministrativo del Comune di Cesena; In giallo la sezione riportata in Figura 10.

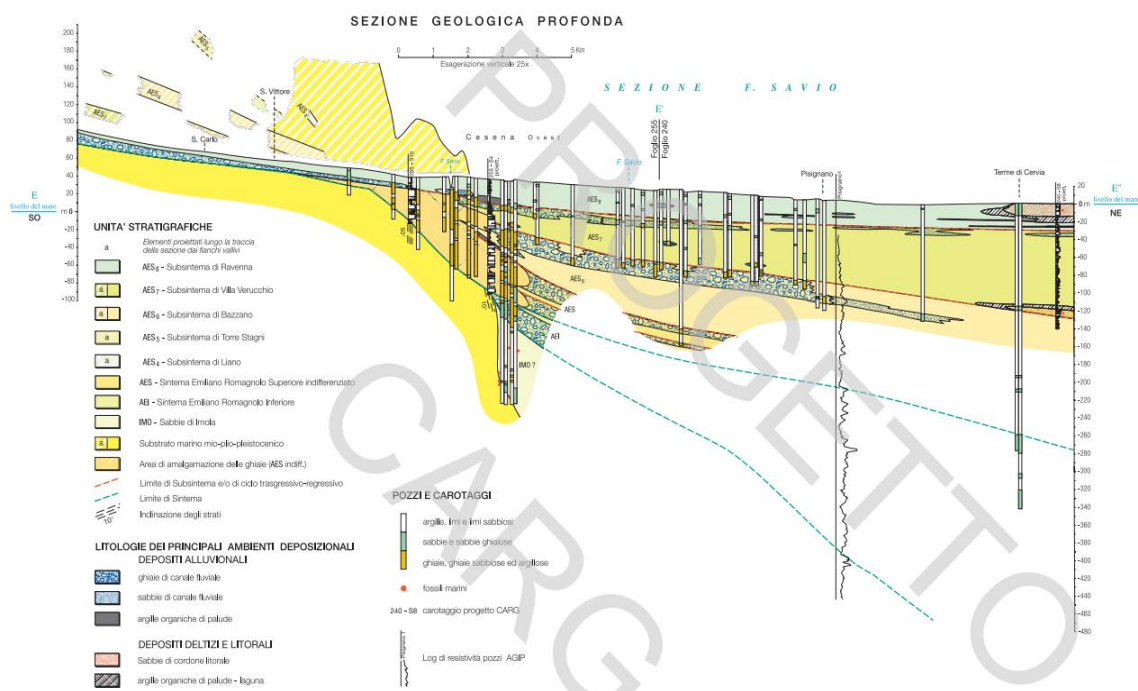


Figura 10. Sezione geologica costruita lungo la valle del F. Savio e nella pianura antistante (Foglio 255) fino alla costa adriatica (Foglio 240). La sezione integra i dati di superficie (affioramenti del settore intravallivo) e di sottosuolo (stratigrafie delle indagini geognostiche, profili sismici e stratigrafie di pozzi AGIP) e descrive l'architettura stratigrafica del Supersistema Emiliano-Romagnolo, i suoi rapporti con il "substrato" marino mio-plio-pleistocenico e le geometrie dei principali corpi deposizionali. L'esagerazione verticale è di 25 volte (Note illustrative alla Carta Geologica d'Italia, Foglio 255, 2009).

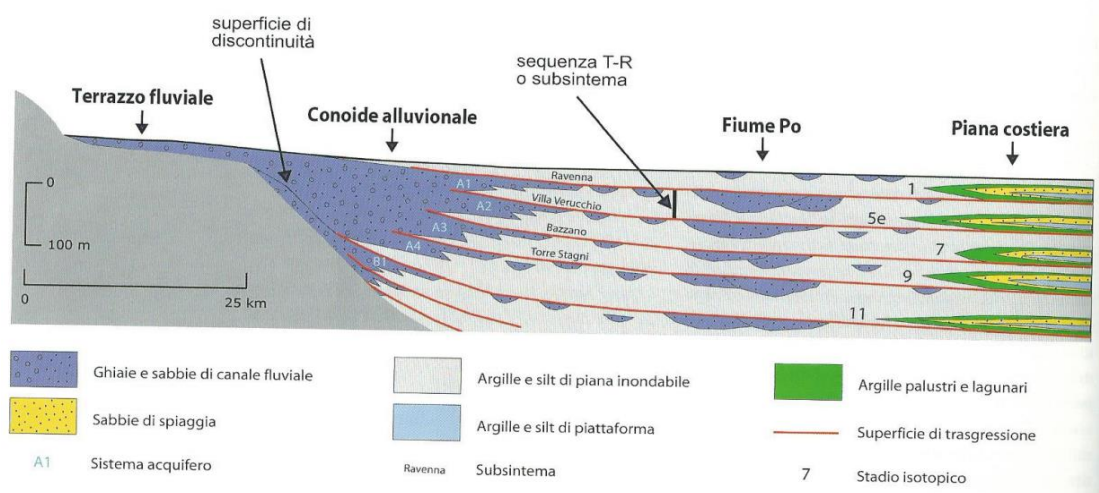


Figura 11. Schema geologico di sottosuolo del Bacino Padano, dal margine appenninico al mare (Amorosi, 2008).

In affioramento AES è costituito da ghiaie e sabbie di canale fluviale e da alternanze argilloso-limoso-sabbiose di tracimazione fluviale e sono distinguibili 5 sub-sintemi (AES<sub>4</sub>-AES<sub>8</sub>) considerati il prodotto della ciclicità elementare climatico-eustatica di quarto ordine (100.000 anni ca.) che caratterizza l'evoluzione del periodo Quaternario. Questi depositi, organizzati in diversi ordini di terrazzo nei settori intravallivi e nel margine appenninico, si immergono rapidamente verso NE nel sottosuolo della pianura dove si distinguono solo i 3 sub-sintemi superiori, costituiti dall'alternanza ciclica di argille organiche, limi, sabbie e ghiaie di ambiente alluvionale, poggianti su AES indifferenziato di ghiaie amalgamate (Figura 12).

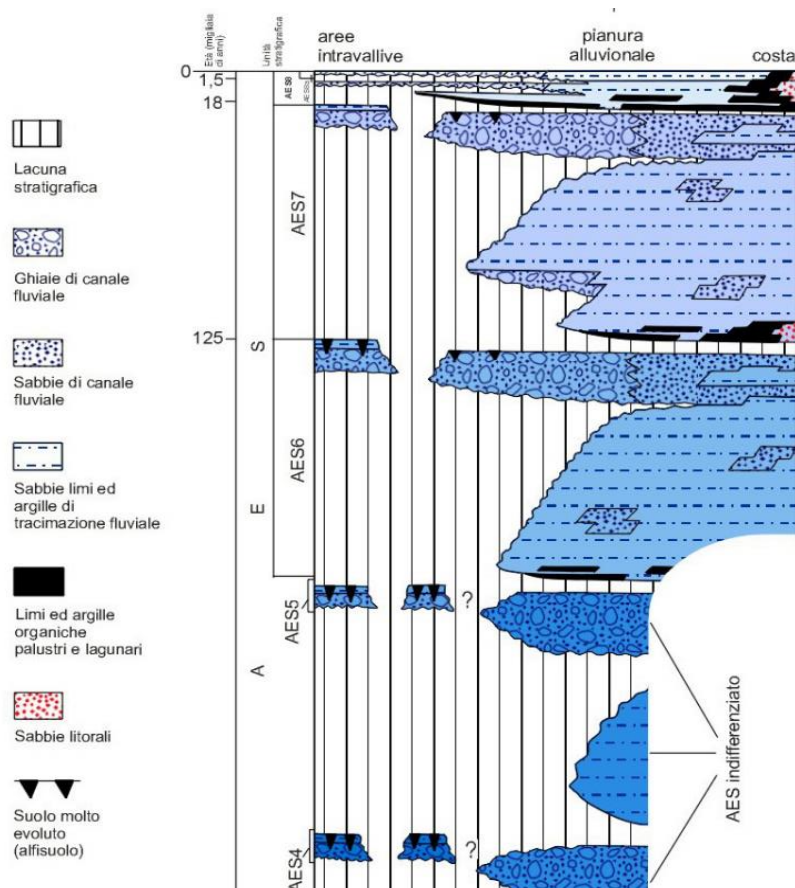


Figura 12. Schema cronostratigrafico del sistema emiliano-romagnolo superiore, AES (Note III. C.G.I. Foglio 255).

### 2.3.2.b La pianura alluvionale

In pianura affiorano i depositi di tetto del Subsistema di Ravenna (AES<sub>8</sub>), che a luoghi è definito dall'unità di rango gerarchico inferiore definita Unità di Modena (AES<sub>8a</sub>)<sup>9</sup>. Studi recenti sui depositi che formano le successioni oloceniche, hanno dimostrato una sequenza deposizionale controllata prevalentemente dall'eustatismo e da fluttuazioni climatiche associate all'influenza della subsidenza, legata sia a cause tettoniche profonde sia alla compattazione dei sedimenti plio-quaternari<sup>10</sup>. In particolare l'AES<sub>8</sub> è caratterizzato dalla rapida risalita eustatica, avvenuta negli ultimi 18.000 anni circa, legata allo sviluppo di livelli di argille organiche e torbe. La tendenza trasgressiva si interrompe temporaneamente durante l'intervallo freddo dello Younger Dryas (12.500-11.000 anni), che fu probabilmente associato ad una stabilizzazione del livello eustatico e ad una riattivazione dei sistemi deposizionali alluvionali. Questa fase fredda fu seguita dall'ultimo rapido episodio di innalzamento eustatico il cui sistema trasgressivo è limitato dalla superficie di massima ingressione marina datata a circa 5.500 anni.

<sup>9</sup> Depositi fluviali intravallivi e di piana alluvionale, costituiti da ghiaie, sabbie, limi ed argille di canale fluviale, argine e, localmente, di piana inondabile. Limite superiore sempre affiorante che caratterizza suoli calcarei, si caratterizza per l'assenza di reperti archeologici romani. Spessore massimo 3-4 metri. Età: post-romana (IV-VI sec. d.C. – Attuale).

<sup>10</sup> Nell'ultimo secolo il tasso di subsidenza della fascia pedecollinare e della pianura romagnola è cresciuto notevolmente per cause antropiche (estrazione di idrocarburi ed acqua dal sottosuolo).



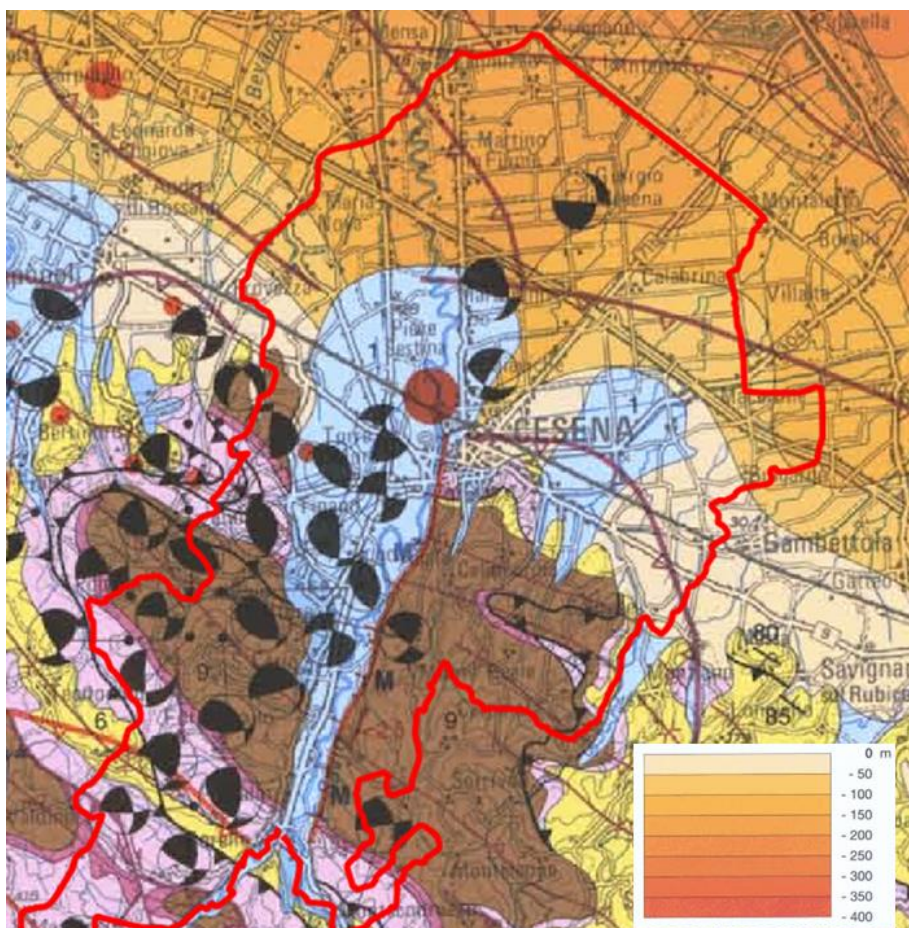


Figura 13. Stralcio della Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna in scala 1:250.000 (Boccaletti *et al.*, 2004b). Nell'area di pianura (in arancione) sono indicate le isobate di profondità, rispetto al livello del mare, della base del Sub-sistema Emiliano Romagnolo superiore.

## 4. BASE DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

### 4.1 Indagini esistenti e di nuova acquisizione

Nel Comune di Cesena sono state recuperate 425 indagini geofisiche volte alla definizione della velocità delle onde sismiche di taglio ( $V_s$ ) nel sottosuolo e/o alla misurazione delle frequenze di risonanza, di cui 378 pregresse e 52 di nuova acquisizione. In particolare, sono state raccolte:

- 313 prove sismiche a stazione singola elaborate con tecnica H/V. Di queste, 276 erano pre-esistenti mentre 37 sono state effettuate appositamente per questo studio e sono state ripetute in ciascun sito per 2 volte,
- 96 prove sismiche multicanale basate su onde di superficie (ReMi, MASW, ESAC ecc. Si veda pag. 30 per le definizioni). Di queste, 81 erano pre-esistenti mentre 15 sono state effettuate appositamente per questo studio,
- 1 prove cross-hole,
- 4 prove down-hole,
- 11 prove sismiche a rifrazione o tomografiche in onde S.

Tutti gli elaborati raccolti sono stati rianalizzati al fine di assicurare una omogeneità interpretativa e sono state scartate o rielaborate e reinterpretate le prove la cui elaborazione o interpretazione non



era chiara o era nettamente sovra interpretata. L'elenco sovrastante è già decurtato delle prove scartate. Il numero di prove effettivamente utilizzate ai fini del presente studio è riassunto in Tabella 1 e la loro ubicazione è indicata in Figura 14 (tutte le prove preesistenti) e Figura 15 (solo indagini geofisiche nuove).

Tipo di prova	Numero
H/V	313
Multicanale a onde di superficie	96
Cross-hole	1
Down-hole	4
Tomografia sismica o rifrazione	11

Tabella 1. Numero e tipo di prove geofisiche effettivamente impiegate per la MZS del Comune di Cesena. Le prove che presentavano chiari dubbi esecutivi o interpretativi sono state scartate o rianalizzate e reinterpretate.

## 4.2 Profondità delle indagini

Per ciascuna prova è stata rivalutata la profondità raggiunta dall'indagine. Mentre questa è 'scontata' nel caso delle prove in foro, essa appare più difficile da definire per le prove in superficie.

Per le prove sismiche multicanale a onde di superficie la profondità di indagine è compresa tra  $\frac{1}{2}$  e  $\frac{1}{3}$  della lunghezza d'onda massima riconoscibile negli spettri di velocità di fase delle onde di superficie. Pertanto si è proceduto ad effettuare questo conteggio a partire dai dati acquisiti, ignorando i valori di  $V_s$  a profondità maggiori che spesso sono riportati nelle relazioni tecniche per la necessità di fornire dati fino a 30 m, indipendentemente dal fatto che l'indagine fosse davvero stata in grado di raggiungerli.

Per le prove sismiche passive a stazione singola (in lilla in Figura 16) si è convenzionalmente stabilito che quelle riportanti informazioni fino a 1 Hz (limite inferiore) sono riconducibili ad una profondità indicativa di 100 m, quelle riportanti informazioni fino a 0.5 Hz sono riconducibili ad una profondità indicativa di 500 m e quelle riportanti informazioni fino a 0.1 Hz sono riconducibili ad una profondità indicativa di 1 km.

L'istogramma delle profondità raggiunte dalle prove in foro e di superficie è riportato in Figura 16.

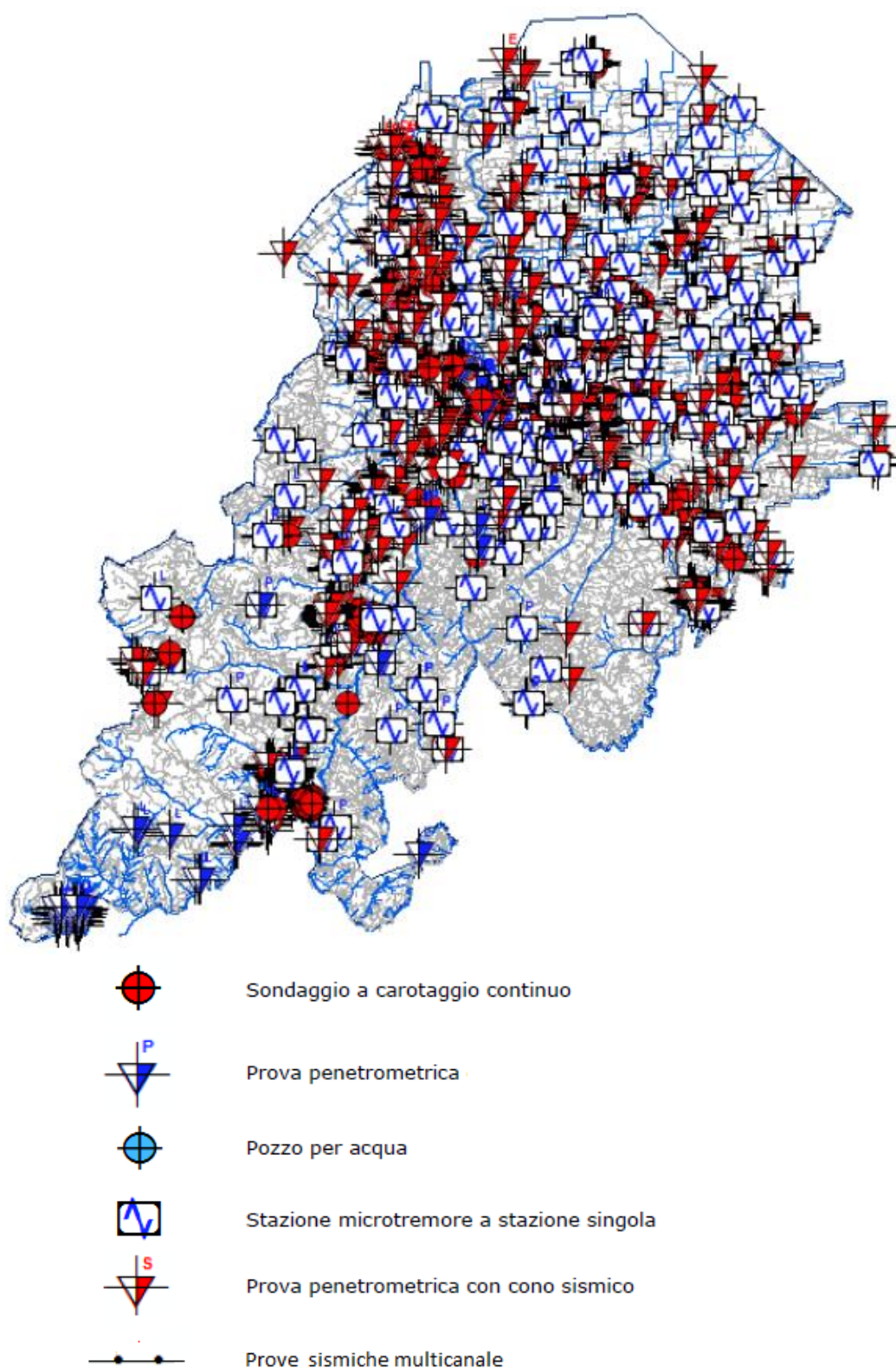


Figura 14. Ubicazione delle indagini esistenti, anteriori al 2013, nel Comune di Cesena. La legenda comprende solo le prove più comuni. Per i dettagli e i simboli mancanti si consulti la carta delle indagini allegata al presente lavoro.

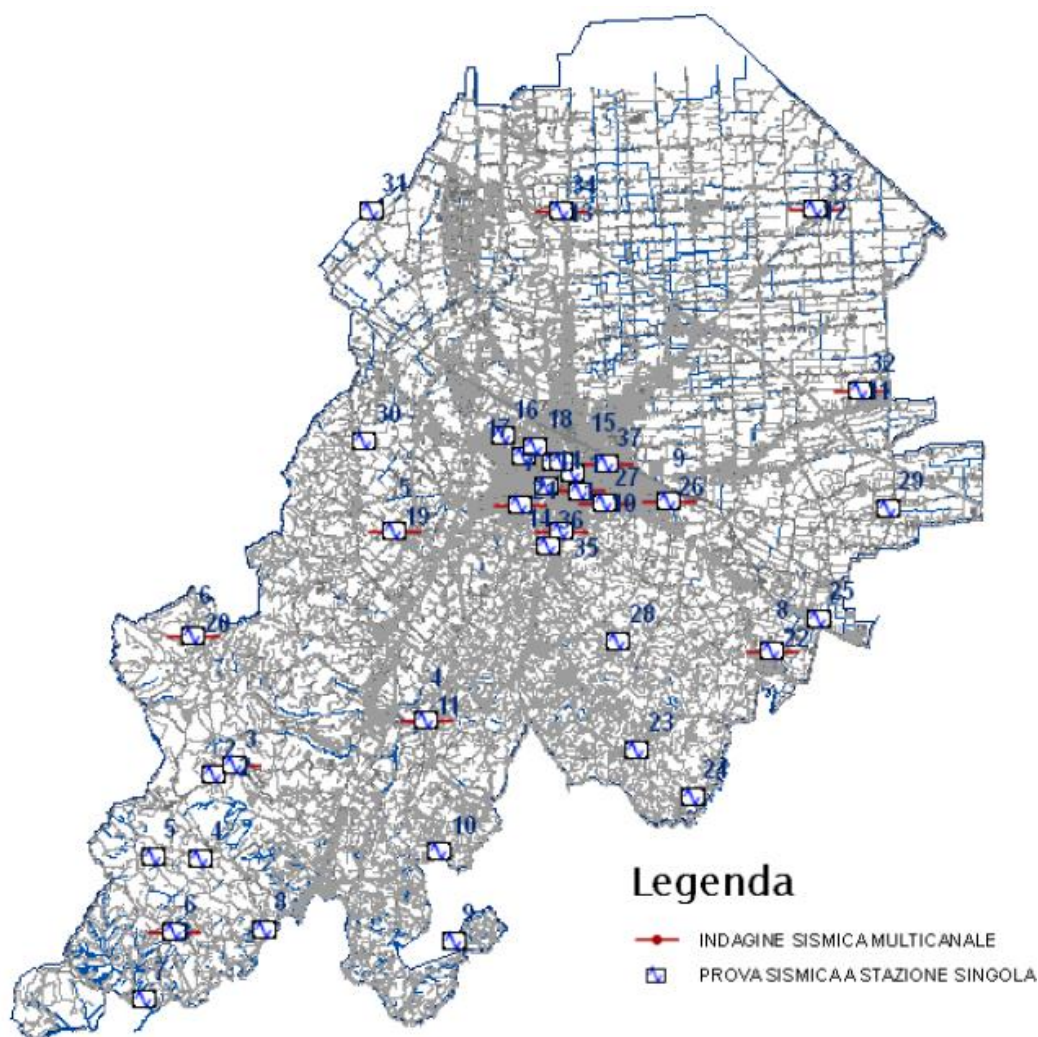


Figura 15. Ubicazione delle indagini geofisiche di nuova esecuzione (2013) e loro numerazione. Le prove sismiche passive a stazione singola sono indicate dal quadretto con la sinusoide blu, le prove in array dalla linea orizzontale rossa. Nella carta è indicato il confine comunale (perimetro blu).

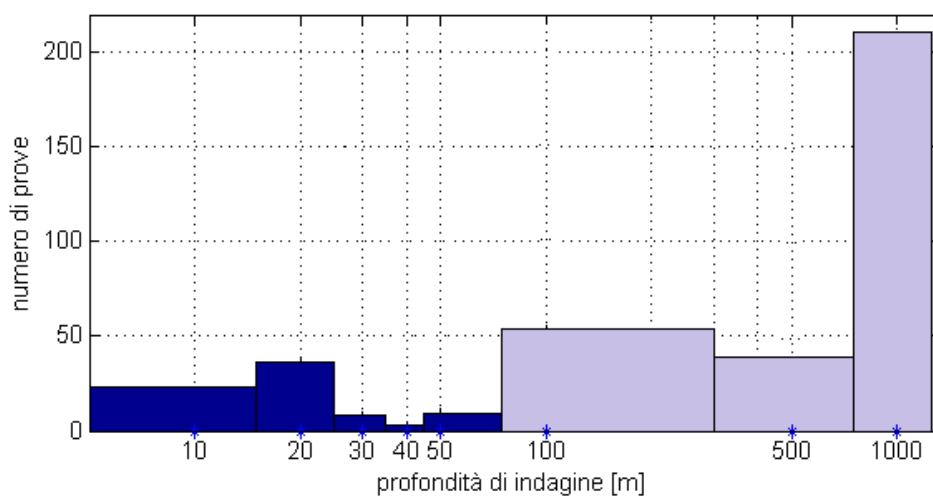


Figura 16. Istogramma delle profondità raggiunte dalle indagini in foro e di superficie. Tra queste le prove a stazione singola sono riportate in colore lilla e si è stabilito che le prove riportanti informazioni fino a 1 Hz (limite inferiore) sono riconducibili ad una profondità indicativa di 100 m, le prove riportanti informazioni fino a 0.5 Hz sono riconducibili ad

una profondità indicativa di 500 m e le prove riportanti informazioni fino a 0,1 Hz sono riconducibili ad una profondità indicativa di 1 km.

## 5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO

In sintesi, la parte settentrionale del Comune di Cesena è caratterizzata da una ampia fascia di depositi alluvionali costituiti da ghiaie, sabbie e limi che da Borello si spingono fin oltre Cesena secondo una forma a ventaglio, costituita dalla conoide alluvionale del fiume Savio. La dimensione granulometrica diminuisce da monte (zona sud-occidentale) a valle (zona nord-orientale) ed è possibile distinguere una zona di:

- alta conoide, comprendente le frazioni di Borello, S. Carlo, S. Vittore e S. Mauro, con un sottosuolo prevalentemente ghiaioso e sabbioso ricoperto da alluvioni più fini (limi e sabbia);
- bassa conoide a nord della via Emilia comprendente le frazioni di Pievesestina, Martorano, Ronta, S. Andrea in Bagnolo, dove i sedimenti più grossolani (ghiaie e sabbie) sono ad oltre 30 metri di profondità.

All'interno di questa fascia si distinguono diversi elementi geomorfologici collegati e interagenti, quali l'alveo fluviale, i terrazzi alluvionali di vari livelli (è sui terrazzi alluvionali intermedi che si sviluppa buona parte dell'abitato di Cesena) e le conoidi alluvionali minori. Queste ultime compaiono nelle zone di raccordo fra i terrazzi alluvionali di fondovalle e il rilievo collinare e si formano allo sbocco di valli laterali (Antolini, 2005).

Dal punto di vista dell'amplificazione sismica stratigrafica attesa, poiché questa è generata dalla presenza di contrasti di impedenza nel sottosuolo (che determinano intrappolamento e interferenza delle onde negli strati teneri), gli effetti maggiori in quest'area sono attesi nelle zone dei terrazzi medi e alti, di alta conoide e, più in generale, dove coperture fini limoso-sabbiose sono succedute, a qualche metro o decina di metri di profondità, da ghiaie o da strati assimilabili a bedrock sismico. Questo assetto determina amplificazione per risonanza nella fascia di medio-alta frequenza (sopra 2 Hz).

In tutta la fascia centro-settentrionale del Comune (area di pianura), uno strato assimilabile a bedrock sismico appare posizionato alla base del Sistema Emiliano-Romagnolo, ad una profondità dell'ordine dei 100 m (Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna, 2004). Questo determina amplificazione per risonanza nella banda 0.7-1.5 Hz.

In tutta la zona si registra amplificazione per risonanza anche a frequenze minori (0.3 Hz circa), valore che si osserva in una ampissima fascia della Pianura Padana e che è imputabile alla risonanza propria a grande scala del bacino Padano stesso.

Nella frazione centro-meridionale del territorio comunale di Cesena affiorano invece rocce di origine sedimentaria costituite da alternanza pelitico-arenitica e, in percentuale molto ridotta, evaporiti carbonatico-gessose e conglomerati (Antolini, 2005). La Formazione Marnoso-Arenacea, di età Langhiano-Messiniano inferiore, costituita da arenarie, siltiti, marne torbiditiche e marne emipelagiche, compare nella frazione meridionale del territorio comunale ed esattamente nelle unità litostratigrafiche recenti costituite dal Membro di Dovadola, Membro di Modigliana, Membro di Castel del Rio, Membro di Fontanelice e Membro di Borgo Tossignano.

È praticamente assente la Formazione Gessoso-Solfifera vera e propria, osservabile invece in adiacenti aree dell'Appennino Emiliano-Romagnolo, mentre è presente la Formazione a Colombacci, talora coinvolta in sconvolgimenti legati alla fase tettonica intramessiniana.

In tutti i casi si tratta di rocce sedimentarie di media rigidità ( $V_s \approx 400-500$  m/s nelle prime decine di metri) che possono essere assimilate a bedrock sismico poco rigido e danno origine solo a modeste amplificazioni per risonanza stratigrafica. Va sottolineato però che in alcuni ambiti montani (es. località Case la Tomba, Case Venzi) si osservano ugualmente grandi amplificazioni legate a spessori consistenti di coperture a bassa rigidità sovrastanti il bedrock. La carta geologico-tecnica prodotta ai fini della microzonazione sismica è data in Figura 18.

Le misure H/V condotte suggeriscono la suddivisione nel territorio in 5 zone a comportamento sismico distinto la cui perimetrazione è illustrata in Figura 19 e le cui caratteristiche sono descritte nel seguito. Una ulteriore zona è stata creata per delimitare la collina della Rocca Malatestiana, dove è possibile un aggravio di amplificazione per effetto topografico.

### **5.1 Frane**

Le litologie affioranti nel territorio comunale di Cesena sono, per loro natura, poco stabili. Le stratificazioni tipiche della FMA con intercalazioni pelitiche favoriscono movimenti traslativi in versanti a franapoggio mentre i pendii a reggipoggio possono facilmente andare incontro a crolli di blocchi dai livelli marnoso-arenacei. Le formazioni meno competenti come le facies argillose delle FCO e FAA sono invece spesso interessate da erosione diffusa di tipo calanchivo e dissesti gravitativi complessi (movimenti rotazionali-traslazionali, flussi lenti, creep, colate, ecc.). L'individuazione delle aree soggette ad instabilità per frana è stata fatta basandosi sulla Carta del Dissesto Idrogeologico della R.E.R. (Figura 17).

### **5.2 Detriti di versante**

Sono depositi essenzialmente di origine eluviale e/o colluviale che si ritrovano spesso abbondanti nelle zone di impluvio, specialmente quelle meno acclivi, dove raggiungono spessori anche superiori a 10 m. Condizionano in modo evidente l'evoluzione geomorfologia e in particolare la genesi dei movimenti franosi. Hanno inoltre rilevanza locale anche notevole per quanto riguarda l'amplificazione locale del moto sismico.

### **5.3 Aree soggette a liquefazione del terreno**

Sono soggetti a liquefazione quei terreni di recente deposizione fluviale a matrice sabbiosa medio-fine, saturi e non addensati. Queste caratteristiche si possono trovare lungo le fasce fluviali soggette nel vicino passato a eventi di tracimazione e rotta con modificazioni frequenti del corso fluviale. La fascia più ampia nell'ambito comunale si trova lungo il basso corso del Savio oltre che del Rio Pisciatello (Figura 17).



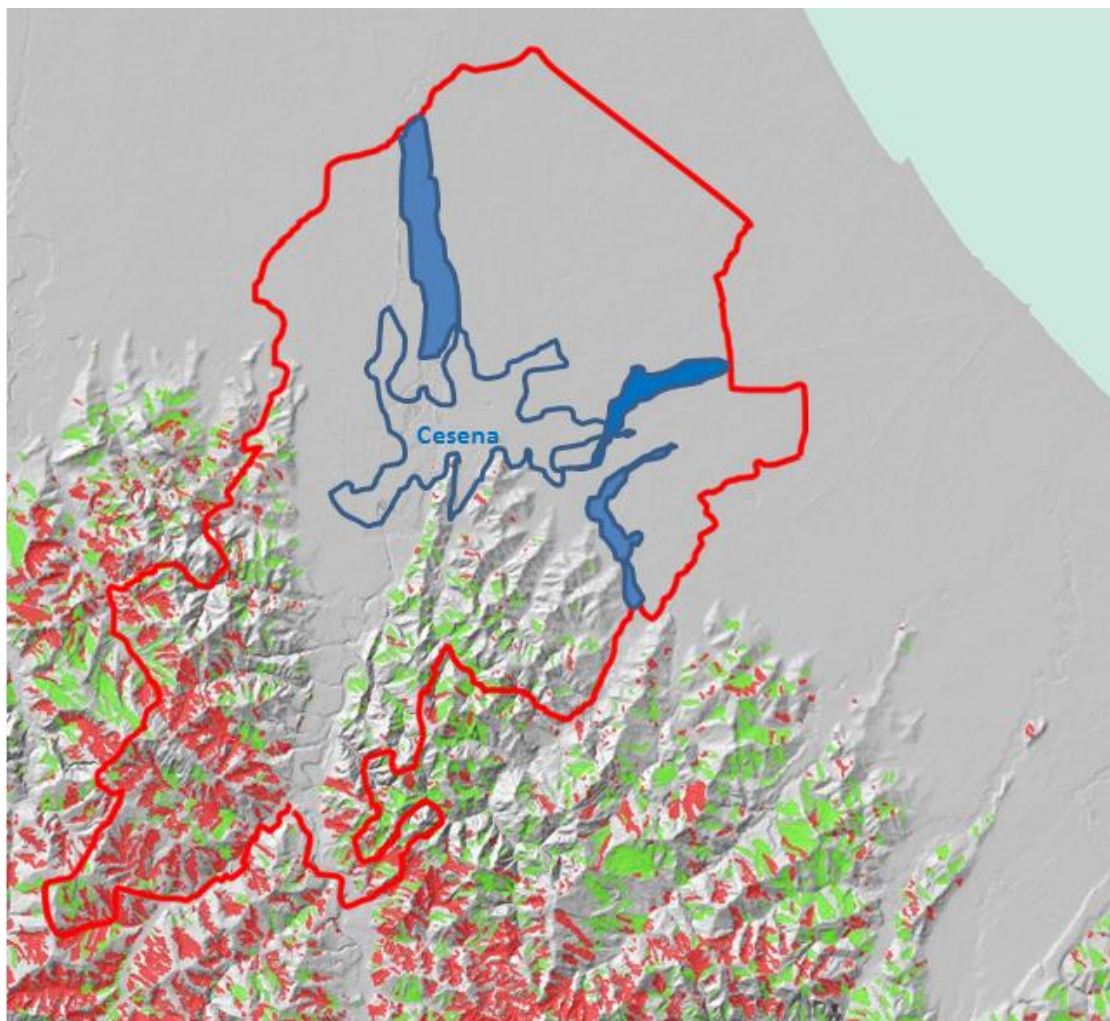
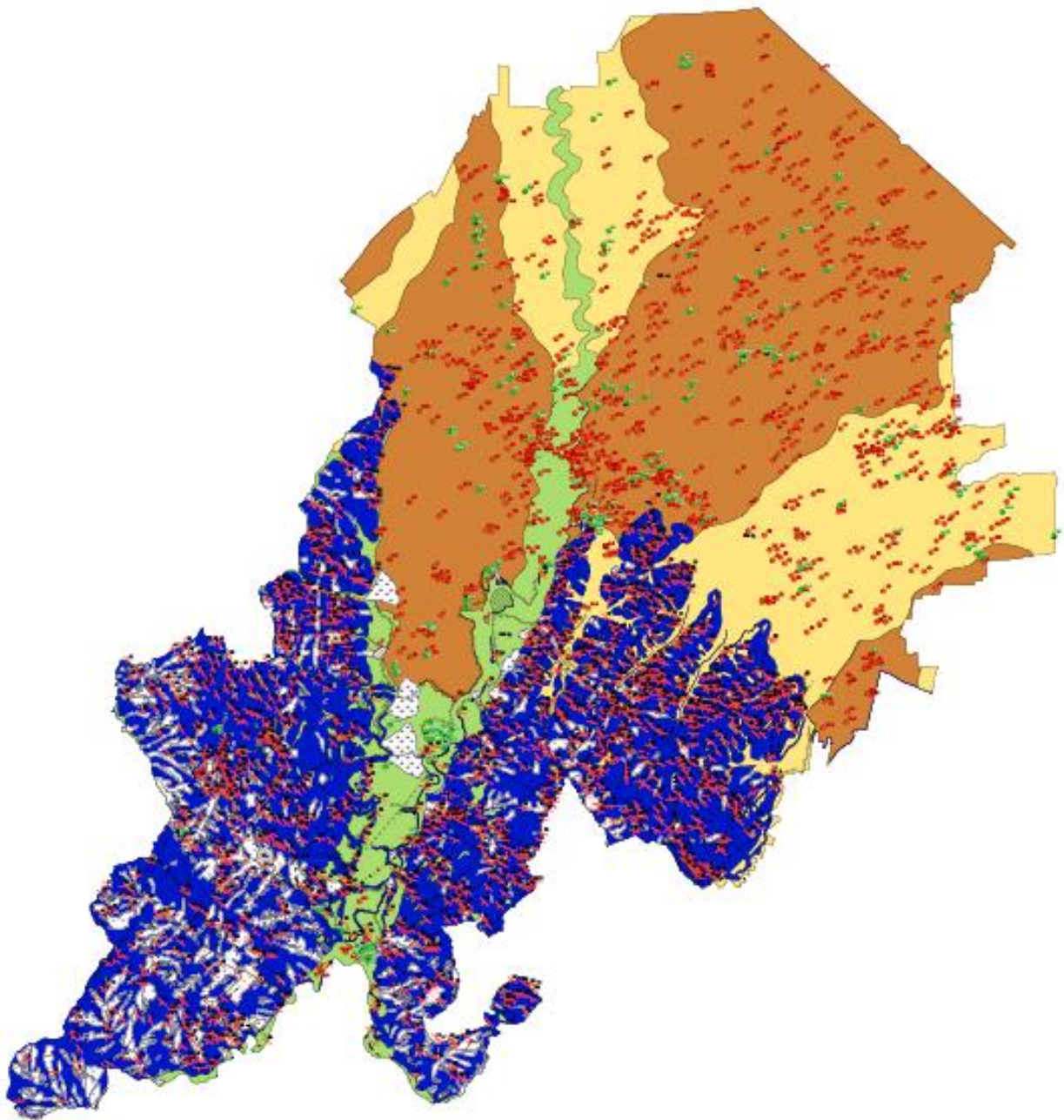
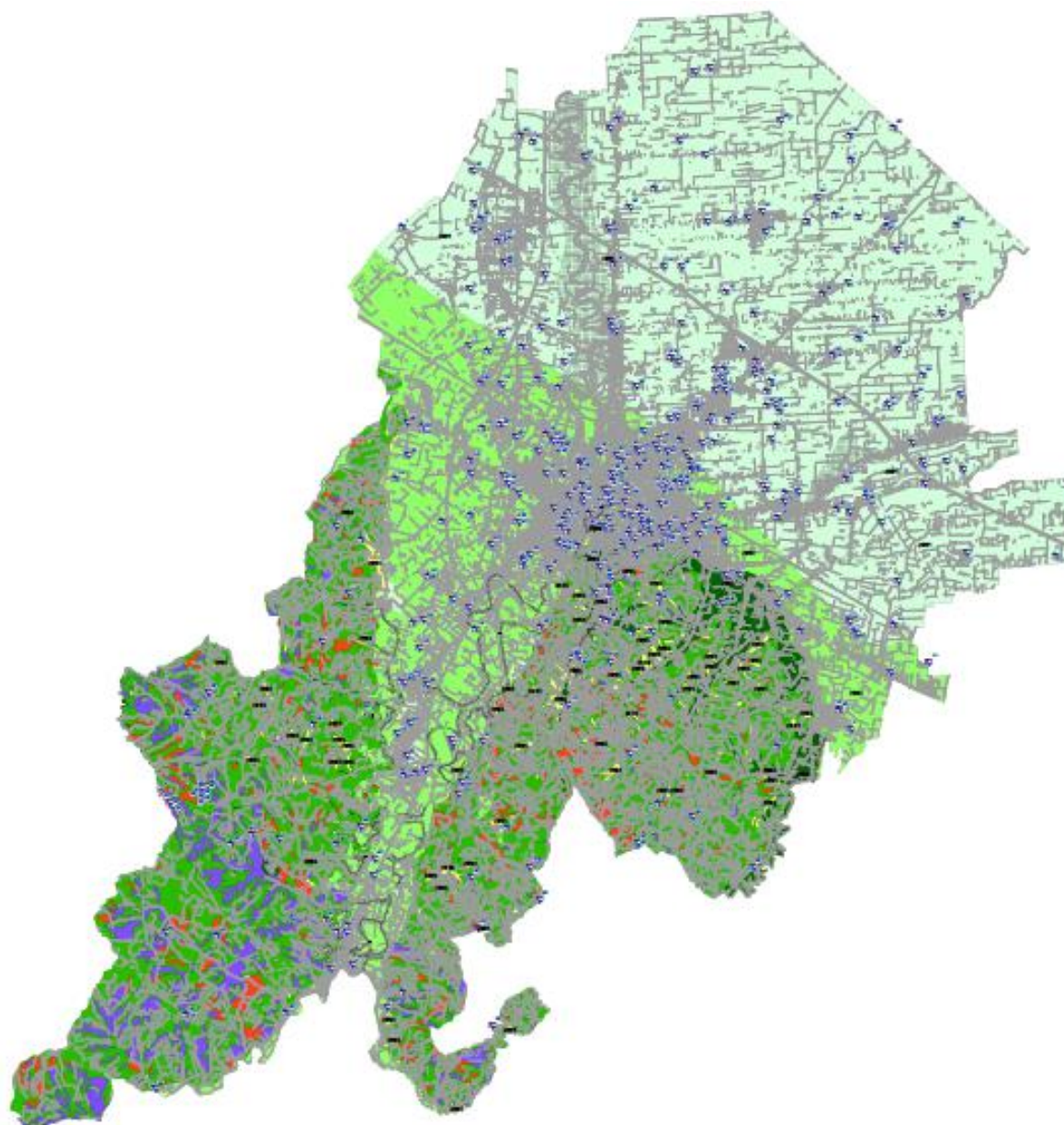


Figura 17. Carta dei fenomeni di instabilità. In verde le frane stabilizzate o quiescenti, in rosso le frane attive, in blu le aree potenzialmente suscettibili di liquefazione del terreno (stralcio della Carta del Dissesto Idrogeologico della Regione Emilia-Romagna, tratta dal sito web della regione, modificata).



	Substrato geologico non rigido, stratificato (vari membri della Formazione Maronoso-Arenacea, formazione a Colombacci ecc.)
	Depositi alluvionali terrazzati intermedi e alti
	Terreni di copertura prevalentemente limosi
	Terreni di copertura prevalentemente sabbiosi

Figura 18. Carta geologico-tecnica prodotta ai fini della microzonazione sismica di I livello. Per i dettagli non indicati nella legenda si consulti la carta allegata.



	Zona 1 – Pianura
	Zona 2 – Intermedia
	Zona 3 – Fascia appenninica
	Zona 4 – Terrazzi intravallivi
	Zona 5 – Depositi di versante
	Zona di amplificazione topografica
	Zone suscettibili di instabilità gravitativa (attiva/quiescente)
	Zone suscettibili di liquefazione

Figura 19. Perimetri delle zone omogenee in prospettiva sismica denominate: 1) PIANURA, 2) INTERMEDIA, 3) FASCIA APPENNINICA, 4) TERRAZZI INTRAVALLIVI, 5) DEPOSITI DI VERSANTE.



## 6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

Le incertezze relative all'interpretazione dei dati sono indicate nel capitolo 7 (Metodologie di Elaborazione e Risultati), nel capitolo 8 (alla sezione Commenti) e nelle appendici alla fine di questo documento, dove sono illustrate le singole prove di nuova acquisizione.

## 7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

### 7. 1 Indagini di nuova acquisizione

Le indagini di nuova esecuzione sono state condotte nel mese di gennaio 2013 ed hanno riguardato i 52 punti indicati con la stella in Figura 15. In tutti i siti sono state condotte 2 prove sismiche a stazione singola alla distanza di 30-50 m l'una dall'altra, al fine di verificare l'omogeneità del sottosuolo indagato e la sussistenza di condizioni 1D necessarie per interpretare i dati acquisiti secondo tecniche in array.

In 15 dei 52 siti sono state condotte anche indagini sismiche attive e passive in array ed in particolare:

- 1) prove attive MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves, Park *et al.*, 1999),
- 2) prove passive ReMi<sup>TM</sup> (Refraction Microtremor, Louie, 2001),
- 3) prove passive ESAC (Extended SpatialAutoCorrelation, Ohori, 2002).

Le indagini effettuate permettono:

- a. di stimare la velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) dei terreni a partire dalla velocità delle onde di superficie (Rayleigh nel caso del presente studio). La velocità delle onde di taglio è legata alla rigidità  $\mu$  dei terreni tramite la formula:  $\mu = \rho V_s^2$ , dove  $\rho$  è la densità. Poiché la densità dei suoli varia relativamente poco con la profondità (almeno nelle prime decine di metri), dalla formula si evince che i valori di  $V_s$  sono i primi indicatori della rigidità di un terreno,
- b. di misurare le frequenze di risonanza dei terreni e, tramite opportuna modellazione vincolata, di ricostruire una stratigrafia sismica.

Le prove 1), 2) e 3) permettono la ricostruzione di una stratigrafia sismica monodimensionale (1D) sotto la sezione indagata mentre la prova sismica a stazione singola dà una risposta maggiormente locale rispetto alla verticale di misura (sono indicativamente visibili riflettori/variazioni di dimensioni maggiori di  $\lambda$ , secondo la legge  $\lambda f = V$ , dove  $\lambda$  è la lunghezza d'onda esplorante e  $f$  la frequenza dell'onda esplorante il sottosuolo).

Il tipo di stratigrafia che le tecniche sismiche possono restituire si basa sul concetto di *contrasto di impedenza*. Per *strato* si intende cioè un'unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto di impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

## 7.2 Strumentazione impiegata e geometrie

*Per la sismica passiva a stazione singola:* le misure di microtremore ambientale sono state effettuate per mezzo di due tromografi digitali portatili progettati specificamente per l'acquisizione del rumore sismico. Ciascuno strumento (*Tromino*<sup>®</sup>, MoHo srl) è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) ortogonali. I dati di microtremore ambientale, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti per 12-15 min in ciascun sito alla frequenza di campionamento di 128 Hz.

*Per la sismica in array:* si è impiegato un array digitale (*SoilSpy Rosina*, MoHo srl), collegato a geofoni verticali a frequenza propria di 4.5 Hz. La digitalizzazione del segnale avviene direttamente sui geofoni, il che elimina la possibilità di fenomeni di cross-talk lungo il cavo, migliorando il rapporto segnale-rumore. Le acquisizioni sono state condotte a frequenza di campionamento di 512 Hz. La spaziatura tra ricevitori utilizzata per le misure è stata di 3-5 m.

Tutte le indagini sono state effettuate su terreno naturale o comunque evitando pavimentazioni, lastricati e simili onde evitare il loro effetto di depressione delle componenti spettrali orizzontali (Castellaro e Mulargia, 2009b).

## 7.3 MASW, ReMi<sup>TM</sup> ed ESAC

Le tre tecniche vengono presentate insieme, stanti le similitudini di processing dei dati e dei risultati che possono fornire. Per le prove MASW si è energizzato in testa allo stendimento, alla distanza di almeno 4 m dai geofoni di testa e di coda. La sorgente sismica utilizzata è consistita nella caduta di un grave (salto dell'operatore o battuta con mazza da 5 kg) ed è stata ripetuta per 3 volte. La durata della registrazione è stata di 2 s a partire dal superamento del valore di soglia.

Per le prove ReMi<sup>TM</sup> ed ESAC il microtremore sismico ambientale è stato acquisito per 4-6 min consecutivi. L'analisi è stata condotta su segmenti di 10 s di durata.

Le serie temporali multicanale ottenute dalle tre tecniche sono state elaborate nel dominio frequenza-velocità di fase al fine di discriminare l'energia associata alle onde di Rayleigh.

Per ogni prova, le curve di dispersione della velocità di fase dell'onda di Rayleigh saranno rappresentate da un grafico a contour (MASW e ReMi<sup>TM</sup>) o da punti (ESAC). La propagazione delle onde di superficie è multimodale e i grafici a contour permettono di coglierne questo aspetto mentre l'analisi ESAC fornisce un solo valore per ogni frequenza e non permette di cogliere questo aspetto.

In tutte le prove, la curva di dispersione teorica che meglio approssima quella sperimentale sarà indicata da dei punti azzurri e sarà ottenuta dal fit congiunto di prove in array e H/V.

A partire dalla legge fisica  $\lambda f = V$  (ove  $\lambda$  è la lunghezza d'onda,  $f$  la frequenza e  $V$  la velocità) e considerato che la capacità di penetrazione nel sottosuolo di questi metodi in array è all'incirca  $\lambda / 2$ , si può stabilire la profondità indicativa raggiunta dalla prova. Tali valori sono riportati nell'Appendice B. È noto che le prove in array (soprattutto attivo) hanno una scarsa capacità di penetrazione e smettono di essere interpretabili tipicamente in presenza di forti contrasti di impedenza (ossia là dove le curve H/V mostrano dei picchi) o di inversioni di velocità.

Nella maggior parte dei casi di questo studio la profondità raggiunta da queste prove è dell'ordine dei 18-20 m. Quando il profilo di velocità  $V_s$  fornito supera la capacità di penetrazione dell'array, significa che la restante parte del modello di sottosuolo è stata derivata dal fit congiunto di prova H/V e prove in array.

#### **7.4 Misure in campo libero a stazione singola**

La tecnica H/V è la tecnica dedicata quando si vogliono mettere in luce le frequenze di risonanza dei terreni. Dalle registrazioni del rumore sismico ambientale su terreno sono state ricavate le curve H/V, secondo la procedura classica, descritta per esempio in SESAME (2005), con parametri:

- larghezza delle finestre d'analisi 20 s,
- lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale,
- rimozione dei transienti sulla serie temporale degli H/V.

Per tutti i siti in cui è stata condotta una indagine in array, la curva H/V teorica derivante dal fit congiunto di prove in array e H/V sarà illustrata in azzurro, sovrapposta alla curva H/V sperimentale. Per tutti i siti sarà mostrato anche il confronto tra le curve H/V sperimentali registrate a circa 30-50 m di distanza l'una dall'altra al fine di controllo incrociato della qualità delle misure e di verifica dell'assetto 1D dell'area indagata.

Per ogni sito saranno presentati anche gli spettri di ampiezza (in velocità) delle singole componenti del moto di una delle due prove H/V poiché solo da questi è possibile distinguere la natura (stratigrafica o antropica) dei picchi H/V. Infatti, una risonanza di origine stratigrafica è sempre rappresentata da un minimo locale della componente verticale mentre un picco H/V di origine artefattuale presenterebbe un massimo stretto, anche con ampiezza diversa, su tutte e tre le componenti (Castellaro e Mulargia, 2010).

L'ubicazione delle prove di nuova acquisizione e la loro numerazione è riportata in Figura 15.

## 7.5 ZONA DI PIANURA (1)

Questa zona (azzurro in Figura 19), ubicata prevalentemente a Nord del centro storico di Cesena, è caratterizzata da terreni a bassa velocità che mostrano un lento aumento con la profondità, senza contrasti di impedenza rilevanti ( $V_s < 200$  m/s in superficie,  $V_{s30} < 240$  m/s). Questo si traduce nella sostanziale assenza di picchi nelle curve H/V sopra 1.5 Hz.

In tutta l'area è invece riconoscibile una amplificazione delle curve H/V a 0.7-1.5 Hz, legata alla risonanza dei terreni fini sovrastanti uno strato rigido ( $V_s \approx 600$  m/s) posto a profondità variabile tra 80 e 150 m, interpretato come la base del Sistema Emiliano-Romagnolo superiore di età inferiore ai 0.45 Ma.

Un profilo tipico di  $V_s$  caratteristico di questa zona è mostrato in Figura 20 e una curva H/V tipica di questa zona è mostrata in Figura 21.

Le zone suscettibili di liquefazione sono indicate in color nocciola in Figura 19 e seguono sostanzialmente l'andamento degli alvei fluviali.

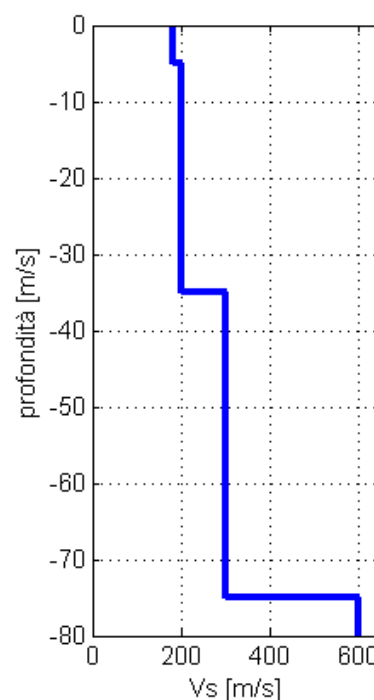


Figura 20. Tipico profilo di  $V_s$  misurabile nella zona denominata PIANURA.

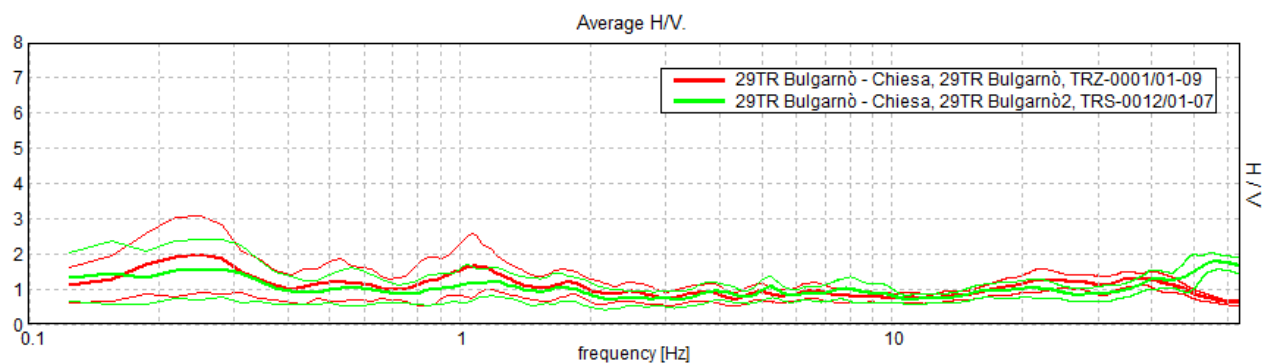


Figura 21. Tipico H/V misurabile nella zona denominata PIANURA.

## 7.6 ZONA INTERMEDIA (2) e ZONA DEI TERRAZZI INTRAVALLIVI (4)

Queste zone (verde chiaro e scuro in Figura 19) sono caratterizzate da alcuni metri (5-40 m) di terreni fini a bassa velocità ( $V_s \approx 200$  m/s) seguiti da terreni granulari più rigidi (sabbie e ghiaie nelle zone di terrazzo,  $V_s > 300$  m/s, strato assimilabile a bedrock nelle zone di conoide,  $V_s > 350$  m/s). Questa configurazione determina importanti amplificazioni per risonanza delle coperture fini a frequenze superiori a 2 Hz. I valori di  $V_{s30}$  si assestano tra 240 e 350 m/s).

In molti siti della porzione centro-settentrionale del territorio è ancora riconoscibile una modesta amplificazione delle curve H/V a frequenze di 0.7-1.5 Hz, legata alla risonanza delle coperture sovrastanti uno strato rigido ( $V_s \approx 600$  m/s) posto a profondità variabile tra 80 e 150 m.

Un profilo tipico di  $V_s$  caratteristico di queste zone è mostrato in Figura 22 e alcune curve H/V tipiche di questa zona sono mostrate in Figura 23.

Le due zone sono separate nella mappa delle zone omogenee in prospettiva sismica più per la genesi che per gli effetti ai fini dell'amplificazione sismica.

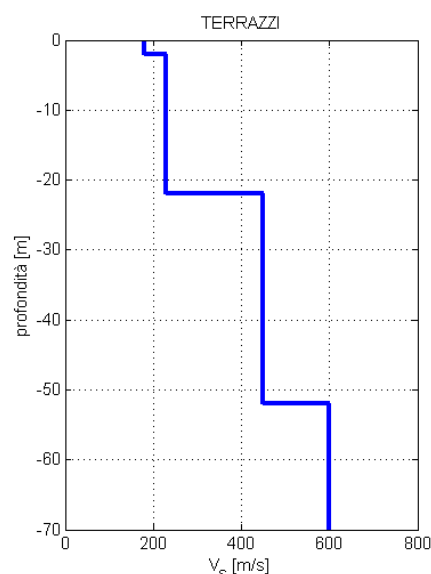


Figura 22. Tipico profilo di  $V_s$  misurabile nella zona INTERMEDIA (2) e DEI TERRAZZI INTRAVALLIVI (4).

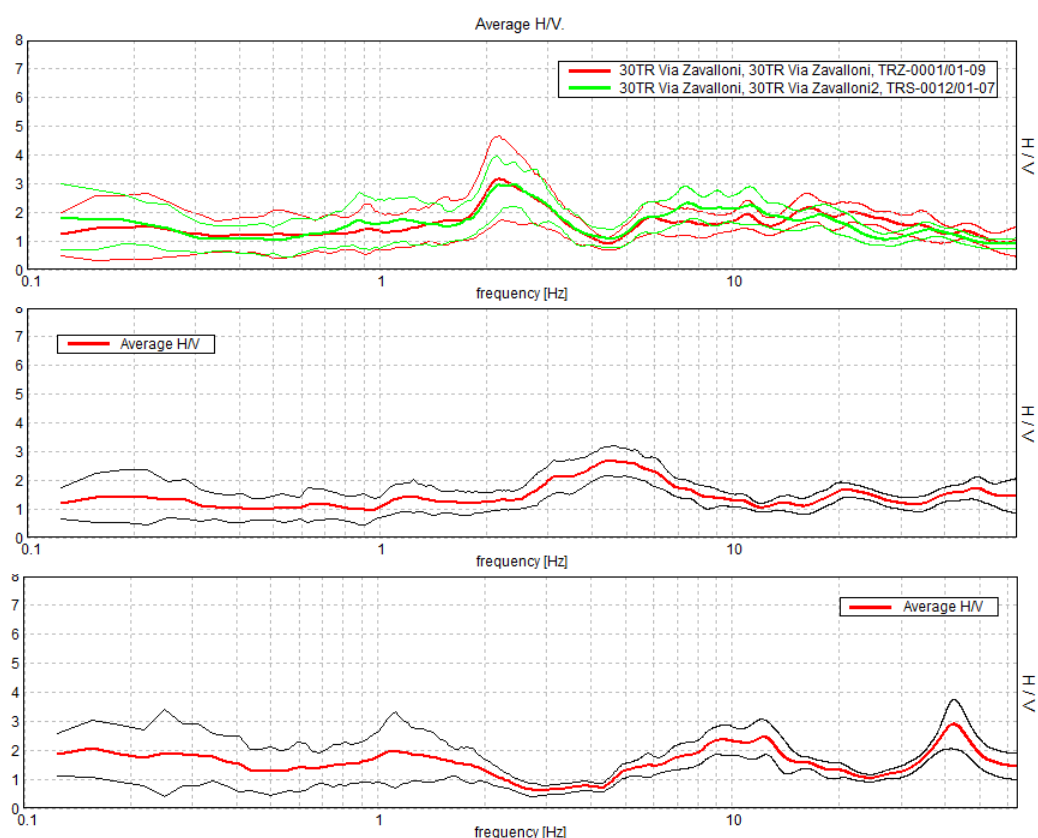


Figura 23. Tipici H/V misurabile nella zona denominata INTERMEDIA (2) e DEI TERRAZZI INTRAVALLIVI (4).

## 7.7 ZONA DELLA FASCIA APPENNINICA (3) e ZONA DEI DEPOSITI DI VERSANTE (5)

Queste zone (giallo e verde brillante in Figura 19), ubicate nella fascia centro-meridionale del territorio comunale, sono caratterizzate dalla presenza del bedrock sismico rispettivamente affiorante e sub-affiorante (diversi membri della Formazione Marnoso-Arenacea,  $V_s \approx 400-600$  m/s o della Formazione a Colombacci). In queste zone i valori di  $V_{s30}$  si assestano sopra i 300 m/s e  $V_{sH}$  si assesta tra i 200 e i 300 m/s.

La curva H/V risulta normalmente poco amplificata ma esistono alcune eccezioni notevoli (casi di coperture rilevanti) in cui si osserva elevata amplificazione in medio-alta frequenza.

Un profilo tipico di  $V_s$  caratteristico di questa zona è mostrato in Figura 24 e alcune curve H/V tipiche di questa zona sono mostrate in Figura 25.

Le aree suscettibili di instabilità gravitativa sono indicate in rosso e viola all'interno di Figura 19.

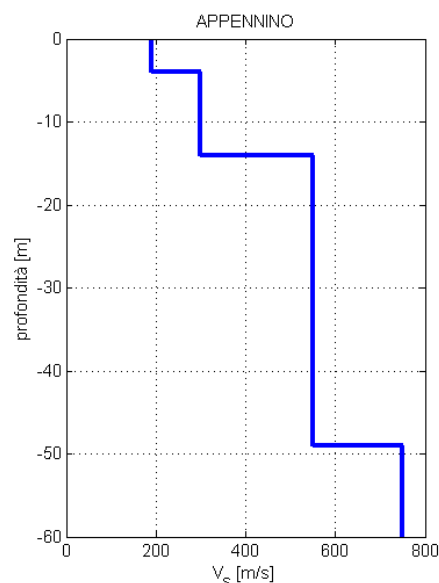
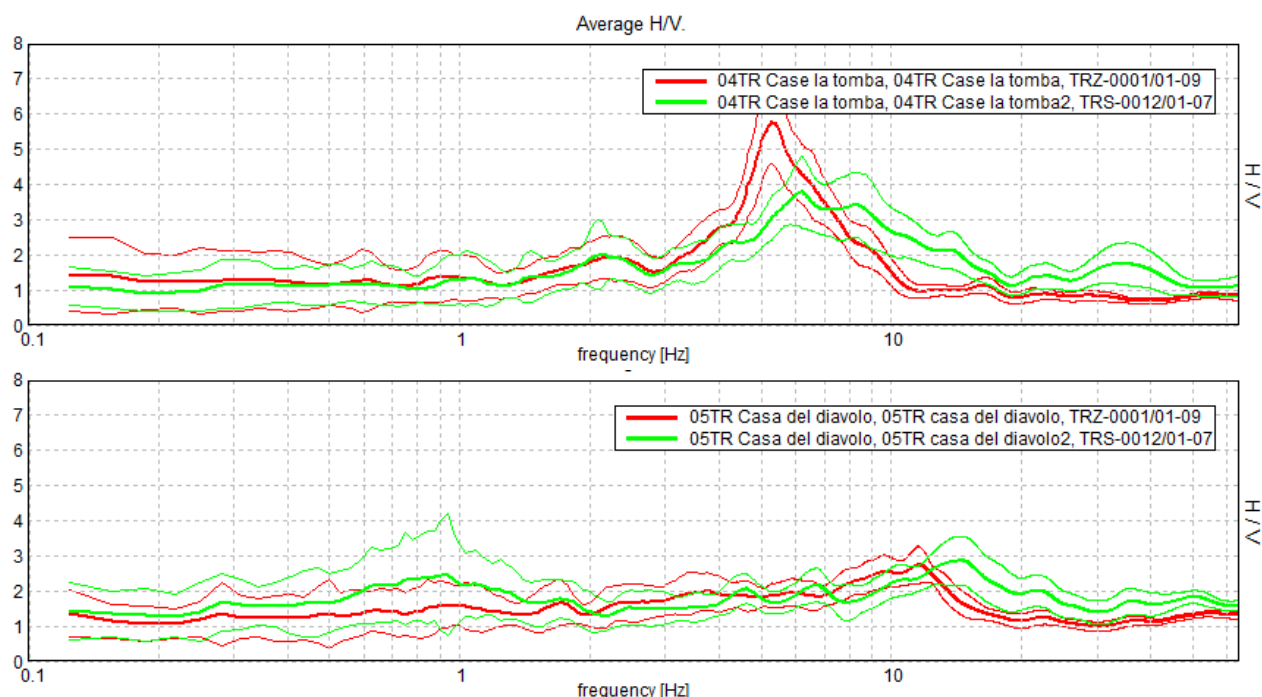


Figura 24. Tipico profilo di  $V_s$  misurabile nella zona FASCIA APPENNINICA (3) e ZONA DEI DEPOSITI DI VERSANTE (5).



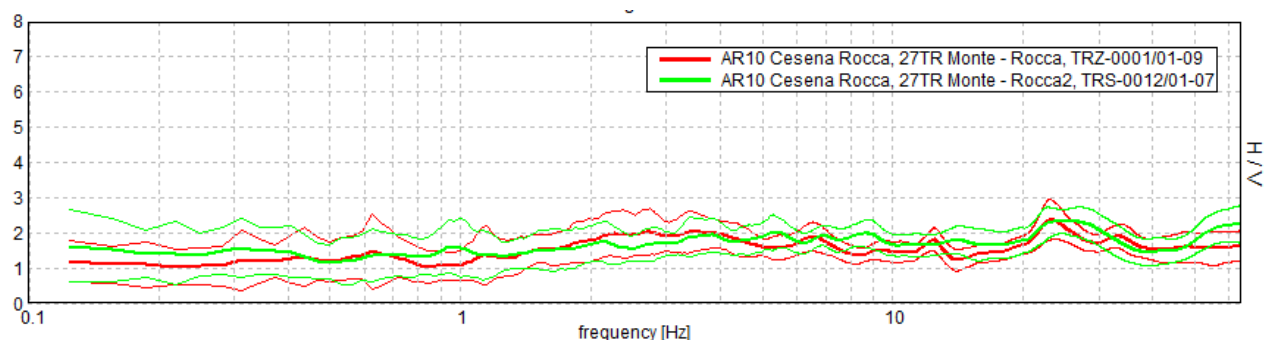


Figura 25. Curve H/V tipiche misurabili nelle zone denominate FASCIA APPENNINICA (3) e DEI DEPOSITI DI VERSANTE (5).

## 7.8 Analisi numerica di risposta sismica locale

Per ciascuna delle zone a comportamento sismico omogeneo individuate è stata condotta una valutazione degli effetti sismici di sito tramite procedure numeriche secondo lo schema seguente:

- 1) definizione del modello geotecnico di sottosuolo caratteristico della zona, attraverso indagini dirette e indirette (geofisiche),
- 2) selezione di 3 moti di input (terremoto “caratteristico”) al bedrock,
- 3) stima dell’amplificazione del moto in superficie rispetto al bedrock, in funzione della frequenza,
- 4) stima dello spettro di risposta dell’oscillatore armonico tipo (edificio) a un grado di libertà in termini di accelerazioni massime attese in funzione del periodo proprio della struttura per uno smorzamento assunto pari al 5%.

### PARTE 1: DEFINIZIONE DEL MODELLO DI SOTTOSUOLO

I modelli di sottosuolo caratteristici delle principali zone omogenee in prospettiva sismica sono stati già definiti in Figura 21-Figura 23 e sono riportati sovrapposti in Figura 26 per un più agevole confronto. Si sottolinea che i modelli sono da intendersi solo come mediamente caratteristici della zona ad essi associata e che localmente sono possibili deviazioni anche importanti da questi andamenti medi. Per nessun motivo pertanto i dati seguenti potranno essere impiegati per la progettazione sismica ma sono intesi per la sola pianificazione territoriale.

Per il calcolo degli spettri di accelerazione (orizzontale) attesi al sito si è usato il codice EERA (Equivalent-linear Earthquake site Response Analyses of Layered Soil Deposits di Bardet, Ichii e Lin, 2000).

Le curve di smorzamento associabili ai litotipi più

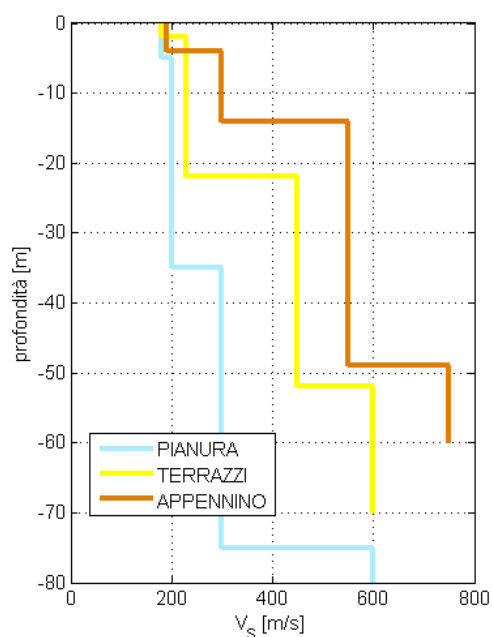


Figura 26. Profili di Vs caratteristici delle 3 zone omogenee in prospettiva sismica impiegati nella modellazione.

comuni (argilla, sabbia e bedrock) sono riportate in Figura 27.

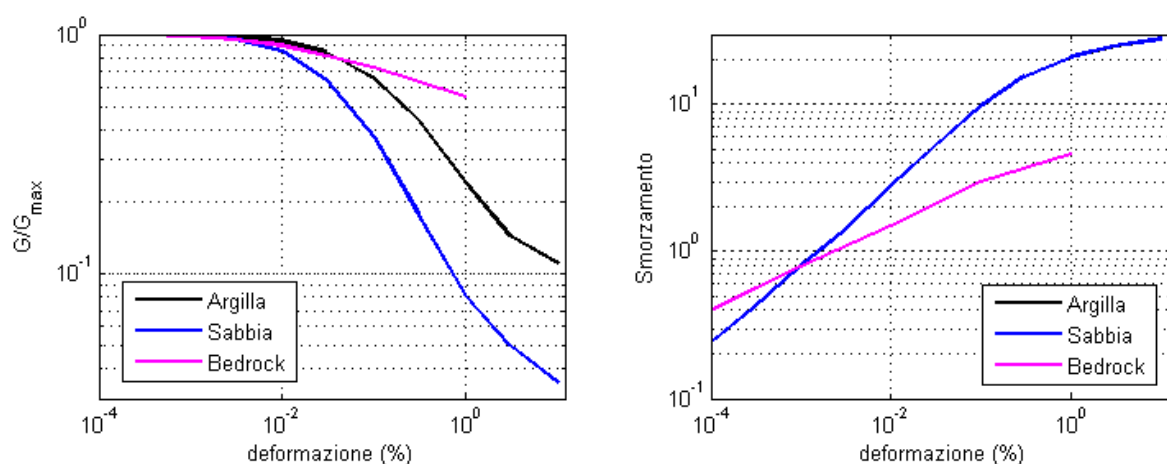


Figura 27. Curve di andamento del modulo di taglio e dello smorzamento (%) in funzione della deformazione per i diversi tipi di materiale usate in questo studio (da Seed e Idriss, 1970; Idriss, 1990).

## PARTE 2: FUNZIONE DI TRASFERIMENTO BEDROCK → SUPERFICIE E VALORI DI ACCELERAZIONE DI PICCO ATTESI IN SUPERFICIE

Si è proceduto a calcolare il moto atteso in superficie a partire da 3 accelerogrammi reali (componente orizzontale del moto, Figura 28) relativi ad un sito in roccia (A) con valore di accelerazione di picco  $|PGA_0| = 0.19 \text{ g}$ . Tale valore di  $PGA_0$  deriva dai dati imposti secondo le NTC (2008) per il Comune di Cesena e rappresenta il valore che ha il 10% di probabilità di essere superato in 50 anni.

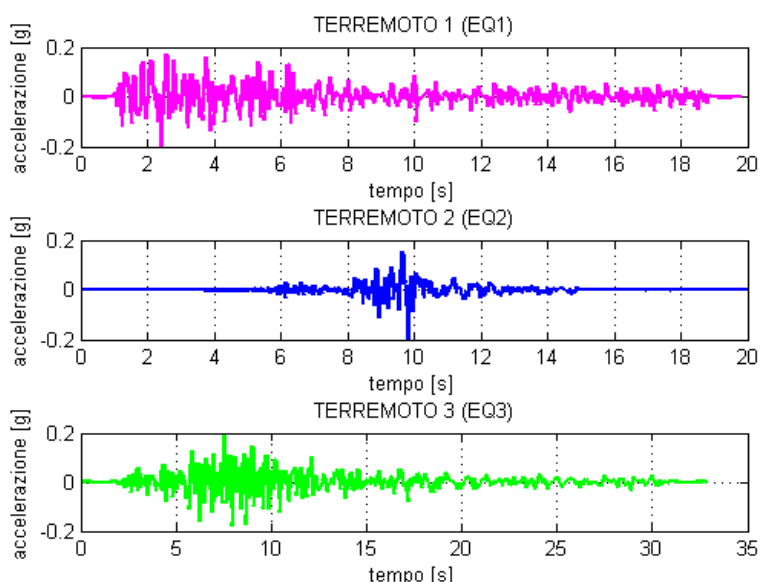


Figura 28. Accelerogrammi di input (al bedrock).  $|PGA_0| = 0.19 \text{ g}$ .

In Figura 29 si riporta il rapporto tra lo spettro dell'accelerogramma atteso al bedrock e quello atteso in superficie (funzione di trasferimento bedrock-superficie), in funzione della frequenza per le principali zone omogenee in prospettiva sismica. Emergono le caratteristiche attese e già osservate



nell'H/V, ossia amplificazione dominante a 0.8-1 Hz per i siti in pianura, amplificazione in media frequenza per i siti sui terrazzi e conoidi intermedi e alti e per i siti appenninici.

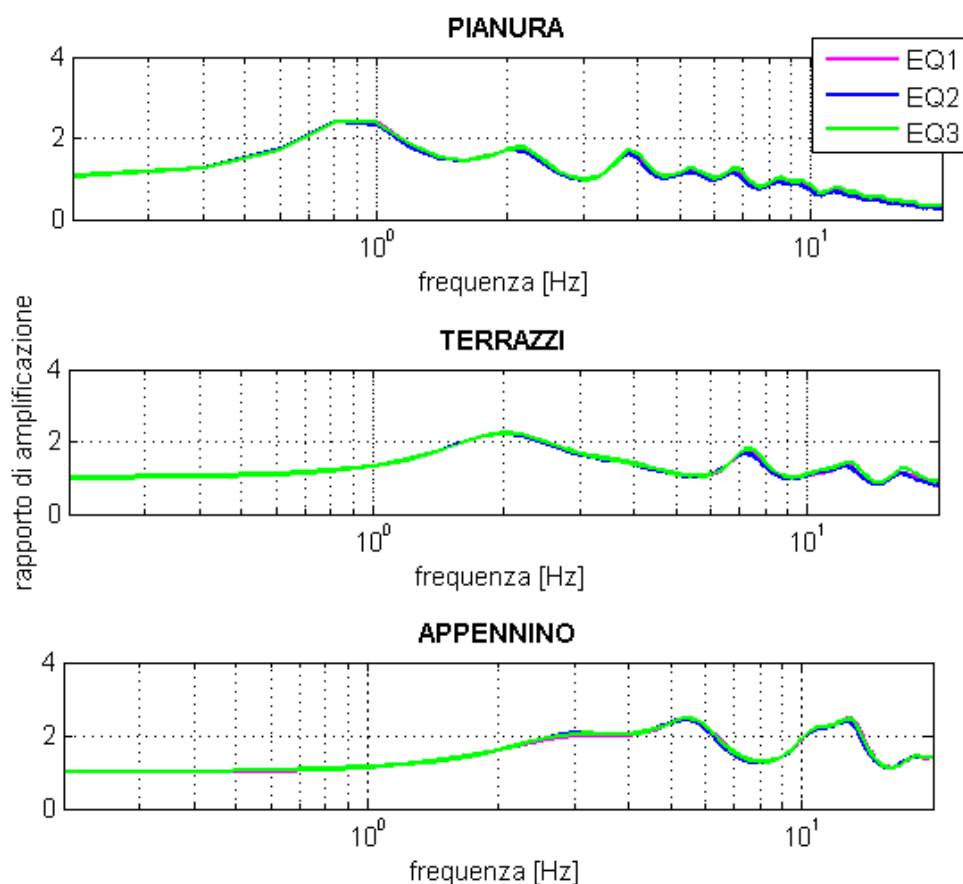


Figura 29. Funzione di trasferimento (rapporto di amplificazione tra lo spettro del moto in superficie ed al bedrock) per i 3 terremoti di Figura 28 e per le principali zone omogenee in prospettiva sismica.

### PARTE 3: SPETTRO DI RISPOSTA

In Figura 30 si riportano gli spettri di risposta dell'oscillatore armonico tipo ad un grado di libertà, in funzione del periodo proprio della struttura e per uno smorzamento tipico del 5%, ottenuti a partire dagli accelerogrammi prescelti ed il loro valore medio per ciascuna zona. Si osserva un aumento dei valori di accelerazione spettrale alle alte frequenze per le zone appenninica e dei terrazzi e conoidi intermedi e alti. Questo è legato alle risonanze che dette zone mostrano a medio-alta frequenza, assenti invece nella zona di pianura.

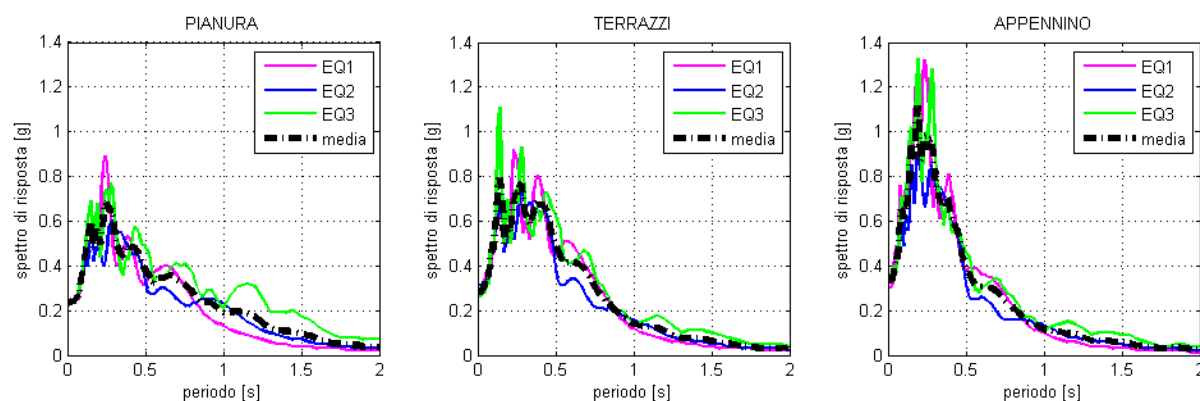


Figura 30. Spettri di risposta ottenuti dai 3 accelerogrammi di input e loro media (nero) per le principali zone omogenee in prospettiva sismica.

## 8. ELABORATI CARTOGRAFICI

Gli esiti delle indagini geofisiche sperimentali pregresse e di nuova acquisizione saranno ora discussi suddivisi per tema.

### 8.1 CARTA DELLE FREQUENZE DI RISONANZA ( $f_0$ e $f_1$ )

Per frequenza fondamentale di risonanza  $f_0$  si intende la frequenza minima osservabile in ciascun sito. Tale frequenza non coincide sempre con quella di principale interesse né per ampiezza né per valore proprio, in quanto può trovarsi molto lontana dalle frequenze proprie delle strutture pianificate o esistenti.

In molti siti del territorio del Comune di Cesena è stata misurata più di una frequenza di risonanza statisticamente significativa. A partire dall'osservazione che, quando esistevano due frequenze di risonanza, la prima era sempre a  $f < 5$  Hz, al fine di segnalarle entrambe sono state elaborate due carte (Figura 31 e Figura 32) denominate rispettivamente carta  $f_0$  e  $f_1$ .

CARTA DELLE FREQUENZE DI RISONANZA		Suddivisa negli intervalli	
$f_0 = 0.7 \leq f \leq 5$ Hz	$0.7 \leq f < 1.5$ Hz	$1.5 \leq f < 3$ Hz	$3 \leq f < 5$ Hz
$f_1 = 5 < f \leq 10$ Hz	$5 \leq f < 7$ Hz	$7 \leq f < 10$ Hz	

Tabella 2. Intervalli di frequenza usati per le carte delle frequenze di sito.

**NOTA:** in quasi tutto il territorio comunale (particolarmente nelle aree di pianura) è stata misurata una moderata amplificazione a 0.2-0.3 Hz, che pare essere la frequenza propria di oscillazione del bacino Padano in quanto si misura in moltissimi altri siti della pianura orientale. Questa non viene riportata nelle carte poiché presente ovunque e lontana dalle frequenze di interesse ingegneristico per la maggior parte delle strutture del territorio ma va comunque segnalata.

Per quanto riguarda la carta delle frequenze  $f_0$  (Figura 31) si può osservare che nella zona denominata PIANURA domina la risonanza  $0.7 \leq f < 1.5$  Hz (di modesta ampiezza in termini di picco H/V) mentre nelle zone INTERMEDIA e FASCIA APPENNINICA si assiste ad un aumento della frequenza, legato alla presenza di un rifratore rigido a qualche decina di metri di profondità. I contrasti di impedenza in questo secondo caso appaiono maggiori (ampiezza del picco H/V > 2.5).

Per quanto riguarda la carta delle frequenze  $f_1$  (Figura 32) si osserva che nella quasi totalità dei casi si tratta di amplificazioni marcate (ampiezza maggiore di 2.5) della curva H/V.

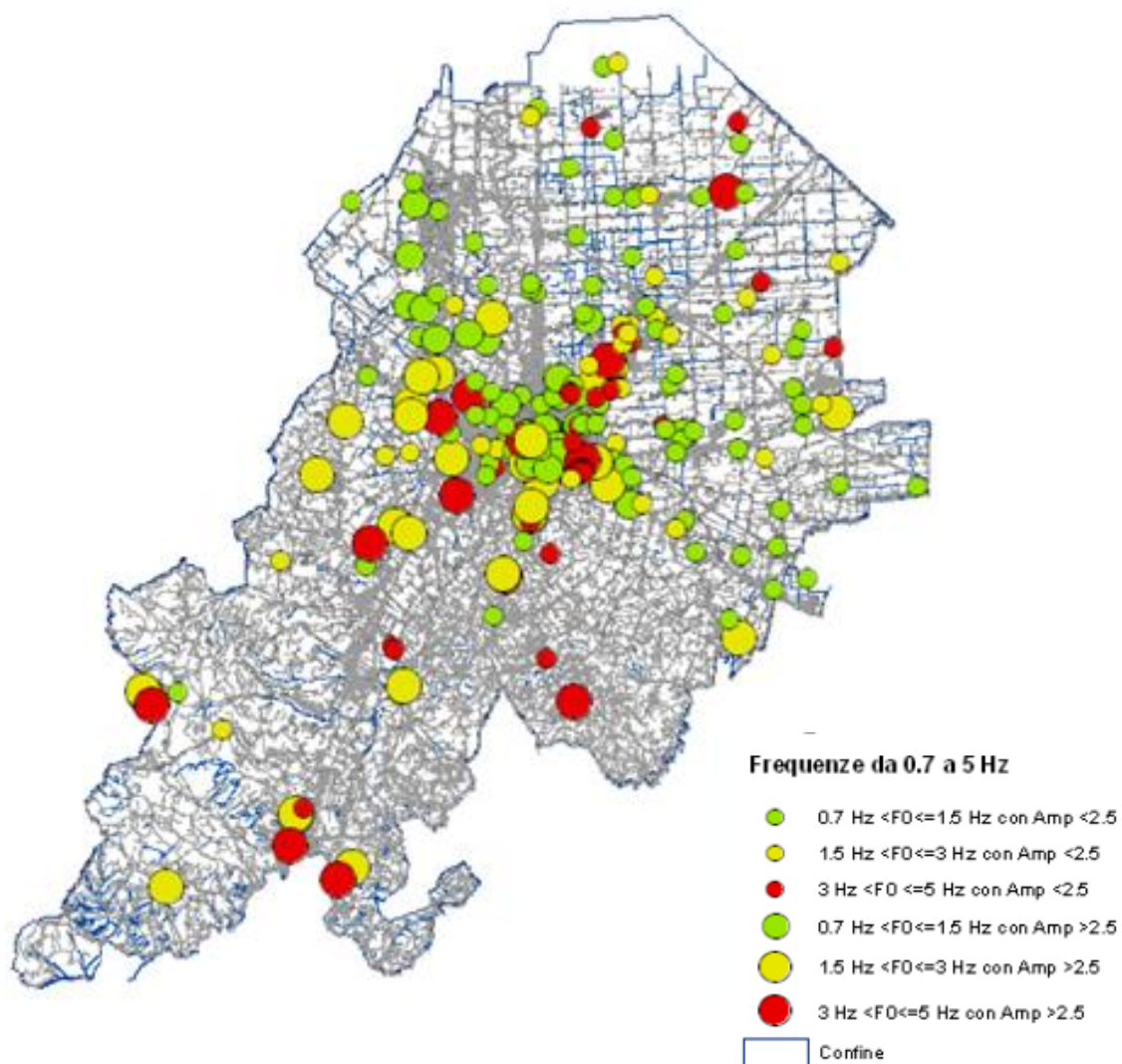


Figura 31. Miniatura della carta delle frequenze di risonanza nell'intervallo  $0.7 \leq f \leq 5$  Hz. I diametri dei cerchi sono proporzionali all'ampiezza dei picchi H/V come indicato in legenda.

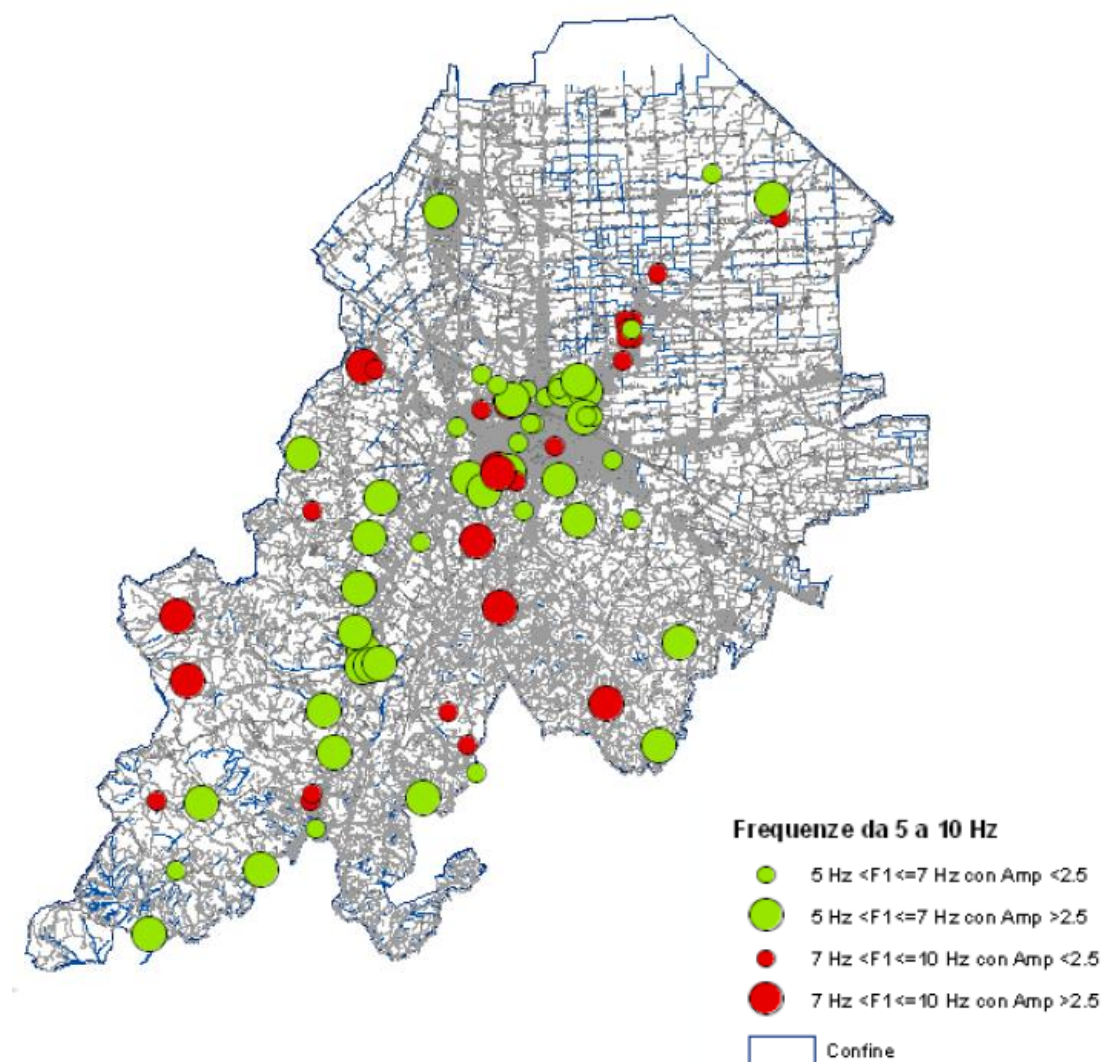


Figura 32. Miniatura della carta delle frequenze di risonanza nell'intervallo  $5 < f \leq 10$  Hz. I diametri dei cerchi sono proporzionali all'ampiezza dei picchi H/V come indicato in legenda. Nella parte centro-settentrionale del comune le risonanze sono legate al tetto delle ghiaie entro le prime decine di metri di profondità, nella parte meridionale del comune le risonanze sono legate al bedrock sub-superficiale.



## 8.2 CARTA VsH - Vs30

I valori di Vs30<sup>11</sup> misurati nel territorio comunale sono riportati in Figura 33. Essi evidenziano bene un aumento di velocità delle onde sismiche di taglio da valle a monte con valori tipici di Vs30 ≤ 200 m/s nelle aree di pianura a prevalenza limoso-sabbiosa, valori tipici compresi tra 300 e 400 m/s nell'area appenninica e valori tipici di 200-300 m/s nella zone di terrazzi e conoide intermedi e alti.

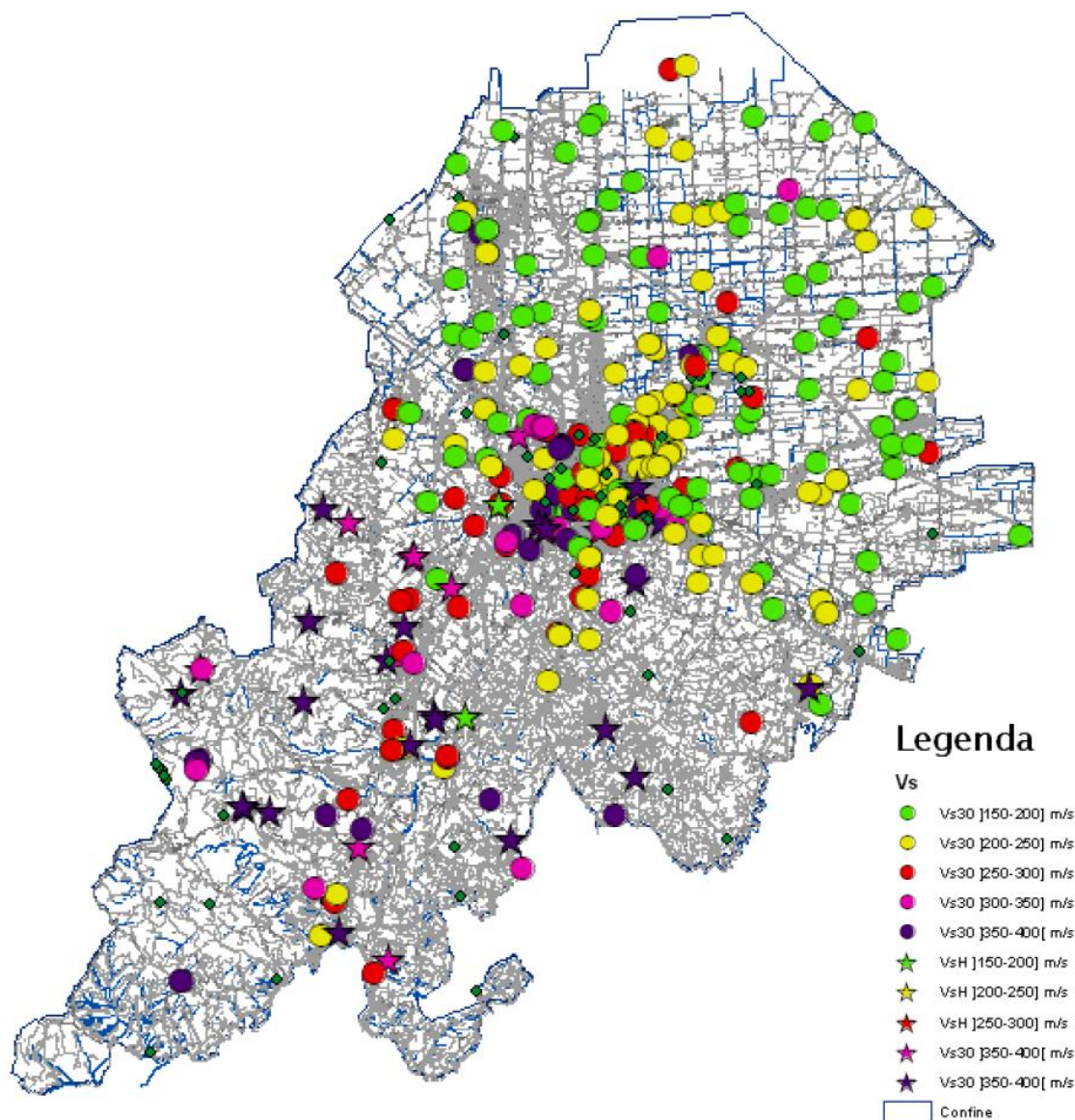


Figura 33. Miniatura della carta dei valori di Vs30 (cerchi) e VsH (stelline).

<sup>11</sup> 
$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$
 Dove  $h_i$  è la profondità dello strato i-esimo e  $V_{s_i}$  è Vs dello strato i-esimo. La sommatoria si intende fino a 30 m. Nel caso di VsH si sostituisca 30 con H e la sommatoria sarà condotta fino alla profondità H.



## 8.3 CARTE DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE

### NOTA SULL'AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA

Per quanto riguarda gli effetti di amplificazione sismica topografica, l'area della Rocca Malatestiana di Cesena (44.1356°N, 12.240°E) che si colloca su un rilievo isolato, è stata perimetrata come zona a sé stante e le sono stati attribuiti i valori di amplificazione della circostante zona sismica, maggiorati di un fattore 1.1.

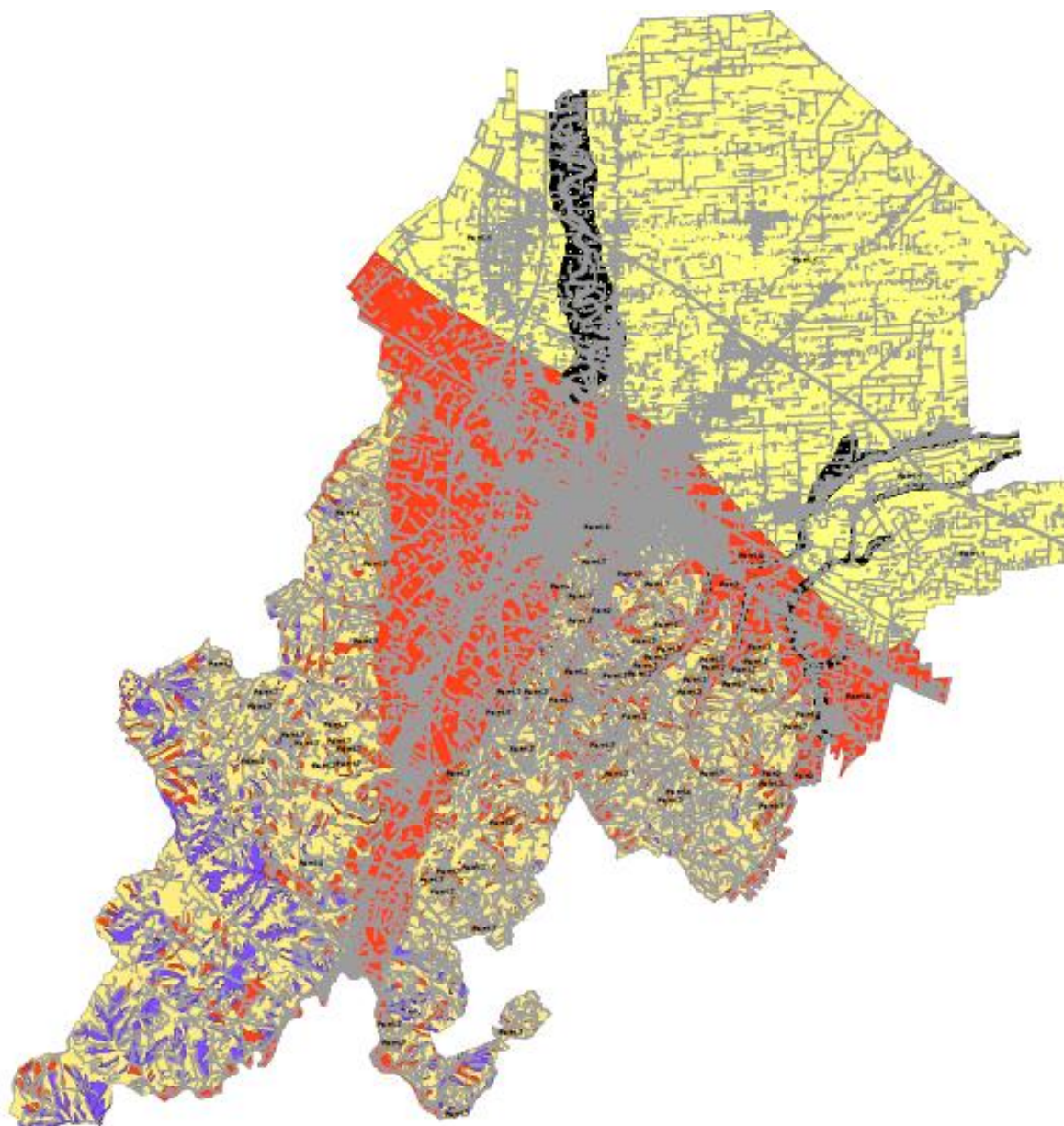
### CARTE Fa-Fv

A partire dai profili di Vs disponibili, sono stata compilata le schede (vedi Appendice B) con i fattori di amplificazione definiti secondo gli ICMS (2008) come segue:

- Fa      fattore di amplificazione dello spettro dell'accelerazione a basso periodo (in prossimità del periodo proprio al quale si verifica il massimo della risposta in accelerazione),
- Fv      fattore di amplificazione dello spettro di velocità a periodo proprio, per il quale si verifica la massima risposta in pseudovelocità.

A tale scopo sono state adottate le tabelle semplificate presenti negli ICMS (2008) per  $PGA_0 = 0.18$  g, profilo di velocità "lineare con pendenza intermedia", terreno superficiale di tipo sabbioso e bedrock sismico a profondità di  $\approx 60$  m (per la zona di PIANURA) o profondità variabile a seconda delle risultanze sperimentali per le zone INTERMEDIA, TERRAZZI INTRAVALLIVI, DEPOSITI DI VERSANTE e FASCIA APPENNINICA. Il bedrock s.s. nella zona PIANURA è a profondità sicuramente maggiori di 60 m ma questo avrebbe comportato, secondo gli abachi semplificati,  $Fa < 1$  (deamplificazione) che non è realistico sulla base delle evidenze sperimentali di terremoti recenti e modellistiche. Si è pertanto ritenuto di adottare uno strato assimilabile a bedrock a profondità inferiori per il calcolo attraverso gli abachi semplificati.

Nelle carte finali a ciascuna zona omogenea in prospettiva sismica è stato associato un unico valore rappresentativo di Fa e Fv, come riportato in Figura 20. In particolare, alla zona PIANURA viene associato un fattore  $Fa = 1.1$ , alla zona TERRAZZI INTRAVALLIVI e INTERMEDIA un  $Fa = 2.0$  e  $1.9$ , rispettivamente. Alla FASCIA APPENNINICA  $Fa = 1.4$ , alla zona dei DEPOSITI DI VERSANTE  $Fa = 1.7$ . Al contrario si osservano fattori di amplificazione Fv massimi nella zona PIANURA ( $Fv = 2$ ) e minimi nelle zone DEPOSITI DI VERSANTE ( $Fv = 1.2$ ) e FASCIA APPENNINICA ( $Fv = 1.1$ ). Valori intermedi sono associati alla zona TERRAZZI INTRAVALLIVI ( $Fv = 1.8$ ) e INTERMEDIA ( $Fv = 1.5$ ).











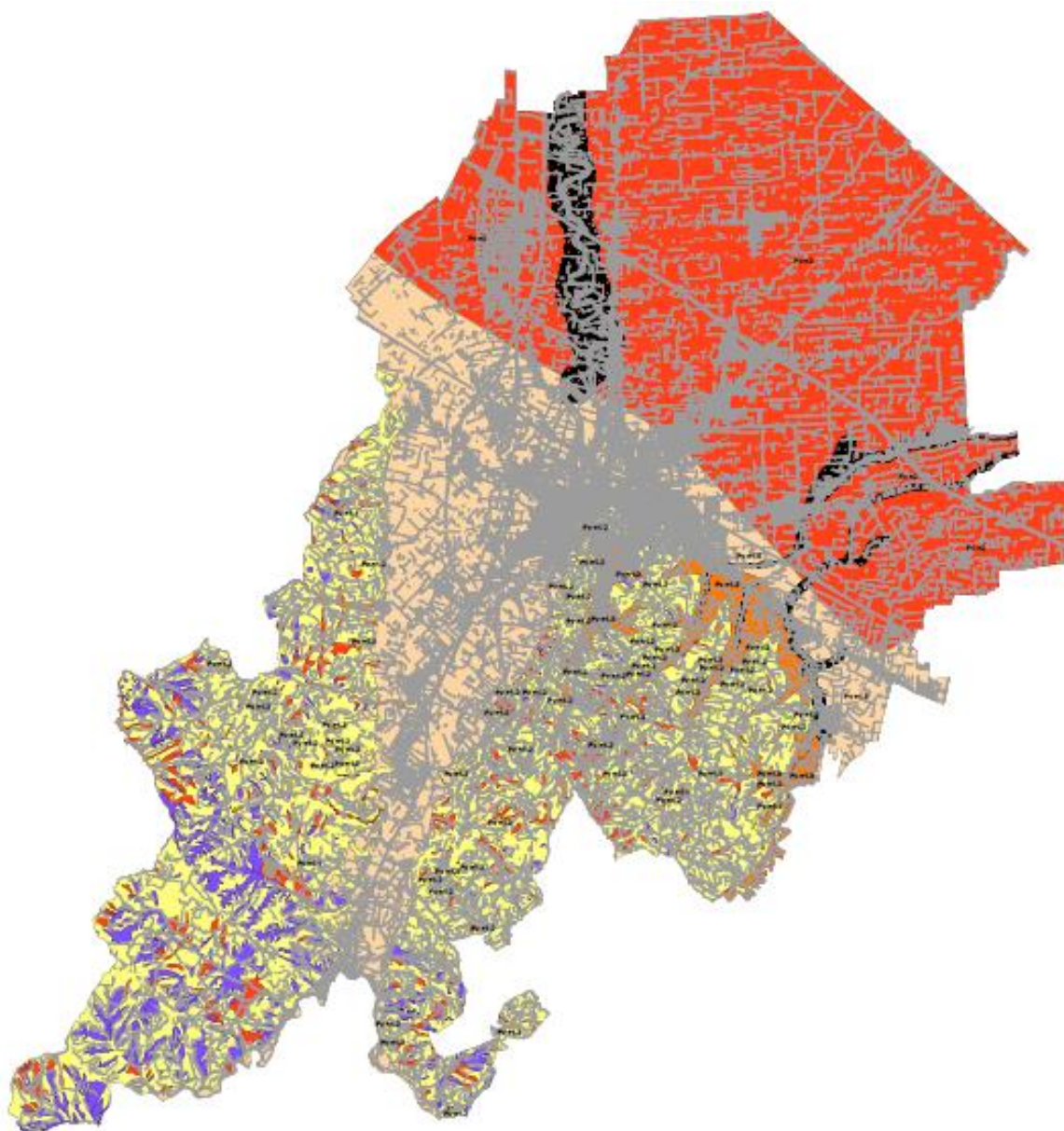
Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali	
	Fa = 1.1 - 1.2
	Fa = 1.3 - 1.4
	Fa = 1.5 - 1.6
	Fa = 1.7 - 1.8
	Fa = 1.9 - 2.0
Zone di attenzione per instabilità	
	Zona di attenzione per instabilità di versante attiva
	Zona di attenzione per instabilità di versante quiescente
	Zona di attenzione per liquefazioni

Figura 34. Valori di Fa (ICMS, 2008) associati a ciascun zona omogenea in prospettiva sismica.










Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali	
	Fv = 1.1 - 1.2
	Fv = 1.5 - 1.6
	Fv = 1.7 - 1.8
	Fv = 1.9 - 2.0
Zone di attenzione per instabilità	
	Zona di attenzione per instabilità di versante attiva
	Zona di attenzione per instabilità di versante quiescente
	Zona di attenzione per liquefazioni

Figura 35. Valori di Fv (ICMS, 2008) associati a ciascun zona omogenea in prospettiva sismica.

### CARTE $F_{PGA0}$ , $F_{0.1-0.5s}$ , $F_{0.5-1s}$

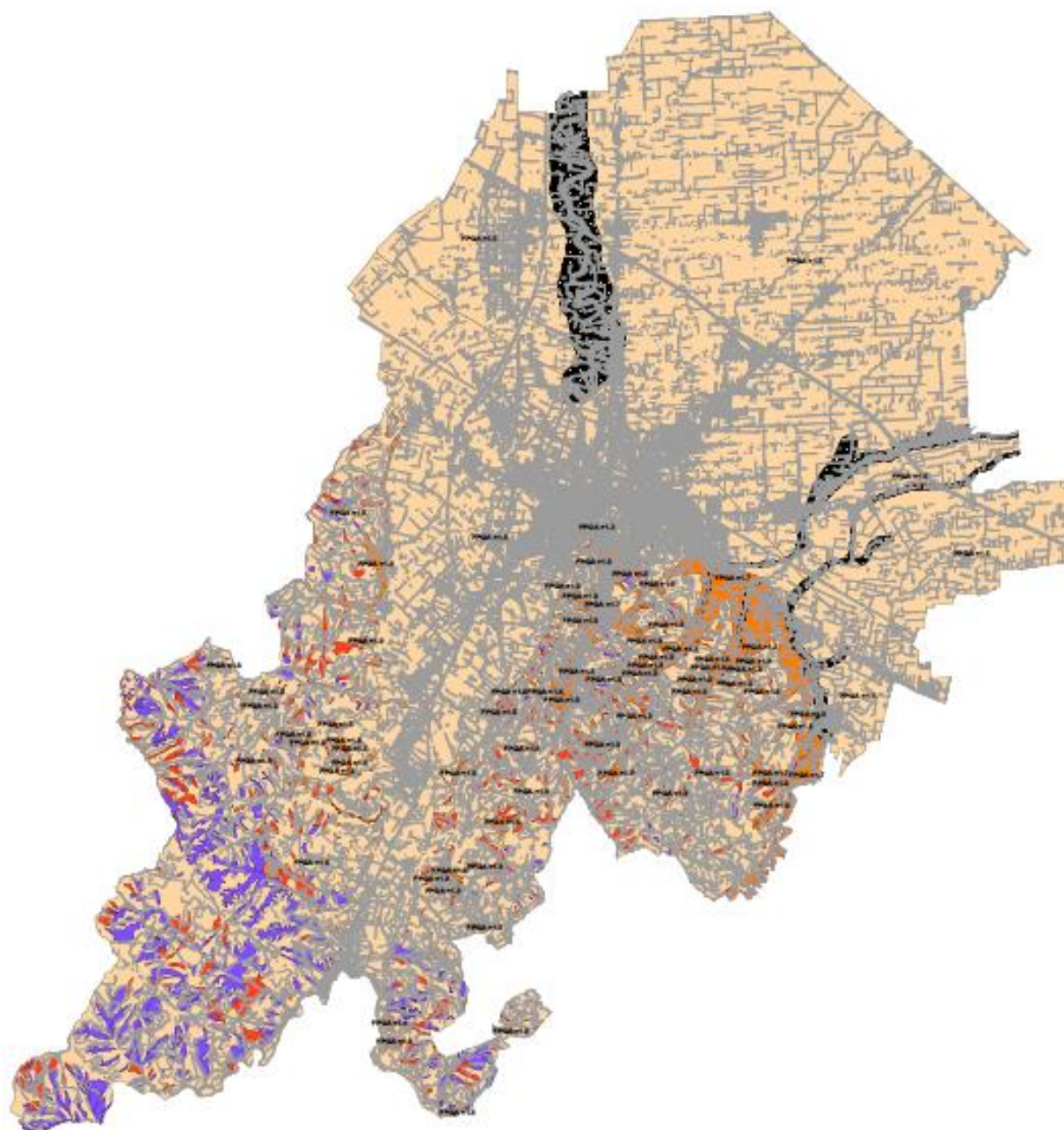
A partire dai profili di Vs e VsH disponibili, sono state compilate le schede dei fattori di amplificazione definiti secondo l'Atto di Indirizzo per la MZS in Emilia Romagna (2007) come segue:

- $F_{PGA0}$ , fattore di amplificazione di  $PGA_0$ , (Peak Ground Acceleration, accelerazione sismica di picco al bedrock),
- $F_{0.1-0.5s}$  dell'intensità spettrale  $I_s$  nell'intervallo di periodo 0.1-0.5 s,
- $F_{0.5-1s}$  dell'intensità spettrale  $I_s$  nell'intervallo di periodo 0.5-1 s,

I fattori sono stati ottenuti dalle tabelle semplificate fornite in *ibid.* e rispettivamente 1) dalla tabella PIANURA 2 per i siti in ambito di pianura caratterizzati da profilo stratigrafico costituito da alternanze di sabbie e peliti, con spessori anche decametrici, con intercalazioni di orizzonti di ghiaie (di spessore anche decine di metri), con substrato profondo ( $\geq 100$  m da p.c.), 2) dalla tabella PIANURA 1 per l'ambito dei terrazzi medi e alti caratterizzato da potenti orizzonti di ghiaie (anche decine di metri) e da alternanze di sabbie e peliti, con substrato poco profondo ( $< 100$  m da p.c.) e 3) dalla tabella APPENNINO E MARGINE APPENNINICO-PADANO ( $V_{s_{bedrock}} < 800$  m/s) per la fascia appenninica.

Nelle carte finali a ciascuna zona omogenea in prospettiva sismica è stato associato un unico valore rappresentativo di  $F_{PGA0}$ ,  $F_{0.1-0.5s}$  e  $F_{0.5-1s}$ , come riportato in Figura 36-Figura 24 e riassunto in Tabella 3.










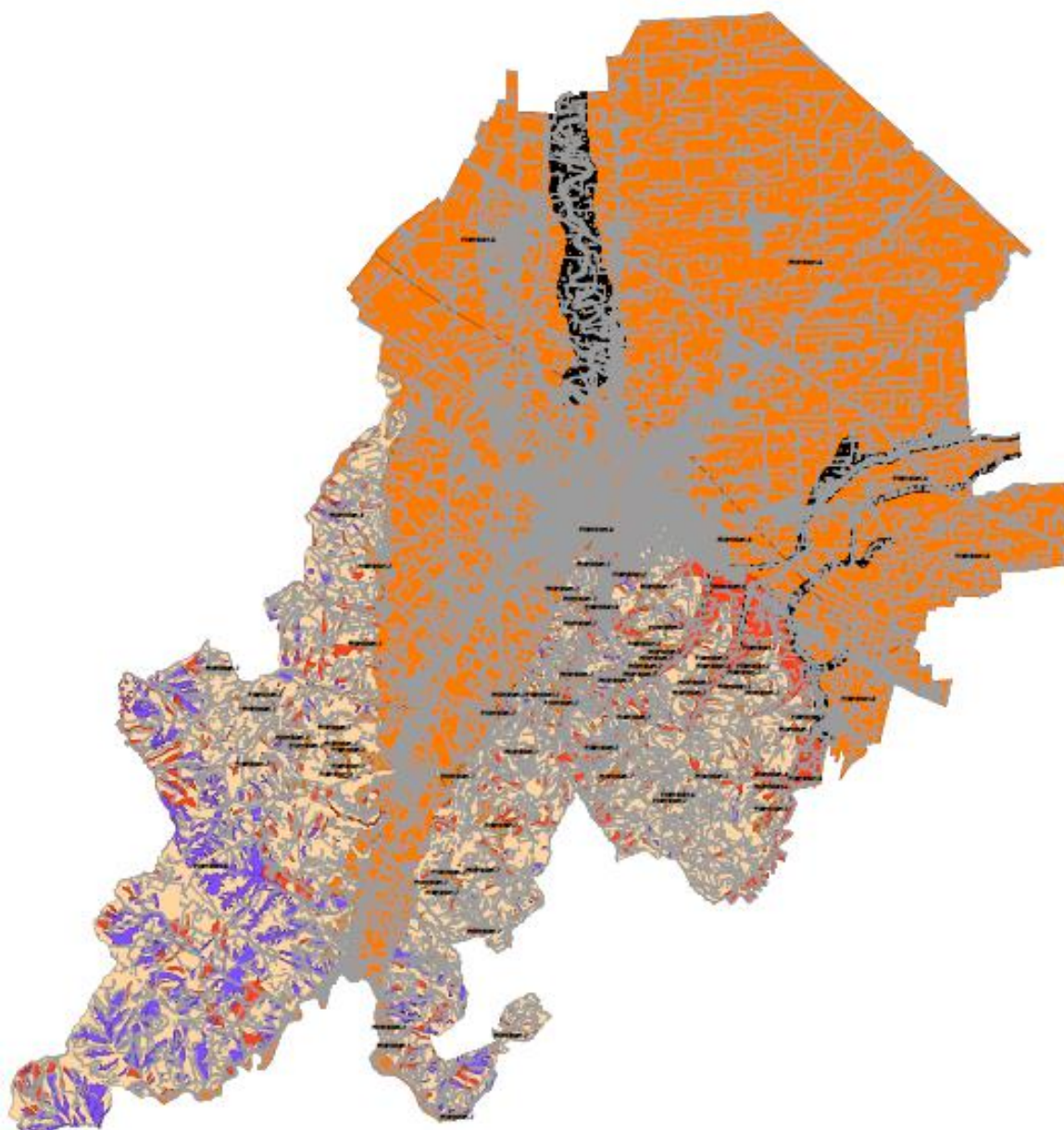
Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali	
	$Fa_{PGA0} = 1.5 - 1.6$
	$Fa_{PGA0} = 1.7 - 1.8$
Zone di attenzione per instabilità	
	Zona di attenzione per instabilità di versante attiva
	Zona di attenzione per instabilità di versante quiescente
	Zona di attenzione per liquefazioni

Figura 36. Valori di  $Fa_{PGA0}$  (Atto di Indirizzo per la MZS della Regione Emilia Romagna, 2007) associati a ciascun zona omogenea in prospettiva sismica.











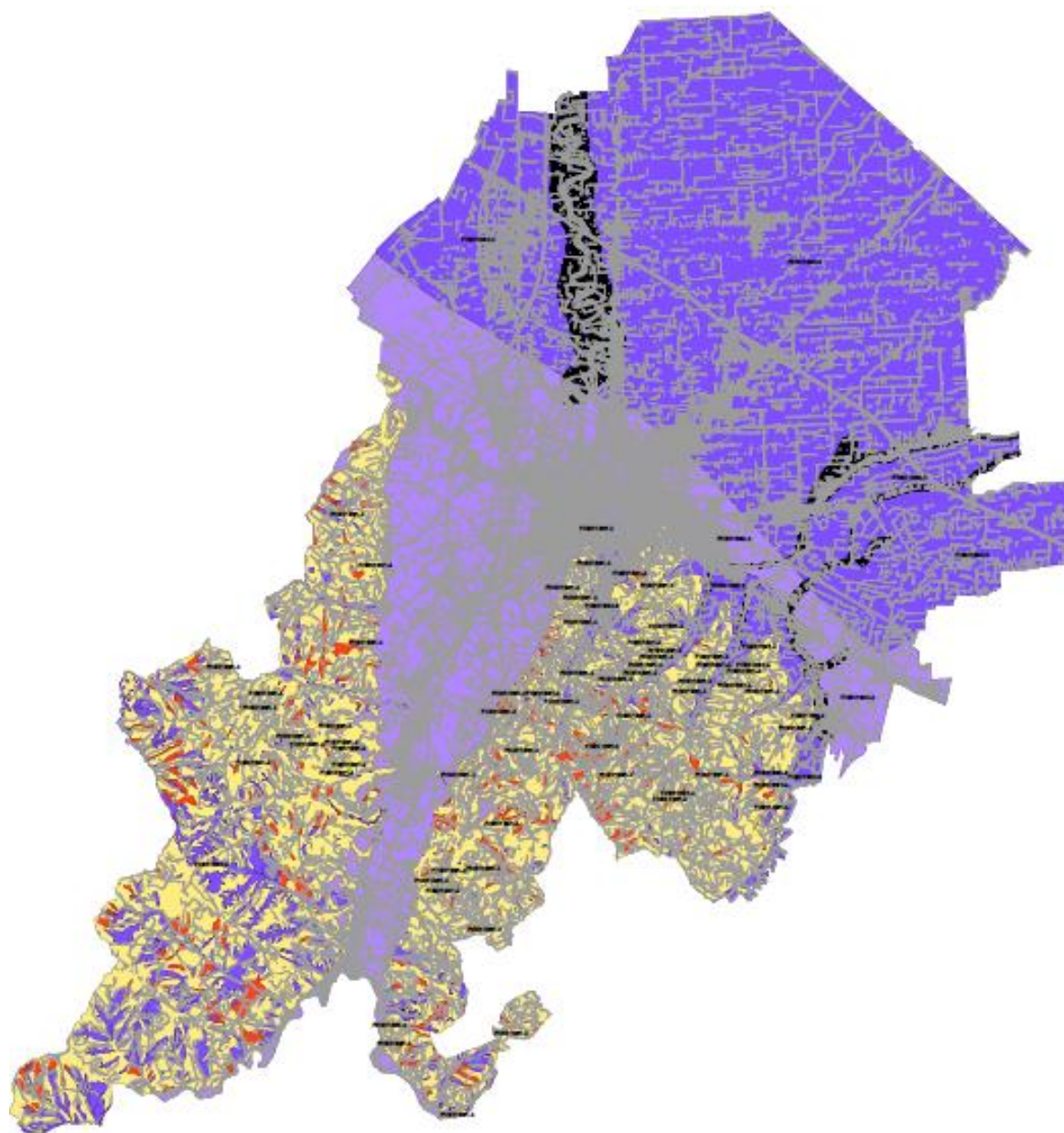
Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali	
	$Fa_{[0.1,0.5]s} = 1.5 - 1.6$
	$Fa_{[0.1,0.5]s} = 1.7 - 1.8$
	$Fa_{[0.1,0.5]s} = 1.9 - 2.0$
Zone di attenzione per instabilità	
	Zona di attenzione per instabilità di versante attiva
	Zona di attenzione per instabilità di versante quiescente
	Zona di attenzione per liquefazioni

Figura 37. Valori di  $Fa_{[0.1,0.5]}$  (Atto di Indirizzo per la MZS della Regione Emilia Romagna, 2007) associati a ciascun zona omogenea in prospettiva sismica.










Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali	
	$Fa_{[0.5,1]s} = 1.3 - 1.4$
	$Fa_{[0.5,1]s} = 1.5 - 1.6$
	$Fa_{[0.5,1]s} = 2.3 - 2.4$
	$Fa_{[0.5,1]s} \geq 2.5$
Zone di attenzione per instabilità	
	Zona di attenzione per instabilità di versante attiva
	Zona di attenzione per instabilità di versante quiescente
	Zona di attenzione per liquefazioni

Figura 38. Valori di  $Fa_{[0.5,1]s}$  (Atto di Indirizzo per la MZS della Regione Emilia Romagna, 2007) associati a ciascun zona omogenea in prospettiva sismica.

## COMMENTI

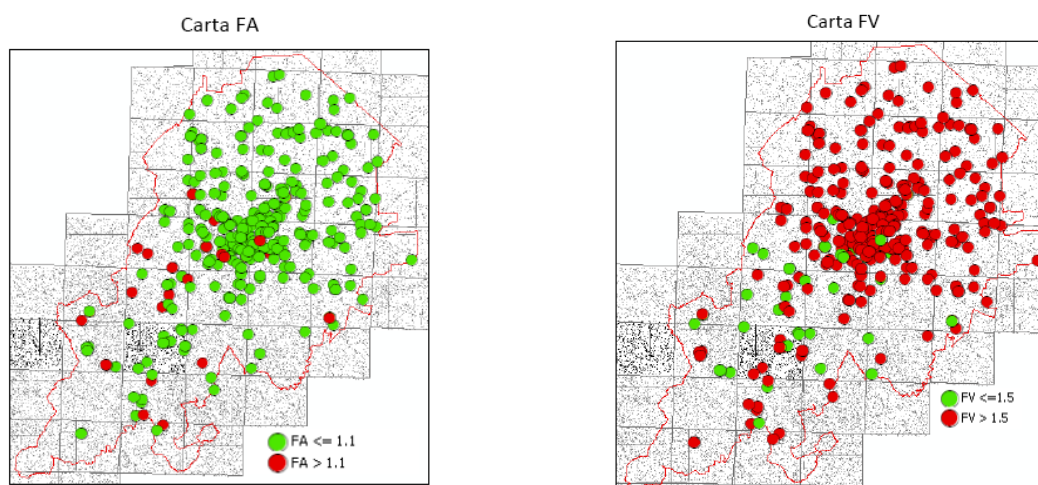
Per una migliore comprensione, i valori dei fattori di amplificazione calcolati per ciascun punto disponibile sono riportati in Figura 39 raggruppati in due classi ( $F_a \leq 1.1$ ,  $F_a > 1.1$ ;  $F_v \leq 1.5$ ,  $F_v > 1.5$ ;  $F_{aPGA0} \leq 1.5$ ,  $F_{aPGA0} > 1.5$ ;  $F_{aIS[0.1, 0.5]s} \leq 1.5$ ,  $F_{aIS[0.1, 0.5]s} > 1.5$ ;  $F_{aIS[0.5, 1]s} \leq 2$ ,  $F_{aIS[0.5, 1]s} > 2$ ). Si osserva che le distribuzioni di  $F_a$ ,  $F_v$  e  $F_{aIS[0.5, 1]s}$  indicano una netta suddivisione del territorio tra zona di pianura e zona Appenninica mentre le distribuzioni  $F_{aPGA0}$  e  $F_{aIS[0.1, 0.5]s}$  non hanno lo stesso potere classificativo.

La carta che sembra meglio descrivere le zone a comportamento sismico omogeneo è la carta  $F_{aIS[0.5, 1]s}$  (Figura 24). In Tabella 3 sono riassunti i fattori di amplificazione sintetici attribuiti a ciascuna zona omogenea in prospettiva sismica.

Nella carta delle zone omogenee in prospettiva sismica (Figura 19) sono indicate aree nelle quali è possibile il fenomeno di liquefazione dei terreni (Antolini, 2005) e le zone caratterizzate da dissesti franosi di vario tipo. Queste zone sono da ritenersi da assoggettare a studi di III livello, prima di ipotizzarne destinazioni d'uso.

Si sottolinea in ogni caso che queste indicazioni non riguardano la progettazione delle singole strutture (per le quali la verifica alla liquefazione e alla stabilità deve essere comunque condotta secondo i requisiti delle NTC, 2008) ma riguardano la pianificazione urbanistica a grande scala.

Nel territorio non si sono osservate inversioni di velocità o effetti 2D di dimensioni tali da giustificare approcci di stima dei fattori di amplificazione diversi da quelli semplificati forniti dagli ICMS (2008) e dall'Atto di Indirizzo per la Microzonazione Sismica della Regione Emilia Romagna (2007). Tuttavia non va dimenticato che i valori di  $F_a$ ,  $F_v$ ,  $F_{aPGA0}$ ,  $F_{aIS[0.1, 0.5]s}$  e  $F_{aIS[0.5, 1]s}$  non indicano il valore assoluto di amplificazione attesa nei vari siti ma vanno interpretati semplicemente come una scala di "pericolosità" relativa tra punti.





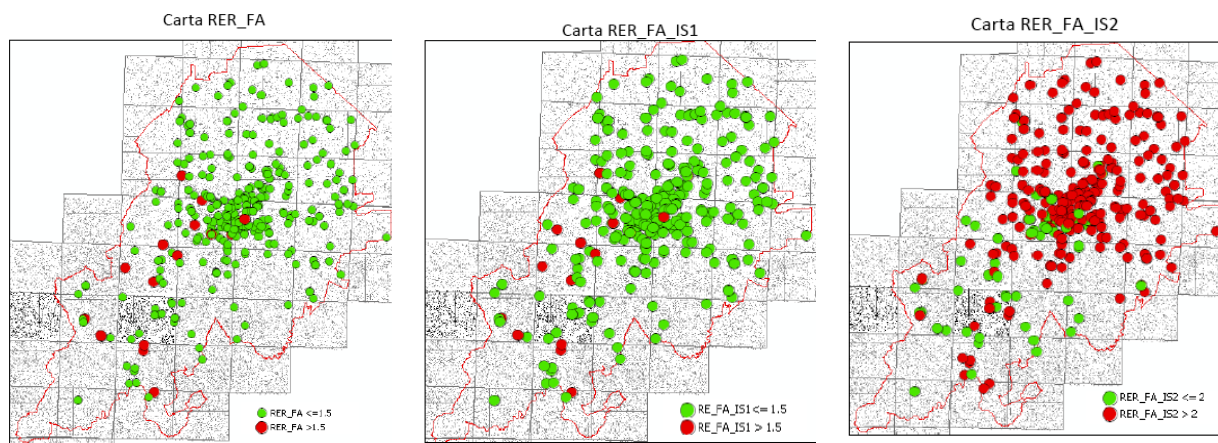


Figura 39. Carte dei parametri Fa, Fv (ICMS, 2008) e Fa<sub>PGA0</sub>, Fa<sub>IS[0.1,0.5]s</sub>, Fa<sub>IS[0.5,1]s</sub> (Atto di Indirizzo per la MZS della Regione Emilia Romagna, 2007) calcolati per ogni punto di indagine disponibile.

MOPS	Fa	Fv	Fa <sub>PGA0</sub>	Fa <sub>IS 0.1-0.5 s</sub>	Fa <sub>IS 0.5-1 s</sub>
<b>PIANURA</b> (sabbia, a <sub>g</sub> = 0.18 g, H = 60 m, pendenza media)	<b>1.1</b>	<b>2</b>	PIANURA 2 <b>1.5</b>	PIANURA 2 <b>1.8</b>	PIANURA 2 <b>2.5</b>
<b>TERRAZZI INTRAVALLIVI</b> (sabbia, 15 m, PEND. INT., a <sub>g</sub> = 0.18 g)	<b>2.0</b>	<b>1.8</b>	PIANURA 1 <b>1.7</b>	PIANURA 1 <b>1.9</b>	PIANURA 1 <b>2.6</b>
<b>INTERMEDIA</b> (ghiaia, 20 m, PEND. INT., a <sub>g</sub> = 0.18 g)	<b>1.9</b>	<b>1.5</b>	PIANURA 1 <b>1.5</b>	PIANURA 1 <b>1.8</b>	PIANURA 1 <b>2.4</b>
<b>DEPOSITI DI VERSANTE</b>	<b>1.7</b>	<b>1.2</b>	APPENNINO V <sub>s</sub> < 800 m/s, V <sub>s30</sub> = 300 m/s, H <sub>tipica</sub> = 10 <b>1.8</b>	APPENNINO V <sub>s</sub> < 800 m/s, V <sub>s30</sub> = 300 m/s, H <sub>tipica</sub> = 10 <b>1.7</b>	APPENNINO V <sub>s</sub> < 800 m/s, V <sub>s30</sub> = 300 m/s, H <sub>tipica</sub> = 10 <b>1.4</b>
<b>FASCIA APPENNINICA</b> (ghiaia, 15 m, PEND. COST., a <sub>g</sub> = 0.18 g)	<b>1.4</b>	<b>1.1</b>	APPENNINO V <sub>s</sub> < 800 m/s, V <sub>s30</sub> = 350 m/s, H <sub>tipica</sub> = 10 m <b>1.6</b>	APPENNINO V <sub>s</sub> < 800 m/s, V <sub>s30</sub> = 350 m/s, H <sub>tipica</sub> = 10 m <b>1.6</b>	APPENNINO V <sub>s</sub> < 800 m/s, V <sub>s30</sub> = 350 m/s, H <sub>tipica</sub> = 10 m <b>1.4</b>

Tabella 3. Tabella riassuntiva dei fattori di amplificazione secondo ICMS (2008) e RER (2007) per le zone omogenee in prospettiva sismica del territorio comunale.

## 9. ANALISI DI STRUTTURE EDILIZIE RILEVANTI

Nel comune di Cesena sono state indagate 4 strutture rilevanti:

- 1) Palazzo Comunale, piazza del Popolo 1 (Cesena)
- 2) Scuola Materna Carducci, via Zara (Cesena)
- 3) Scuola Elementare Sant'Egidio, via Anna Frank (Cesena)
- 4) Scuola Materna Mulini, via Rasi Spinelli (Cesena)

Le indagini sono state condotte allo scopo di identificare:

- le frequenze dei modi di vibrare delle strutture
- la deformata del modo fondamentale flessionale
- lo smorzamento del modo fondamentale flessionale

secondo le procedure descritte nel seguito.

### MODI DI VIBRARE

Per mettere in evidenza le frequenze dei modi di vibrare delle strutture in esame sono state effettuate misure di microtremore su diversi livelli della stessa struttura, sulla stessa verticale e con lo stesso orientamento strumentale, per la durata di 6-10 min su ciascun piano. Le serie temporali così registrate sono state analizzate secondo la procedura seguente:

- a) la serie temporale viene suddivisa in tratti di 20 s. Per ciascun tratto si esegue:
  - i. la correzione per la linea di base (*detrending*),
  - ii. un *tapering*, secondo finestra di Bartlett,
  - iii. un padding opportuno,
  - iv. la trasformata veloce di Fourier (FFT)
- b) lo spettro finale è dato dalla media degli spettri ottenuti su ciascun tratto.

In questo lavoro gli spettri sono lisciati all'1% della frequenza centrale.

### RIMOZIONE DELL'EFFETTO DEL SOTTOSUOLO

Prima di enunciare le frequenze dei modi dell'edificio, è necessario rimuovere l'effetto del sottosuolo. Accade infatti che le frequenze proprie di risonanza di quest'ultimo siano misurabili anche all'interno della struttura e vadano pertanto rimosse per mettere in evidenza il solo effetto legato all'edificio.

A questo scopo si applica il metodo del *sito di riferimento* che consiste nell'assumere come riferimento le misure effettuate al piano di fondazione (ossia al piano in cui l'effetto dell'edificio è minimo e l'effetto del sottosuolo è massimo) e nell'eseguire il rapporto tra le componenti spettrali omologhe dei vari piani e quelle del sito di riferimento.

Per misure effettuate in modo sincrono o sotto la condizione di rumore ambientale stazionario è possibile ricostruire anche la deformata del primo modo flessionale della struttura a partire dalle ampiezze spettrali.

### SMORZAMENTO

Lo smorzamento delle strutture viene calcolato come il decremento logaritmico dell'ampiezza della vibrazione, in termini di spostamento, cui è soggetta la struttura in un periodo.



In assenza di impulsi trasmessi all'edificio *ad hoc*, disponendo di strumenti sufficientemente sensibili è possibile stimare lo smorzamento anche dal microtremore sismico ambientale. Al fine di ottenere una stima stabile occorre mediare su un numero di epoche dell'ordine delle migliaia. Lo smorzamento dipende anche dall'ampiezza della vibrazione. In questo lavoro abbiamo calcolato in prima approssimazione lo smorzamento attraverso una tecnica non parametrica (Mucciarelli e Gallipoli, 2006) che consiste, dopo le procedure di rito di correzione ed equalizzazione del segnale, nell'integrazione dello stesso per ottenere serie temporali in termini di spostamento. Successivamente si cercano i massimi locali e si costruisce una matrice di ampiezze dei massimi  $x(t_i)$  vs. istante di occorrenza  $t_i$ . Per ciascuna coppia di dati si verifica se  $x(t_i) > x(t_i + 1)$  e in caso positivo si calcola la pseudofrequenza e lo smorzamento. Si ottengono così diagrammi come quelli di Figura 43 da cui si leggono le frequenze dei modi principali e lo smorzamento associato.

Questa tecnica è meno precisa della RandomDec classica ma più rapida e permette di ottenere un'informazione di larga massima sullo smorzamento anche da registrazioni di microtremore brevi, come quelle effettuate in questo studio.

## 9.1 Palazzo Comunale

Su questa struttura sono state effettuate misure di microtremore su 4 livelli (dal piano terra alla cima, secondo le quote indicative di Figura 42) che hanno permesso di individuare il primo modo flessionale a 3.5 e 3 Hz (asse longitudinale e trasversale, Figura 40).

La struttura ha pianta complessa e risulta in appoggio ad altre strutture. Tra i picchi spettrali riportati in Figura 41 ci si può quindi attendere la 'collaborazione' delle strutture circostanti.

Nella parte inferiore di Figura 41 è riportata una curva H/V misurata su suolo nelle immediate circostanze del palazzo da cui emerge che la frequenza propria del sottosuolo è prossima ai 3 Hz. La porzione del Palazzo Comunale indagata è pertanto da ritenersi in doppia-risonanza col sottosuolo.

In generale le risonanze del sottosuolo a frequenza immediatamente inferiore (fino al 40% circa) a quella delle strutture sono considerate un elemento di svantaggio (maggior vulnerabilità) perché qualora l'edificio subisse dei danni strutturali (per es. nelle fasi iniziali di un terremoto), le sue frequenze proprie diminuirebbero, potendo così entrare in doppia risonanza con il terreno nella fase terminale del terremoto.

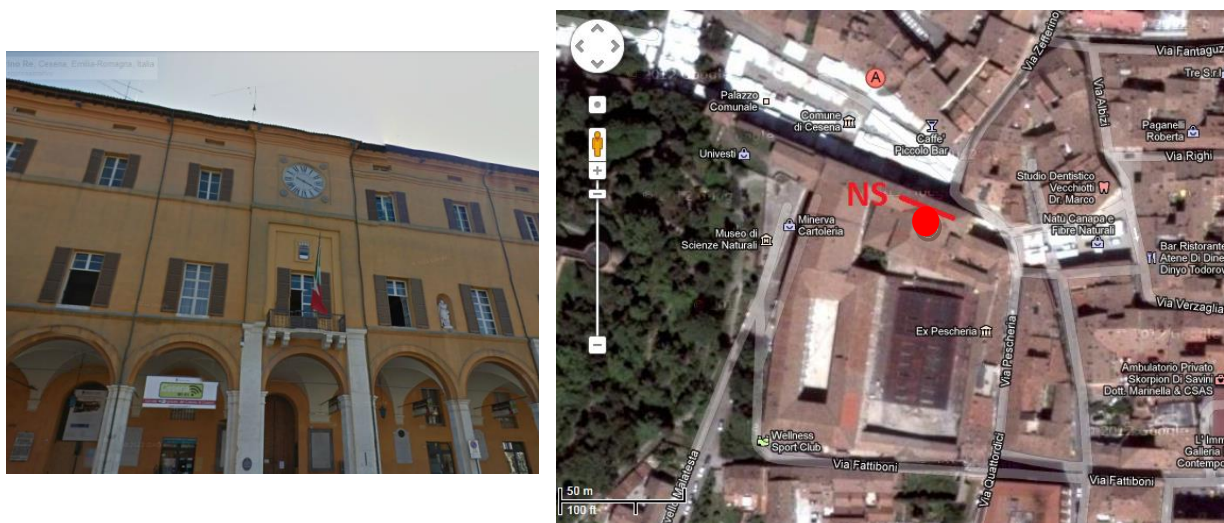


Figura 40. Rosso: ubicazione della verticale di misura all'interno del Palazzo Comunale in Piazza del Popolo 1. La freccia indica la direzione dell'asse NS strumentale (immagine di destra tratta da GoogleMaps™).

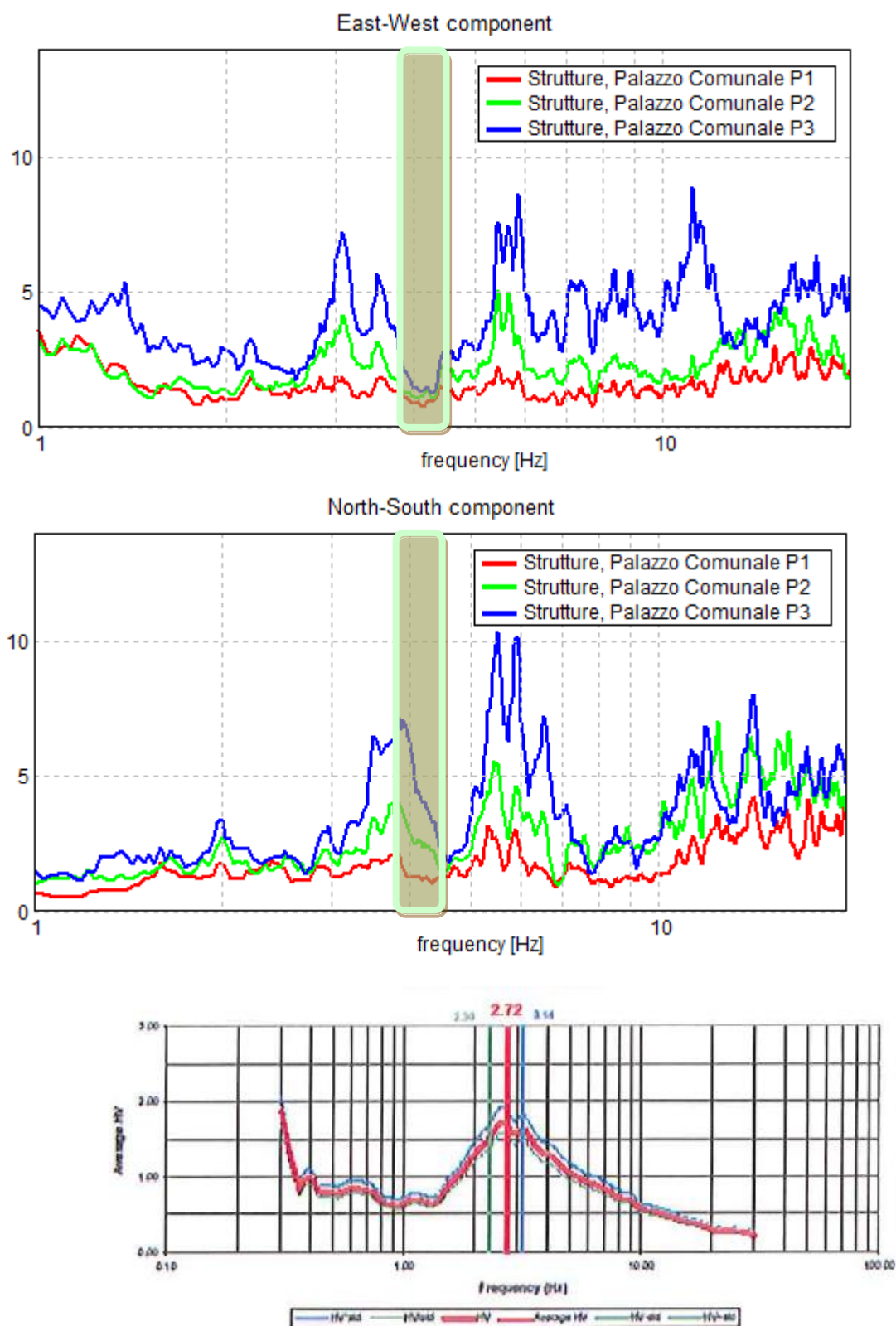


Figura 41. *Alto e centro*: rapporto tra gli spettri medi (ordinate, adimensionate) registrati ai vari livelli rispetto a quelli registrati al piano terra (sito di riferimento) in funzione della frequenza (ascissa). I rapporti mettono in evidenza le frequenze dei modi di vibrazione dell'edificio e i fattori di amplificazione del moto ai vari piani. *Alto*: componente strumentale trasversale EW. Il rettangolo verde indica la frequenza propria del sottosuolo. *Centro*: componente strumentale longitudinale NS. Il rettangolo verde indica la frequenza propria del sottosuolo. *Basso*: curva H/V del sottosuolo.

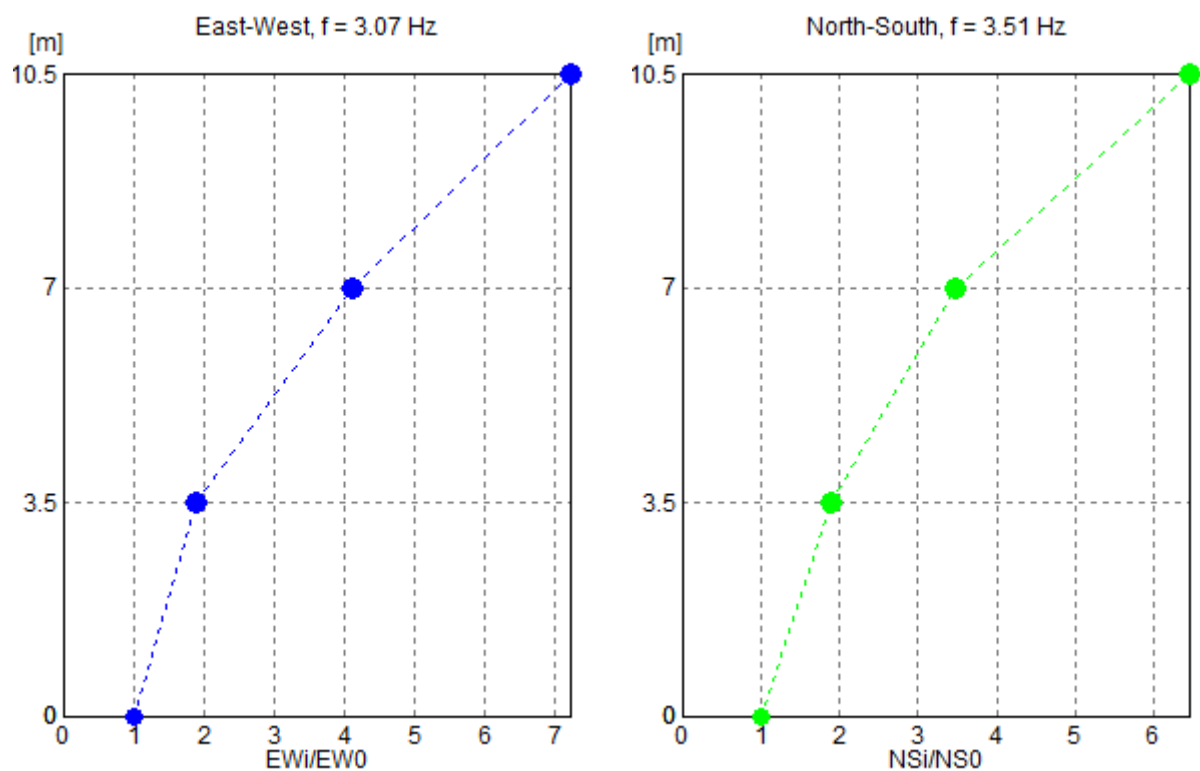


Figura 42. Deformate del primo modo flessionale in direzione trasversale e longitudinale rispetto al moto registrato al piano terra. L'ampiezza dello spostamento medio misurato in ogni piano è stata rapportata all'ampiezza dello stesso moto al piano terra e mostrata in ascissa come numero adimensionato, trattandosi di un rapporto. L'altezza relativa dei vari punti di misura (ordinata) è indicativa.

Lo smorzamento associato al primo modo di vibrare appare abbastanza chiaramente nella direzione trasversale EW e nell'ordine del 4%. Esso è meno nitido in direzione longitudinale NS, dove appare di poco superiore al 4% (Figura 43).

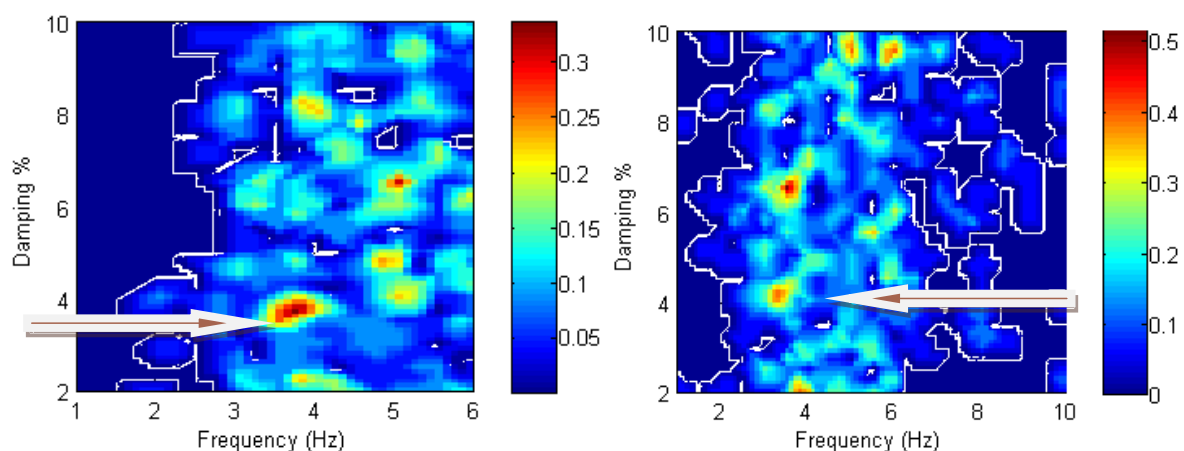


Figura 43. Smorzamento del primo modo flessionale per le componenti trasversale (sinistra) e longitudinale (destra).

## 9.2 Scuola Materna Carducci

Su questa struttura sono state effettuate misure di microtremore su 2 livelli (piano terra e primo piano) che hanno permesso di individuare il primo modo flessionale a 7.5 e 5.5 Hz (asse longitudinale e trasversale, Figura 45).

Nella parte inferiore di Figura 45 è riportata una curva H/V misurata su suolo nelle immediate circostanze del palazzo da cui emerge che la frequenza propria del sottosuolo è 1.2 Hz. La struttura in esame ed il sottosuolo presentano frequenze modali nettamente diverse e non sono pertanto a rischio di doppia-risonanza.

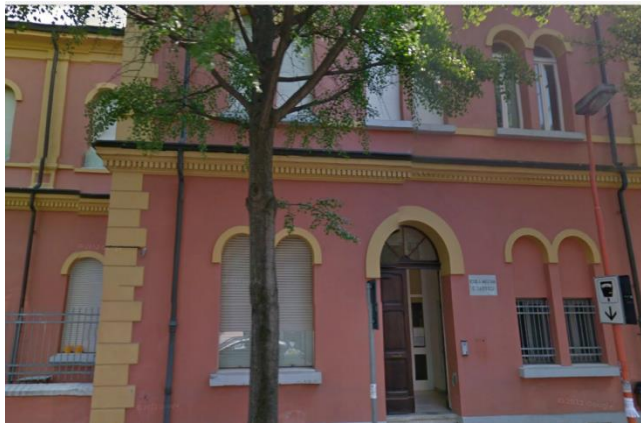


Figura 44. Rosso: ubicazione della verticale di misura all'interno del la Scuola Materna Carducci in via Zara. La linea rossa indica la direzione dell'asse NS strumentale. Blu: ubicazione della prova su suolo (immagine di destra tratta da GoogleMaps™).

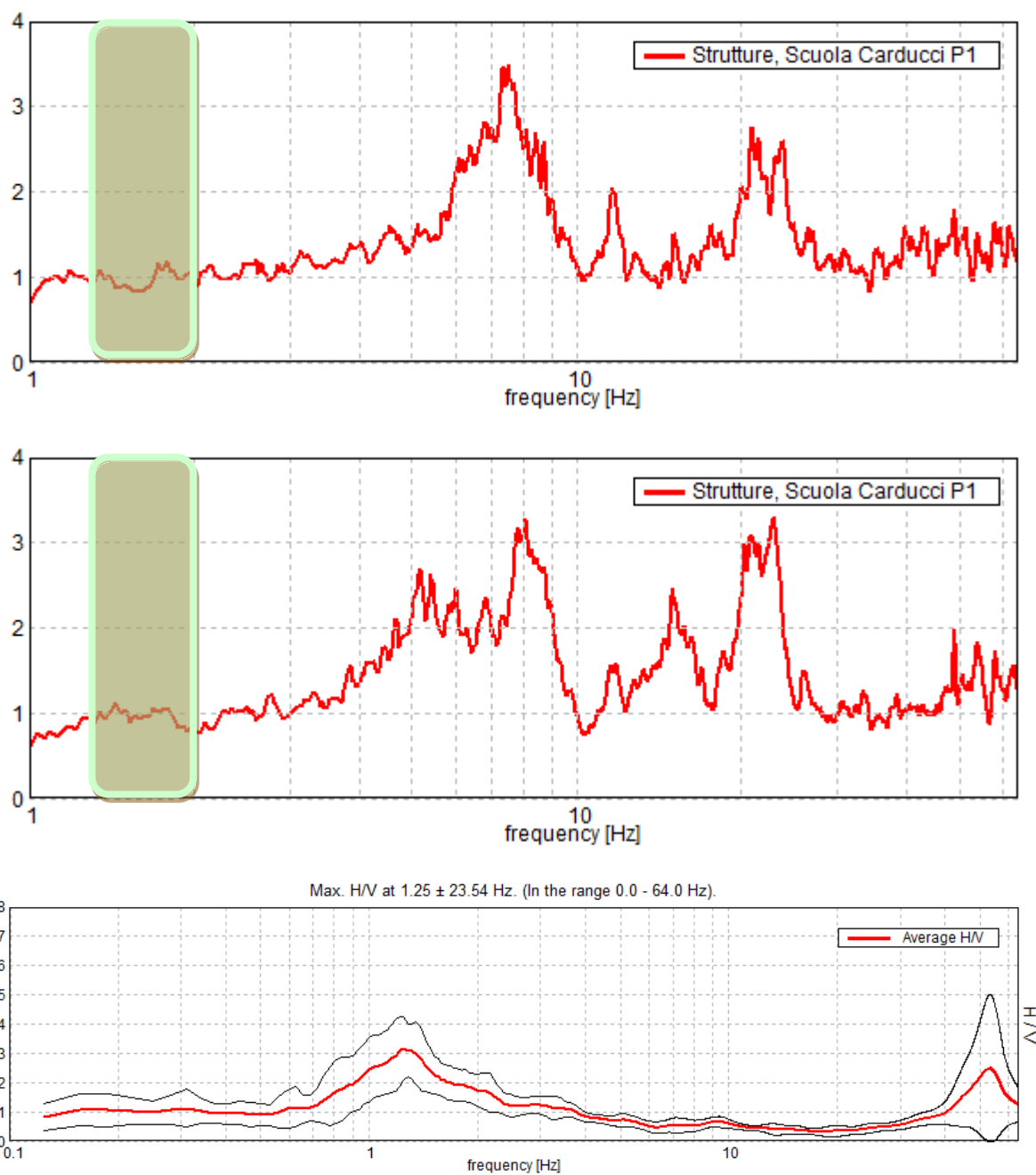


Figura 45. *Alto e centro*: rapporto tra gli spettri medi (ordinate, adimensionate) registrati ai vari livelli rispetto a quelli registrati al piano terra (sito di riferimento) in funzione della frequenza (ascissa). I rapporti mettono in evidenza le frequenze dei modi di vibrazione dell'edificio e i fattori di amplificazione del moto ai vari piani. *Alto*: componente strumentale longitudinale EW. Il rettangolo verde indica la frequenza propria del sottosuolo. *Centro*: componente strumentale trasversale NS. Il rettangolo verde indica la frequenza propria del sottosuolo. *Basso*: curva H/V del sottosuolo.



### 9.3 Scuola Elementare Sant'Egidio

Su questa struttura sono state effettuate misure di microtremore su 3 livelli (dal piano seminterrato al primo piano) che hanno permesso di individuare il primo modo flessionale nelle direzioni trasversale e longitudinale tra 7 e 8 Hz (freccie in Figura 47).

Si deve osservare che le misure effettuate su struttura risentono notevolmente del moto proprio del sottosuolo al punto che sulla struttura è meglio visibile la frequenza modale fondamentale del sottosuolo (4 Hz) rispetto alla frequenza modale della struttura stessa, che non appare in doppia risonanza col terreno.



Figura 46. Rosso: ubicazione della verticale di misura all'interno della Scuola Elementare Sant'Egidio in via Anna Frank. La linea rossa indica la direzione dell'asse NS strumentale. Blu: ubicazione della (immagine di destra tratta da GoogleMaps™).

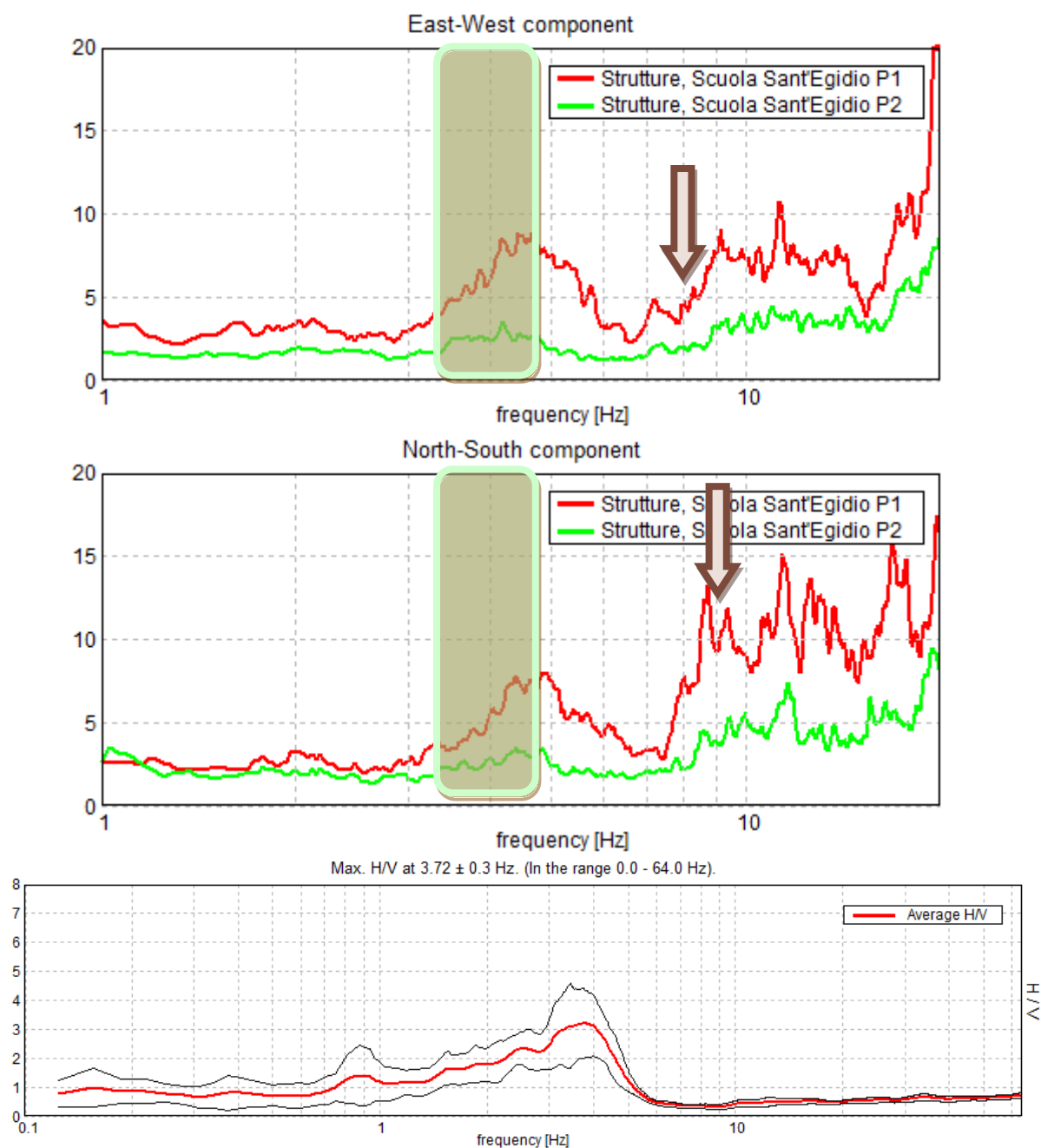


Figura 47. *Alto e centro*: rapporto tra gli spettri medi (ordinate, adimensionate) registrati ai vari livelli rispetto a quelli registrati al piano terra (sito di riferimento) in funzione della frequenza (ascissa). I rapporti mettono in evidenza le frequenze dei modi di vibrazione dell'edificio e i fattori di amplificazione del moto ai vari piani. *Alto*: componente strumentale EW. Il rettangolo verde indica la frequenza propria del sottosuolo. *Centro*: componente strumentale NS. Il rettangolo verde indica la frequenza propria del sottosuolo. *Basso*: curva H/V del sottosuolo.

#### 9.4 Scuola Materna Mulini

L'indagine ha riguardato uno dei corpi di fabbrica, all'interno del quale le misure sono state effettuate al piano terra e sul tetto, trattandosi di una struttura a un solo piano fuori terra, evidenziando il primo modo flessionale nelle direzioni trasversale e longitudinale rispettivamente a 6.5 e 10 Hz (Figura 49).

La frequenza propria del sottosuolo si colloca a 1.4 Hz ed è pertanto lontana da quella propria della struttura.



Figura 48. Rosso: ubicazione della verticale di misura all'interno della Scuola Elementare Sant'Egidio in via Anna Frank. La linea rossa indica la direzione dell'asse NS strumentale. Blu: ubicazione della (immagine di destra tratta da GoogleMaps™).

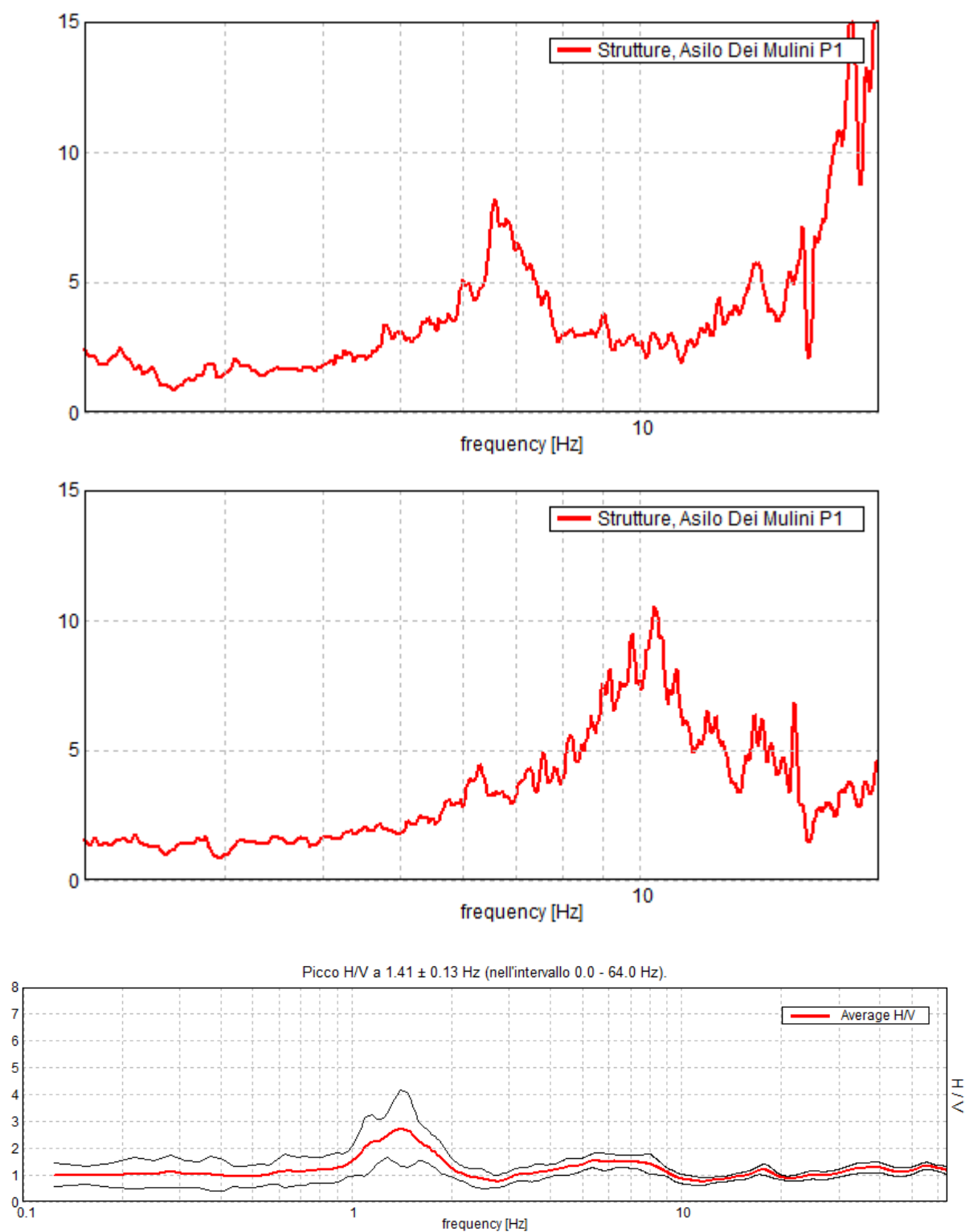


Figura 49. *Alto e centro*: rapporto tra gli spettri medi (ordinate, adimensionate) registrati ai vari livelli rispetto a quelli registrati al piano terra (sito di riferimento) in funzione della frequenza (ascissa). I rapporti mettono in evidenza le frequenze dei modi di vibrazione dell'edificio e i fattori di amplificazione del moto ai vari piani. *Alto*: componente strumentale EW. *Centro*: componente strumentale NS. *Basso*: curva H/V del sottosuolo.



## 10. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Al fine di realizzare la Microzonazione Sismica di Livello 1 e 2 del Comune di Cesena, sono state reperite all'incirca 400 prove geofisiche finalizzate alla stima della rigidità dei terreni sotto forma di profilo di Vs e ne sono state acquisite oltre 50 di nuove. Le indagini di precedente acquisizione sono state tutte verificate e – ove necessario – reinterpretrate, al fine di scartare quelle dubbie o palesemente sovra interpretate, in modo da garantire quanto più possibile una base dati di qualità omogenea.

In tutta la parte di pianura del territorio comunale è stata misurata una blanda amplificazione a 0.2-0.3 Hz che è interpretata come la frequenza propria dell'intera Pianura Padana orientale (intesa come bacino), dal momento che è misurabile su una vastissima area a scala regionale. Nell'intervallo di frequenze di maggiore interesse ingegneristico, l'analisi dei dati raccolti ha suggerito di suddividere il territorio in 5 zone omogenee in prospettiva sismica (Figura 19) ed esattamente:

**PIANURA:** ubicata prevalentemente a Nord del centro storico di Cesena, caratterizzata da terreni a bassa velocità che mostrano un lento aumento con la profondità, senza contrasti di impedenza rilevanti ( $V_s < 200$  m/s in superficie,  $V_{s30} < 240$  m/s). Questo si traduce nell'assenza di amplificazione per risonanza sopra 1-2 Hz. In tutta l'area è invece ben visibile una amplificazione delle curve H/V a 0.7-1.5 Hz, legata alla risonanza dei terreni fini sovrastanti uno strato rigido ( $V_s \approx 600$  m/s) posto a profondità variabile tra 80 e 150 m, interpretato come la base del Sintema Emiliano-Romagnolo superiore di età inferiore ai 0.45 Ma.

**TERRAZZI INTRAVALLIVI e ZONA INTERMEDIA:** queste zone sono caratterizzate da alcuni metri (5-40 m) di terreni fini a bassa velocità ( $V_s \approx 200$  m/s) seguiti da terreni granulari più rigidi (sabbie e ghiaie,  $V_s > 300$  m/s per le zone di terrazzo oppure bedrock semirigido per le zone di conoide alta). Questa configurazione determina anche elevate amplificazioni per risonanza delle coperture fini a frequenze mediamente superiori a 2 Hz. I valori di  $V_{s30}$  si assestano tra 240 e 350 m/s. Nella parte settentrionale di dette aree è ancora visibile una modesta amplificazione delle curve H/V a frequenze  $\approx 1$  Hz, legata alla risonanza delle coperture sovrastanti uno strato rigido ( $V_s \approx 600$  m/s) posto a profondità variabile tra 80 e 150 m, interpretato come la base del Sintema Emiliano-Romagnolo superiore di età inferiore ai 0.45 Ma.

**DEPOSITI DI VERSANTE e FASCIA APPENNINICA:** ubicate nella zona centro-meridionale del territorio comunale, sono caratterizzate dalla presenza del bedrock sismico affiorante o sub-affiorante (vari membri della Formazione Marnoso Arenacea e Colombacci,  $V_s \approx 350-500$  m/s). In questa zona i valori di  $V_{s30}$  si assestano sopra i 350 m/s e  $V_{sH}$  si assesta tra i 200 e i 300 m/s. Il contrasto di impedenza tra le coperture e il bedrock (generalmente prima alterato) dà luogo a picchi H/V di anche rilevante ampiezza a frequenze  $> 2$  Hz, in funzione della profondità del bedrock.

È stata condotta una modellazione numerica della risposta di sito mediamente attesa nelle diverse zone che ha portato a definire le funzioni di trasferimento bedrock-superficie e gli spettri di risposta attesi riportati in Figura 29-Figura 30.

A partire dai profili di Vs disponibili e dalle conoscenze geologiche, sono state prodotte le carte dei fattori di amplificazione  $F_a$ ,  $F_v$  (ICMS, 2008), e di  $F_{aPGA0}$ ,  $F_{aIS[0.1-0.5]s}$  e  $F_{aIS[0.5-1]s}$  (Atto di Indirizzo MZS

Reg. Emilia R., 2007). Si è osservato che le distribuzioni di  $F_a$ ,  $F_v$  e  $F_{a_{IS[0.5, 1]s}}$  indicano una netta suddivisione del territorio tra zona di pianura e zona Appenninica mentre le distribuzioni  $F_{a_{PGA(RER)}}$  e  $F_{a_{IS[0.1, 0.5]s}}$  non hanno lo stesso potere classificativo.

La carta che meglio descrive le zone a comportamento sismico omogeneo appare essere la carta  $F_{a_{IS[0.5-1]s}}$ . I valori finali di amplificazione associati a ciascuna zona sono i seguenti:

<b>MOPS</b>	<b><math>F_a</math></b>	<b><math>F_v</math></b>	<b><math>F_{a_{PGA0}}</math></b>	<b><math>F_{a_{IS\ 0.1-0.5\ s}}</math></b>	<b><math>F_{a_{IS\ 0.5-1\ s}}</math></b>
<b>PIANURA</b>	<b>1.1</b>	<b>2</b>	<b>1.5</b>	<b>1.8</b>	<b>2.5</b>
<b>TERRAZZI INTRAVALLIVI</b>	<b>2.0</b>	<b>1.8</b>	<b>1.7</b>	<b>1.9</b>	<b>2.6</b>
<b>INTERMEDIA</b>	<b>1.9</b>	<b>1.5</b>	<b>1.5</b>	<b>1.8</b>	<b>2.4</b>
<b>DEPOSITI DI VERSANTE</b>	<b>1.7</b>	<b>1.2</b>	<b>1.8</b>	<b>1.7</b>	<b>1.4</b>
<b>FASCIA APPENNINICA</b>	<b>1.4</b>	<b>1.1</b>	<b>1.6</b>	<b>1.6</b>	<b>1.4</b>

**Tabella 4. Tabella riassuntiva dei fattori di amplificazione secondo ICMS (2008) e RER (2007) per le zone omogenee in prospettiva sismica del territorio comunale.**

Nella carta delle zone omogenee in prospettiva sismica (Figura 19) sono state infine indicate le aree nelle quali è possibile il fenomeno di liquefazione dei terreni (cfr. studio di Antolini, 2005) e le zone caratterizzate da dissesti franosi di vario tipo. Queste zone sono da ritenersi da assoggettare a studi di III livello, prima di ipotizzarne destinazioni d'uso.

Le indicazioni fornite in questo studio non riguardano la progettazione delle singole strutture (per le quali la verifica alla liquefazione e alla stabilità deve essere comunque condotta secondo i requisiti delle NTC, 2008) ma riguardano esclusivamente la pianificazione urbanistica a grande scala.

Nel territorio non si sono osservate inversioni di velocità o effetti 2D di dimensioni tali da giustificare approcci di stima dei fattori di amplificazione diversi da quelli semplificati forniti dagli ICMS (2008) e dall'Atto di Indirizzo per la Microzonazione Sismica della Regione Emilia Romagna (2007). Tuttavia non va dimenticato che i valori di  $F_a$ ,  $F_v$ ,  $F_{a_{PGA0}}$ ,  $F_{a_{IS[0.1,0.5]s}}$  e  $F_{a_{IS[0.5,1]s}}$  non indicano il valore assoluto di amplificazione attesa nei vari siti ma vanno interpretati semplicemente come una scala di "pericolosità" relativa tra punti.

## 11. BIBLIOGRAFIA

- Amorosi A., Colalongo M.L., 2005. The linkage between alluvial and coeval nearshore marine successions: evidence from the Late Quaternary record of the Po River Plain, Italy, *Fluvial Sedimentology*, 7, 255-275.
- Amorosi A., 2008. Delineating aquifer geometry within a sequence stratigraphic framework: Evidence from the Quaternary of the Po River Basin, Northern Italy, *GeoActa Special Publication*, 1, 1-14.
- Antolini P., 2005. *Microzonazione Sismica del Territorio Comunale di Cesena – Approccio di tipo qualitativo – semiquantitativo*, Cesena, 15 dicembre.
- Atto di indirizzo per la MZS in Emilia Romagna, 2007. Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1, della L.R. 20/2000 "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio", in merito a "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica".
- Balocchi P., 2011. Considerazioni sulla geometria della struttura sismogenetica responsabile della sequenza sismica del Montefeltro (Appennino Romagnolo), *GeoResearch Center Italy*, 11 luglio, [http://georcit.blogspot.it/2011/07/considerazioni-sulla-geometria-della\\_11.html](http://georcit.blogspot.it/2011/07/considerazioni-sulla-geometria-della_11.html)
- Bardet J.P., Ichii K. e Lin C.H., 2000. *EERA – A computer program for Equivalent-linear Earthquake site Response Analysis of layered soil deposits*, University of Southern California, Department of Civil Engineering.
- Benini A., Cremonini G., Cibi U., Martelli L., Severi P., 2009. *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000*, foglio 255 – CESENA – Servizio Geologico D'Italia.
- Biondi A., 2009. *Relazione Geologico-Geotecnica per il Progetto di Riqualificazione Urbana "Novello" presso ex mercato ortofrutticolo di Cesena*, Cesena, dicembre.
- Boccaletti M., Bonini M., Corti G., Gasperini P., Martelli L., Picardi L., Severi P., Vannucci P., 2004a. *Note illustrative alla Carta Sismogenetica della Regione Emilia-Romagna alla scala 1:250.000*. Regione Emilia-Romagna, Bologna. C.N.R., Firenze. S.EL.CA., Firenze.
- Boccaletti M., Bonini M., Corti G., Gasperini P., Martelli L., Picardi L., Severi P., Vannucci P., 2004b. *Carta Sismogenetica della Regione Emilia-Romagna alla scala 1:250.000*. Regione Emilia-Romagna, Bologna. C.N.R., Firenze. S.EL.CA., Firenze.
- Boccaletti M., Corti G., Martelli L., 2011. Recent and active tectonics of the external zone of the Northern Apennines (Italy), *International Journal of Earth Sciences*, 100, 1331-1348.
- Carta del dissesto Idrogeologico della Regione Emilia-Romagna in scala 1:10.000, 2011. Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna.
- Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna, 2004. A cura di Regione Emilia-Romagna (Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli) e CNR (Istituto di Geoscienze e Georisorse, sezione di Firenze), scala 1:250.000.
- Castellaro S. e Mulargia F., 2009a. Vs30 estimates using constrained H/V measurements, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 99, 761-773.
- Castellaro S. e Mulargia F., 2009b. The effect of velocity inversions on H/V, *Pure Appl. Geophys.*, 166, 567-592.
- Castellaro S. e Mulargia F., 2010. How Far from a Building Does the Ground-Motion Free-Field Start? The Cases of Three Famous Towers and a Modern Building, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 100, 2080-2094.

- Cerrina Feroni A., Leoni L., Martelli L., Martinelli P., Ottria G., Sarti G., 2001. The Romagna Apennines, Italy: an eroded duplex, *Geological J.*, 36, 39-54.
- Cremonini G., Farabegoli E., 1982. Carta geologica dell'Appennino Emiliano-romagnolo, Regione Emilia-Romagna, Università di Bologna.
- Feroni A.C., Ghiselli F., Martelli L., 1997. L'assenza delle liguridi nell'Appennino Romagnolo: Relazioni con il sollevamento Quaternario e implicazioni strutturali, *Italian Journal of Quaternary Sciences*, 10, 371-376.
- ICMS, 2008. *Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica*, Gruppo di lavoro MS. Conferenza delle Regioni e delle Province autonome – Dipartimento della protezione civile, Roma, 3 vol. e CD.
- Idriss, I. M., 1990. Response of Soft Soil Sites during Earthquakes, *Proceedings, Memorial Symposium to honor Professor Harry Bolton Seed*, Berkeley, California, Vol. II, May.
- Locati M., Camassi R., Stucchi M. (a cura di), 2011a. *DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano*, Milano, Bologna.
- Locati M., Camassi R., Gasperini P. e Stucchi M. (a cura di), 2011b. *CPTI11, la versione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani*, Milano, Bologna.
- Louie, 2001. Faster, better: shear wave velocity to 100 meters depth from refraction microtremor arrays, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 91, 347-364.
- Martelli L., 2011. *Quadro sismotettonico dell'Appennino Emiliano-Romagnolo e della Pianura Padana centrale* – Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, Regione Emilia-Romagna, - GNGTS, Sessione 1.2.
- Meletti C., Montaldo V., 2007. *Stime di pericolosità sismica per diverse probabilità di superamento in 50 anni: valori di  $a_g$* . Progetto DPC-INGV S1, Deliverable D2, <http://esse1.mi.ingv.it/d2.html>
- Mucciarelli M., Gallipoli M.R., 2006. Estimate of frequency and damping for large sets of buildings in dense urban areas, joint event of the 13th ECEE & 30th General Assembly of the ESC, Geneva, Switzerland, 3-8 September.
- NTC, 2008. Norme Tecniche sulle Costruzioni, D.M. 14 gennaio 2008 pubblicato in G.U. del 4.02.2008, suppl. ord. 30.
- Ohori, 2002. A Comparison of ESAC and FK Methods of Estimating Phase Velocity Using Arbitrarily Shaped Microtremor Arrays, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 92, 2323, 2332.
- Parea G.C., 1991. I terrazzi marini dell'Emilia-Romagna nella stratigrafia sequenziale del Pleistocene superiore, *Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia*, IS.PR.A. 46, 191-206.
- Park C.B., Miller R.D., Xia J., 1999. Multichannel analysis of surface waves (MASW), *Geophys.*, 64, 800-808.
- Regione Emilia-Romagna e ENI-AGIP, 1998. *Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna*, Bologna.
- Roveri M., Lugli S., Manzi V., Gennari R., Iaccarino S.M., Grossi F., Taviani M., 2006. The record of Messinian events in the Northern Apennines Foredeep Basins - *R.C.M.N.S. Interim Colloquium "The Messinian salinity crisis revisited-II"*, Parma (Italy), 7 th - 9th September.
- Rovida A., Camassi R., Gasperini P., Stucchi M., 2011. *CPTI11 - Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani*, Milano. <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI>. DOI: 10.6092/INGV.IT-CPTI11
- Seed H.B., Idriss I. M., 1970. *Soil Moduli and Damping Factors for Dynamic Response Analysis*, Report No. UCB/EERC-70/10, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, December, 48 p.
- SESAME, 2004. Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations. Measurements, processing and interpretation, WP12, deliverable no. D23.12 <http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/>
- Sieberg A., 1930. Geologie der Erdbeben, *Handbuch der Geophysik*, 2, 4, 552-555.

- Stucchi et al., 2007. DBMI04, il database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI04. *Quaderni di Geofisica*, 49, 38 pagine.
- Zoetemeijer R., 1993. *Tectonic modeling of foreland basins*, Academic Proefschrift Vrije Universiteit, Amsterdam.



## 12. ALLEGATI

### ALLEGATO 1. CARTA GEOLOGICA E SEZIONI

Descrizione delle formazioni affioranti nel comune di Cesena secondo Benini *et al.* (2009), Carta Geologica dell'Italia in scala 1:50.000 – foglio n. 255. La simbologia si riferisce alla carta allegata in miniatura.

#### SUPERSINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO

I depositi quaternari delle piane intravallive e della Pianura Padana sono stati distinti in unità stratigrafiche a limiti inconformi (UBSU: supersintemi, sintemi e subsintemi), ovvero corpi sedimentari compresi tra superfici di discontinuità quali erosioni o lacune stratigrafiche. Ciascuna UBSU comprende, al suo interno, sedimenti di ambiente deposizionale e litologie diverse.  
Raggruppa tutti i depositi quaternari alluvionali che poggiano in discordanza sui depositi marini mio-plio-pleistocenici. Comprende il Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES) e il Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI, presente solo nel sottosuolo della pianura).

#### SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE

In affioramento comprende depositi di piana intravalliva e di piana alluvionale. Nel sottosuolo della pianura è costituito da una successione di cicli trasgressivo-regressivi formati da argille, limi, sabbie e ghiaie di ambiente alluvionale.

In affioramento e nel sottosuolo prossimale alla catena il limite inferiore è erosivo e discordante sui depositi marini mio-pliocenici. Nel sottosuolo della pianura più distale il limite è discordante con AEI.

Sintema parzialmente suddiviso in subsintemi (AES<sub>4-8</sub>). Nei settori intravallivi ciascun subsintema corrisponde ad un singolo terrazzo o gruppi di terrazzi limitati dalle principali scarpate di erosione fluviale e dai relativi paleosuoli. Nella pianura e nel sottosuolo i subsintemi corrispondono ai cicli deposizionali suddetti limitati dai bruschi contatti fra depositi fini alluvionali e palustri (di natura trasgressiva, correlati nei fogli a N ed E con depositi marino-marginali) su depositi grossolani regressivi di conoide e di piana alluvionale.

I depositi fini di tracimazione fluviale dei terrazzi del margine appenninico ed alcuni depositi terrazzati delle valli minori non sono differenziati in subsintemi. Nel sottosuolo presso lo sbocco vallivo del F. Savio, Ronco e Rabbi, i depositi grossolani di conoide si amalgamano fra loro ed i singoli subsintemi non sono più separabili. Nel sottosuolo della pianura alluvionale sono presenti 2 cicli deposizionali inferiori conosciuti in modo approssimativo e difficilmente correlabili coi depositi affioranti pertanto non sono stati formalizzati separatamente come subsintemi.

**PLEISTOCENE MEDIO-OLOCENE**

AES

##### Subsintema di Villa Verucchio

Depositi fluviali intravallivi e di conoide alluvionale costituiti da ghiaie di canale spesse da 2 a 10 m direttamente affioranti (sbocco vallivo del F. Rabbi) o ricoperte di sabbie, limi ed argille di tracimazione e/o di origine eluvio-colluviale di versante (settori intravallivi). Depositi organizzati in diversi ordini di terrazzo con inclinazione nei tratti terminali delle valli di circa il 13 per mille. Limite superiore dato da: a) un suolo non calcareo molto evoluto di colore bruno scuro (HUE 7.5YR o 10YR) spesso fino a 1,5 m allo sbocco vallivo del F. Rabbi e b) suoli non calcarei policiclici spessi complessivamente fino a 2 o 3 m con al tetto colore bruno scuro (HUE 10YR) nei settori intravallivi. Limite inferiore dato da una superficie di erosione fluviale. Spessore massimo in affioramento circa 10 m.

**PLEISTOCENE SUP.** (125.000 – 17.000 anni BP; datazione <sup>14</sup>C non cal. e da fogli limitrofi).

AES<sub>7</sub>

##### Unità di Modena

Depositi fluviali intravallivi e di piana alluvionale, costituiti da ghiaie, sabbie, limi ed argille di canale fluviale, argine e, localmente, di piana inondabile.

Limite superiore coincidente con il piano topografico dato da un suolo calcareo di colore bruno olivastro e bruno grigiastro (HUE 2,5Y) privo di reperti archeologici romani, o più antichi, non rimaneggiati e caratterizzato da una buona preservazione delle forme deposizionali originarie (argini e bacini interfluviali). Limite inferiore dato da una superficie di erosione fluviale nelle aree intravallive e dal contatto delle tracimazioni fluviali sul suolo non calcareo di epoca romana nelle aree di pianura.

Includo, concettualmente, i depositi fluviali in evoluzione b<sub>1</sub> che però, in accordo con la tradizione della cartografia geologica preesistente, sono stati cartografati separatamente. Spessore massimo in affioramento 3-4 m.

**POST-ROMANA** (IV-VI sec. d.C. - Attuale; datazione archeologica).

AES<sub>8a</sub>

##### Subsintema di Ravenna

Depositi fluviali intravallivi e di piana alluvionale. Nei settori intravallivi: ghiaie e sabbie di canale fluviale spesse da 2 a 5 m ricoperti da spessori variabili di sabbie, limi ed argille di tracimazione; sono organizzati in 4-5 ordini di terrazzo con inclinazione variabile, nei tratti terminali delle valli, dal 4 al 7 per mille. Nella pianura: sabbie, limi ed argille di canale e di tracimazione fluviale. Limite superiore coincidente con il piano topografico, dato da suoli variabili da non calcarei a calcarei. I suoli non calcarei hanno colore bruno scuro e bruno scuro giallastro (HUE 10YR o 2,5Y), spessore dell'orizzonte decarbonatato da 0,5 ad 1 m e contengono reperti archeologici di età dal Neolitico al Romano. I suoli calcarei appartengono all'unità AES<sub>8a</sub>. Limite inferiore coincidente, in affioramento, con una superficie di erosione fluviale. Spessore massimo in affioramento di circa 10 m.

**PLEISTOCENE SUP.-OLOCENE** (circa 14.000 anni BP - Attuale; datazione <sup>14</sup>C non cal).

AES<sub>8</sub>



## S U C C E S S I O N E P L I O - P L E I S T O C E N I C A



### SABBIE DI IMOLA

Alternanze di livelli sabbiosi grossolani prevalenti e subordinati conglomerati in strati decimetrici-metrici con cementazione modesta o assente; presenti lenticelle centimetriche e decimetriche di peliti biancastre e grigio-verdi. Limite superiore erosivo discordante con i depositi alluvionali; limite inferiore erosivo sempre discordante su FAA o su formazioni più antiche. Potenza di circa 80 m.

**IONIANO**



### ARGILLE AZZURRE

In questa formazione sono compresi i sedimenti terrigeni composti in prevalenza dalle Argille Azzurre (FAA) di età compresa tra il Pliocene inferiore e il Pleistocene inferiore, con base localmente costituita dalle Marne di Cella (CEA), in cui si intercalano le arenarie di Borello (FAA<sub>2</sub>) nella parte alta del Pliocene inferiore, le calcareniti dello Spungone (FAA<sub>3</sub>) nel Pliocene medio e, a varie altezze stratigrafiche, litofacies arenaceo-pelitiche e sabbiose tra cui, nel Pliocene medio, le arenarie e argille di Lardiano (FAA<sub>1a</sub>) Auctt. e nel Pleistocene inferiore la litofacies di Terra del Sole (FAA<sub>1s</sub>). Nella parte sud orientale del Foglio affiorano le Breccie a blocchi di Sogliano della parte alta del Pliocene inferiore e l'Olistostroma di Santa Maria Riopetra del Pliocene inferiore.

Argille, argille marnose e marne argillose, grigie e grigio-azzurre, in strati per lo più medi, raramente ben evidenti, con lamine e strati sottili siltosi e arenacei. Frequenti tracce di bioturbazione e abbondanti lamellibranchi e gasteropodi, a nidi. Nella parte alta si distingue FAA<sub>1s</sub>. Nella parte sud-orientale del foglio (tra S. Maria Riopetra, Ciola Araldi e Sogliano al R.), si inseriscono lenti e livelli metrici non cartografabili di argille nere o verdi e microbreccie pelitiche appartenenti a FAA<sub>2</sub>.

Limite inferiore graduale rapido su CEA. Potenza affiorante da 200 a 1000 m.

**ZANCLEANO-CALABRIANO**

#### Litofacies di Terra del Sole (FAA<sub>1s</sub>)

Alternanza di: arenarie e siltiti, in strati da molto sottili a medi; argille siltoso-sabbiose, argille marnose, marne argillose grigio-verdastre, in strati sottili e molto sottili, lenticolari, con laminazione piano-parallela, ondulata e incrociata (vi compaiono livelli di concentrazione di biosomi, bioclasti e frustoli carboniosi); arenarie e siltiti con alta componente argilloso-siltosa; argille e siltiti, con subordinate sabbie e siltiti argillose, mal stratificate; argille grigio-scure, un po' sabbiose, in lenti di potenza metrica; arenarie in lenti di potenza metrica. Vi si intercalano lenti decimetriche di argille massive (FAA). Potenza affiorante circa 400 m.

Talora costituisce la parte superiore della formazione.

**CALABRIANO**

#### Litofacies delle arenarie e argille di Lardiano (FAA<sub>1a</sub>)

Strati e pacchi di strati arenaceo-argillosi, con A/P da 3/1 a 5/1. Arenarie medio-fini e fini, grigie, talora nettamente gradate, poco cementate, in strati da sottili a spessi, con abbondanti frustoli carboniosi, biosomi, bioclasti e inclusi pelitici. Argille marnose, a volte laminate, in strati da molto sottili a medi, passanti talora ad argille sabbiose e siltose. Siltiti fittamente laminate, in letti sottili e molto sottili, con spalmature di materiale organico (diatomee, frustoli, ecc). Passano lateralmente a prevalenti argille e marne argillose con subordinati letti sottili e molto sottili di arenaria fine. Potenza 0-200 m.

**PIACENZIANO**

#### Membro dello Spungone

Corpi lenticolari metrici composti da: biocalcareni arenacei ben cementate, in strati da sottili a spessi, con grande variabilità laterale e verticale, contenenti ciottoli arenacei centimetrici; calciruditi e calcareniti bioclastiche, talora arenacee, e arenarie, grigie, a cementazione variabile, in lenti e strati di 30-200 cm; abbondanti concrezioni algali (Rodophyceae); argille marnose e sabbiose in strati sottili, lenticolari; breccie con ciottoli calcarenitici o arenacei, a spigoli vivi. Sono frequenti nidi e livelli di biosomi e concrezioni algali e livelli di concentrazione di macrofossili ricchi in lamellibranchi di varie specie e subordinati coralli ed echinidi. Il colore delle calcareniti è generalmente bianco sporco o giallo chiaro. Stratificazione piano-parallela o incrociata a basso angolo, con eteropie su brevi distanze e probabili chiusure di canali. Sono presenti locali e limitati episodi di risedimentazione per frana (slump).

In località chiesa di Montecchio (Capocolle) si alternano a livelli discontinui o plaghe decimetriche di marne argilloso-sabbiose grigie e brune, fortemente alterate. Verso l'alto presentano stratificazione decimetrico-metrica tabulare alla scala dell'affioramento, talora con interstrati centimetrici di peliti e peliti sabbioso-marnose laminate, di colore grigio-bruno; ciottoli sparsi immersi in matrice appartenenti a FMA, macrofossili sia interi che in frammenti e livelli di concentrazione di macrofossili ricchi in Lamellibranchi di varie specie; subordinati Coralli ed Echinidi.

In località Via Garaffona (in sinistra del T. Pisciatello) è presente un affioramento costituito da un'alternanza di marne e marne calcaree biancastre (Litofacies di Longiano, FAA<sub>3a</sub>) in strati decimetrici a giunti poco marcati per scarsa classazione granulometrica e/o bioturbazione. Contengono abbondanti foraminiferi e coralli isolati in posizione fisiologica. Lo spessore massimo è di 20 metri.

L'ambiente deposizionale è di piattaforma.

Limiti netti inferiore e superiore con FAA. Limite inferiore netto con il tetto di FAA<sub>2</sub>. Talora contatto inferiore discordante erosivo su FMA<sub>13</sub>. Potenza 10-160 m.

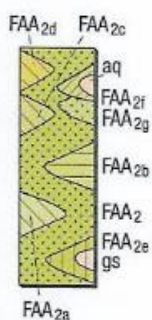
**PIACENZIANO**

#### Membro delle arenarie di Borello

Torbiditi marnoso-arenacei in sequenze positive e negativo-positive di alcuni m, con A/P 1/2 alla base e al tetto, oltre 2/1 nell'intervallo centrale. Arenarie grigie, giallastre se alterate, poco cementate, in strati sottili e medi, con abbondanti biosomi e bioclasti grossolani. Argille marnose, siltose e sabbiose. Saltuarie calcareniti con clasti quarzosi e argille marnose, siltose e sabbiose. Sono presenti strati con abbondanti microfossili e minor contenuto in sabbia e silt (emipelagiti). Diffusi macrofossili rimaneggiati. Passano lateralmente e gradualmente ad







alternanze arenaria-marna con A/P da 2/1 a 3/1, in strati sottili (FAA<sub>2a</sub>): potenza massima 50 m. Localmente gli strati sono amalgamati ed A/P = 10 (FAA<sub>2b</sub>). Presenti al limite sudorientale della carta corpi lenticolari di arenarie grossolane e ricche di bioclasti (FAA<sub>2c</sub>), di ghiaie con potenza massima di 7-8 m (FAA<sub>2d</sub>) e olistostromi a varia composizione (FAA<sub>2e</sub> e FAA<sub>2f</sub>). Analogamente a quanto avviene per FAA nella parte sud-orientale del foglio, si osservano lenti e livelli metrici non cartografabili del tutto simili a FAA<sub>2</sub>, originati da meccanismi prevalentemente gravitativi (colate di fango).

Limiti superiore e inferiore con FAA graduali rapidi ed eteropici (diminuzione del contenuto argilloso; aumento dei fossili; scomparsa delle intercalazioni arenacee).

Potenza massima 350 m.

**ZANCLEANO**

#### Breccia a blocchi di Sogliano (FAA<sub>2f</sub>)

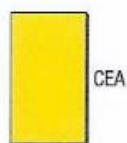
Accumulo caotico composto da: marne e marne calcaree grigio-chiare o biancastre; torbiditi arenaceo-marnose con alta componente carbonatica; argille scure o varicolori, provenienti dallo smantellamento di AQV e AWV, che talora costituiscono olistoliti cartografabili (aa). Quando la matrice argillosa diventa prevalentemente varicolorata si ha FAA<sub>2g</sub>, con calcilutiti sparse e diffuse; spessore di diverse decine di m e forti variazioni laterali con rapide chiusure.

**ZANCLEANO**

#### Olistostroma di Santa Maria Riopetra (FAA<sub>2e</sub>)

Peliti provenienti essenzialmente da FAA con clasti e blocchi provenienti da AW; argilliti rosso-scure, rosate, verdi, nerastre, in strati molto sottili e sottili; arenarie fini, grigie; calcilutiti silicee grigie, gradate, in strati medi e spessi; calcilutiti marnose grigio-chiare in strati spessi. Sono presenti olistoliti di VGS (gs).

**ZANCLEANO**



#### MARNE DI CELLA

Marne e marne argillose, grigio-chiare, a stratificazione raramente netta e visibile, con abbondanti micro- e macrofossili. Ove presenti, compaiono alla base di FAA con limite graduale ed eteropico (aumento del contenuto argilloso; minore frequenza di fossili; comparsa di intercalazioni arenacee).

Limite inferiore netto e concordante su FCO (clg).

Potenza 0-80 m.

**ZANCLEANO**

### SUCCESSIONE MESSINIANA

#### GRUPPO DELLA GESSOSO-SOLFIFERA

##### FORMAZIONE A COLOMBACCI

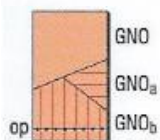
Marne e marne argillose, grigie, grigio-scure, verdastre, viola o nere, in strati sottili e medi, con subordinate siltiti e arenarie grigie medio-fini in sottili strati lenticolari (A/P < 1/3) e lamine calcaree o calcareo-marnose. Con l'aumento del contenuto arenaceo (A/P fra 2/1 e 1/3) passano a FCO<sub>c</sub>. Vi si intercalano lenti arenacee (FCO<sub>a</sub>) o conglomeratiche (FCO<sub>b</sub>), 6 orizzonti calcarei ("colombacci": cl<sub>1-6</sub>). Sono presenti olistoliti di VGS (gs).

Limite inferiore su GNO concordante, netto e coincidente con cl<sub>1</sub>, oppure discordante su GNO, VGS e FMA, spesso complicato da frammenti sinsedimentari.

Potenza variabile da 1 a 450 m.

##### Litofacies arenaceo-pelitica (GNO<sub>3</sub>)

Localmente alla base si intercala una lente di qualche decina di m di arenarie grigie e giallastre, poco cementate, con clasti derivanti dal disfacimento di FMA, alternate a marne siltose grigie, gradate (1/3 ≤ A/P ≤ 2), dello spessore complessivo di qualche decina di metri.



##### Litofacies di Pieve di Rivoschio (GNO<sub>2</sub>)

Accumuli caotici lenticolari (slump) composti da: gessareniti grigie in strati medi e spessi, con subordinate siltiti e peliti in strati sottili; gessi meso- e macrocristallini risedimentati in strati spessi e ondulati (lenti discontinue separate da superfici erosive e con strutture da scivolamento gravitativo); alternanze decimetriche di gessareniti e gesso alabastrino brecciato; rare gessareniti massive e/o gradate in strati medi; sparsi blocchi e frammenti di evaporiti gessose e/o carbonatiche ("Calcare di base" degli AA); marne siltose e gessose, grigie, compatte o fittamente laminate, inglobanti ciottoli anche di 10 cm derivanti da litotipi appenninici, poco arrotondati e con fori di litodomi; peliti, siltiti e areniti fini, con inclusi micro- e meso-cristallini di gesso secondario, lenticolari.

Limite inferiore con GNO o FMA netto e discordante.

Potenza da 0 a 100 m.

E' stato distinto l'orizzonte guida op "vulcanite di Osteria di Piavola": 4 strati gradati di tufiti grigie, biancastre se asciutte, a grana da grossolana a fine. I frammenti vulcanici sono rappresentati da prevalente vetro vescicolare e lamellare e da subordinati biotite feldspati e quarzo. Spessore di circa 50 centimetri.

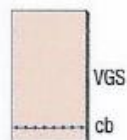
##### FORMAZIONE DELLA VENA DEL GESSO (cfr. Formazione Gessoso Solfifera)

Gessi mesocristallini grigio o rosato ("balatino"), variegati, in strati per lo più da sottili a medi; gessareniti e gessoruditi grigie, in strati medi, talora spessi; gesso selenitico con cristalli geminati a "coda di rondine", di diversi cm; marne e marne gessose grigie o grigio-scure in strati sottili, talora medi, con evidente laminazione piano-parallela; siltiti grigio-chiare gradate, passanti ad arenarie fini organogene; marne siltose grigie compatte a laminazione ondulata; dolomie e calcari dolomitici grigi alternati a marne e marne siltose grigie o grigio-scure. Affiora alla base della formazione un banco di calcare e calcare dolomitico biancastro o grigio-chiaro, con frequenti ondulazioni alla base, cb "Calcare di base" AA. Potenza 0-7 m.

Limite inferiore netto su GHL o FMA<sub>14</sub>, talora marcato da cb.

Potenza complessiva da 0 a 150 m.

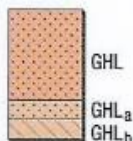
**MESSINIANO**





## SUCCESSIONE UMBRO - MARCHIGIANO - ROMAGNOLA

### FORMAZIONE DEI "GHIOLI DI LETTO"



Marne grigie, nocciola o nerastre (ricche di materiale organico), alternate a biosiltiti marnose biancastre contenenti diatomee. Strati sottili e molto sottili, talora fortemente ondulati, con fitta laminazione piano-parallela. Localmente si intercalano sottili strati arenacei. Nella parte bassa l'unità passa ad arenarie in strati sottili alternate a emipelagiti grigio-azzurre o grigio-scuere (GHL<sub>a</sub>). A pochi m dalla base si intercala uno orizzonte di scivolamento sottomarino (*slump* di Monte dei Frati) composto da materiali derivanti da FMA e GHL (potenza massima di 50 m, equivalente laterale del "melange" sedimentario della Valle del Savio -MVS-). Tripoli e marne tripolacee GHL<sub>b</sub>.

Limite inferiore con FMA<sub>14</sub> graduale ed eteropico.

Potenza massima maggiore di 500 m.

**TORTONIANO - MESSINIANO**

### FORMAZIONE MARNOSO-ARENACEA ROMAGNOLA

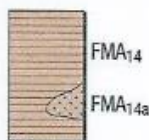
Alternanze torbiditiche arenaceo-pelliche ed emipelagiti con rapporto arenite-pelite (A/P) e spessore medio dei letti arenitici variabili. Areniti medie e fini, talora con base grossolana e microconglomeratica, di provenienza alpina (arenarie feldspatiche e litiche con paleocorrenti da ONO) e subordinatamente appenninica (calcareniti e areniti ibride con paleocorrenti da ESE). Formazione distinta in membri e litofacies, parzialmente eteropici.

Base non affiorante.

Potenza affiorante circa 4000 m.

Età per i termini affioranti: **SERRAVALLIANO - TORTONIANO**

#### Membro di Borgo Tossignano



Marne, marne argillose, argille marnose, grigie e grigio-azzurre, in strati sottili e medi, talora sottilmente laminati, con subordinate intercalazioni arenacee in letti da molto sottili a medie; presenti emipelagiti. Marne varicolori o scure, fittamente laminate, alternate a siltiti e arenarie fini in lenti con chiusura a piccola scala, al massimo di 1 m. A/P crescente verso il basso da 1/10 a 1/3.

Affiora ad Est di Valdinoce un banco arenitico gradato (*ar* in carta), qui potente circa 4 m e lenticolare alla scala cartografica, su cui poggiano in maniera netta le peliti dei Ghioli di Letto.

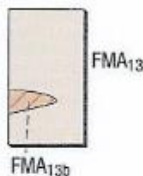
Litofacies arenacea con  $1/3 < A/P < 1/2$  (FMA<sub>14a</sub>).

Limite inferiore netto o graduale rapido su FMA<sub>13</sub>, coincidente a volte con il tetto di un orizzonte (da pochi dm a pochi m) formato da arenarie poco cementate in letti sottili e medi.

Potenza 0-100 m.

**TORTONIANO**

#### Membro di Fontanelice



Arenarie prevalenti (A/P da 3/1 a 20/1), da grossolane a medie, in strati spessi e molto spessi, talora condensati con spessori fino a 10 m, con strutture trattive mal visibili; inclusi pelitici, biosomi e bioclasti; formano lenti a base erosiva, intercalate spesso entro alternanze arenaceo-marnose con A/P fra 2/1 e 12/1 (moda 5/1). Nella parte alta sono presenti anche stratificazioni di conglomerati poligenici con ciottoli da 1 a 10 cm. Strati medi di marne calcaree e torbiditi sottili in sequenze metriche, lenticolari a media scala, e pacchi di strati a minore contenuto arenaceo con A/P che scende fino ad 1/3, appartenenti a FMA<sub>13b</sub>. L'unità nel suo insieme ha l'aspetto di un grosso corpo lenticolare poggiante su una superficie erosiva a carattere di "unconformity" regionale.

Limite inferiore netto, a volte marcatamente erosivo e discordante, su FMA<sub>12</sub>.

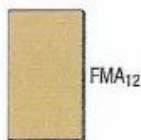
Potenza complessiva circa 250-400 m.

**TORTONIANO**

#### Litofacies della Val Samoggia (FMA<sub>13b</sub>)

Alternanze marnoso-arenacee ( $1/3 \leq A/P < 5$ ). Arenarie fini e medie, con laminazione piano-parallela, talora marnose e ricche di frustoli carboniosi, in letti da sottili a medi, spesso lenticolari. Marne e marne argillose, grigie brune, sottilmente laminate, in strati da sottili a medi, talora spessi. Emipelagiti presenti. Lenti da decimetriche metriche, con chiusura a piccola scala, di calcari micritici. Locali *slump* di spessore massimo 3-4 m. Stratificazione da sottile a molto spessa e banchi, con strati talora amalgamati; granulometria da grossolana a fine. La cementazione è modesta, strutture trattive visibili generalmente solo in strati da molto sottili a spessi. Spessore variabile da poche decine ad alcune centinaia di metri. Limite inferiore non affiorante. In località "I Cappuccini" (Cesena) si osserva negli interstrati marnosi la presenza di materiale sedimentato in condizioni euxiniche per un spessore massimo inferiore ai 100 m.

#### Membro di Castel del Rio



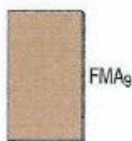
Alternanza arenaceo-siltitico-marnosa organizzata in sequenze coarsening e fining upward (A/P da 2/3 a 5/1 nella parte alta). Arenarie medie e fini, siltiti e marne spesso siltose e sabbiose, rare emipelagiti. Alla sommità abbondano gli strati arenacei spessi, per il resto prevalgono quelli sottili e medi.

Limite inferiore coincidente con un pacco di strati arenacei (15 m), per lo più spessi, con intercalate torbiditi sottili.

Potenza 350-400 m.

**TORTONIANO**

#### Membro di Civitella



Alternanza marnoso-arenacea (A/P attorno a 1/2, talora 1/3). Arenarie medie e fini, in letti sottili o medi, più raramente spessi e molto spessi; arenarie marnose e marne più o meno sabbiose; emipelagiti sottili e medie; rari straterelli siltosi o arenacei fini. Saltuarie e discontinue intercalazioni di pacchi ("lobi") arenacei metrici a provenienza NO-NNO.

Limite inferiore graduale rapido, parzialmente eteropico su FMA<sub>8</sub>.

Potenza oltre 1000 m.

**SERRAVALLIANO - TORTONIANO**

FMA<sub>8</sub>**Membro di Nespoli**

Alternanza arenaceo-marnosa (A/P da 1/1 a 3/2). Arenarie da grossolane a fini, con gradazione e lamine trattive, in letti sottili, subordinatamente medi e spessi, raramente molto spessi. Presenti emipelagiti.  
 Limite inferiore graduale rapido, parzialmente eteropico su FMA<sub>7</sub>.  
 Potenza da 110 a 400 m.  
**SERRAVALLIANO**

FMA<sub>7</sub>**Membro di Monte Bassana**

Alternanza marnoso-arenacea (A/P da 1/1a 1/3). Arenarie medie e fini, raramente grossolane, ben cementate, in letti per lo più sottili, subordinatamente spessi e medi. Emipelagiti diffuse.  
 Limite inferiore su FMA<sub>5</sub> graduale rapido, più o meno coincidente con fr.  
 Potenza 220-250 m.  
**SERRAVALLIANO**

FMA<sub>5</sub>**Membro di Collina**

Alternanza marnoso-siltitico-arenacea ( $1/3 < A/P < 1/5$ ). Arenarie gradate, da grossolane a fini nei letti più spessi, medie e fini negli altri, con strutture trattive sempre molto evidenti, in letti sottili e spessi, subordinatamente medi. Frequenti strati sottili siltosi e arenacei fini. Marne grigie o verdastre, prive di laminazione, in strati sottili e medi. Abbondanti emipelagiti ricche di foraminiferi.  
 Limite inferiore graduale su FMA<sub>4</sub> (aumento di A/P e dei letti arenacei spessi e molto spessi), più o meno coincidente con mr.  
 Potenza circa 50 m.  
**SERRAVALLIANO**

FMA<sub>4</sub>**Membro di Galeata**

Alternanza marnoso-arenacea in pacchi di strati con A:P di volta in volta variabile tra 1/2 a 1/3. Arenarie medie e fini, talora grossolane, in letti per lo più sottili e molto sottili; diffuse emipelagiti (rapporto con le marne torbiditiche da 1/3 a 1/1). Frequenti torbiditi calcaree sottili, con provenienza da SE.  
 Limite inferiore non affiorante.  
 Potenza affiorante 50 m.  
**SERRAVALLIANO**

Sono stati distinti come orizzonti guida alcune torbiditi calcareo-marnose con provenienza da SE ("colombine") e alcuni banchi arenacei; si forniscono gli spessori delle porzioni arenitica A e pelitica P:

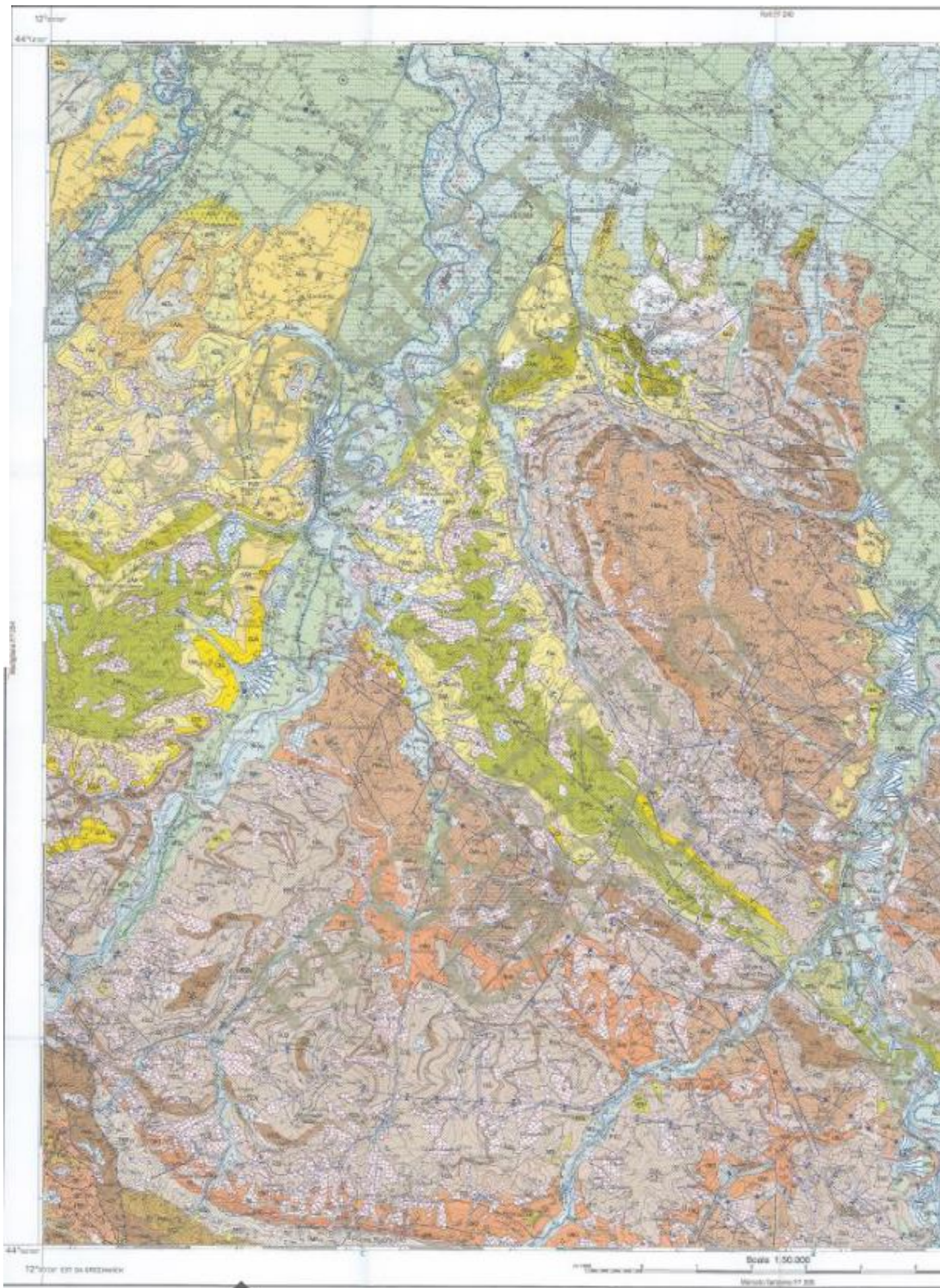
ar banco arenitico al tetto di FMA<sub>14</sub>

se "colombina Serra": A 2-5 cm; P 40-70 cm. Si trova a 175 m dalla sommità di FMA<sub>7</sub>

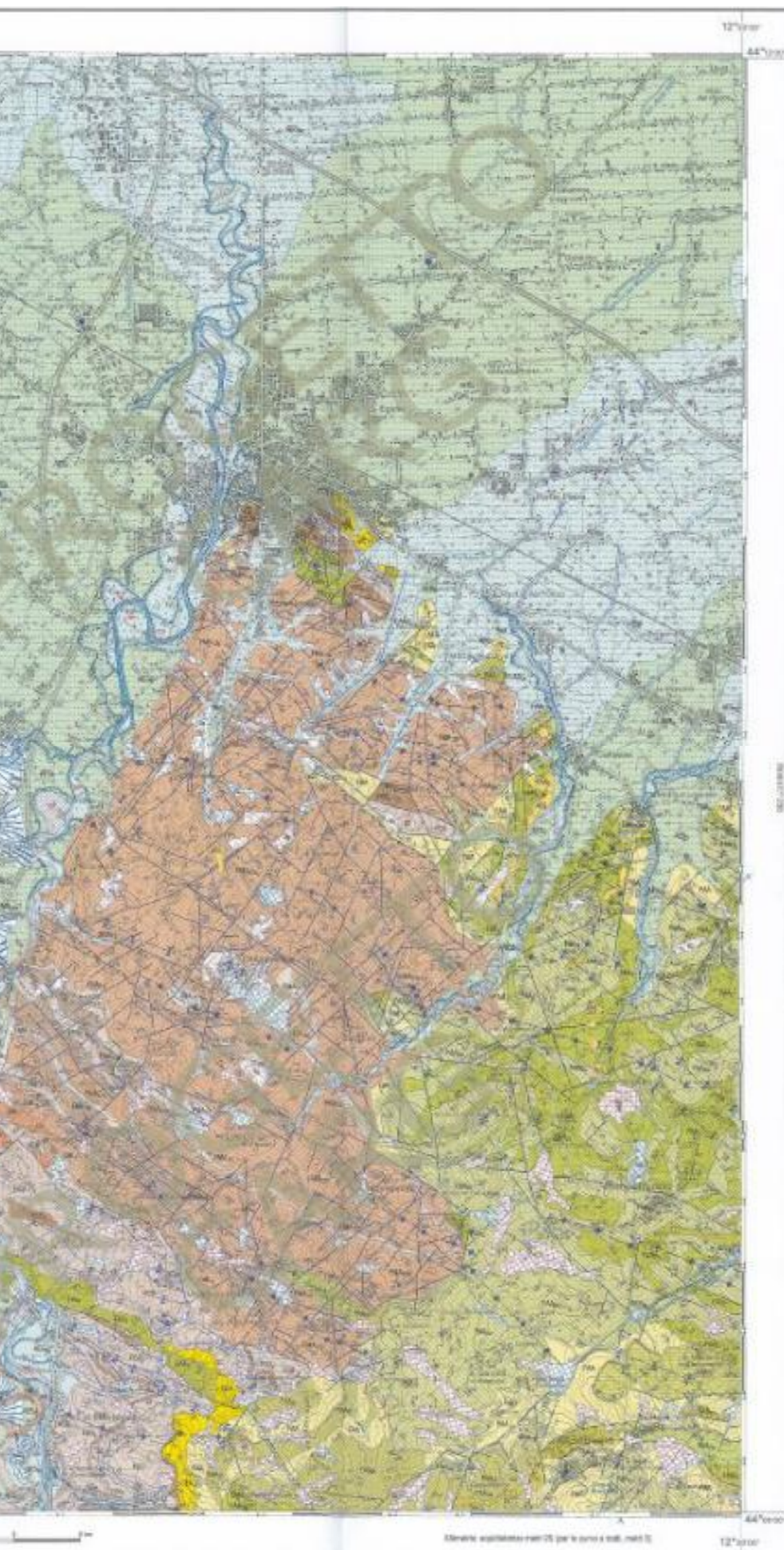
fr "colombina Fratta": A 3-5 cm; P 70 cm. Si trova ~ 70 m sotto se

mr "colombina Monte Mirabello": A 5-10 cm; P 30-40 cm. Si trova ~ 50 m sotto fr











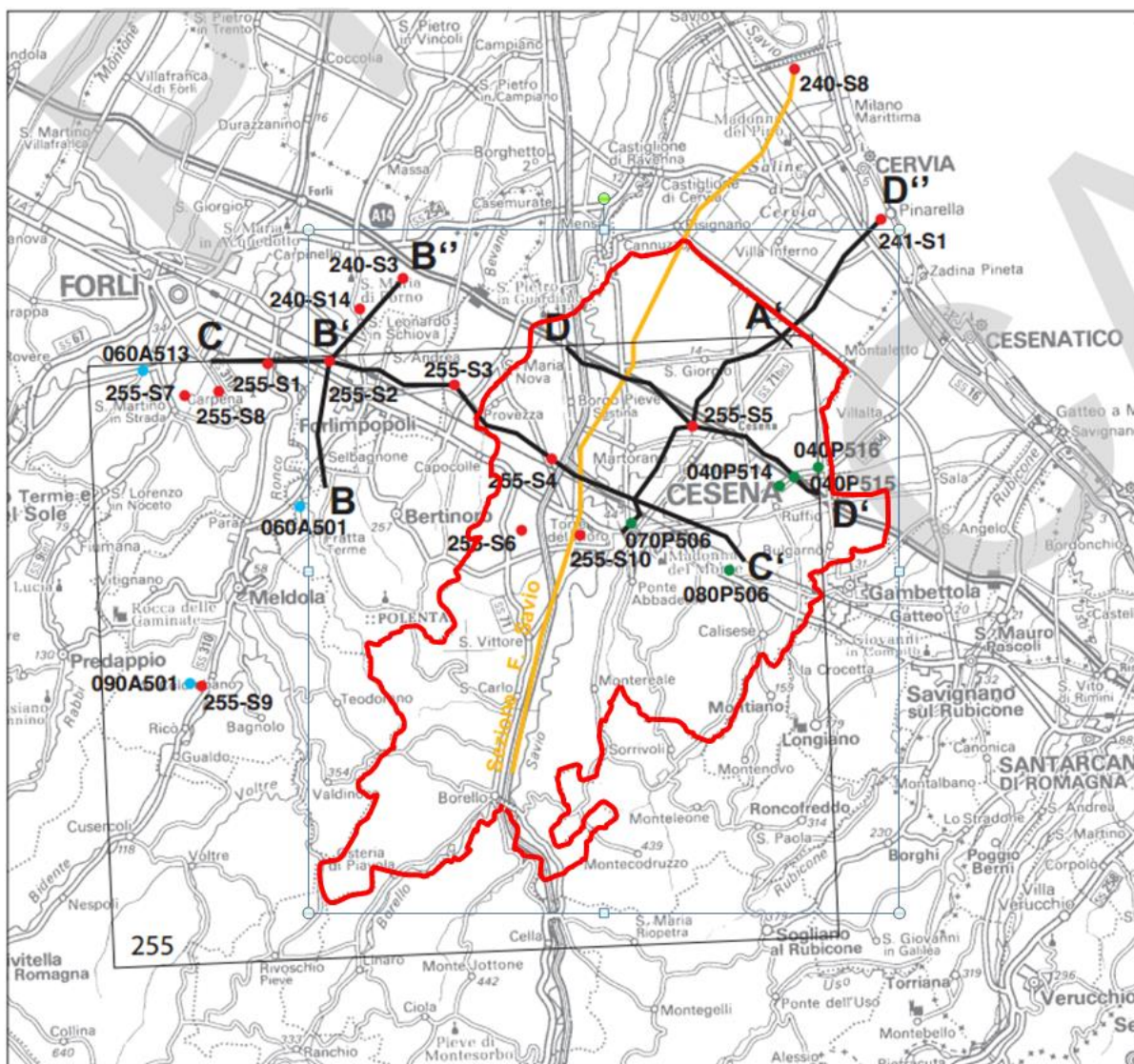


Figura 50 . Ubicazione dei sondaggi e delle sezioni riportati nella pagine successive (Benini *et al.*, 2009).

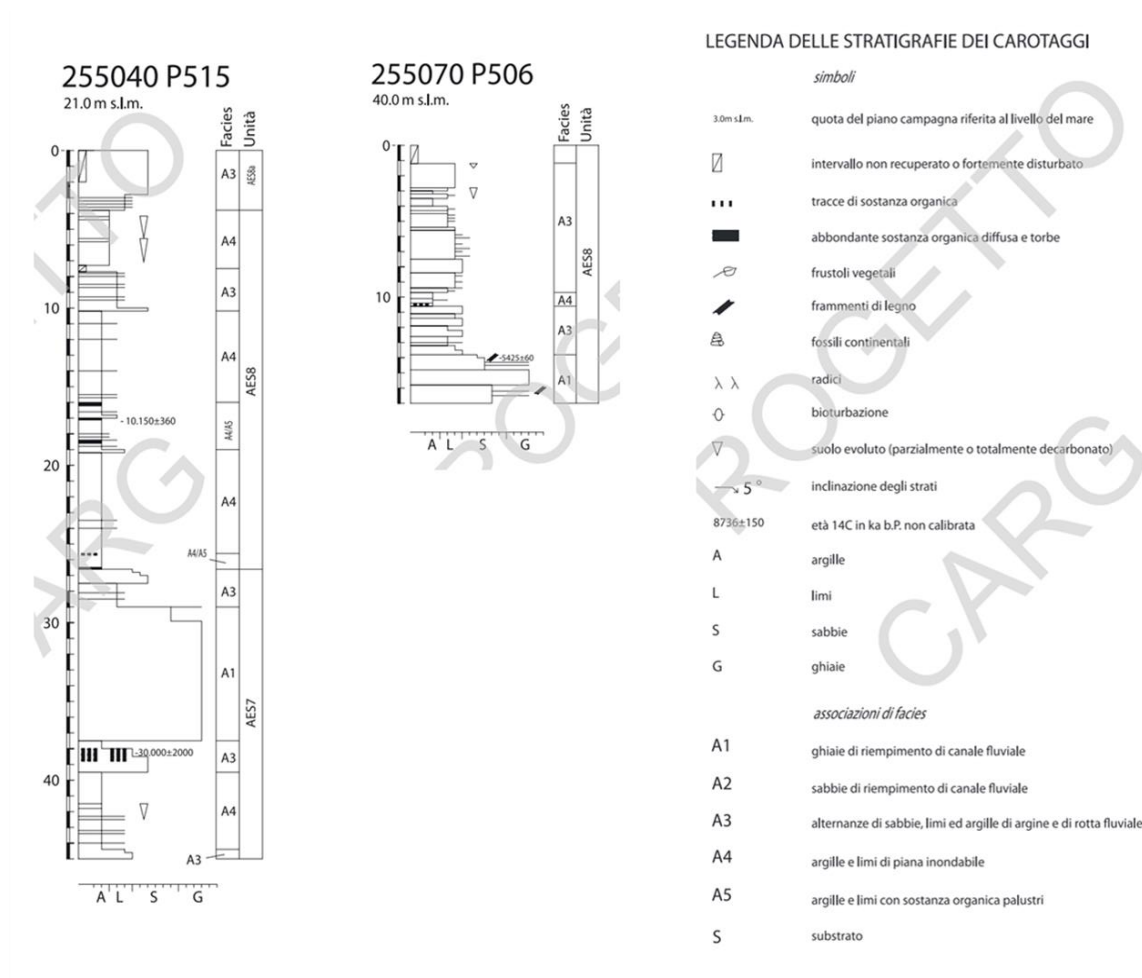


Figura 51. Esempi di carotaggi disponibili nel Comune (ubicazione in Figura 50).

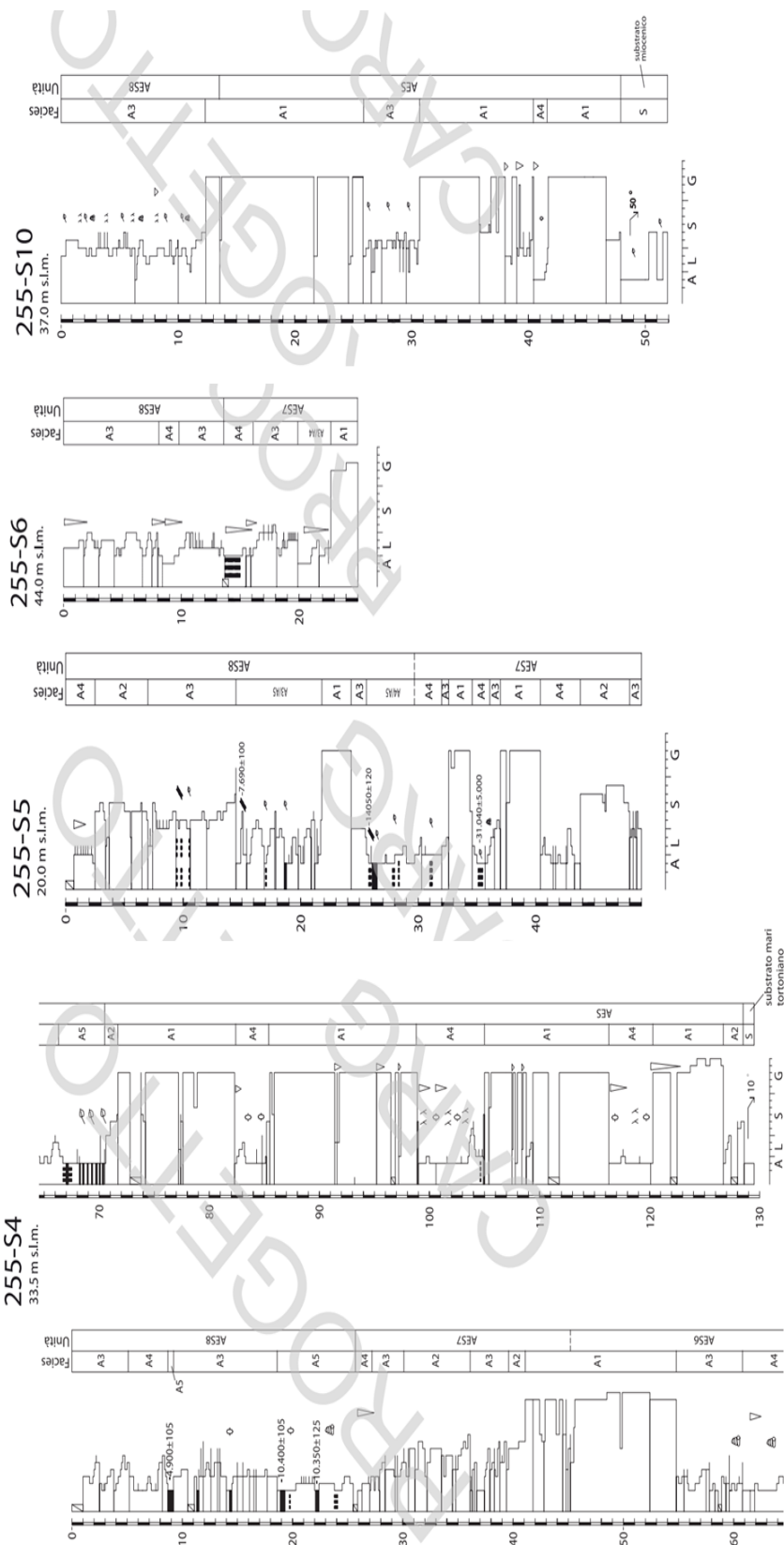


Figura 52. Esempi di carotaggi disponibili nel Comune (ubicazione e fonte in Figura 50).







## ALLEGATO 2. STORIA SISMICA DEL COMUNE DI CESENA

La Tabella 5 riporta l'elenco dei terremoti che sono stati risentiti presso l'abitato di Cesena [44,139°N – 12,243°E] dall'anno 1000 al 2006 secondo il catalogo ufficiale dell'INGV - DBMI11 (*DataBase Macrosismico Italiano*, Locati *et al.*, 2011Aa; 2011b; Rovida *et al.*, 2011). L'intensità dello scuotimento dei terremoti storici è valutata secondo la scala Mercalli-Cancani-Sieberg (Sieberg, 1930).

**Tabella 5. Eventi macrosismici che hanno interessato Cesena nell'ultimo millennio (INGV-DBMI11).** Is = Intensità avvertita a Cesena in MCS; Np = numero di osservazioni macrosismiche disponibili per il terremoto; I<sub>0</sub> = intensità epicentrale in MCS; M<sub>w</sub> = magnitudo momento stimata per il terremoto; F = avvertito; NF = non avvertito.

Is (MCS)	Data e ora	Luogo	Np	I <sub>0</sub>	M <sub>w</sub>
8	1483 08 11 19:40	Romagna meridionale	14	8	5.7 ±0.4
7	1428 07 03 05:00	PREDAPPIO	6	7-8	5.4 ±0.7
7	1661 03 22 12:50	Appennino romagnolo	79	9	6.1 ±0.2
7	1870 10 30 18:34	Romagna	41	8	5.6 ±0.3
7	1881 09 28	CESENA	24	6-7	4.8 ±0.3
7	1911 02 19 07:18	Romagna meridionale	181	7	5.3 ±0.1
6	1672 04 14 15:45	Riminese	92	8	5.6 ±0.2
6	1688 04 11 12:20	Romagna	39	8-9	5.8 ±0.3
6	1781 04 04 21:20	Romagna	96	9-10	5.9 ±0.2
6	1916 05 17 12:49:50	Alto Adriatico	132		5.9 ±0.1
6	1916 08 16 07:06	Alto Adriatico	257		6.1 ±0.1
6	1918 11 10 15:12:28	Appennino romagnolo	187	9	5.9 ±0.1
5	1584 09 10 20:30	Appennino tosco-emiliano	18	9	5.8 ±0.3
5	1741 04 24 09:00	FABRIANESE	145	9	6.2 ±0.1
5	1768 10 19 23:00	Appennino romagnolo	45	9	5.9 ±0.2
5	1781 06 03	CAGLIESE	157	10	6.4 ±0.1
5	1781 07 17 09:40	Romagna	46	8	5.6 ±0.3
5	1801 10 08 07:52:53	Bologna	6	6	5.1 ±0.8
5	1841 04 14 04:00	CAGLI	4	5-6	4.5 ±0.3*
5	1844 03 10 17:15	FORLI'	2	5-6	4.5 ±0.3
5	1909 01 13 00:45	BASSA PADANA	799	6-7	5.5 ±0.1
5	1914 10 27 09:22:36	Garfagnana	618	7	5.8 ±0.1
5	1915 01 13 06:52	Avezzano	1041	11	7.0 ±0.1
5	1916 06 16 01:27	Alto Adriatico	17		
5	1919 06 29 15:06:12	Mugello	566	10	6.3 ±0.1
5	1930 10 30 07:13:13	SENIGALLIA	263	8	5.8 ±0.1
5	1935 06 05 11:48:02	Faentino	27	6	5.2 ±0.2
4	1869 06 25 13:58	Media valle del Reno	18	7-8	5.4 ±0.5
4	1913 07 21 22:35	VALLE DEL LAMONE	43	5-6	4.8 ±0.2
4	1920 09 07 05:55:40	Garfagnana	756	10	6.5 ±0.1
4	1929 04 10 05:43:12	Bolognese	87	7	5.0 ±0.1
4	1951 09 01 06:56:04	SARNANO	81	7	5.3 ±0.2
4	1952 07 04 20:35:12	Appennino romagnolo	64	7	5.0 ±0.2
4	1956 05 26 18:39:57	Appennino romagnolo	79	7	5.0 ±0.1
4	1956 06 03 01:45:57	Appennino romagnolo	62		
4	1963 08 09 06:05:30	Faentino	16		5.0 ±0.2
4	1985 11 24 06:54:04	APP. FORLIVESE	29	5-6	4.3 ±0.2
4	1987 07 05 13:12:37	VALMARECCHIA	90	6	4.5 ±0.1
4	1991 01 14 07:38:36	ARETINO	62	5	4.5 ±0.1
4	2000 05 08 12:29:56	Emilia Romagna	126	5	4.7 ±0.1
4	2000 05 10 16:52:12	Emilia Romagna	151	5-6	4.9 ±0.1
3	1779 06 01 23:55	Bolognese	8		
3	1779 07 14 19:30	Bolognese	17		
3	1780 05 25	RAVENNA	5	5-6	4.5 ±0.3
3	1873 03 12 20:04	Marche meridionali	196	8	5.9 ±0.1
3	1874 10 07	IMOLESE	60	7	5.0 ±0.2
3	1879 04 27 04:06	Valle del Senio	20	7	5.0 ±0.5
3	1881 02 14 09:00:30	Bolognese	21		
3	1887 09 30 15:55	Faenza	10	5	4.3 ±0.5
3	1895 04 14 22:17	Slovenia	296	8	6.2 ±0.1
3	1895 05 18 19:55:12	Fiorentino	401	8	5.4 ±0.1

Is (MCS)	Data e ora	Luogo	Np	I <sub>0</sub>	M <sub>w</sub>
3	1897 12 18 07:24:20	Appennino umbro-marchigiano	132	7	5.1 ±0.1
3	1929 04 11 00:56:08	Bolognese	10		5.0 ±0.4
3	1939 02 11 11:16:54	MARRADI	31	7	5.0 ±0.2
3	1957 04 17 02:22:36	S. SOFIA	14	6	4.7 ±0.2
3	2001 11 26 00:56:55	Casentino	213	5-6	4.7 ±0.1
2	1956 04 26 03:00:03	Appennino tosco-emiliano	75	6	4.8 ±0.1
6-7	1194	GALEATA	3	6-7	4.9 ±0.3
4-5	1509 04 19	Faentino	5	7	5.0 ±0.8
6-7	1653 08 15	CESENA	3	5-6	4.5 ±0.3
6-7	1786 12 25 01:00	Riminese	91	8	5.6 ±0.2
6-7	1813 09 21 07:45	Romagna centrale	12	7	5.3 ±0.9
5-6	1828 10 08 22:30	Romagna meridionale	8	5-6	4.3 ±0.7
6-7	1861 10 16	FORLI'	10	6-7	5.1 ±0.5
6-7	1875 03 17 23:51	Romagna sud-orientale	144		5.9 ±0.2
4-5	1911 03 26 13:51:02	RIMINI	9	5	5.0 ±0.3
3-4	1970 02 09 07:39:13	MERCATO SARACENO	30	5-6	4.6 ±0.3
2-3	1983 11 09 16:29:52	Parmense	850	6-7	5.0 ±0.1
3-4	1984 04 29 05:02:60	GUBBIO/VALFABBRICA	709	7	5.6 ±0.1
2-3	1986 12 06 17:07:20	BONDENO	604	6	4.6 ±0.1
3-4	1996 10 15 09:56:02	Correggio	135	7	5.4 ±0.1
4-5	1997 09 26 09:40:27	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	6.0 ±0.1
3-4	2000 05 06 22:07:04	Emilia Romagna	84	5	4.2 ±0.1
4-5	2000 08 01 02:34:31	MONTEFELTRO	83	5-6	4.3 ±0.1
4-5	2003 01 26 19:57:03	Forlivese	35	6	4.7 ±0.1
4-5	2003 01 26 20:15:03	Forlivese	72		4.6 ±0.1
4-5	2003 12 07 10:20:33	Zona Forlì	172	5	4.2 ±0.1
NR	1308 01 25 17:15	Rimini	4	7-8	5.3 ±0.3
F	1504 12 31 04:00	Bolognese	15		
F	1505 01 03 02:00	Bolognese	31	8	5.6 ±0.2
F	1505 01 20 23:50	Bolognese	11		
F	1832 01 13 13:00	Valle del Topino	102	10	6.3 ±0.1
NF	1887 02 23 05:21:50	Liguria occidentale	1516		7.0 ±0.1
NF	1913 11 25 20:55	Val di Taro	73	4-5	4.8 ±0.2
NF	1924 01 02 08:55:08	Medio Adriatico	76	7-8	5.4 ±0.2

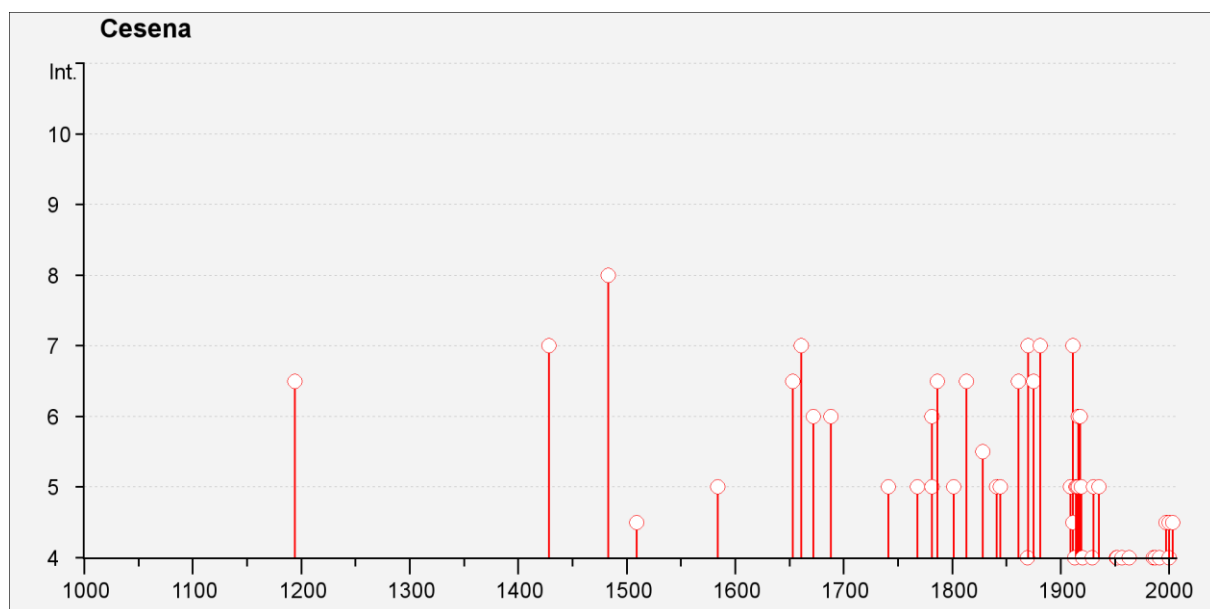
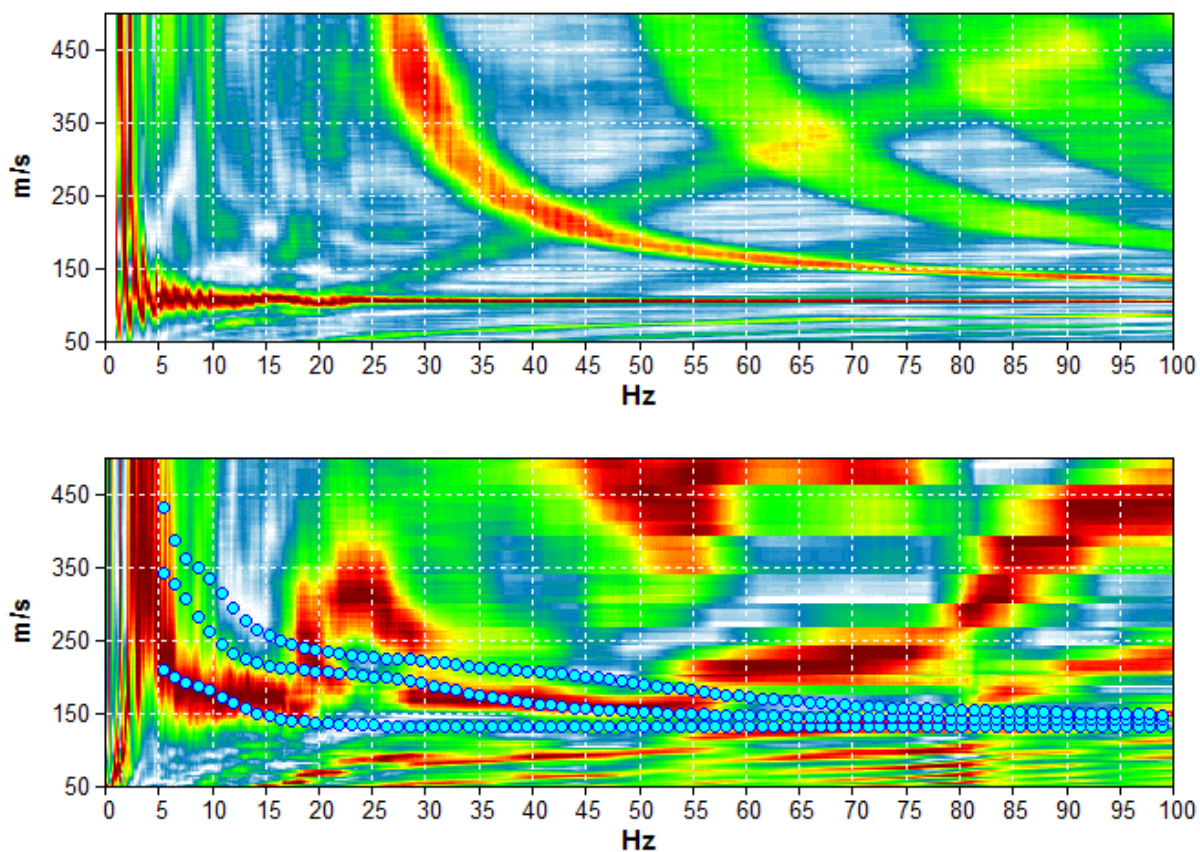


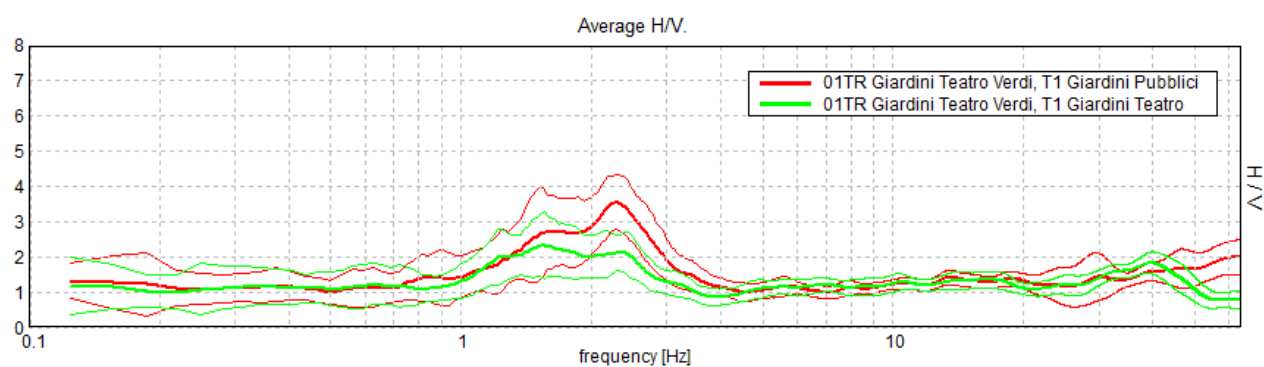
Figura. 55. Andamento dei terremoti nel tempo (1000, 2011 d.C.) e loro grado di intensità, come avvertito a Cesena.

### ALLEGATO 3. RISULTATI DELLE INDAGINI

#### TR 01/AR 01: Giardini Teatro Verdi

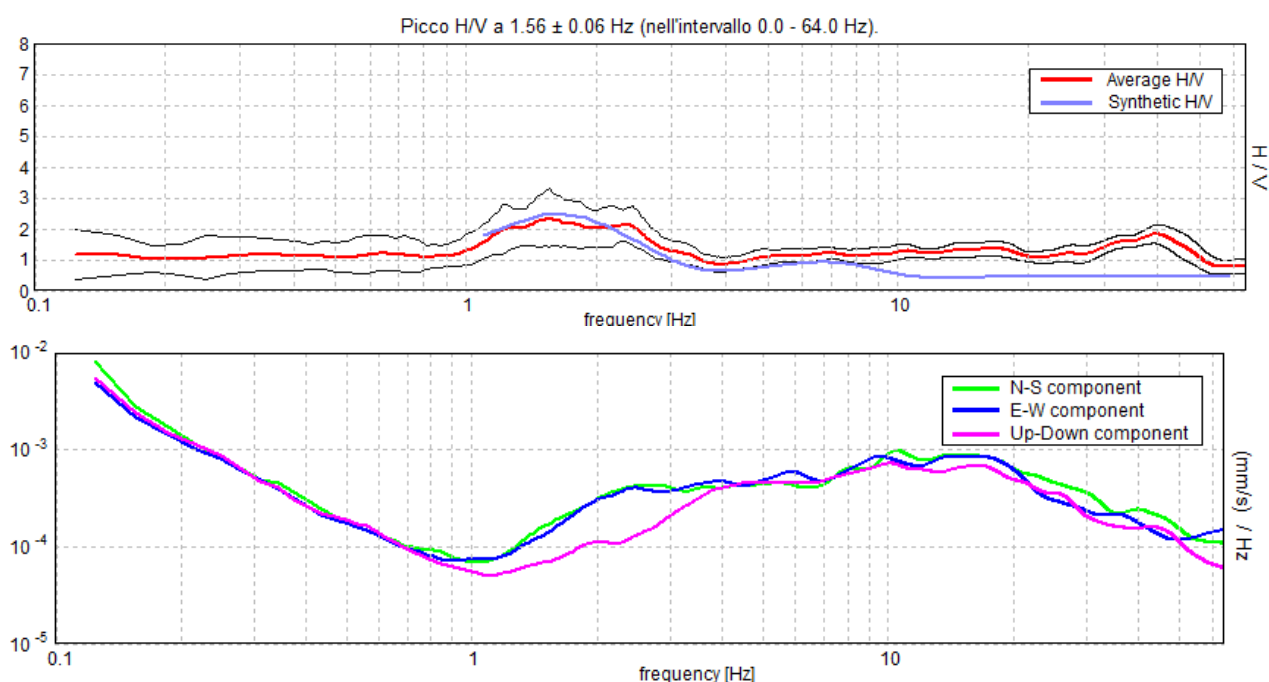


**Figura 56.** Grafico a contour: spettri di velocità di fase dell'onda di Rayleigh per lo stendimento MASW (alto) e ReMi (basso). Cerchi azzurri: curva di dispersione teorica per il modello di sottosuolo proposto per il sito.



**Figura 57.** Confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza  $2\sigma$  a linea sottile).

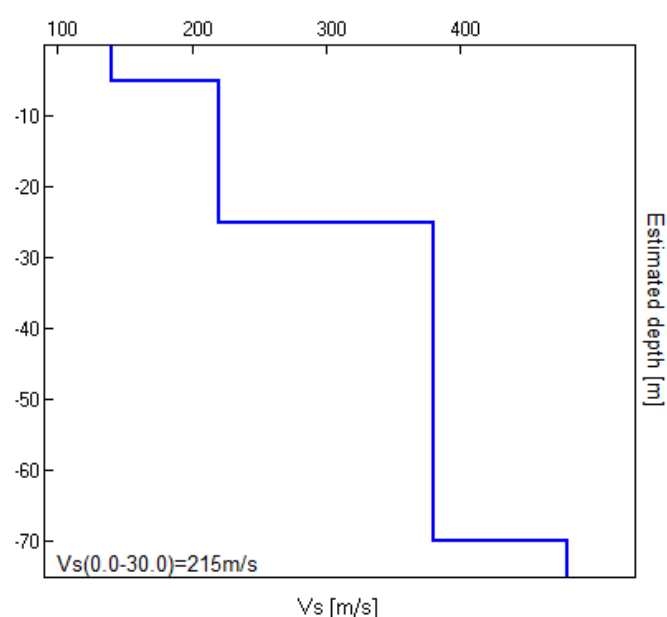




**Figura 58.** *Alto:* curva H/V sperimentale (rosso) e teorica (blu) per il modello di sottosuolo proposto per il sito, *Basso:* spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi alla curva H/V mostrata sopra.

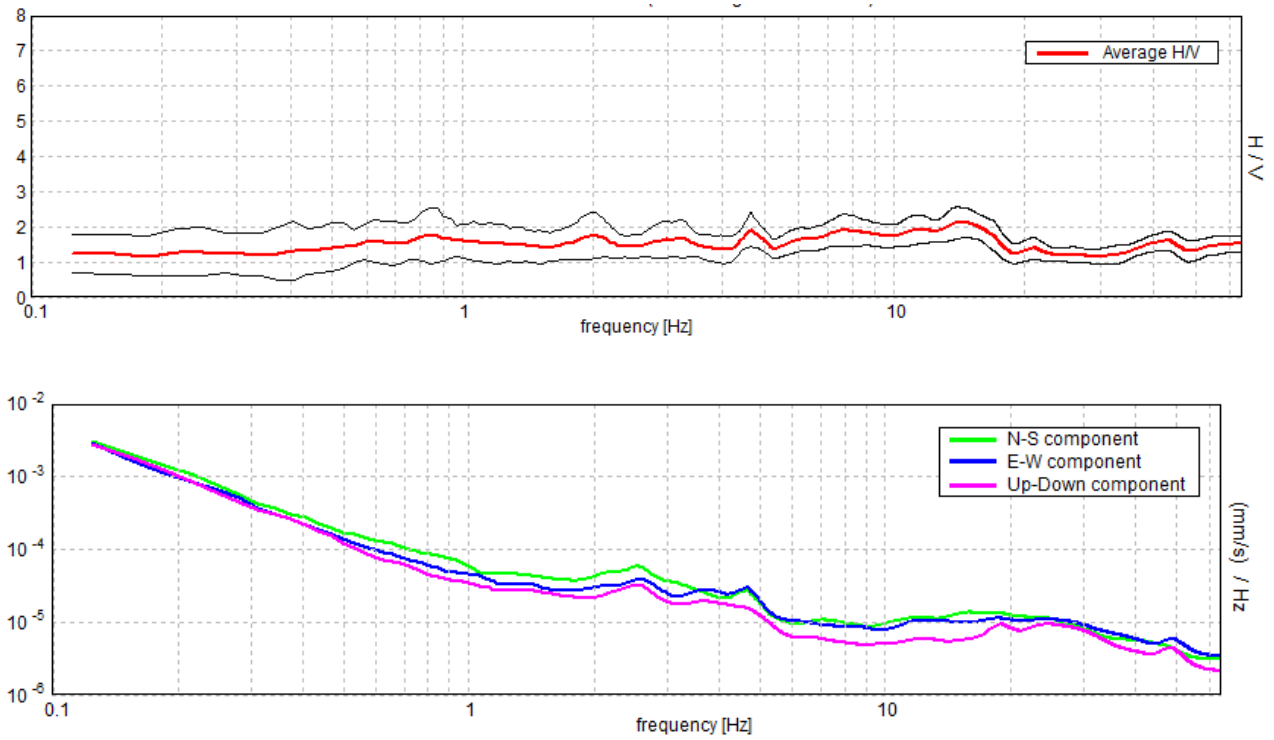
Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Modulo di Poisson
5.00	5.00	140	0.42
25.00	20.00	220	0.42
70.00	45.00	380	0.42
inf.	inf.	480	0.40

**Tabella 6.** Modello di sottosuolo medio sotto l'area indagata ottenuto dal fit congiunto delle prove in array e H/V. Si noti che le prove effettuate forniscono una stima delle sole Vs. Il rapporto di Poisson indicato è quello adottato nella modellazione ma le prove geofisiche basate su onde di superficie non possono fornire misure affidabili di questo parametro.

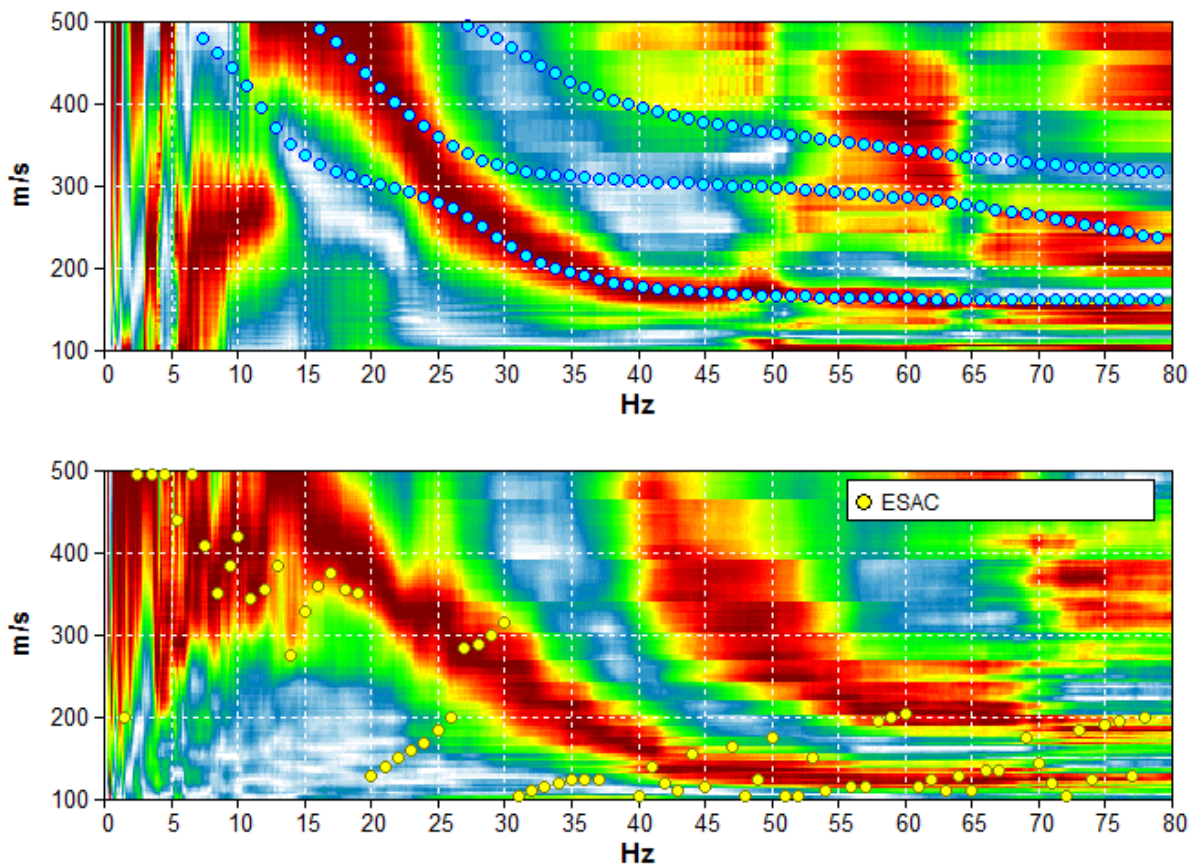


**Figura 59.** Modello di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) medio sotto l'area indagata ottenuto dal fit congiunto di prove in array e H/V.

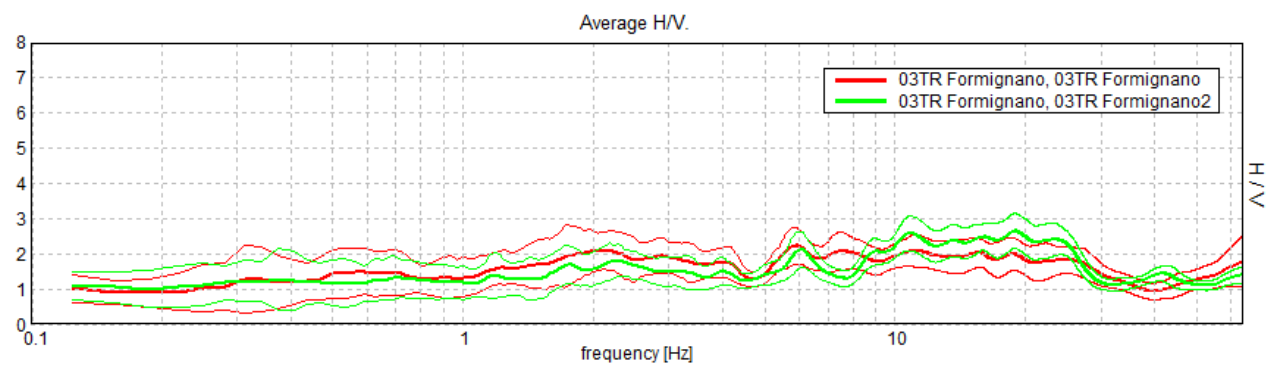
## TR 02: Case Montecavallo



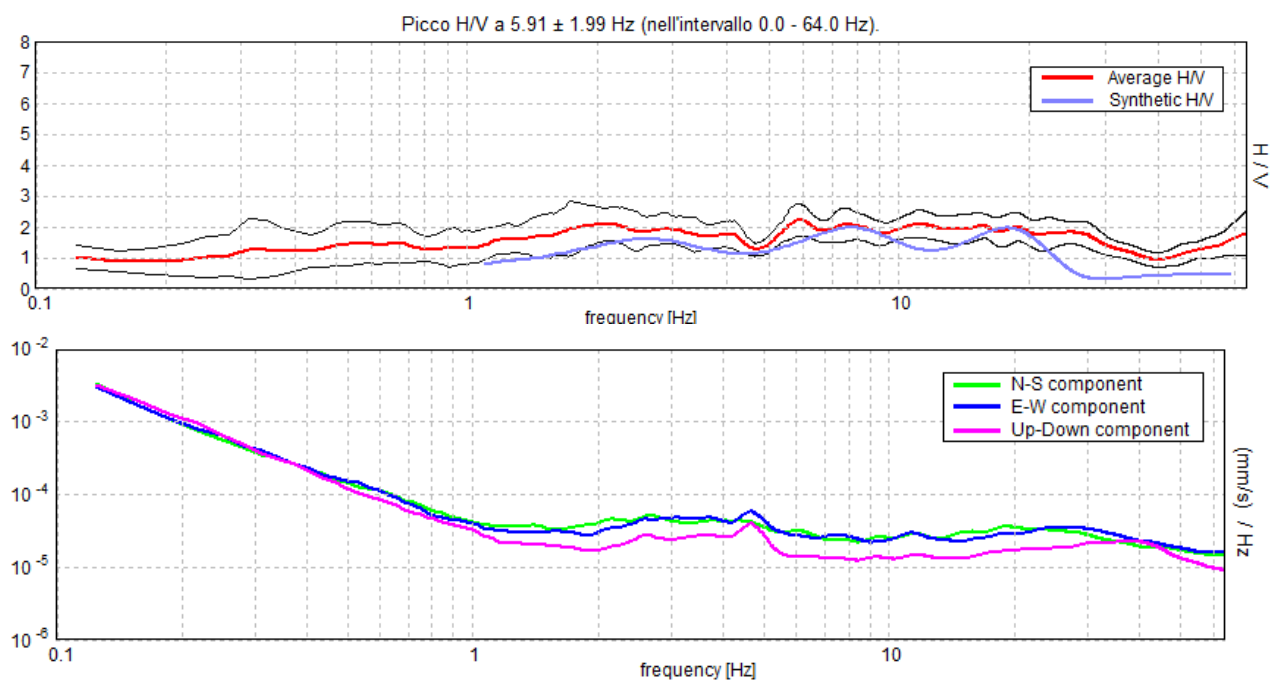
**Figura 60.** *Alto:* confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza  $2\sigma$  a linea sottile). *Basso:* spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi alla curva H/V mostrata sopra.



**Figura 61.** Grafico a contour: spettri di velocità di fase dell'onda di Rayleigh per lo stendimento MASW. Cerchi gialli: curva di dispersione da indagine ESAC. Cerchi azzurri: curva di dispersione teorica per il modello di sottosuolo proposto per il sito.



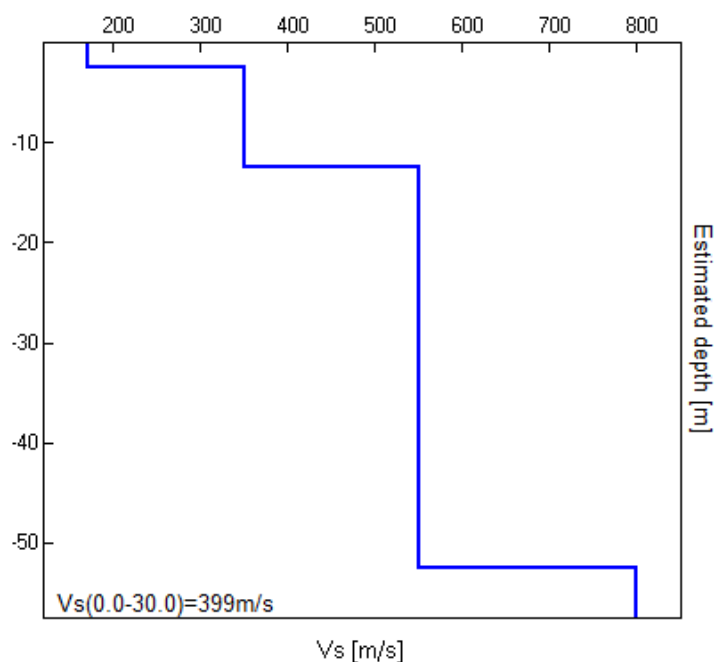
**Figura 62.** Confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza  $2\sigma$  a linea sottile).



**Figura 63.** *Alto:* curva H/V sperimentale (rosso) e teorica (blu) per il modello di sottosuolo proposto per il sito, *Basso:* spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi alla curva H/V mostrata sopra.

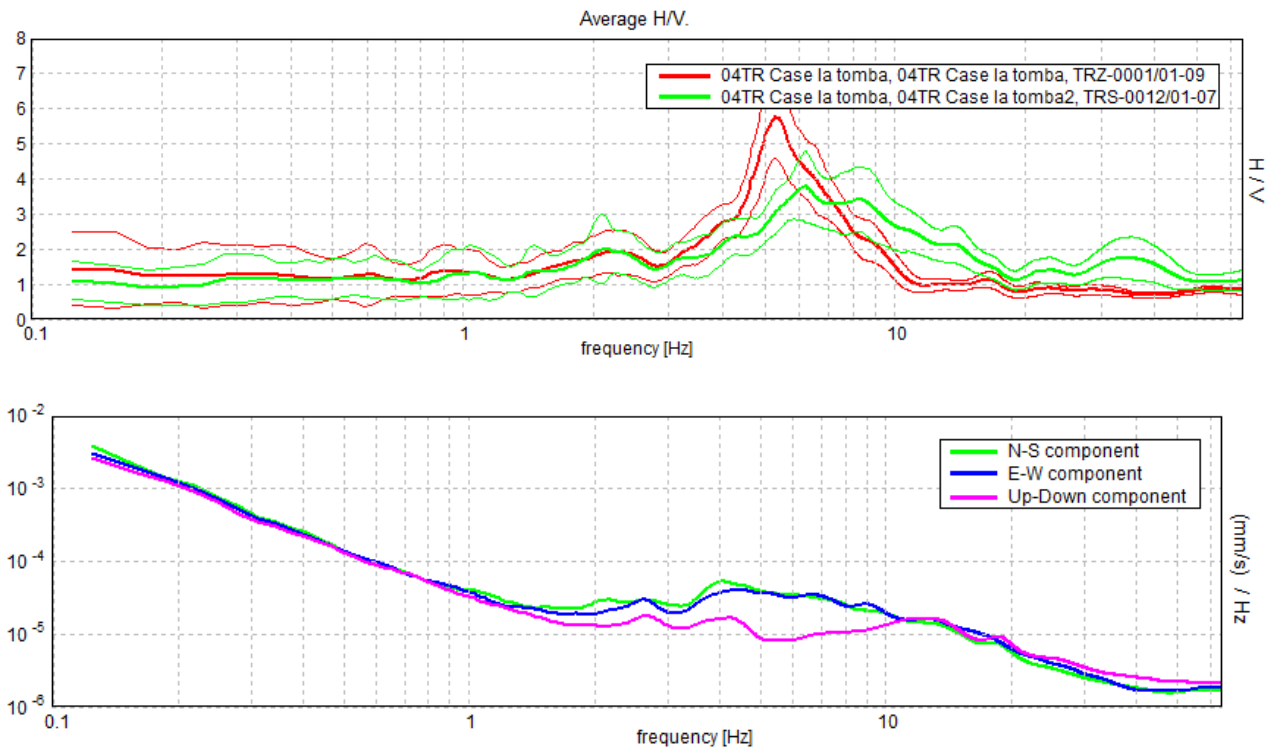
Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Modulo di Poisson
2.50	2.50	170	0.42
12.50	10.00	350	0.42
52.50	40.00	550	0.40
inf.	inf.	800	0.40

**Tabella 7.** Modello di sottosuolo medio sotto l'area indagata ottenuto dal fit congiunto delle prove in array e H/V. Si noti che le prove effettuate forniscono una stima delle sole Vs. Il rapporto di Poisson indicato è quello adottato nella modellazione ma le prove geofisiche basate su onde di superficie non possono fornire misure affidabili di questo parametro.



**Figura 64.** Modello di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) medio sotto l'area indagata ottenuto dal fit congiunto di prove in array e H/V.

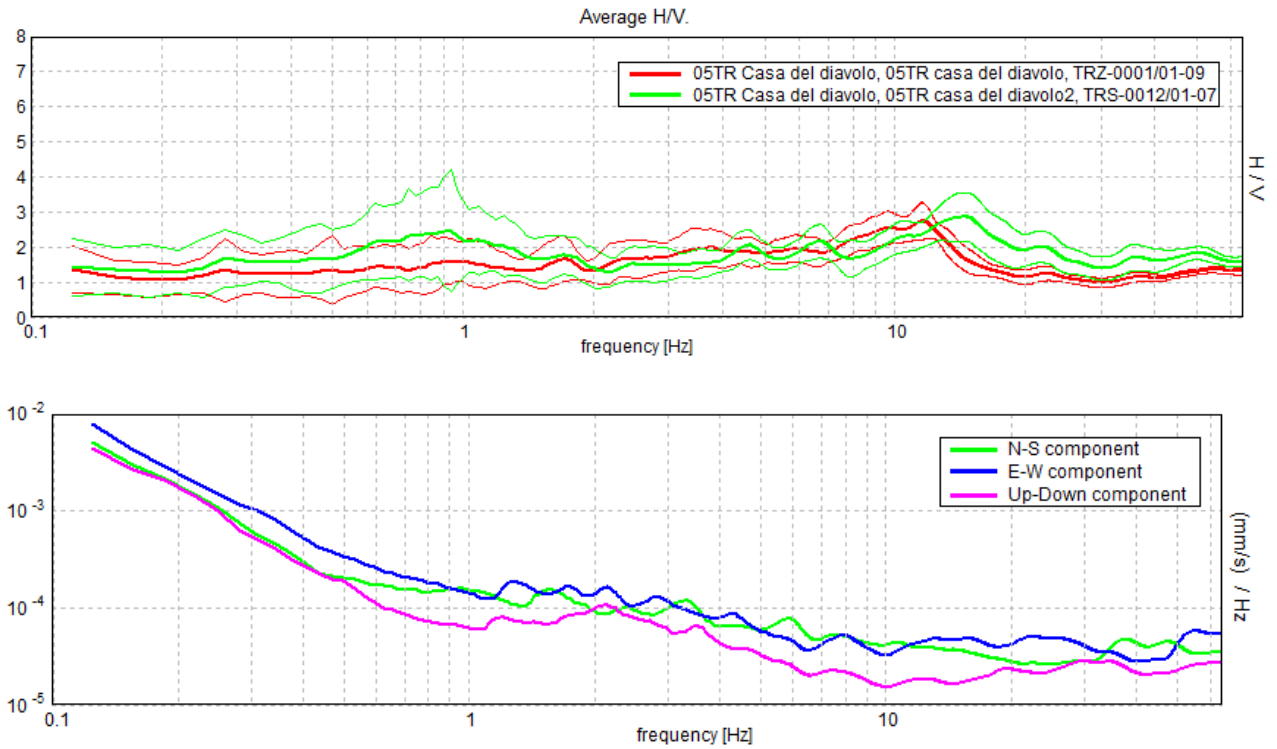
## TR 04: Case La Tomba



**Figura 65.** *Alto:* confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza  $2\sigma$  a linea sottile). *Basso:* spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi ad una delle due curve H/V mostrate sopra.

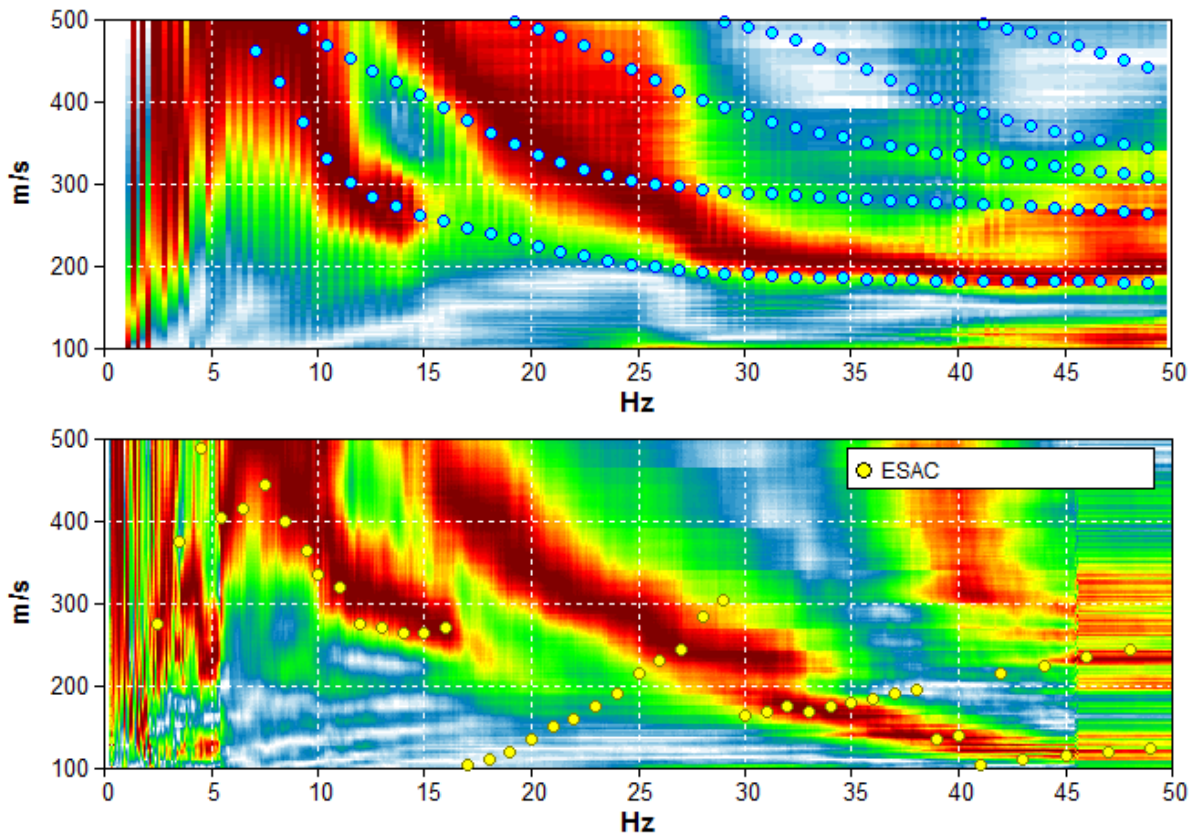


## TR 05: Casa del Diavolo

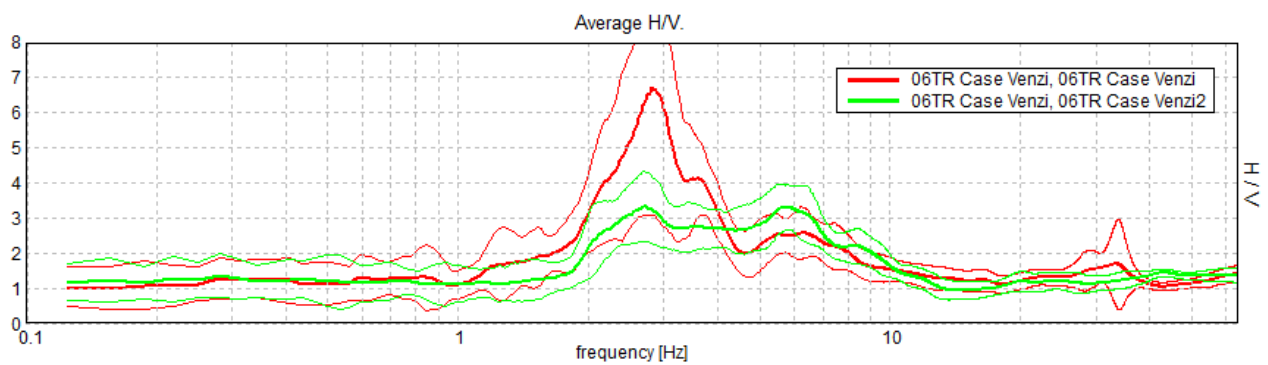


**Figura 66.** *Alto:* confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza  $2\sigma$  a linea sottile). *Basso:* spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi ad una delle due curve H/V mostrate sopra.

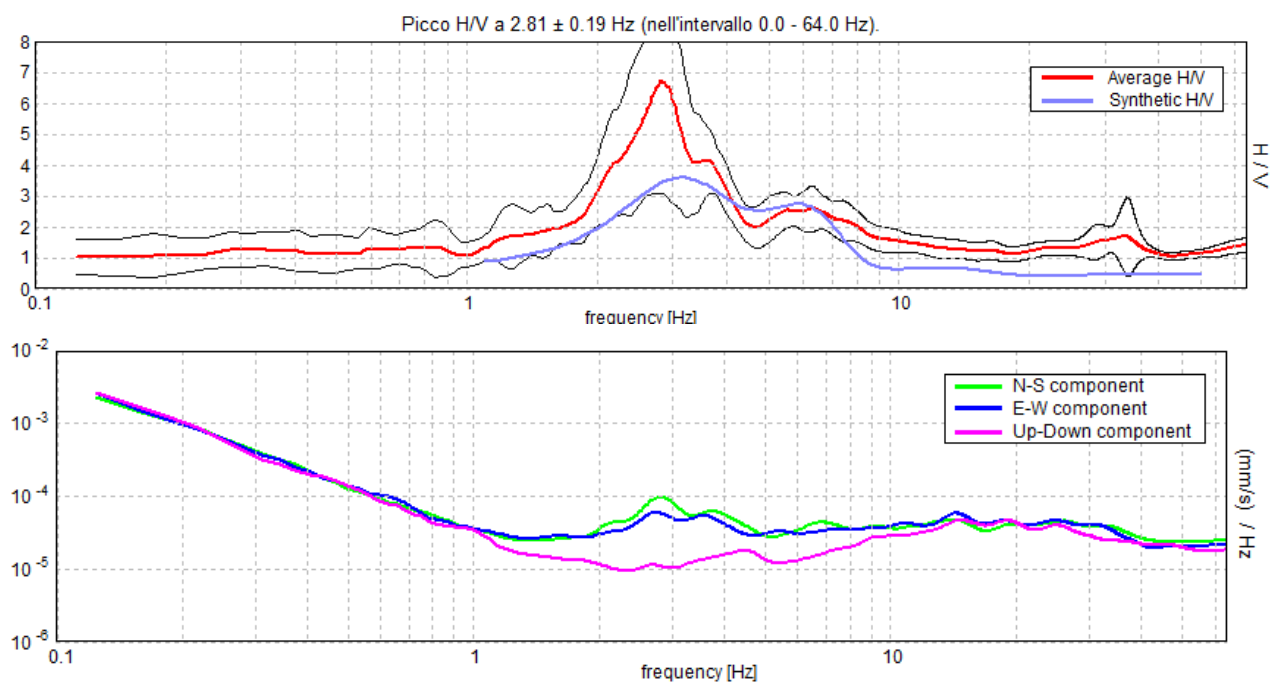
## TR 06/AR 03: Case Venzi



**Figura 67.** Grafico a contour: spettri di velocità di fase dell'onda di Rayleigh per lo stendimento MASW. Cerchi gialli: curva di dispersione da indagine ESAC. Cerchi azzurri: curva di dispersione teorica per il modello di sottosuolo proposto per il sito.



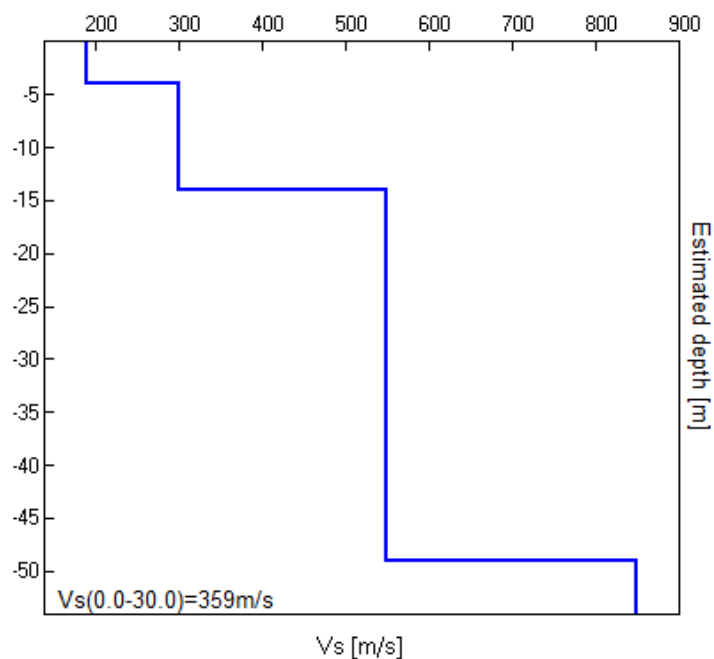
**Figura 68.** Confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza  $2\sigma$  a linea sottile).



**Figura 69.** *Alto:* curva H/V sperimentale (rosso) e teorica (blu) per il modello di sottosuolo proposto per il sito, *Basso:* spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi alla curva H/V mostrata sopra.

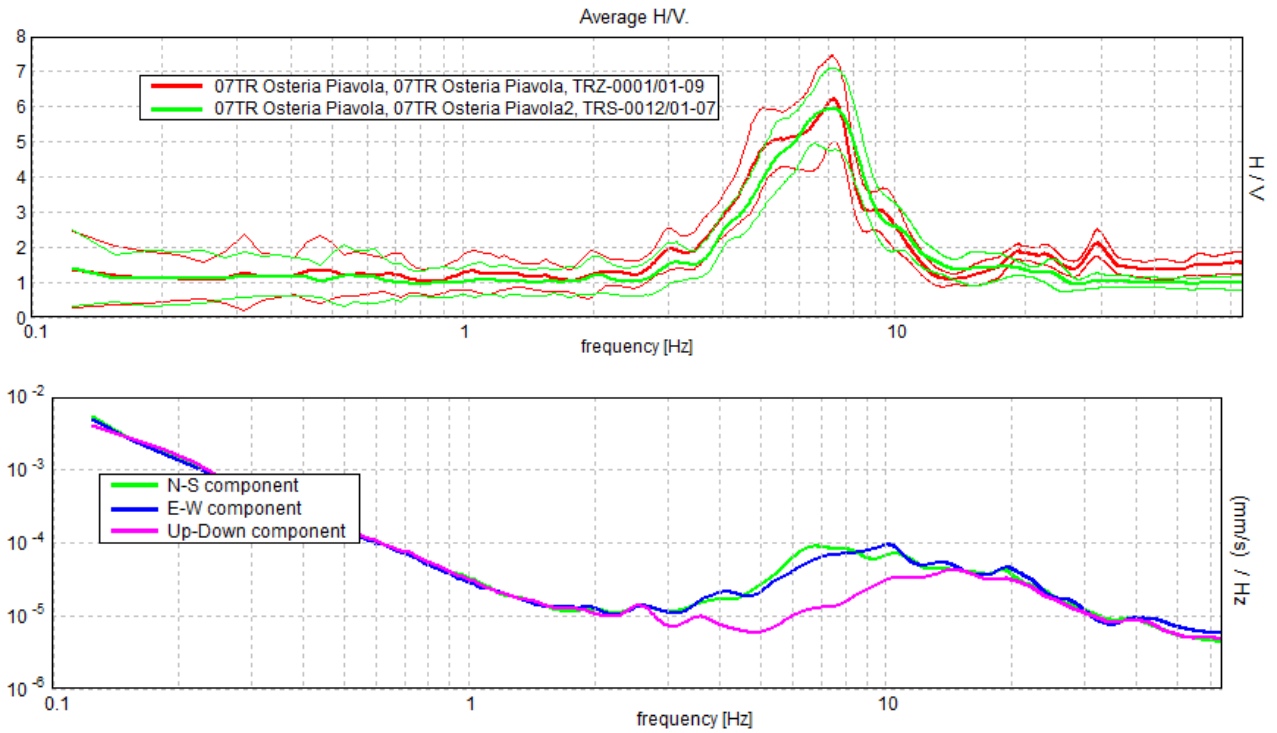
Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Modulo di Poisson
4.00	4.00	190	0.42
14.00	10.00	300	0.42
49.00	35.00	550	0.40
inf.	inf.	850	0.40

**Tabella 8.** Modello di sottosuolo medio sotto l'area indagata ottenuto dal fit congiunto delle prove in array e H/V. Si noti che le prove effettuate forniscono una stima delle sole Vs. Il rapporto di Poisson indicato è quello adottato nella modellazione ma le prove geofisiche basate su onde di superficie non possono fornire misure affidabili di questo parametro.



**Figura 70.** Modello di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) medio sotto l'area indagata ottenuto dal fit congiunto di prove in array e H/V.

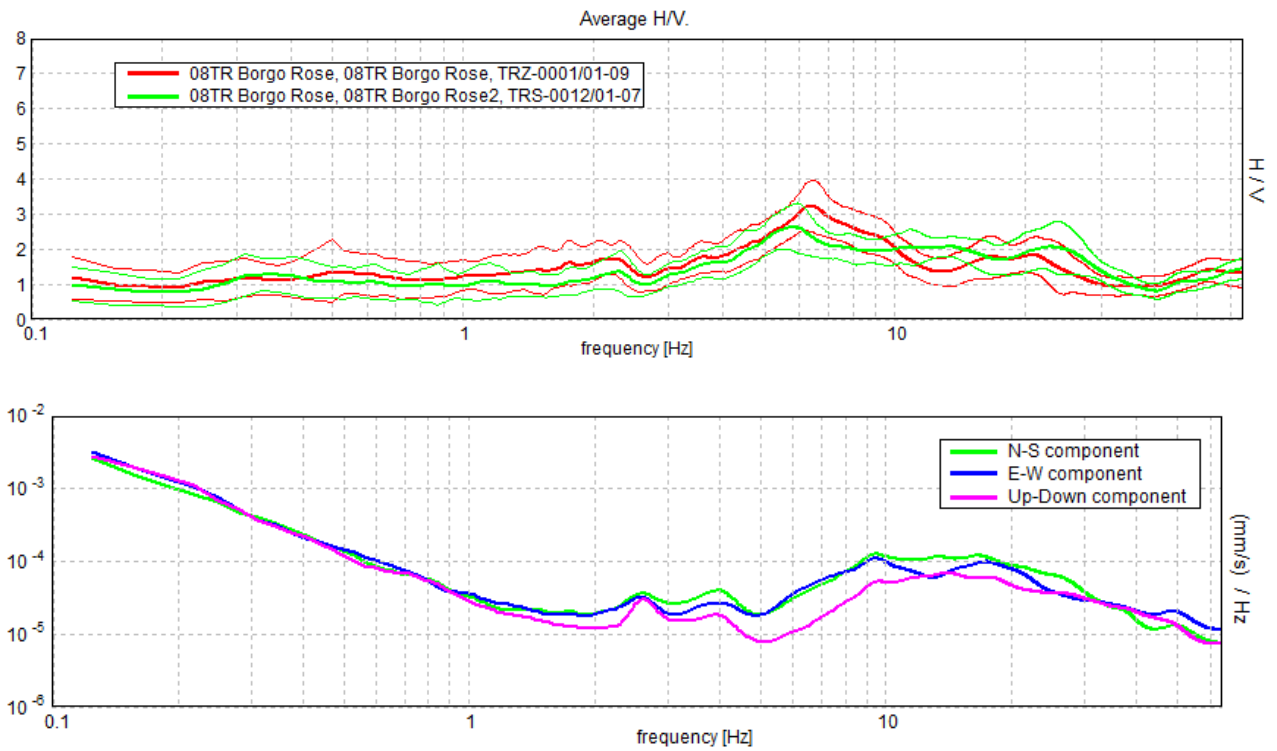
## TR 07: Osteria Piavola



**Figura 71.** *Alto:* confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza  $2\sigma$  a linea sottile). *Basso:* spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi ad una delle due curve H/V mostrate sopra.

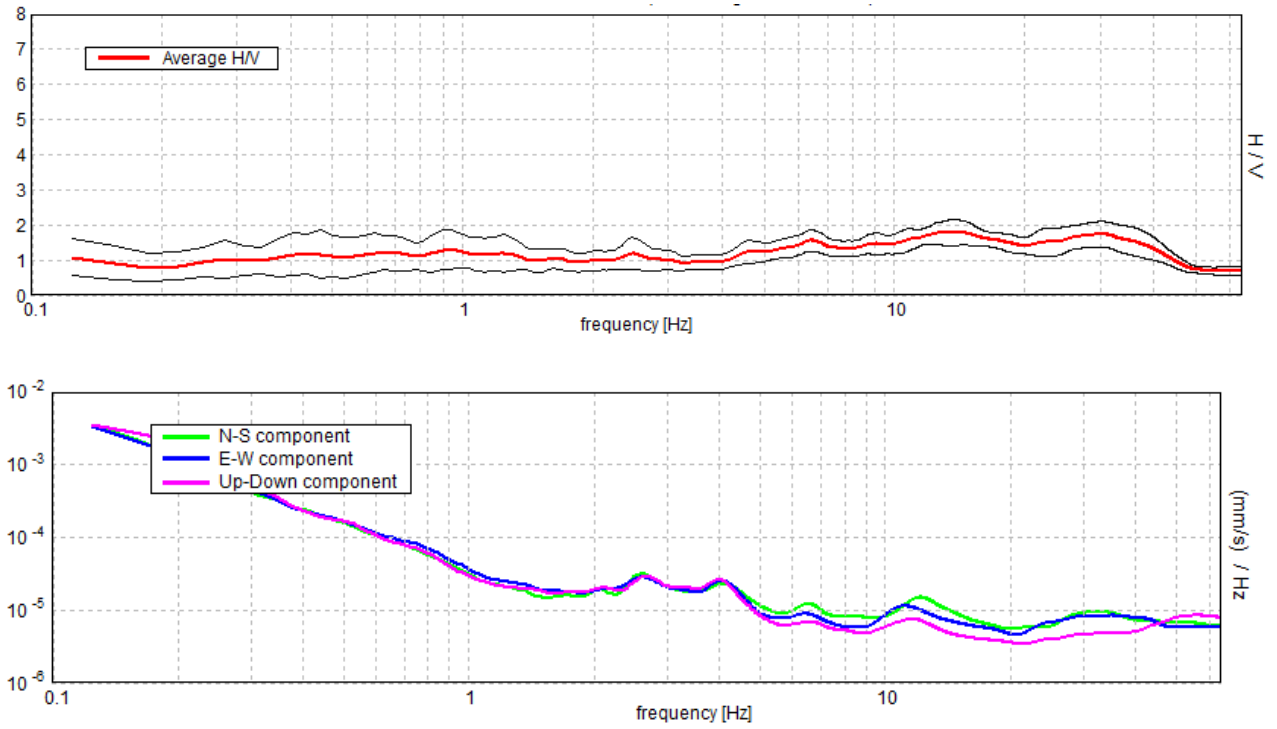


## TR 08: Borgo Rose



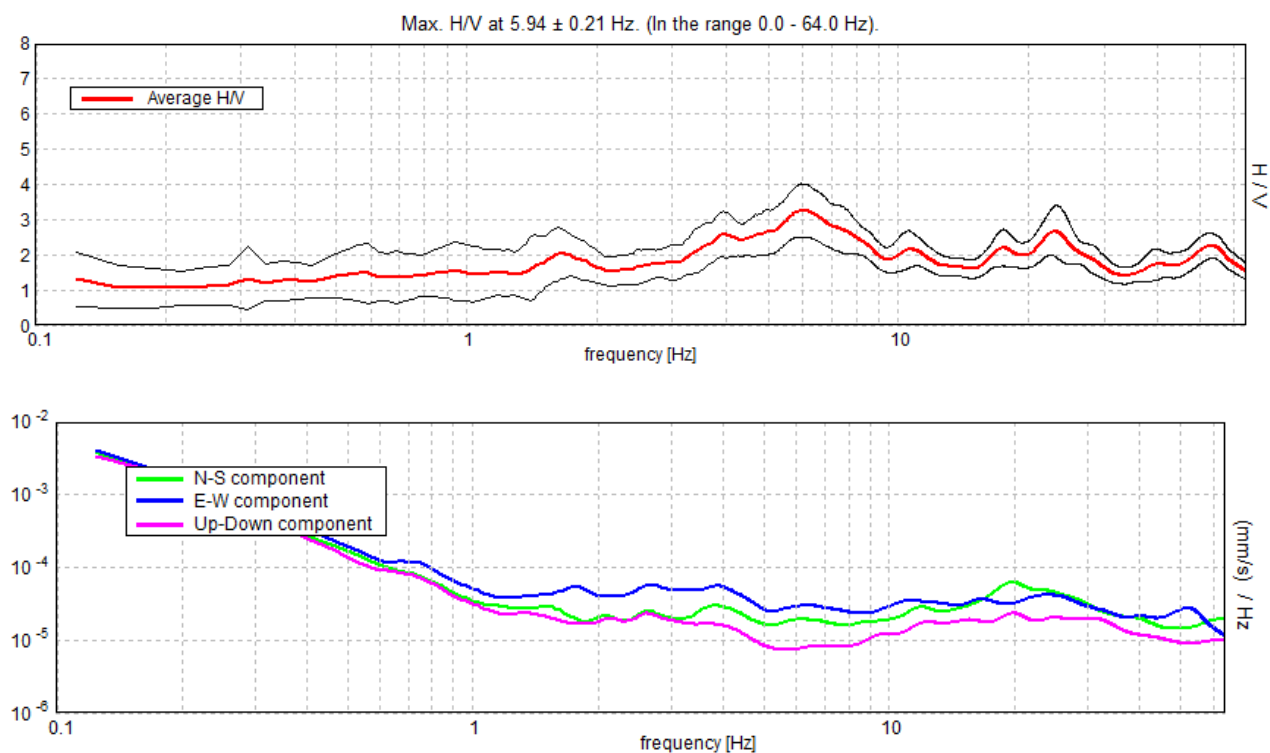
**Figura 72.** *Alto:* confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza  $2\sigma$  a linea sottile). *Basso:* spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi ad una delle due curve H/V mostrate sopra.

## TR 09: Monte Aguzzo

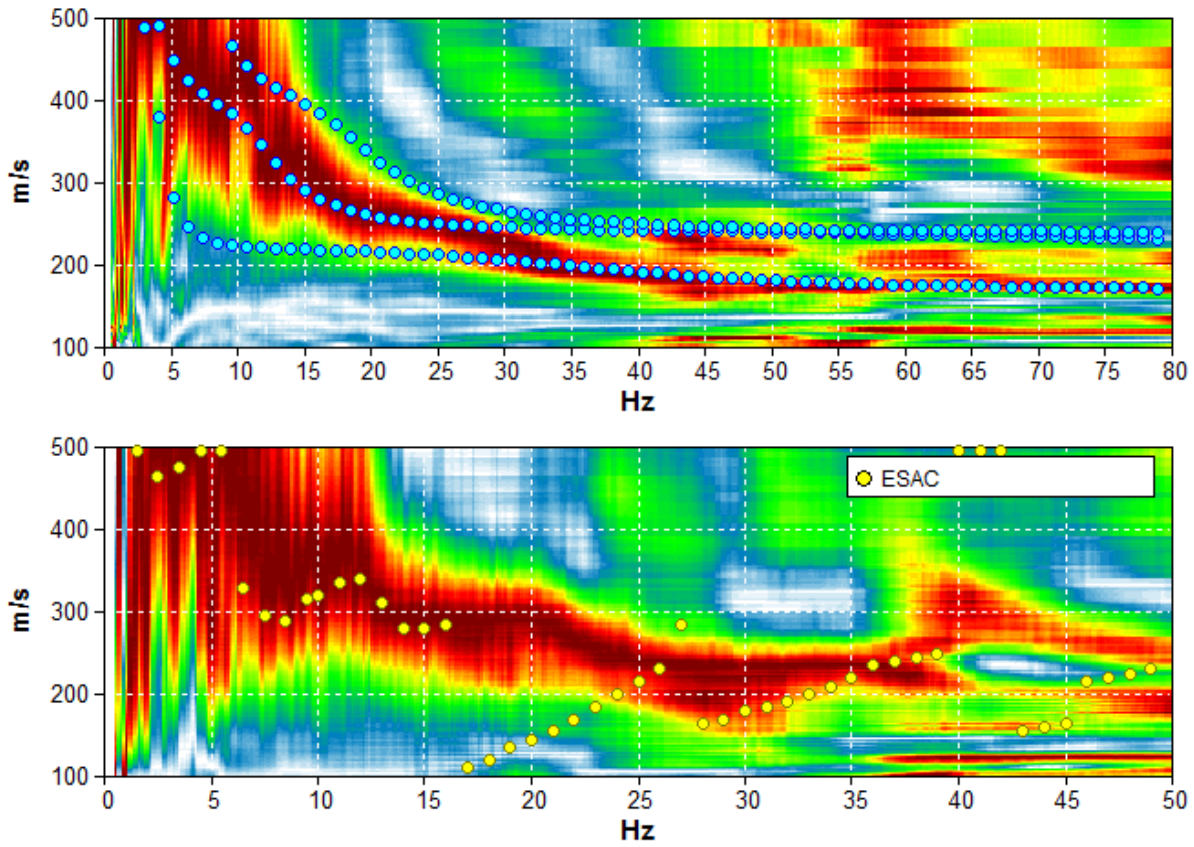


**Figura 73.** *Alto:* confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza  $2\sigma$  a linea sottile). *Basso:* spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi alla curva H/V mostrata sopra.

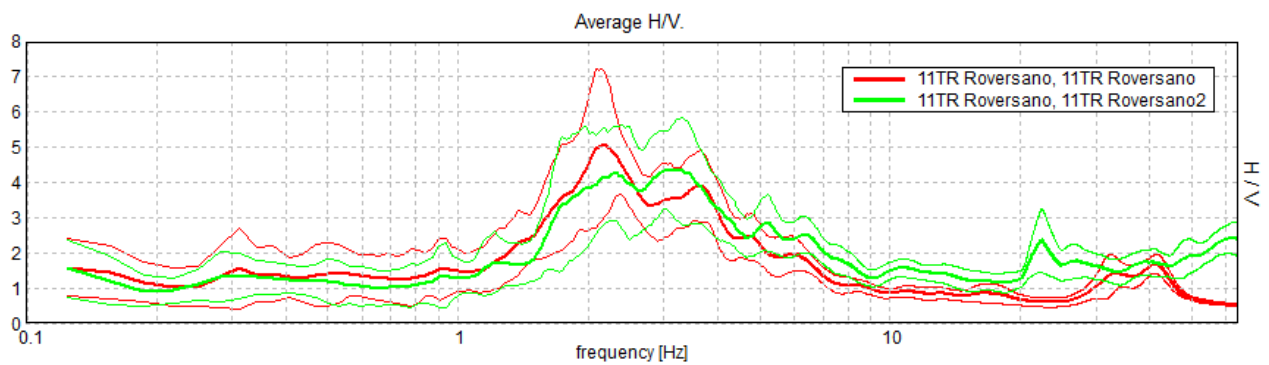
## TR 10: Monte Lorezone



**Figura 74.** *Alto:* curva H/V sperimentale (rosso) e teorica (blu) per il modello di sottosuolo proposto per il sito, *Basso:* spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi alla curva H/V mostrata sopra.

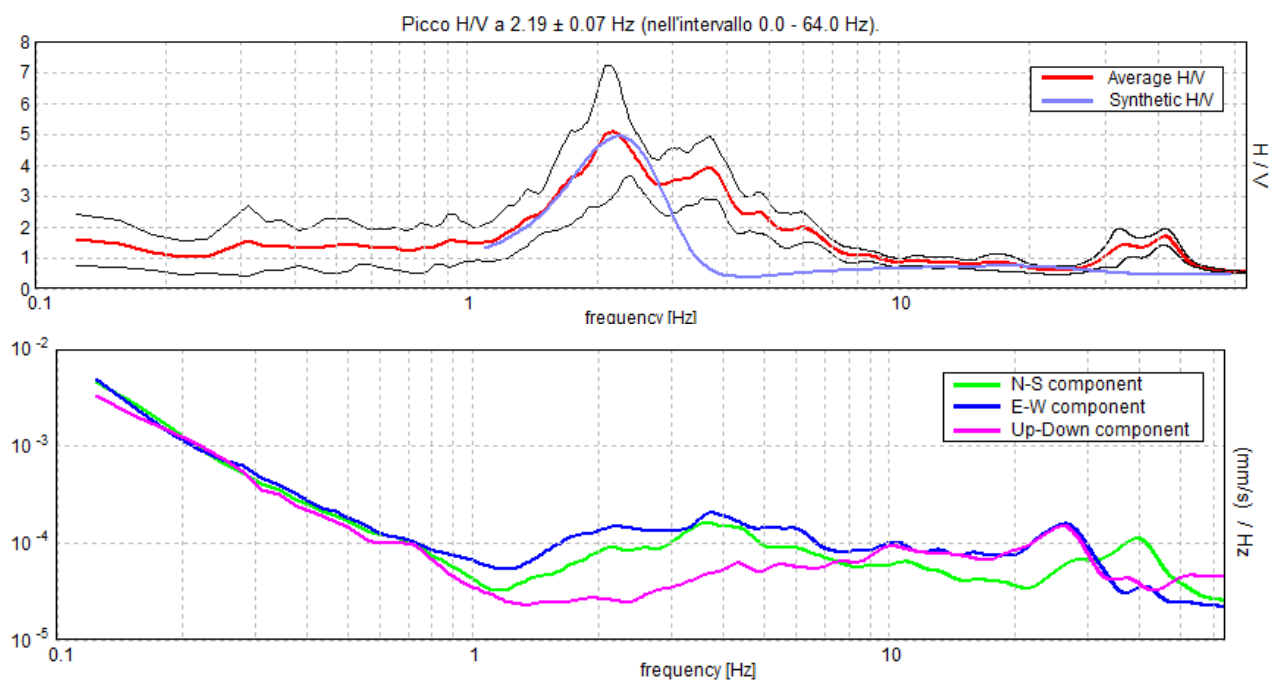


**Figura 75.** Grafico a contour: spettri di velocità di fase dell'onda di Rayleigh per lo stendimento MASW. Cerchi gialli: curva di dispersione da indagine ESAC. Cerchi azzurri: curva di dispersione teorica per il modello di sottosuolo proposto per il sito.



**Figura 76.** Confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza  $2\sigma$  a linea sottile).

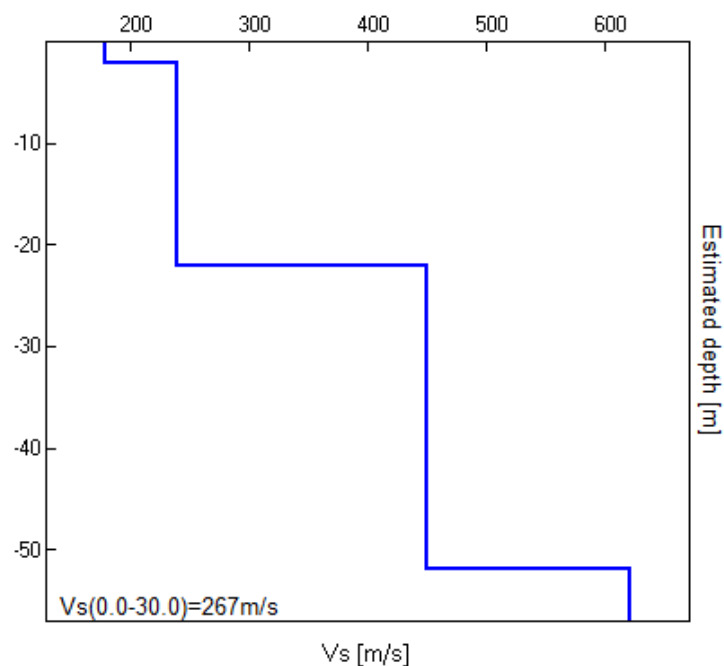




**Figura 77.** *Alto:* curva H/V sperimentale (rosso) e teorica (blu) per il modello di sottosuolo proposto per il sito, *Basso:* spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi alla curva H/V mostrata sopra.

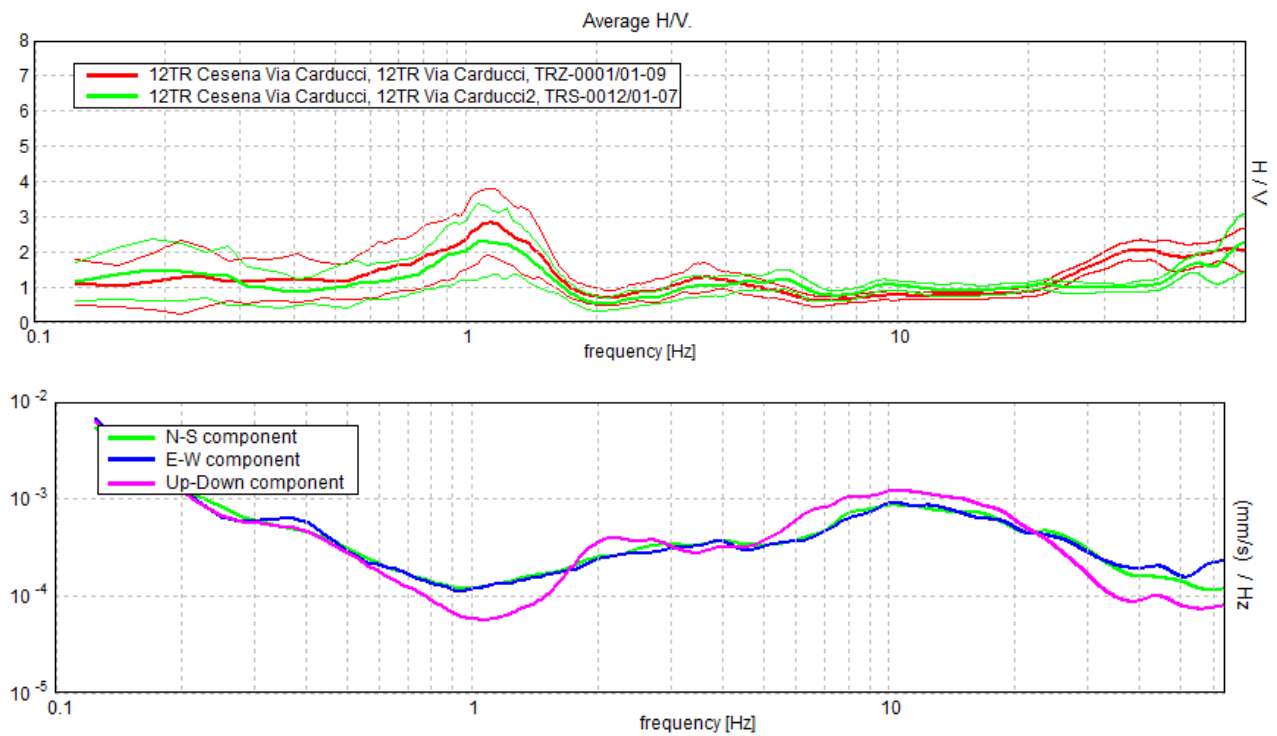
Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Modulo di Poisson
2.00	2.00	180	0.42
22.00	20.00	240	0.42
52.00	30.00	450	0.42
inf.	inf.	620	0.40

**Tabella 9.** Modello di sottosuolo medio sotto l'area indagata ottenuto dal fit congiunto delle prove in array e H/V. Si noti che le prove effettuate forniscono una stima delle sole Vs. Il rapporto di Poisson indicato è quello adottato nella modellazione ma le prove geofisiche basate su onde di superficie non possono fornire misure affidabili di questo parametro.



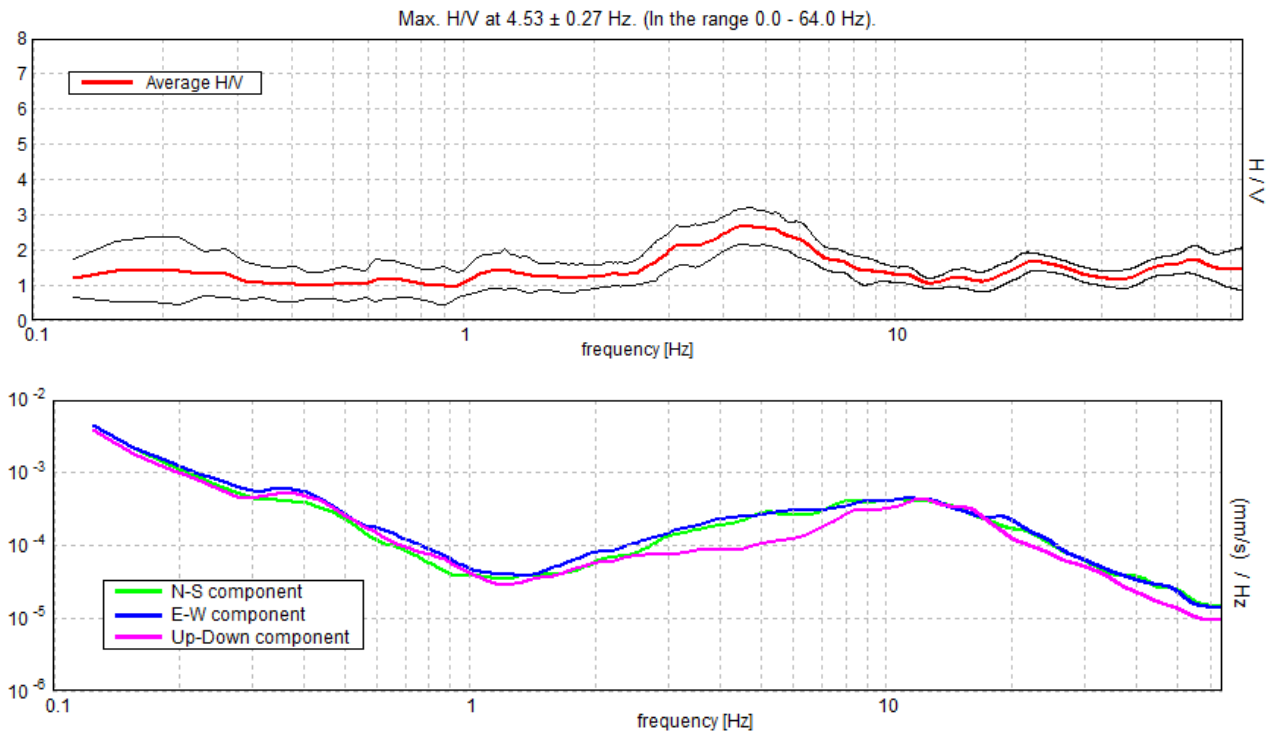
**Figura 78.** Modello di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) medio sotto l'area indagata ottenuto dal fit congiunto di prove in array e H/V.

## TR 12: via Carducci



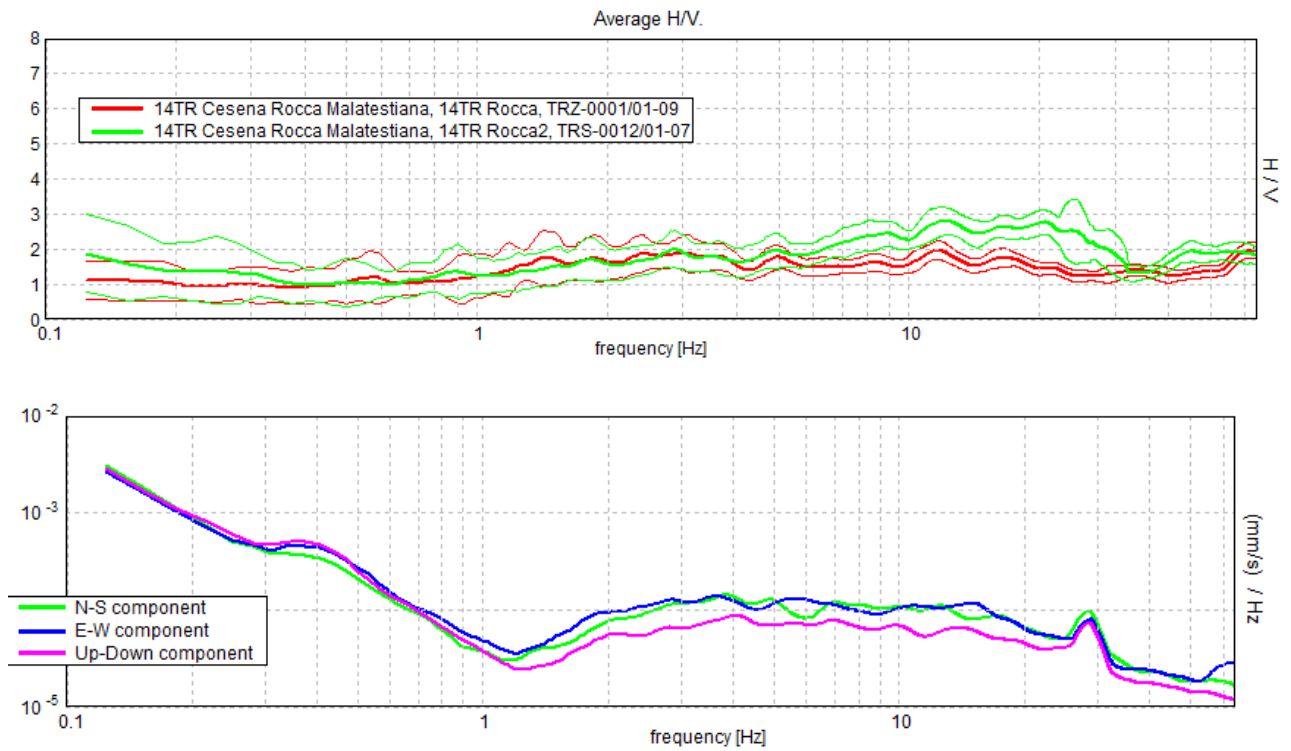
**Figura 79.** *Alto:* confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza  $2\sigma$  a linea sottile). *Basso:* spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi ad una delle due curve H/V mostrate sopra.

### TR 13: Giardini Serravalle



**Figura 80.** *Alto:* confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza  $2\sigma$  a linea sottile). *Basso:* spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi alla curva H/V mostrata sopra.

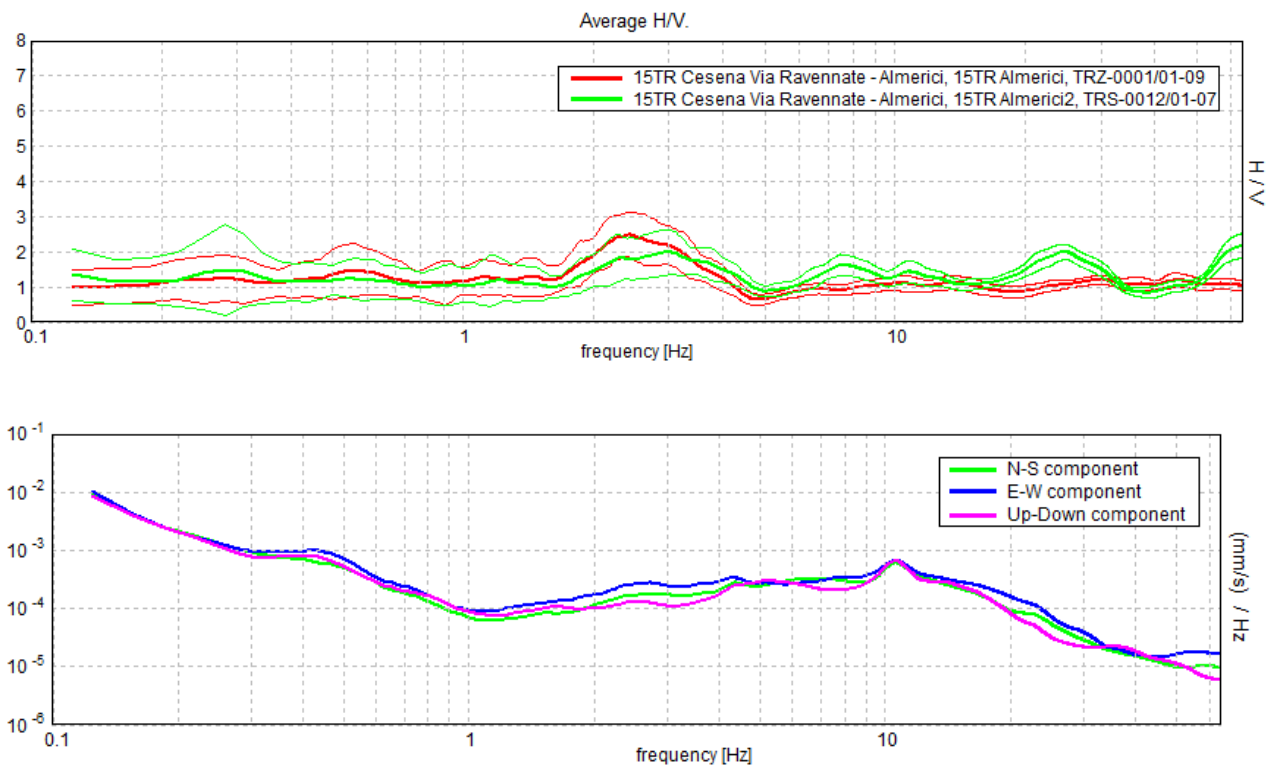
## TR 14: Rocca Malatestiana



**Figura 81.** *Alto:* confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza  $2\sigma$  a linea sottile). *Basso:* spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi a una delle due curve H/V mostrate sopra.

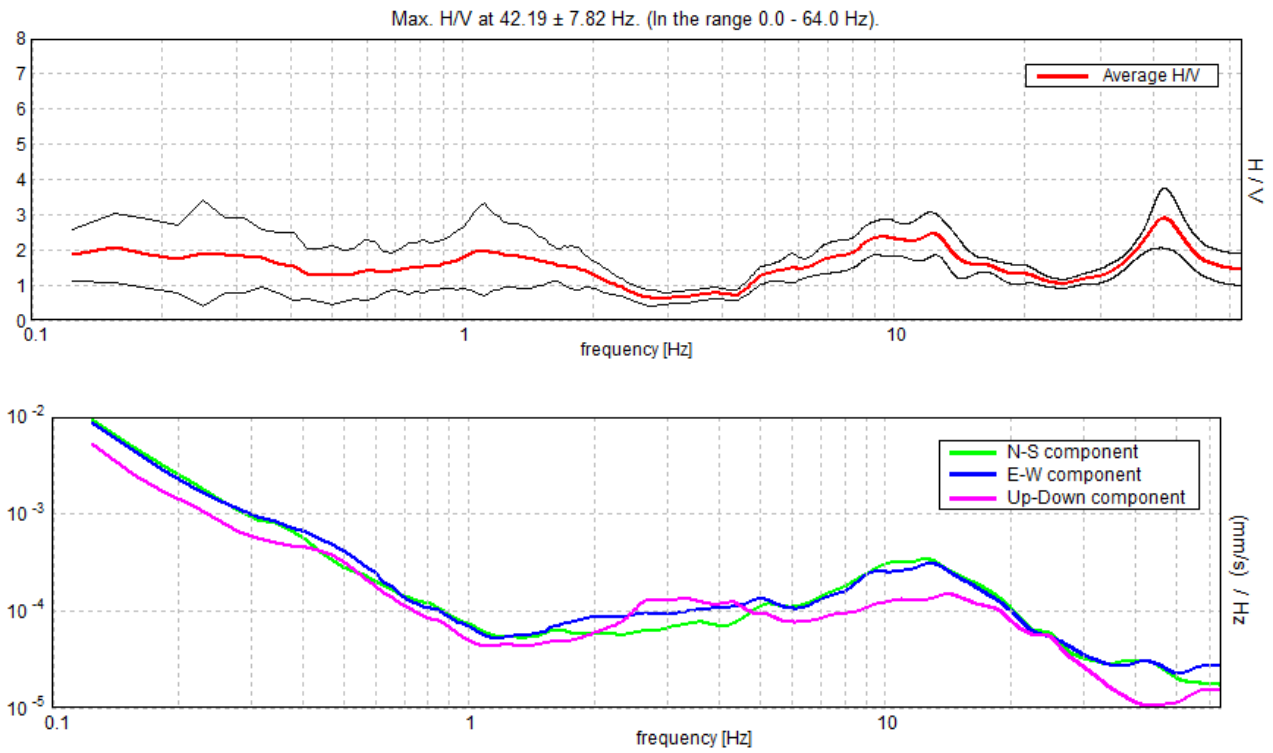


## TR 15: via Ravennate-Almerici



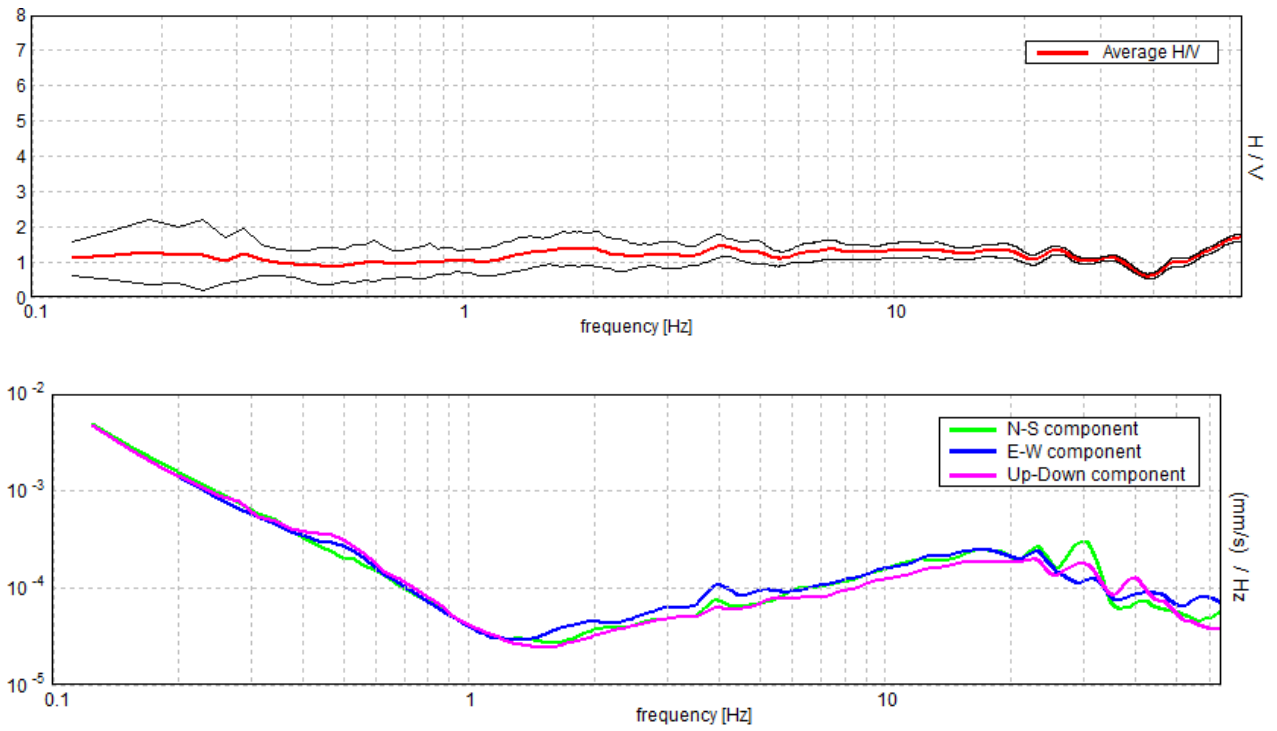
**Figura 82.** *Alto:* curva H/V sperimentale (rosso) e teorica (blu) per il modello di sottosuolo proposto per il sito. *Basso:* spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi ad una delle due curve H/V mostrate sopra.

## TR 16: Palazzetto dello Sport - Ippodromo



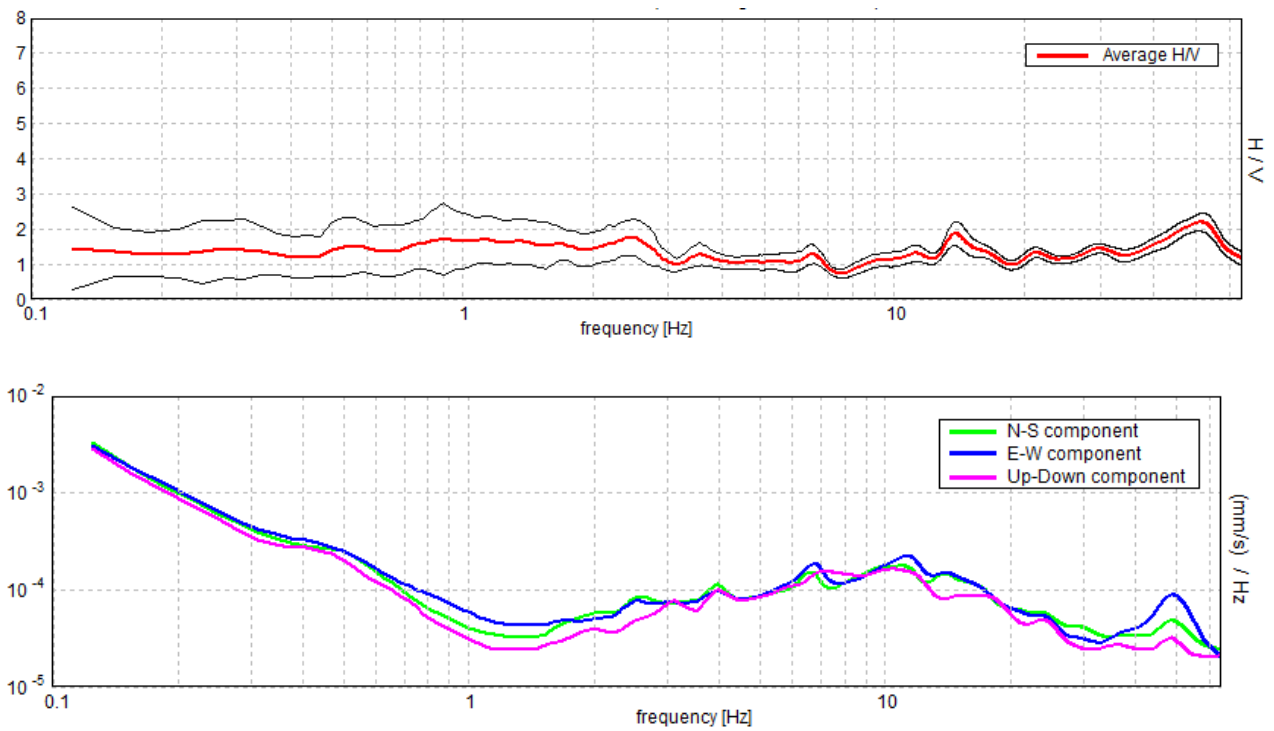
**Figura 83.** *Alto:* confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza  $2\sigma$  a linea sottile). *Basso:* spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi alla curva H/V mostrata sopra.

## TR 17: Scuola Ippodromo



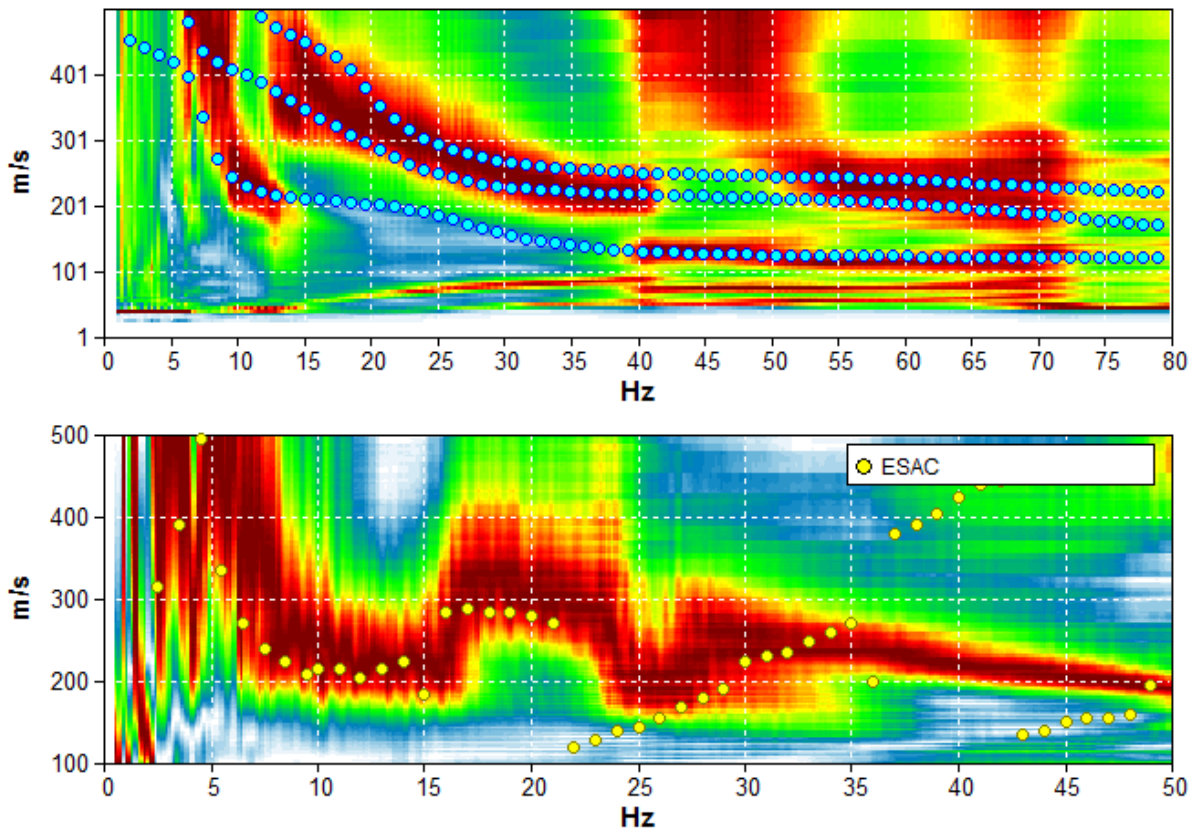
**Figura 84.** *Alto:* confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza  $2\sigma$  a linea sottile). *Basso:* spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi alla curva H/V mostrata sopra.

TR 18: via Machiavelli - Ciminiera

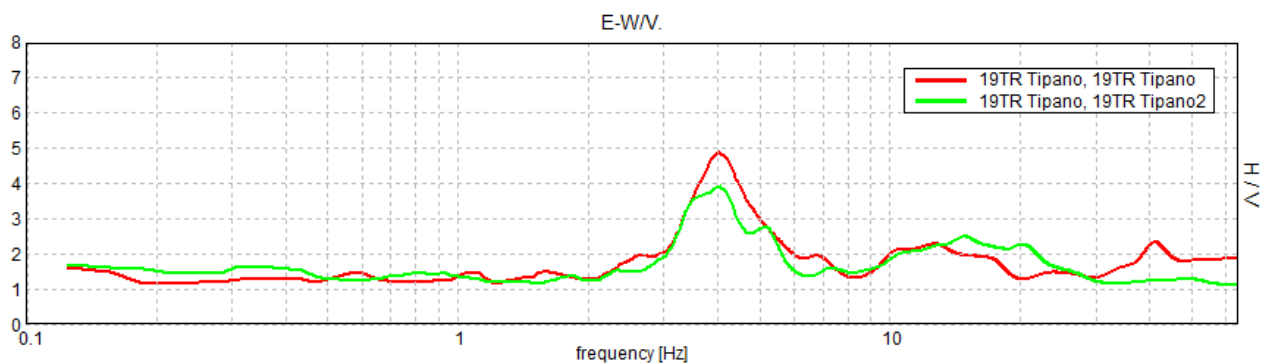


**Figura 85.** *Alto:* confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza  $2\sigma$  a linea sottile). *Basso:* spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi alla curva H/V mostrata sopra.

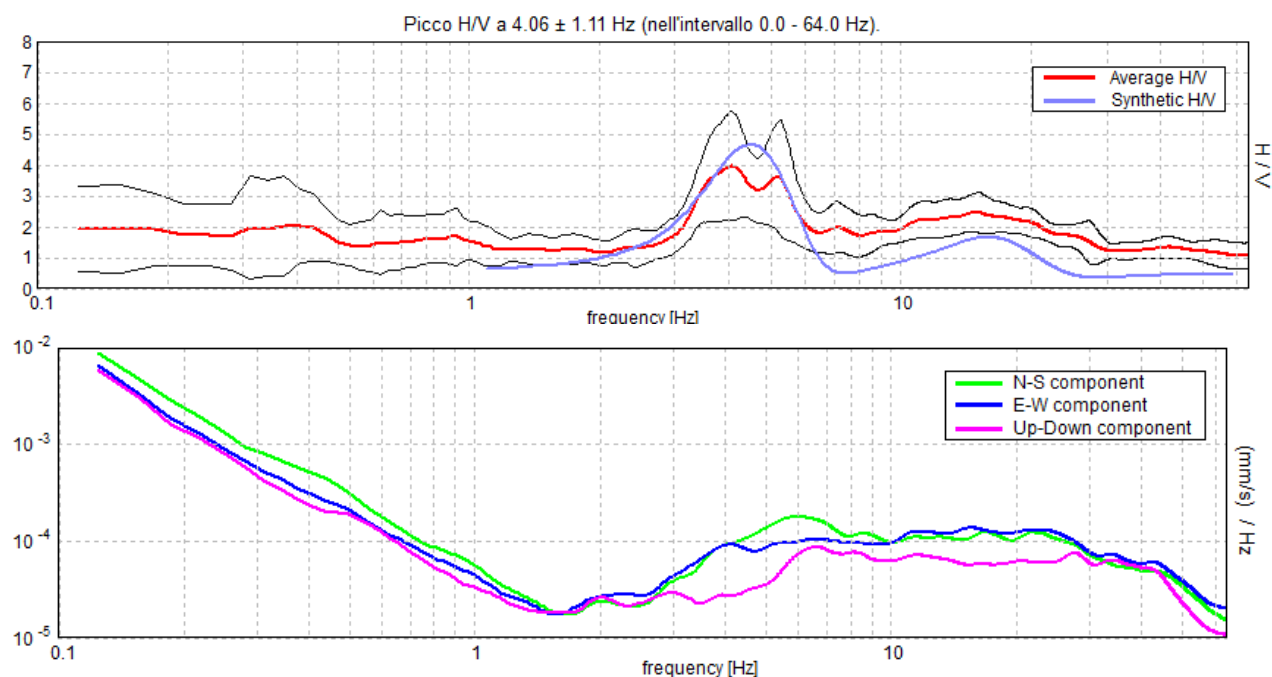




**Figura 86.** Grafico a contour: spettri di velocità di fase dell'onda di Rayleigh per lo stendimento MASW. Cerchi gialli: curva di dispersione da indagine ESAC. Cerchi azzurri: curva di dispersione teorica per il modello di sottosuolo proposto per il sito.



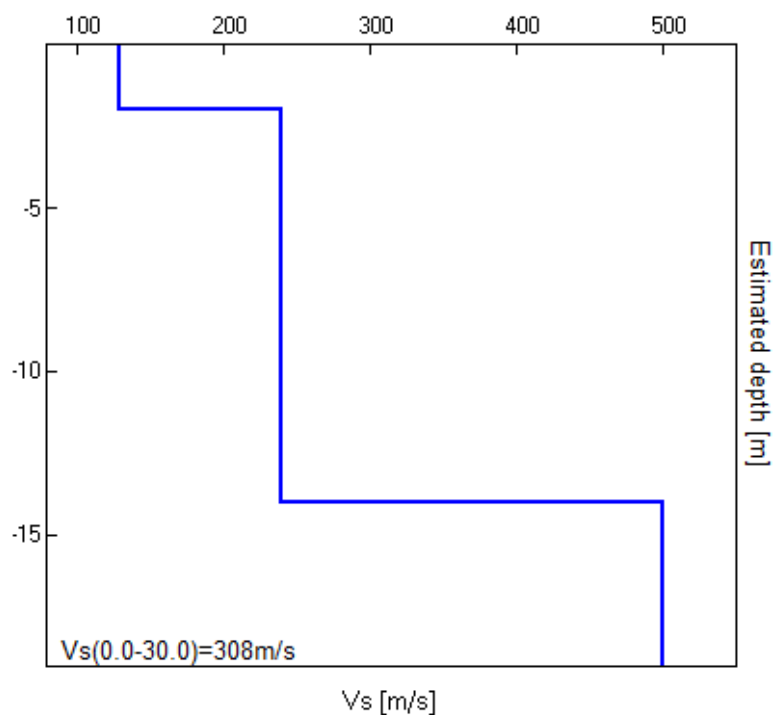
**Figura 87.** Confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto).



**Figura 88.** *Alto:* curva H/V sperimentale (rosso) e teorica (blu) per il modello di sottosuolo proposto per il sito. *Basso:* spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi alla curva H/V mostrata sopra.

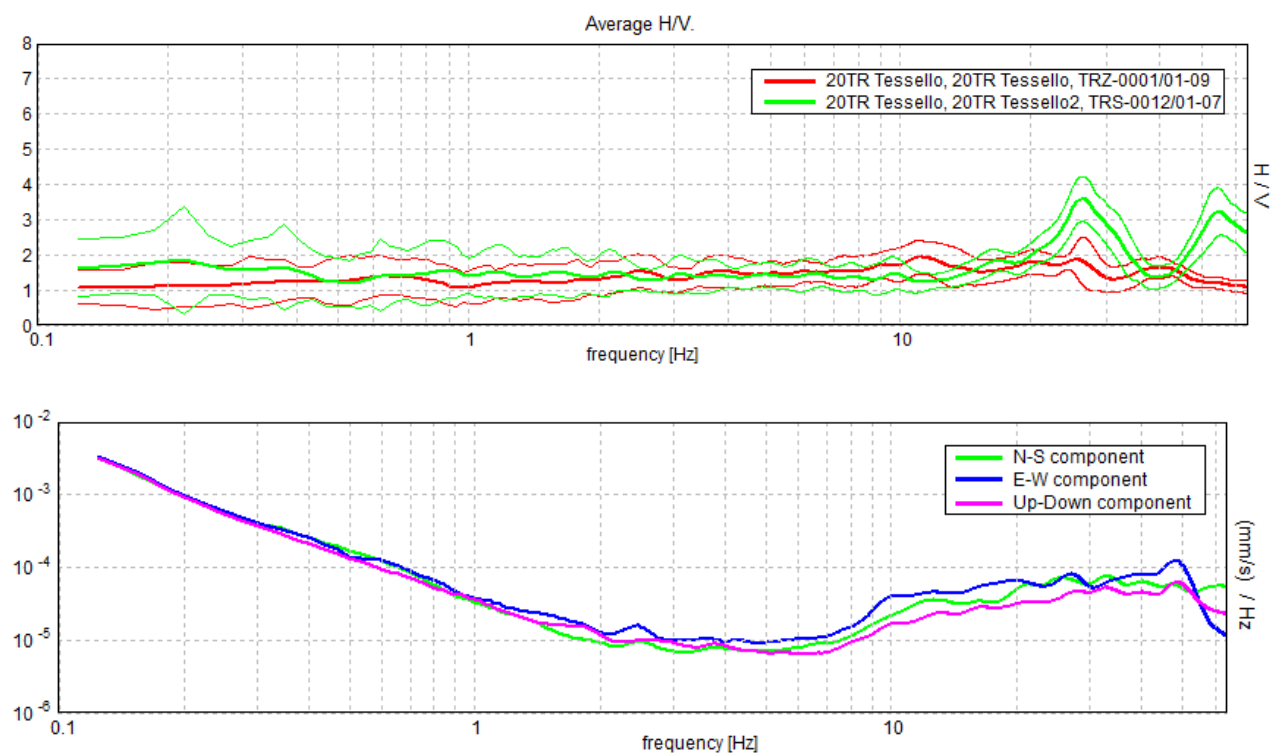
Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Modulo di Poisson
2.00	2.00	130	0.42
14.00	12.00	240	0.42
inf.	inf.	500	0.42

**Tabella 10.** Modello di sottosuolo medio sotto l'area indagata ottenuto dal fit congiunto delle prove in array e H/V. Si noti che le prove effettuate forniscono una stima delle sole Vs. Il rapporto di Poisson indicato è quello adottato nella modellazione ma le prove geofisiche basate su onde di superficie non possono fornire misure affidabili di questo parametro.

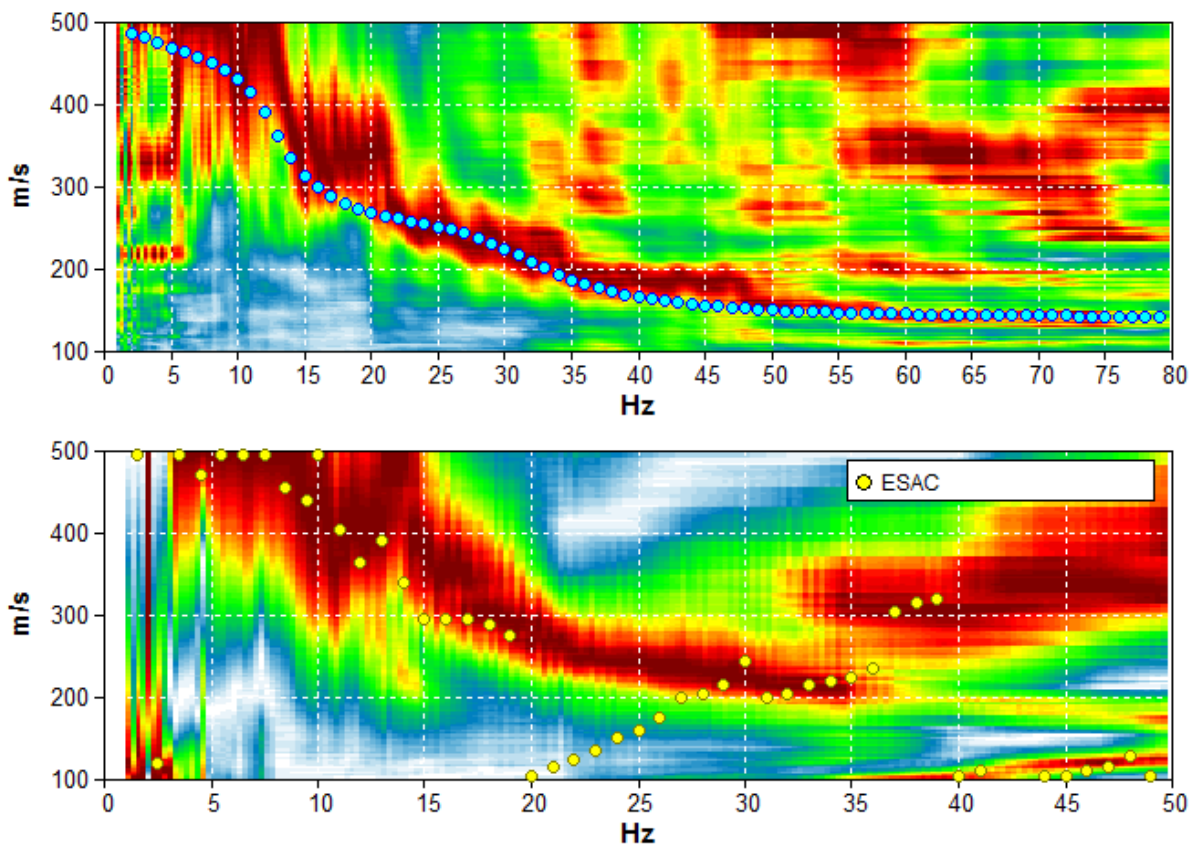


**Figura 89.** Modello di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) medio sotto l'area indagata ottenuto dal fit congiunto di prove in array e H/V.

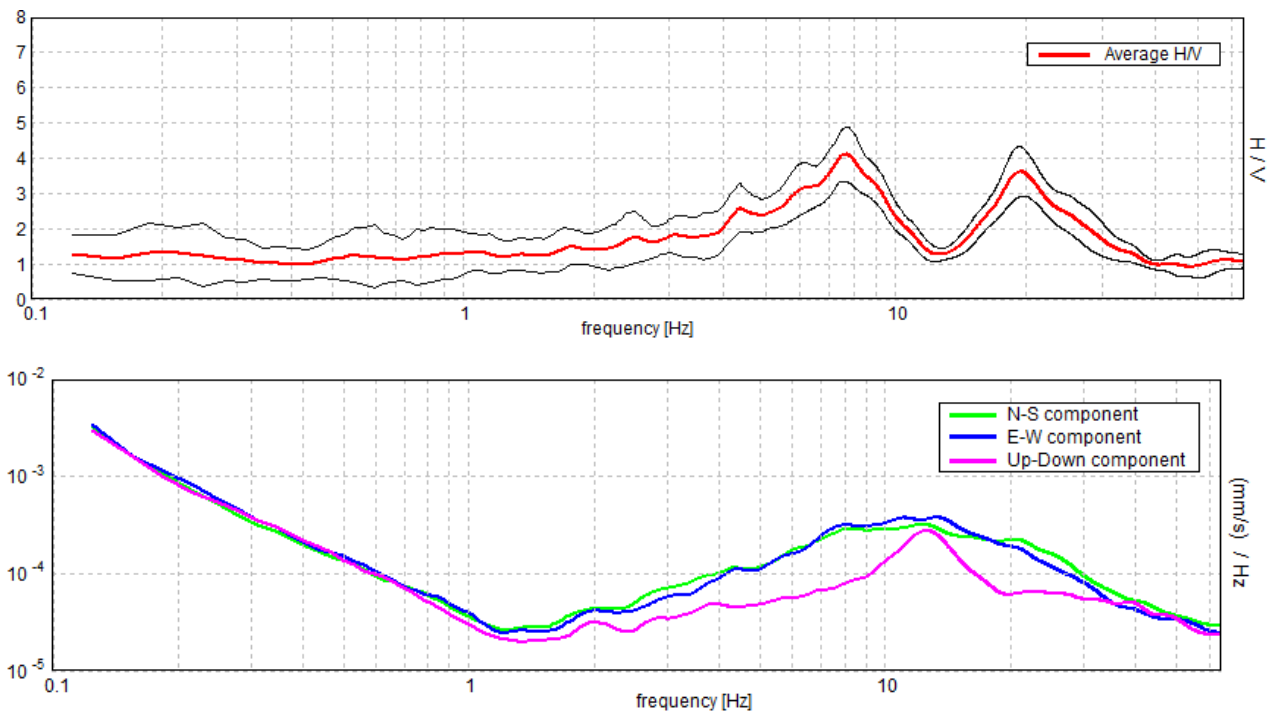
## TR 20/AR 06: Tessello



**Figura 90.** *Alto:* curva H/V sperimentale (rosso) e teorica (blu) per il modello di sottosuolo proposto per il sito. *Basso:* spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi ad una delle due curve H/V mostrate sopra.



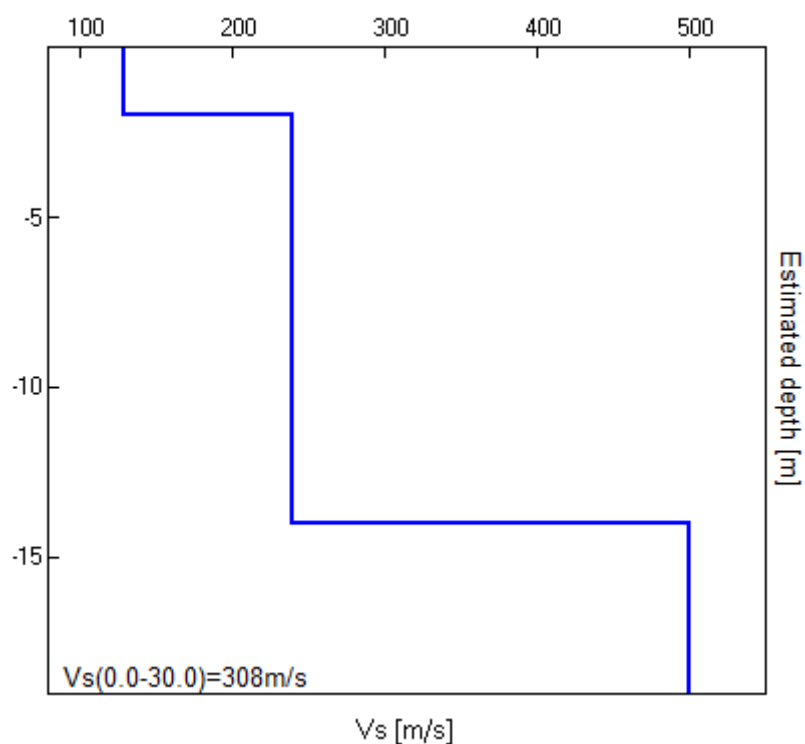
**Figura 91.** Grafico a contour: spettri di velocità di fase dell'onda di Rayleigh per lo stendimento MASW (alto) e ReMi (basso). Cerchi gialli: curva di dispersione della velocità di fase dell'onda di Rayleigh derivante da indagine ESAC. Cerchi azzurri: curva di dispersione teorica per il modello di sottosuolo proposto per il sito.



**Figura 92.** Alto: curva H/V registrata nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza  $2\sigma$  a linea sottile). Basso: spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi alla curva H/V mostrata sopra.

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Modulo di Poisson
2.00	2.00	130	0.42
14.00	12.00	240	0.42
inf.	inf.	500	0.42

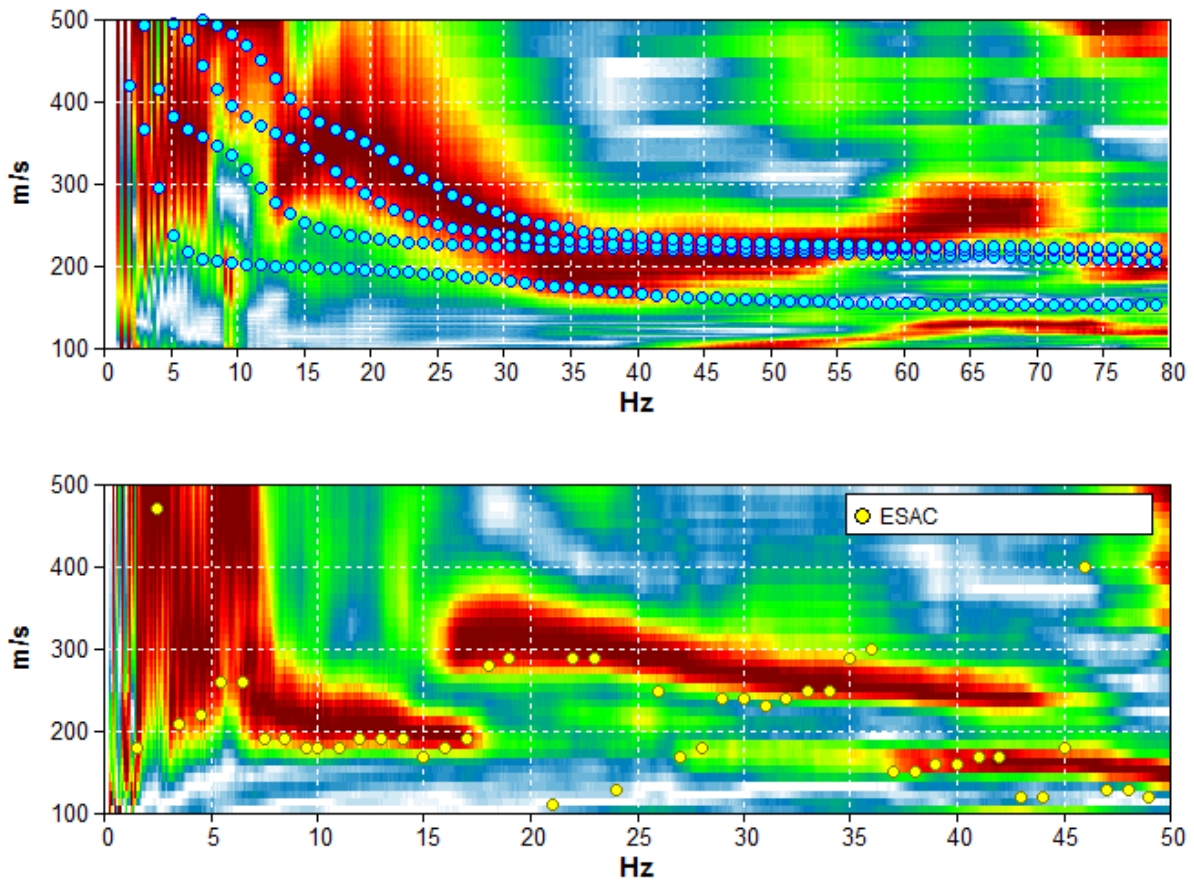
**Tabella 11.** Modello di sottosuolo medio sotto l'area indagata ottenuto dal fit congiunto delle prove in array e H/V. Si noti che le prove effettuate forniscono una stima delle sole Vs. Il rapporto di Poisson indicato è quello adottato nella modellazione ma le prove geofisiche basate su onde di superficie non possono fornire misure affidabili di questo parametro.



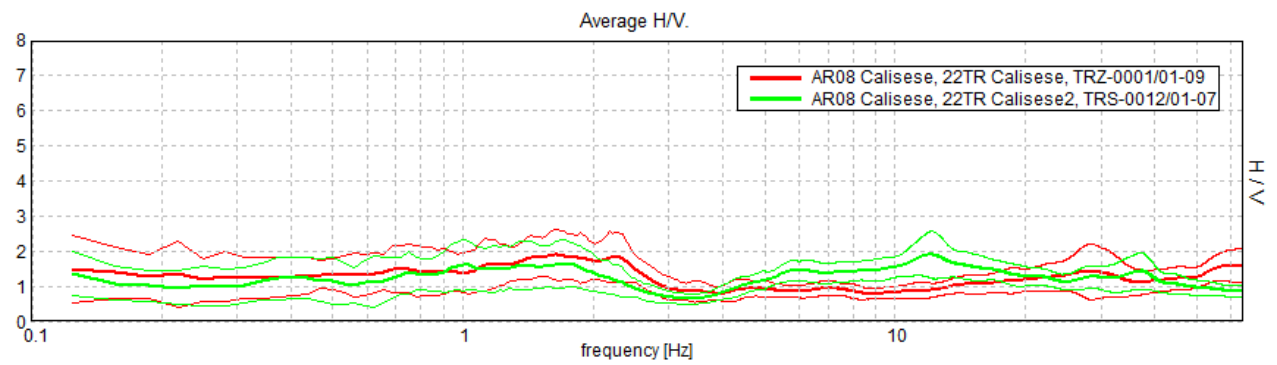
**Figura 93.** Modello di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) medio sotto l'area indagata ottenuto dal fit congiunto di prove in array e H/V.



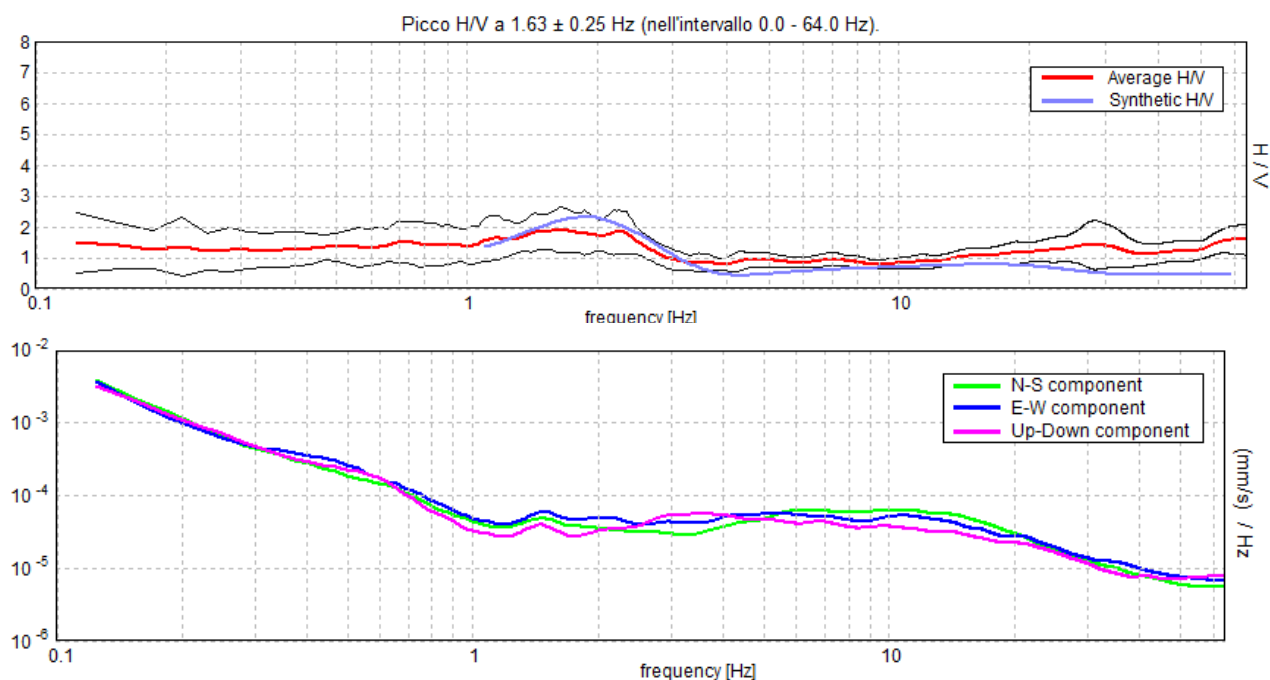
TR 22/AR 08: via Calisese



**Figura 94.** Grafico a contour: spettri di velocità di fase dell'onda di Rayleigh per lo stendimento MASW (alto) e ReMi (basso). *Cerchi gialli:* curva di dispersione della velocità di fase dell'onda di Rayleigh derivante da indagine ESAC. *Cerchi azzurri:* curva di dispersione teorica per il modello di sottosuolo proposto per il sito.



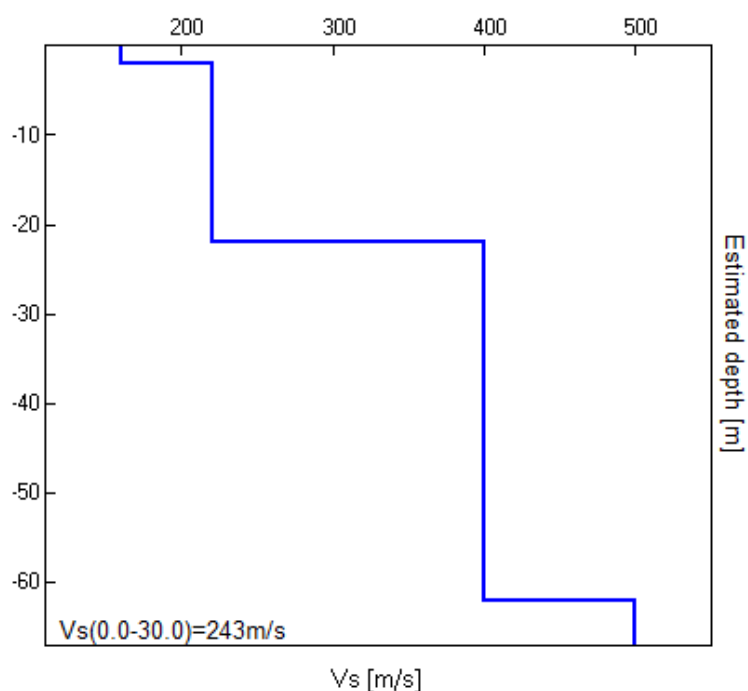
**Figura 95.** Confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, deviazione standard in linea sottile).



**Figura 96.** *Alto:* curva H/V sperimentale (rosso) e teorica (blu) per il modello di sottosuolo proposto per il sito. *Basso:* spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi alla curva H/V mostrata sopra.

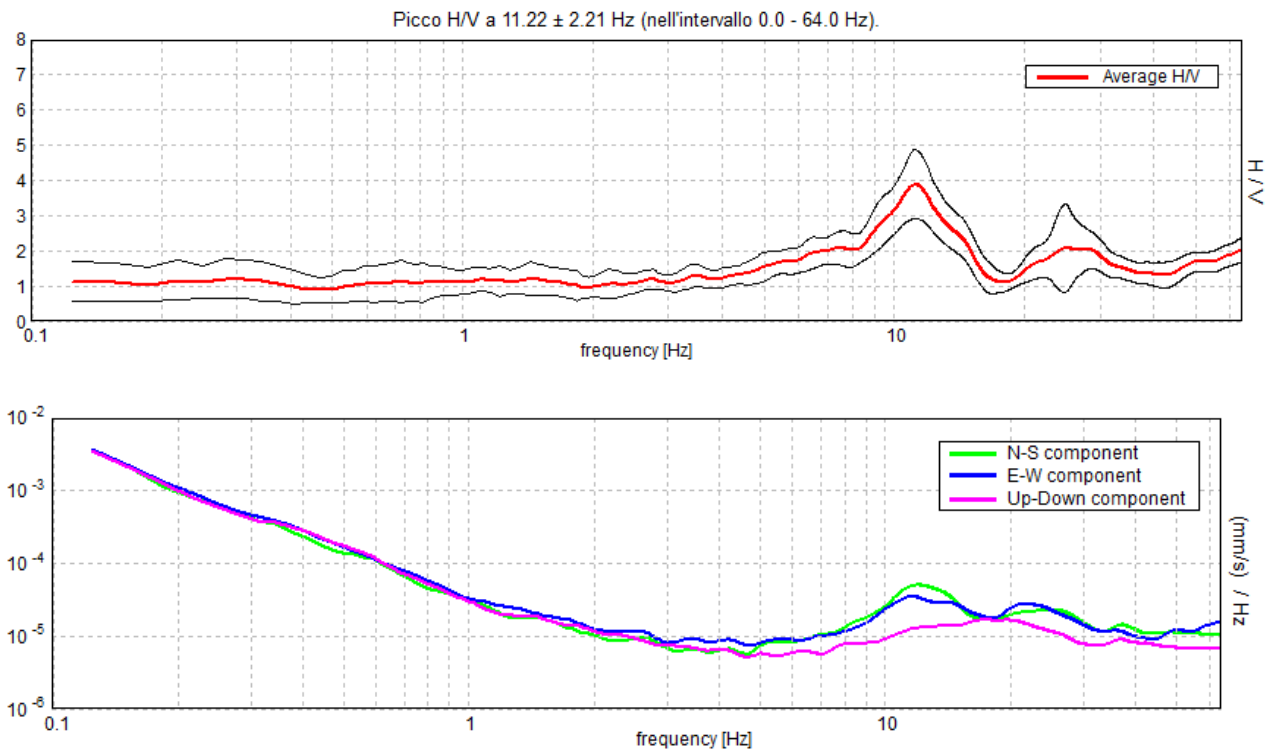
Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Modulo di Poisson
2.00	2.00	160	0.42
22.00	20.00	220	0.42
62.00	40.00	400	0.40
inf.	inf.	500	0.40

**Tabella 12.** Modello di sottosuolo medio sotto l'area indagata ottenuto dal fit congiunto delle prove in array e H/V. Si noti che le prove effettuate forniscono una stima delle sole Vs. Il rapporto di Poisson indicato è quello adottato nella modellazione ma le prove geofisiche basate su onde di superficie non possono fornire misure affidabili di questo parametro.



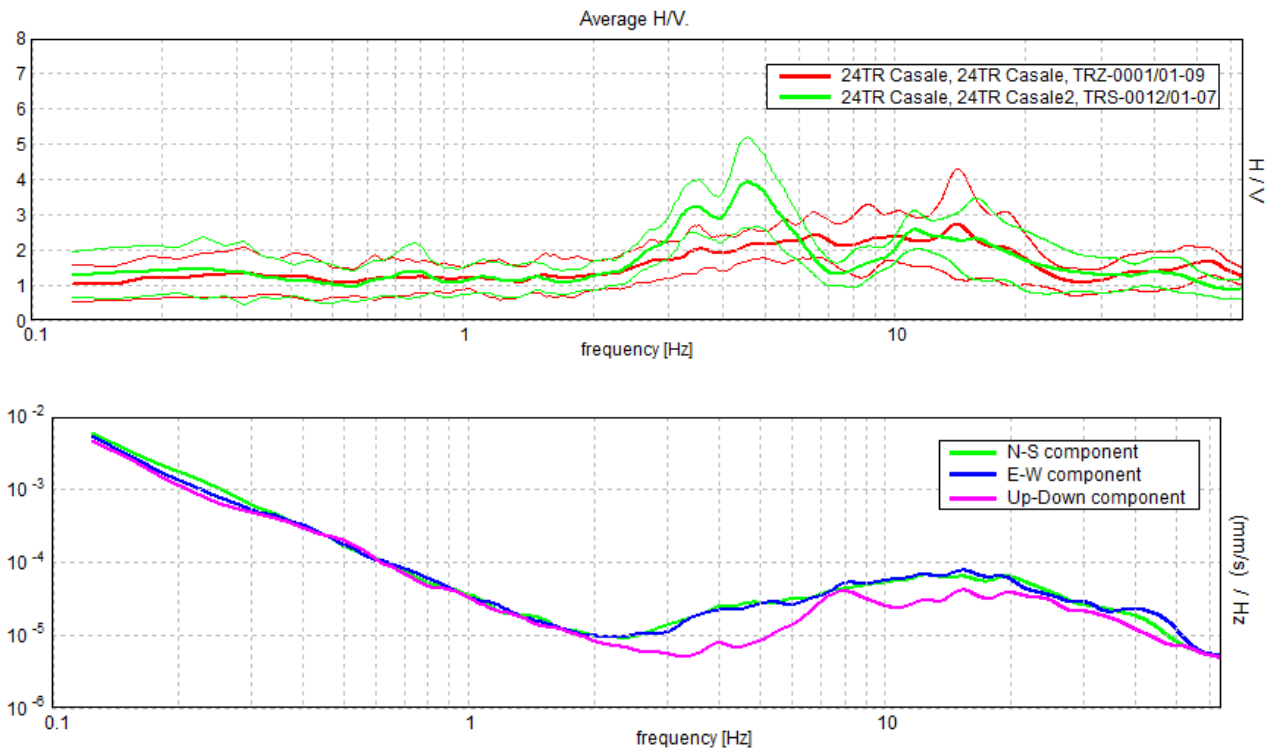
**Figura 97.** Modello di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) medio sotto l'area indagata ottenuto dal fit congiunto di prove in array e H/V.

## TR 23: Carpineta



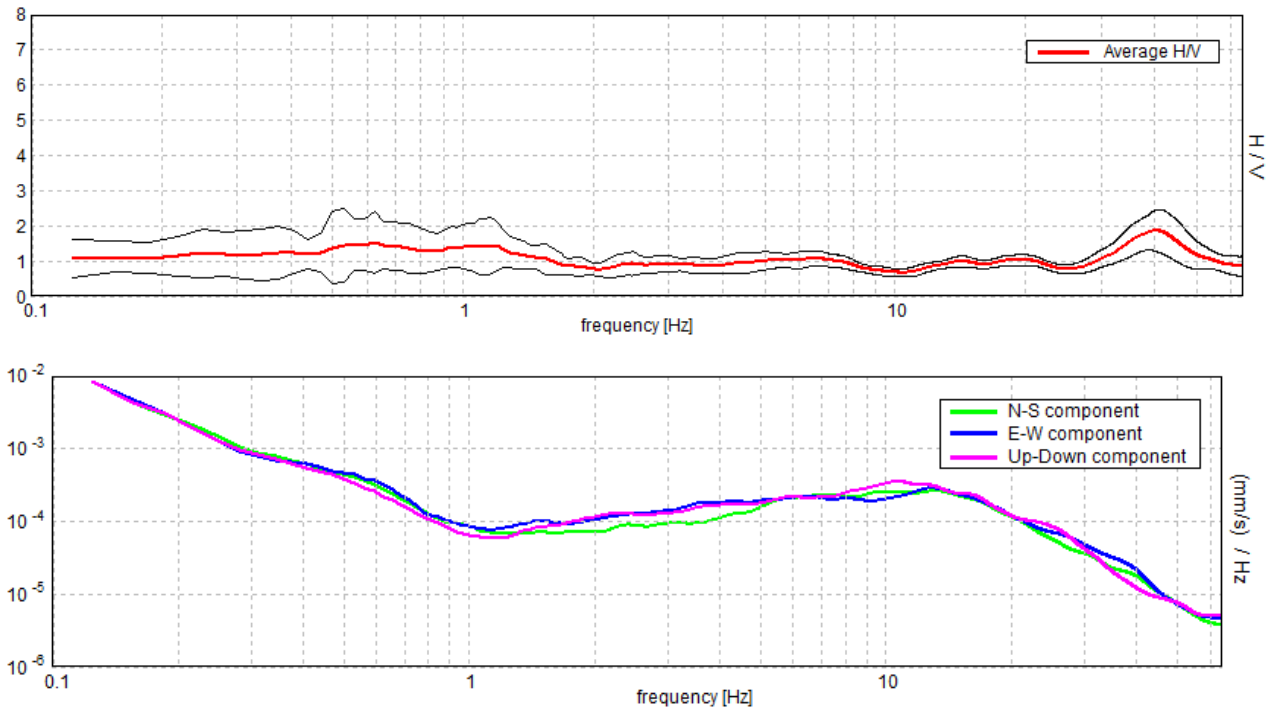
**Figura 98.** *Alto:* curva H/V registrata nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza  $2\sigma$  a linea sottile). *Basso:* spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi alla curva H/V mostrata sopra.

## TR 24: Casale



**Figura 99.** *Alto:* confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza  $2\sigma$  a linea sottile). *Basso:* spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi ad una delle due curve H/V mostrate sopra.

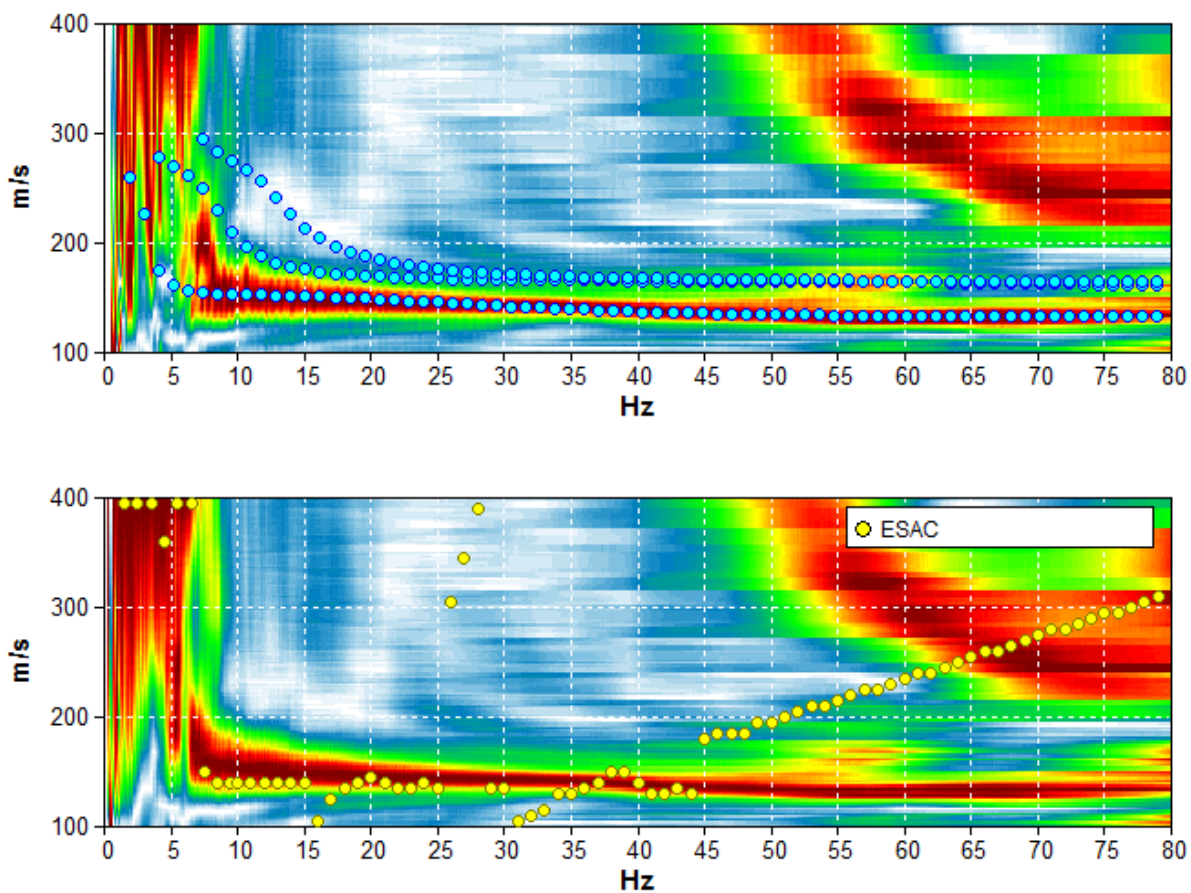
## TR 25: Case Missiroli



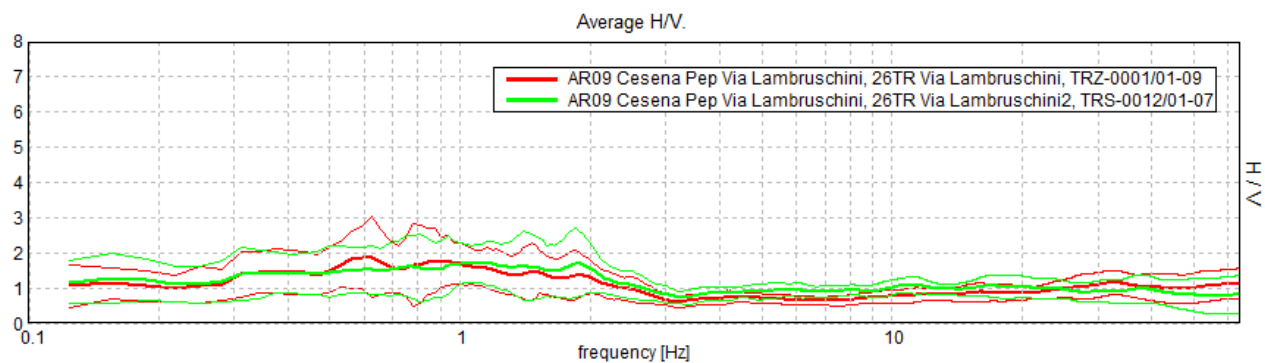
**Figura 100.** *Alto:* confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza  $2\sigma$  a linea sottile). *Basso:* spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi ad una delle due curve H/V mostrate sopra.



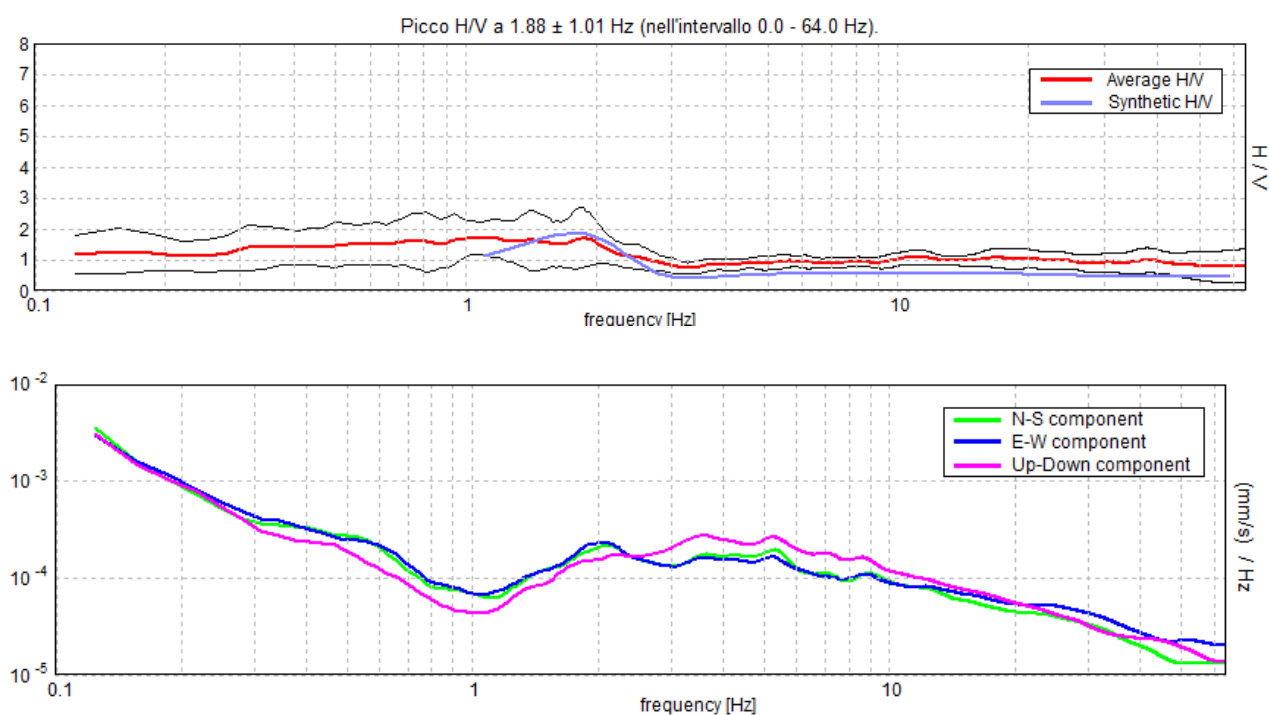
TR 26/AR 09: PEP Via Lambruschini (Cesena)



**Figura 101.** Grafico a contour: spettri di velocità di fase dell'onda di Rayleigh per lo stendimento MASW (alto) e ReMi (basso). Cerchi gialli: curva di dispersione della velocità di fase dell'onda di Rayleigh derivante da indagine ESAC. Cerchi azzurri: curva di dispersione teorica per il modello di sottosuolo proposto per il sito.



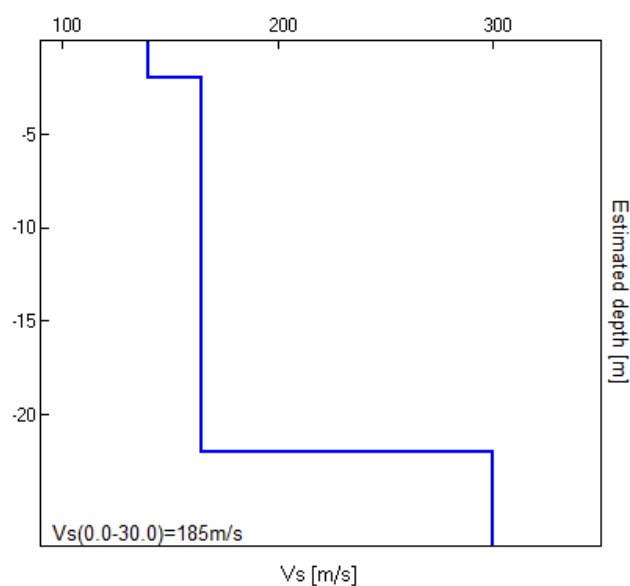
**Figura 102.** Confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza  $2\sigma$  a linea sottile).



**Figura 103.** *Alto:* curva H/V sperimentale (rosso) e teorica (blu) per il modello di sottosuolo proposto per il sito. *Basso:* spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi alla curva H/V mostrata sopra.

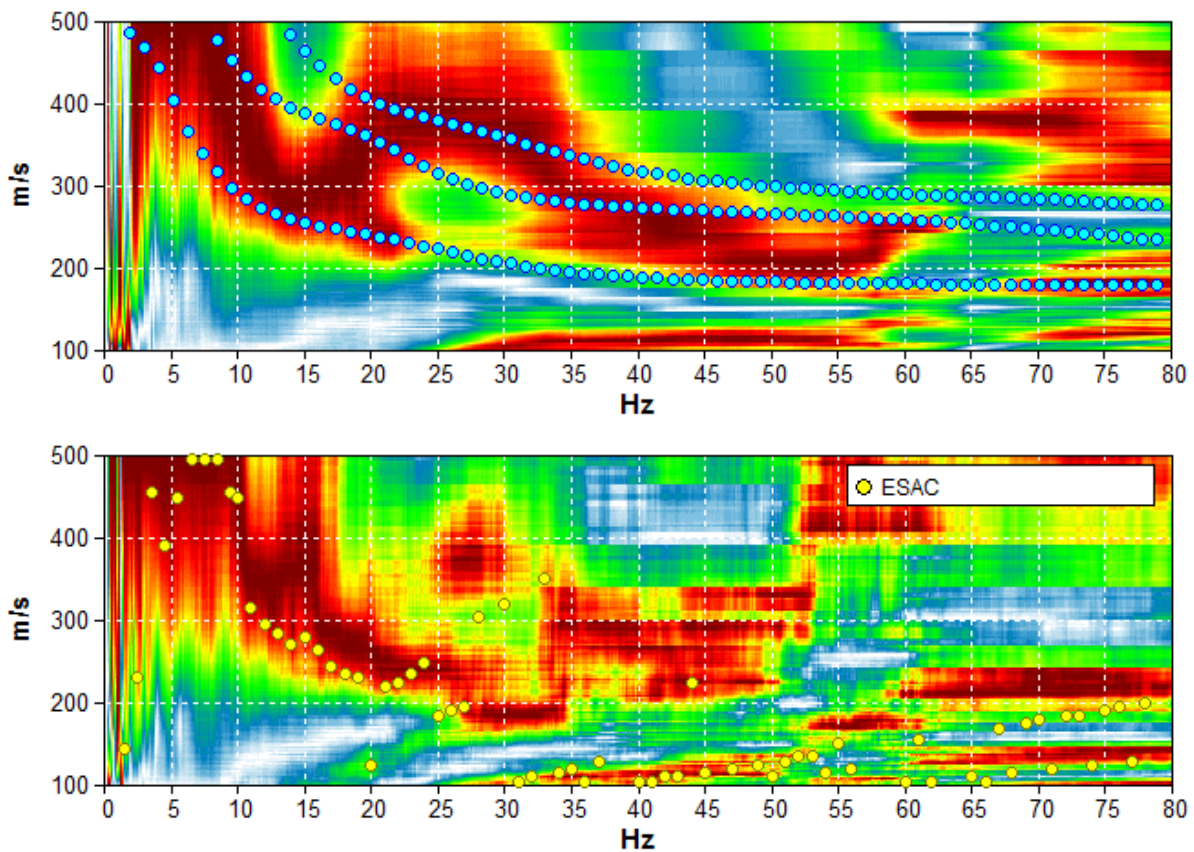
Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Modulo di Poisson
2.00	2.00	140	0.42
22.00	20.00	165	0.42
inf.	inf.	300	0.40

**Tabella 13.** Modello di sottosuolo medio sotto l'area indagata ottenuto dal fit congiunto delle prove in array e H/V. Si noti che le prove effettuate forniscono una stima delle sole Vs. Il rapporto di Poisson indicato è quello adottato nella modellazione ma le prove geofisiche basate su onde di superficie non possono fornire misure affidabili di questo parametro.

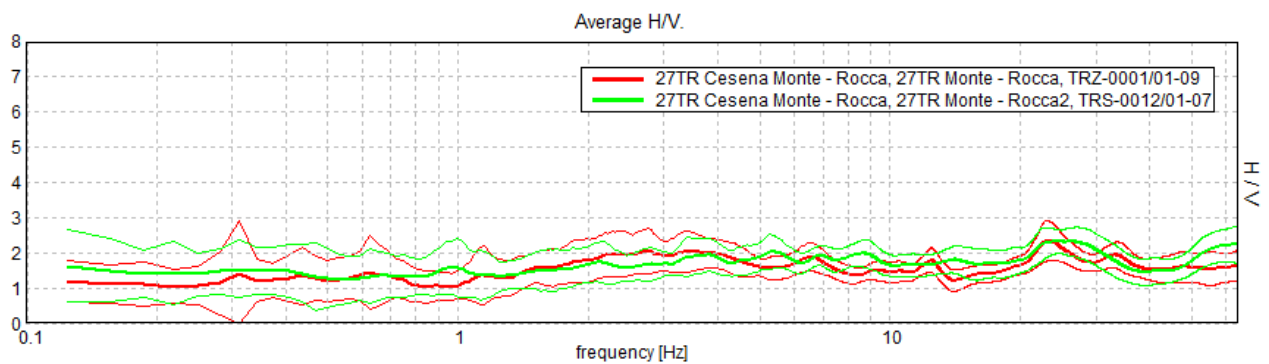


**Figura 104.** Modello di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) medio sotto l'area indagata ottenuto dal fit congiunto di prove in array e H/V.

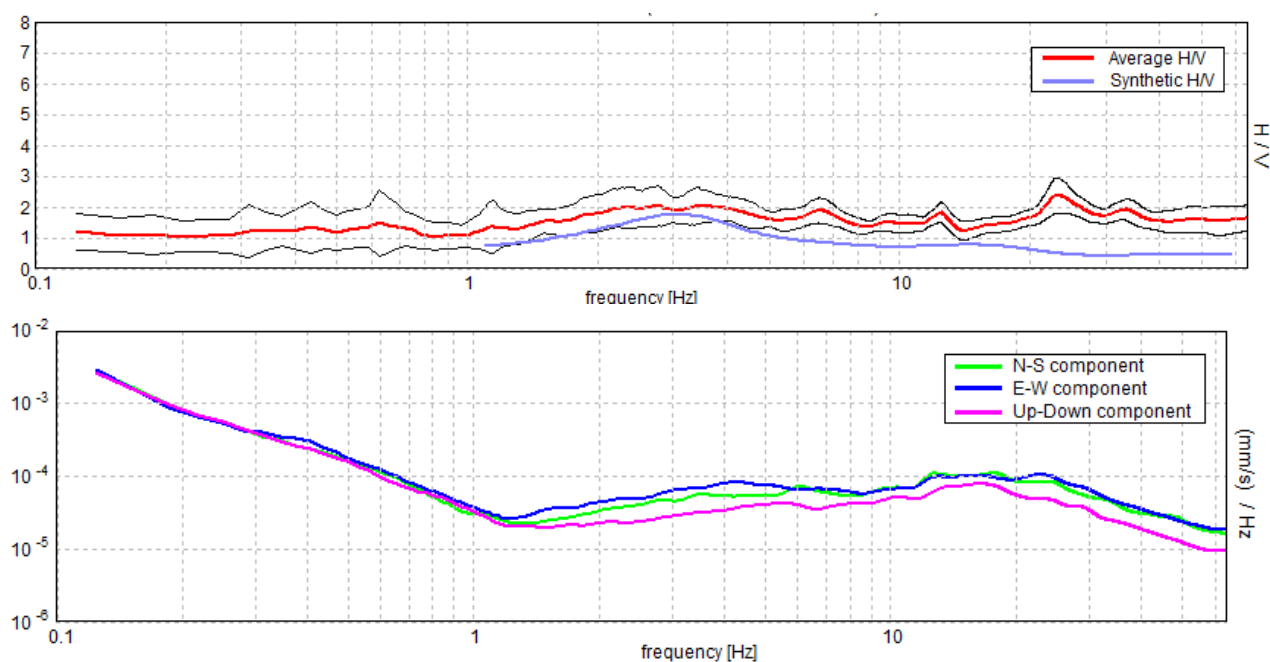
TR 27/AR 10: Monte Rocca



**Figura 105.** Grafico a contour: spettri di velocità di fase dell'onda di Rayleigh per lo stendimento MASW. Cerchi gialli: curva di dispersione da indagine ESAC. Cerchi azzurri: curva di dispersione teorica per il modello di sottosuolo proposto per il sito.



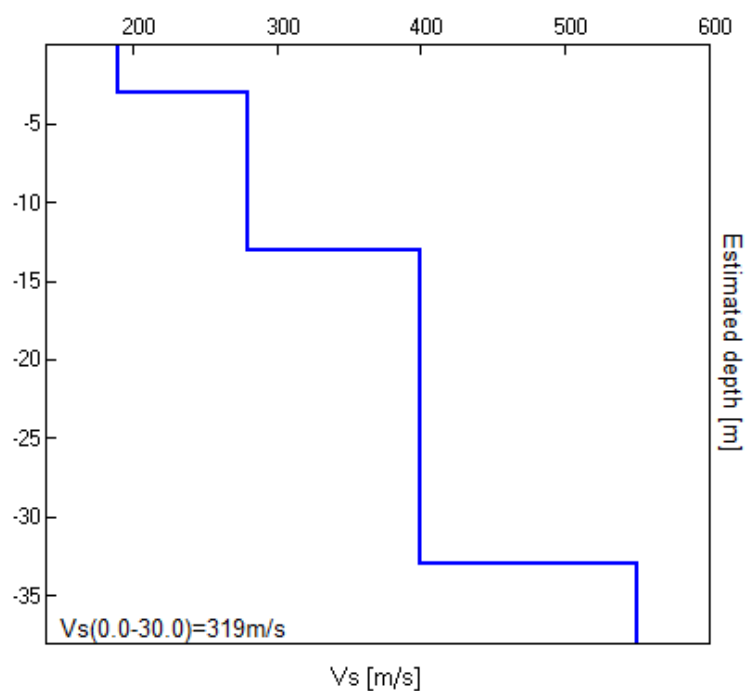
**Figura 106.** Confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza  $2\sigma$  a linea sottile).



**Figura 107.** *Alto:* curva H/V sperimentale (rosso) e teorica (blu) per il modello di sottosuolo proposto per il sito. *Basso:* spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi alla curva H/V mostrata sopra.

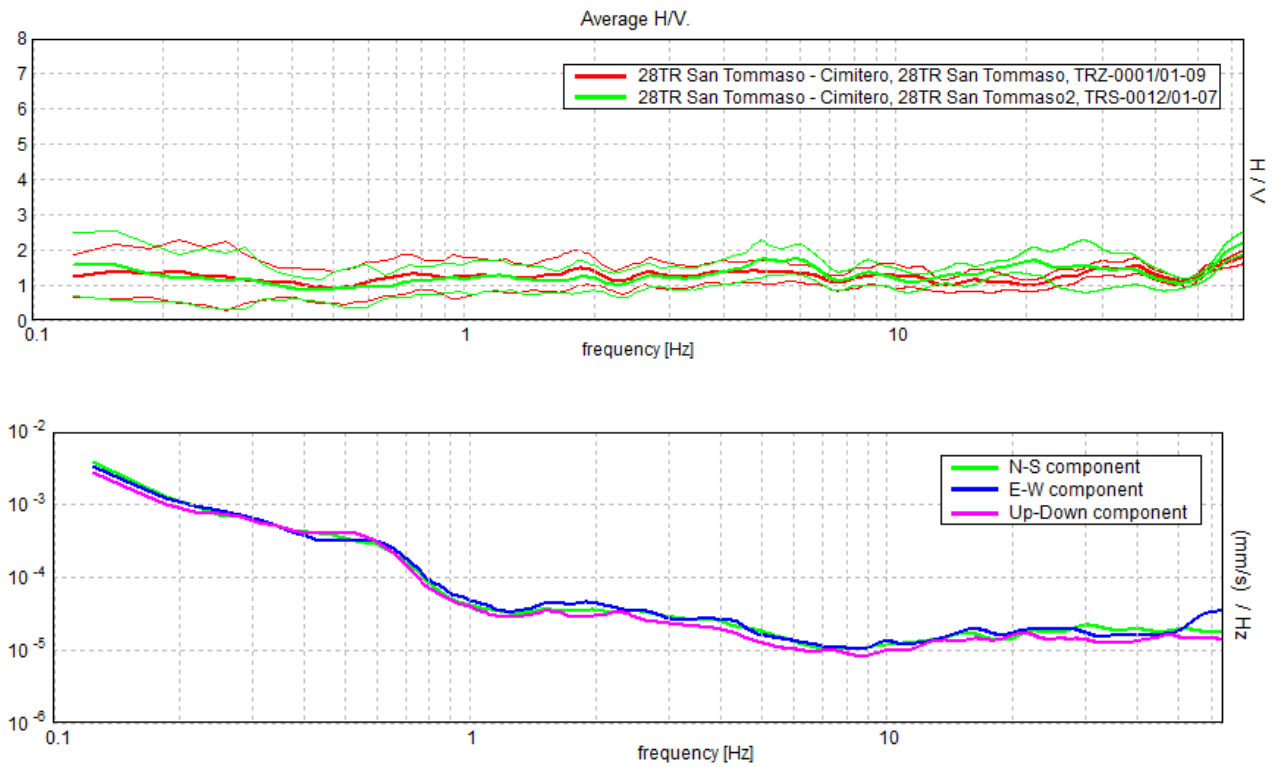
Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Modulo di Poisson
3.00	3.00	190	0.42
13.00	10.00	280	0.42
33.00	20.00	400	0.40
inf.	inf.	550	0.40

**Tabella 14.** Modello di sottosuolo medio sotto l'area indagata ottenuto dal fit congiunto delle prove in array e H/V. Si noti che le prove effettuate forniscono una stima delle sole Vs. Il rapporto di Poisson indicato è quello adottato nella modellazione ma le prove geofisiche basate su onde di superficie non possono fornire misure affidabili di questo parametro.



**Figura 108.** Modello di velocità delle onde di taglio (Vs) medio sotto l'area indagata ottenuto dal fit congiunto di prove in array e H/V.

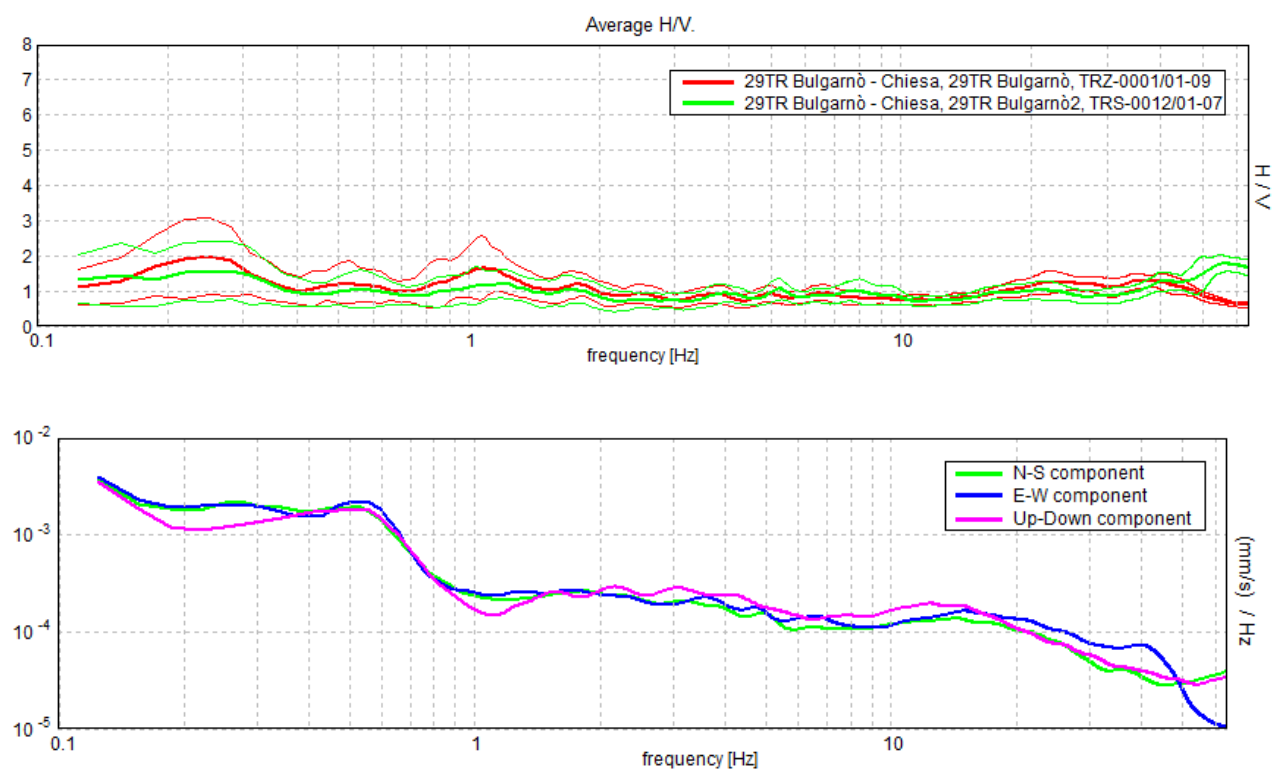
## TR 28: San Tommaso - Cimitero



**Figura 109.** *Alto:* confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza  $2\sigma$  a linea sottile). *Basso:* spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi ad una delle due curve H/V mostrate sopra.

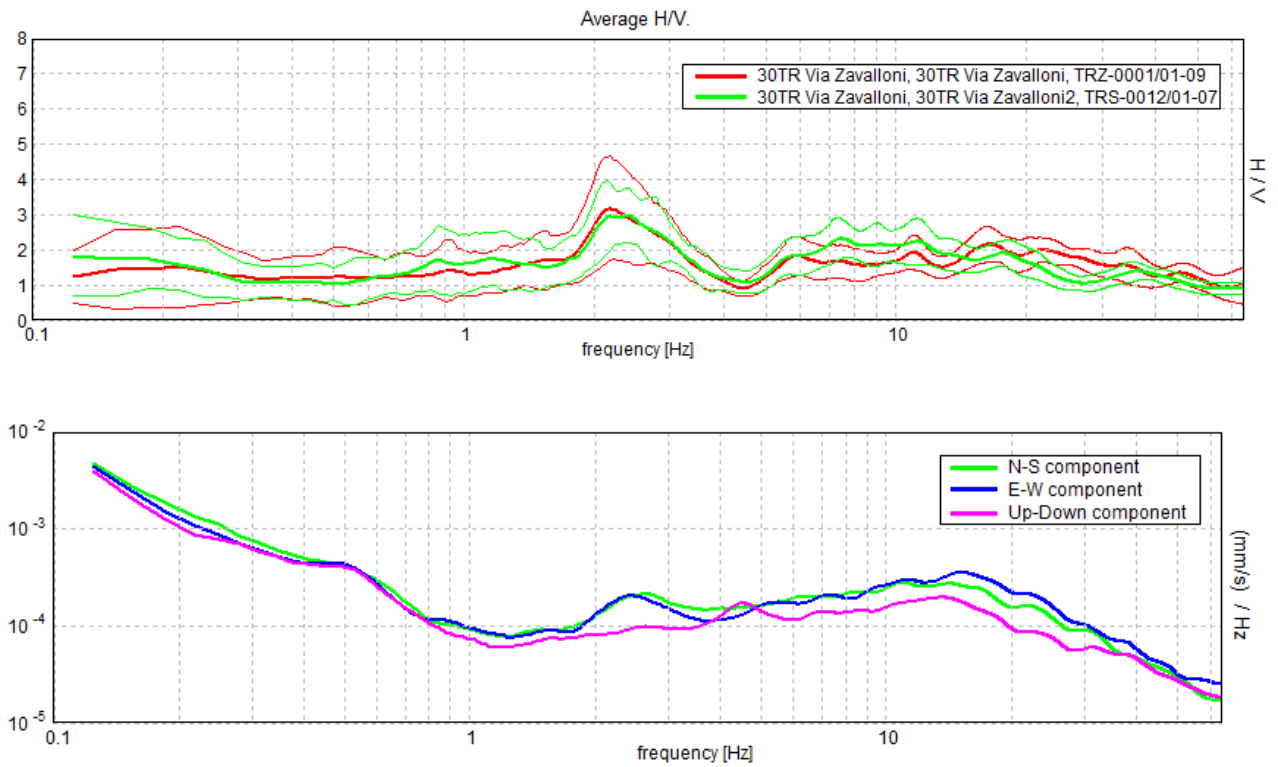


## TR 29: Bulgarnò - Chiesa



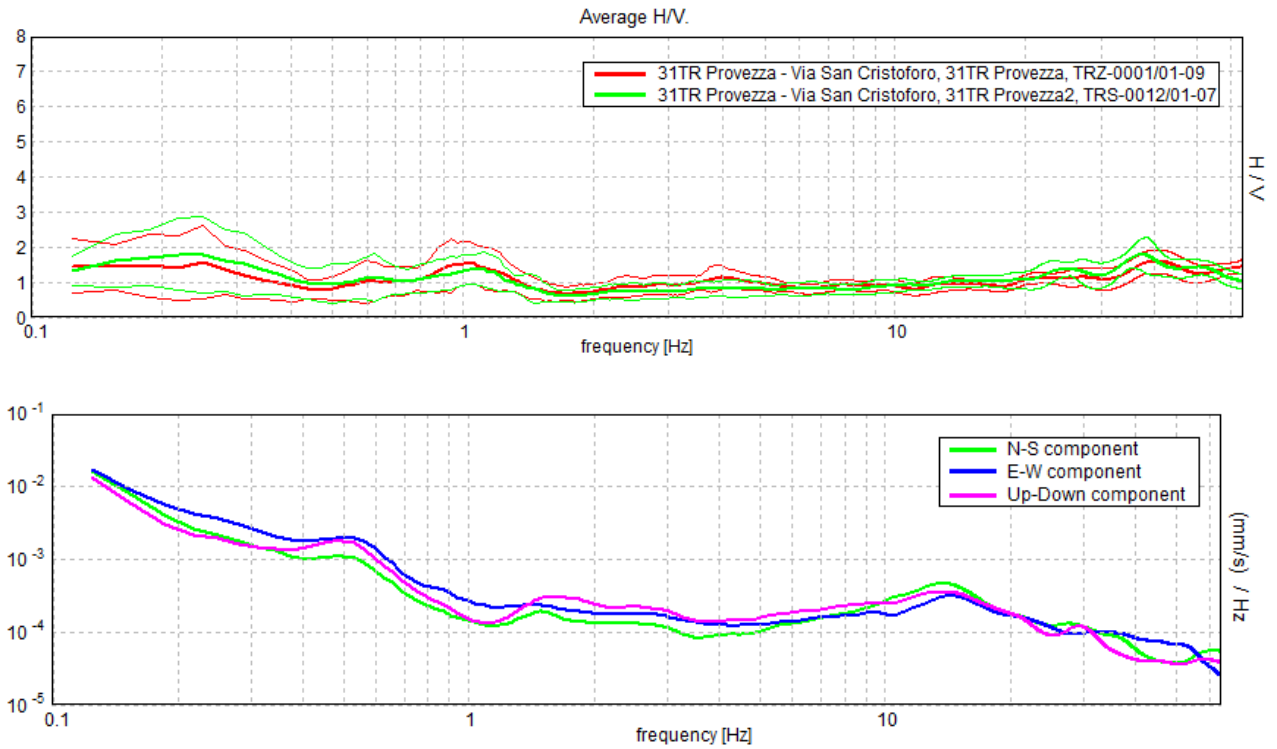
**Figura 110.** *Alto:* confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza  $2\sigma$  a linea sottile). *Basso:* spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi ad una delle due curve H/V mostrate sopra.

## TR 30: via Zavalloni



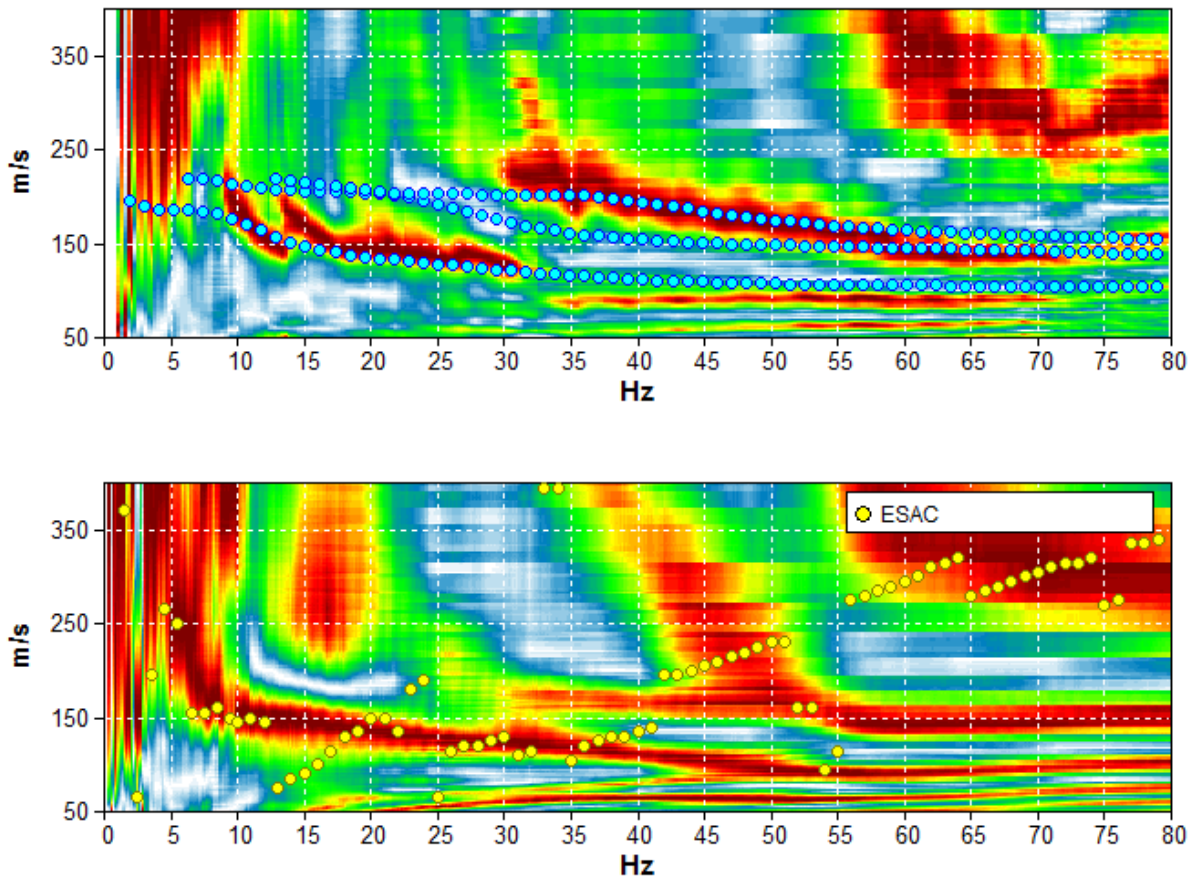
**Figura 111.** *Alto:* confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza  $2\sigma$  a linea sottile). *Basso:* spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi ad una delle due curve H/V mostrate sopra.

## TR 31: Provezza – Via San Cristoforo

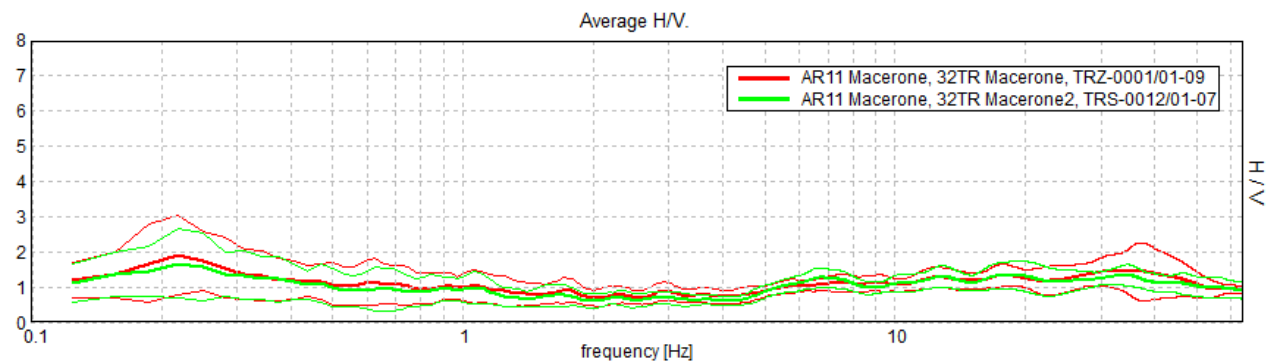


**Figura 112.** *Alto:* confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza  $2\sigma$  a linea sottile). *Basso:* spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi ad una delle due curve H/V mostrate sopra.

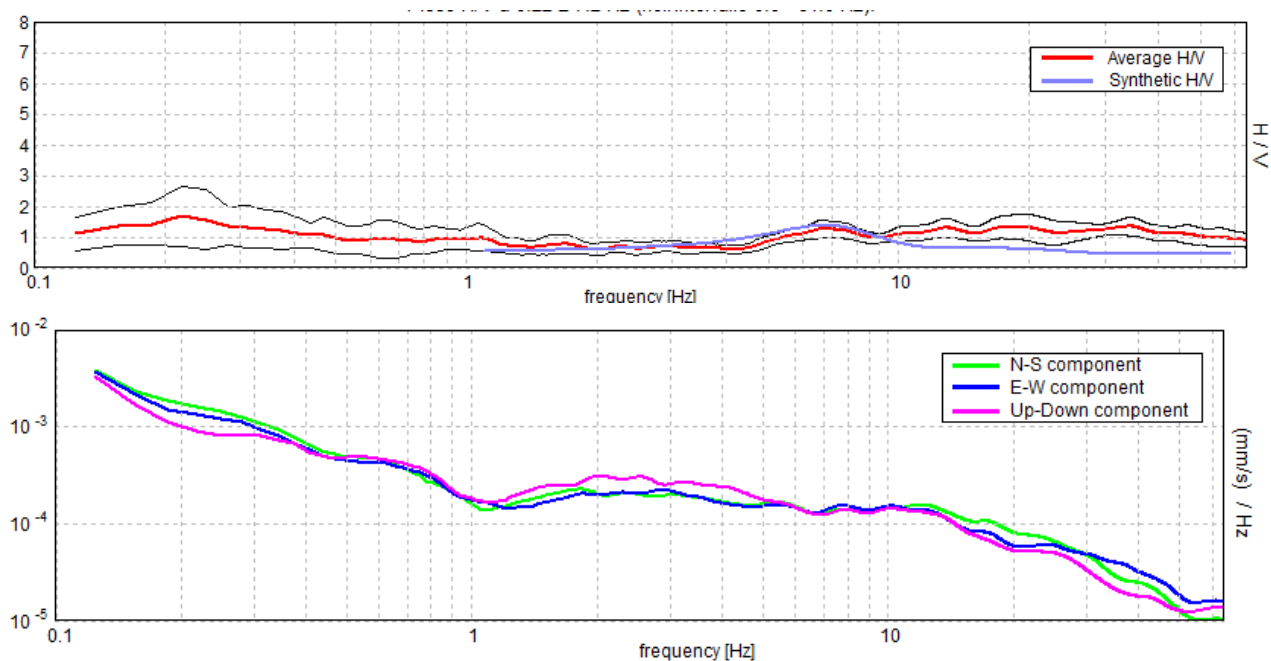
TR 32/AR 11: Macerone



**Figura 113.** Grafico a contour: spettri di velocità di fase dell'onda di Rayleigh per lo stendimento MASW (alto) e ReMi (basso). Cerchi gialli: curva di dispersione della velocità di fase dell'onda di Rayleigh derivante da indagine ESAC. Cerchi azzurri: curva di dispersione teorica per il modello di sottosuolo proposto per il sito.



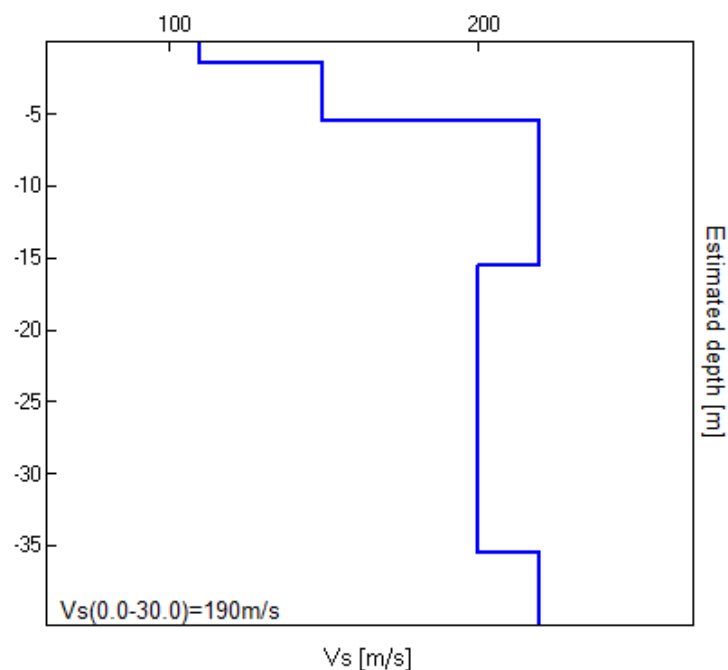
**Figura 114.** Confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza  $2\sigma$  a linea sottile).



**Figura 115.** *Alto:* curva H/V sperimentale (rosso) e teorica (blu) per il modello di sottosuolo proposto per il sito. *Basso:* spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi alla curva H/V mostrata sopra.

Profondità all base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Modulo di Poisson
1.50	1.50	110	0.42
5.50	4.00	150	0.42
15.50	10.00	220	0.42
35.50	20.00	200	0.42
inf.	inf.	220	0.42

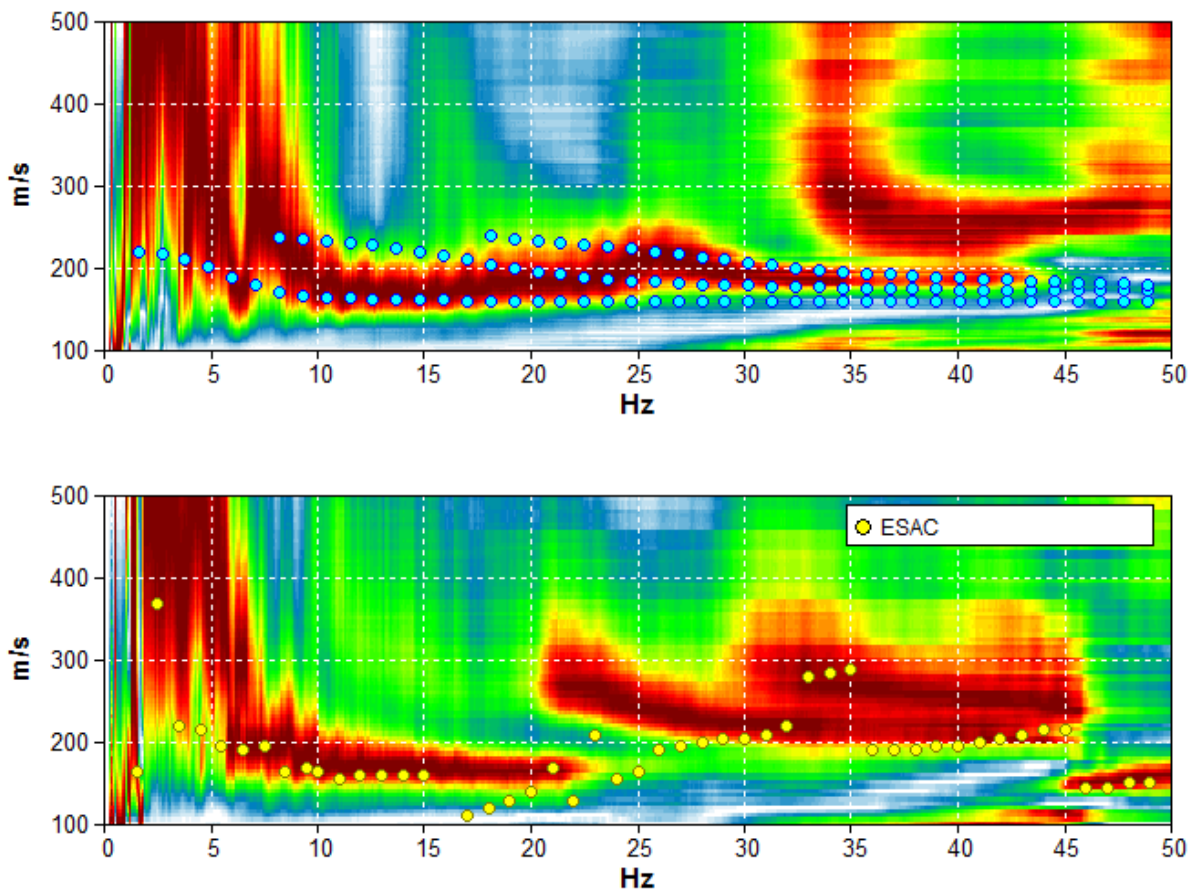
**Tabella 15.** Modello di sottosuolo medio sotto l'area indagata ottenuto dal fit congiunto delle prove in array e H/V. Si noti che le prove effettuate forniscono una stima delle sole Vs. Il rapporto di Poisson indicato è quello adottato nella modellazione ma le prove geofisiche basate su onde di superficie non possono fornire misure affidabili di questo parametro.



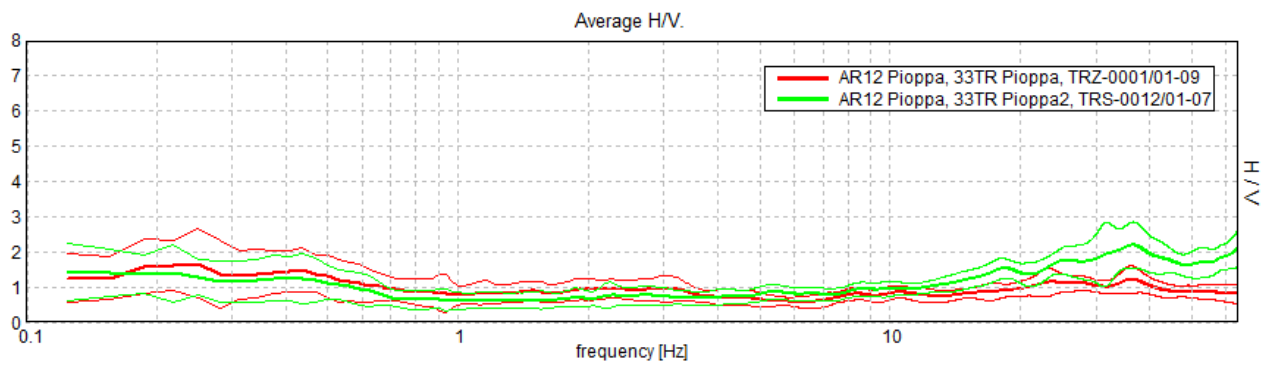
**Figura 116.** Modello di velocità delle onde di taglio (Vs) medio sotto l'area indagata ottenuto dal fit congiunto di prove in array e H/V.



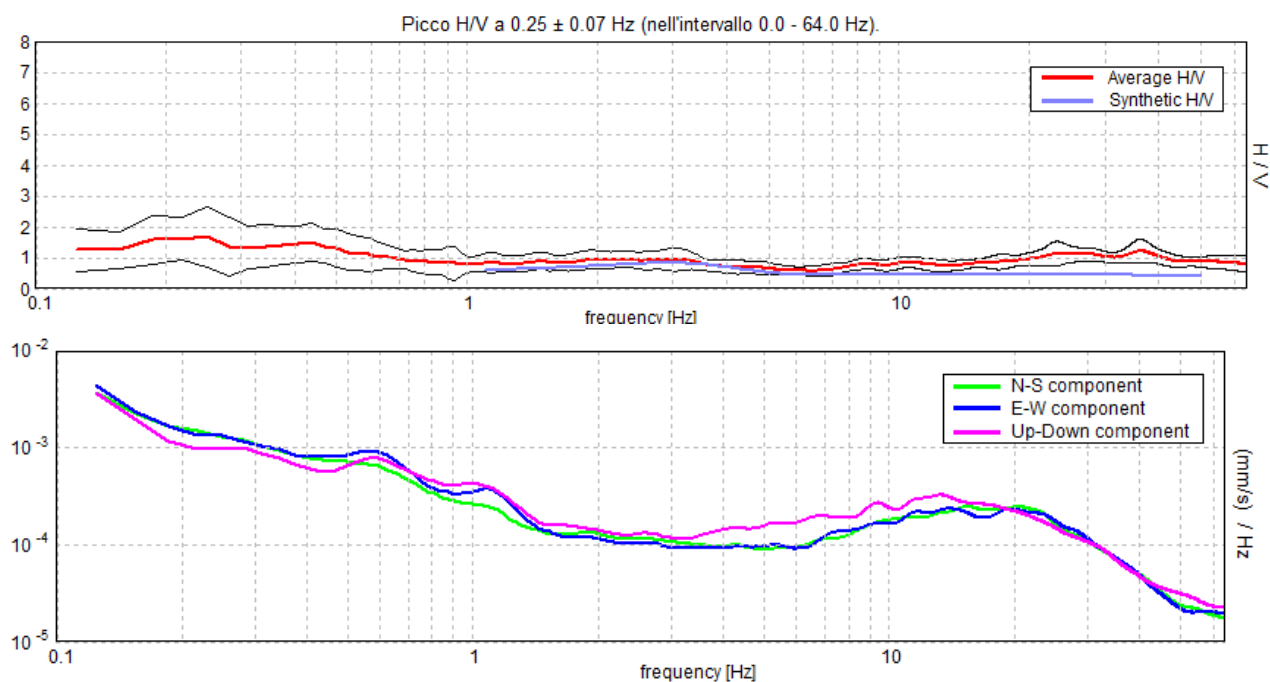
## TR 33/AR 12: Pioppa



**Figura 117.** Grafico a contour: spettri di velocità di fase dell'onda di Rayleigh per lo stendimento MASW. Cerchi azzurri: curva di dispersione teorica per il modello di sottosuolo proposto per il sito.



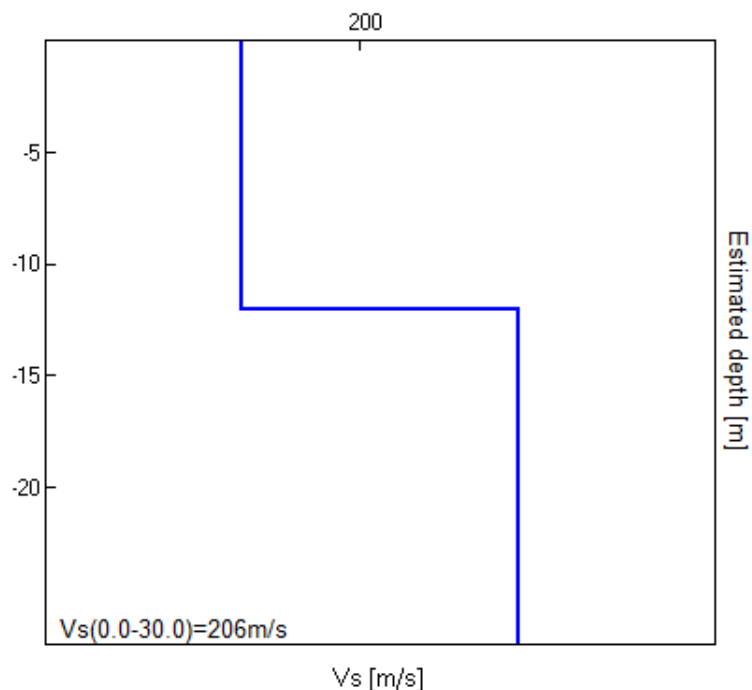
**Figura 118.** Confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza  $2\sigma$  a linea sottile).



**Figura 119.** *Alto:* curva H/V sperimentale (rosso) e teorica (blu) per il modello di sottosuolo proposto per il sito, *Basso:* spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi alla curva H/V mostrata sopra.

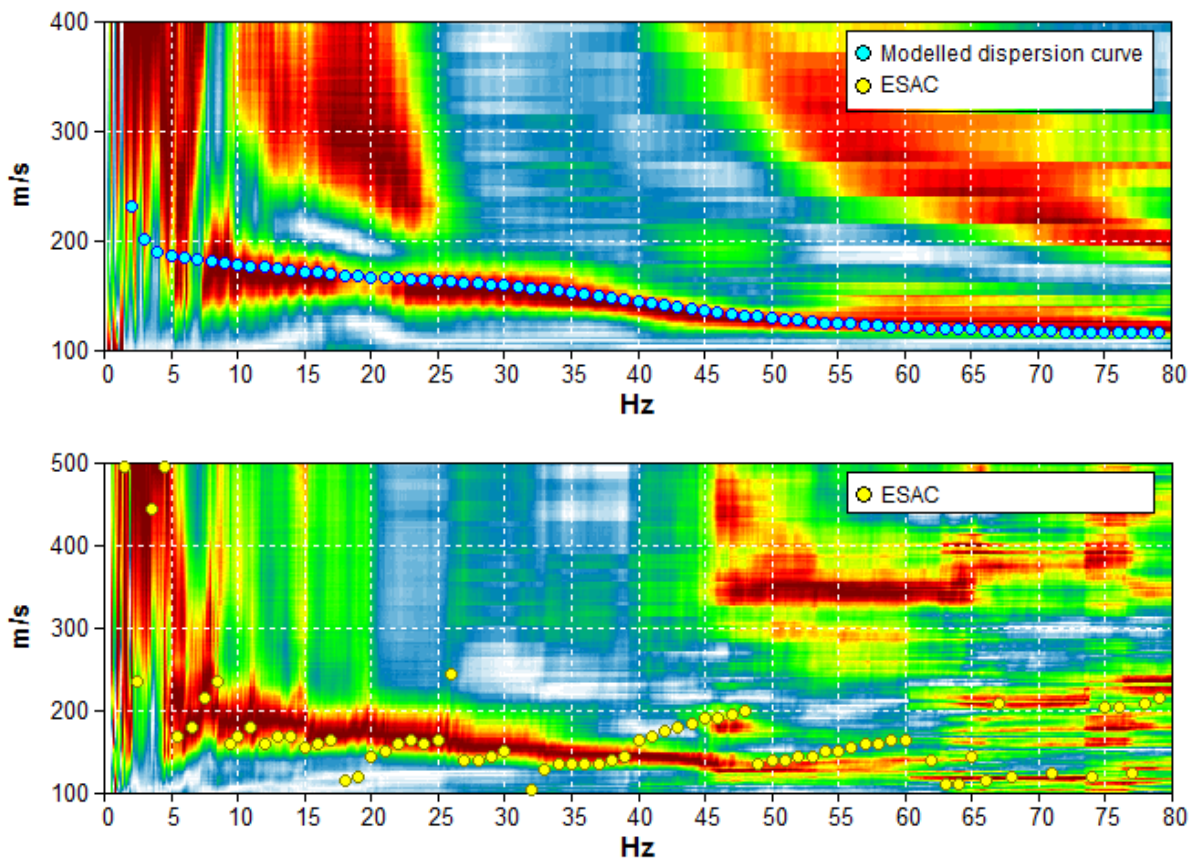
Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Modulo di Poisson
12.00	12.00	170	0.42
22.00	10.00	240	0.42
inf.	inf.	240	0.40

**Tabella 16.** Modello di sottosuolo medio sotto l'area indagata ottenuto dal fit congiunto delle prove in array e H/V. Si noti che le prove effettuate forniscono una stima delle sole Vs. Il rapporto di Poisson indicato è quello adottato nella modellazione ma le prove geofisiche basate su onde di superficie non possono fornire misure affidabili di questo parametro.

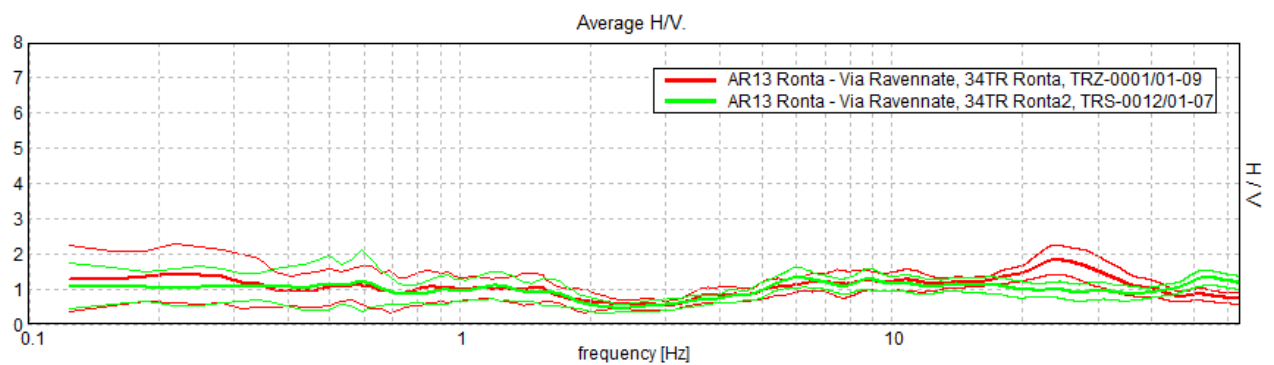


**Figura 120.** Modello di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) medio sotto l'area indagata ottenuto dal fit congiunto di prove in array e H/V.

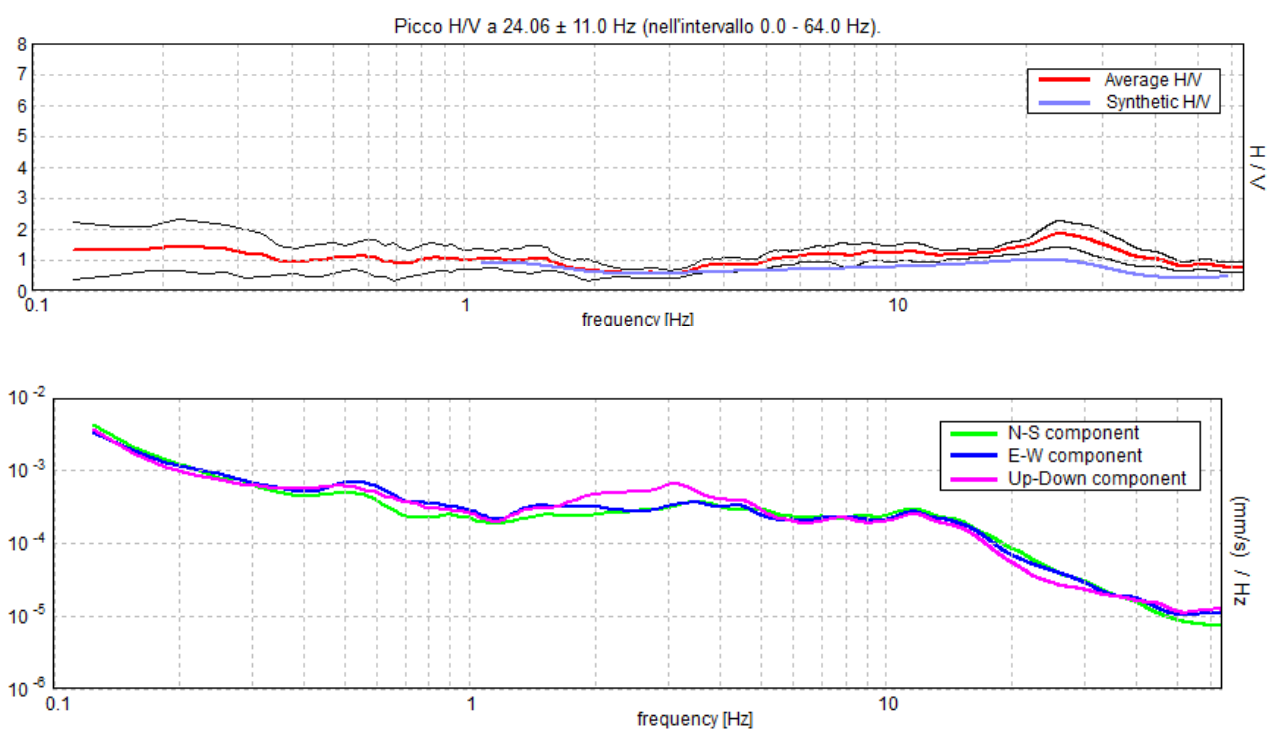
TR 34/AR 13: Ronta - Via Ravennate



**Figura 121.** Grafico a contour: spettri di velocità di fase dell'onda di Rayleigh per lo stendimento MASW. Cerchi gialli: curva di dispersione da indagine ESAC. Cerchi azzurri: curva di dispersione teorica per il modello di sottosuolo proposto per il sito.



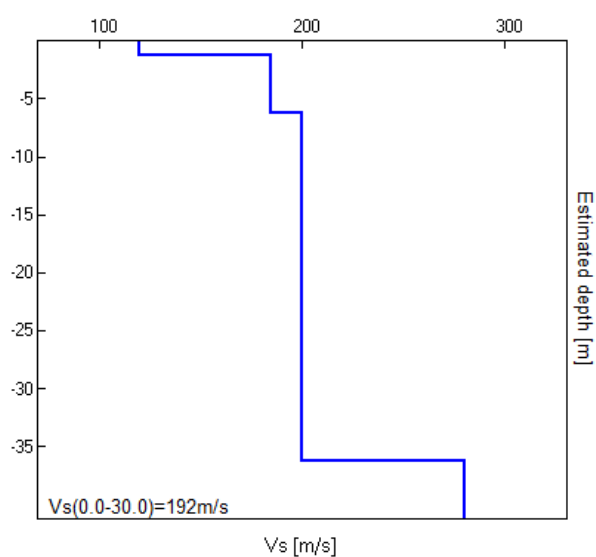
**Figura 122.** Confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza  $2\sigma$  a linea sottile).



**Figura 123.** *Alto:* curva H/V sperimentale (rosso) e teorica (blu) per il modello di sottosuolo proposto per il sito. *Basso:* spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi alla curva H/V mostrata sopra.

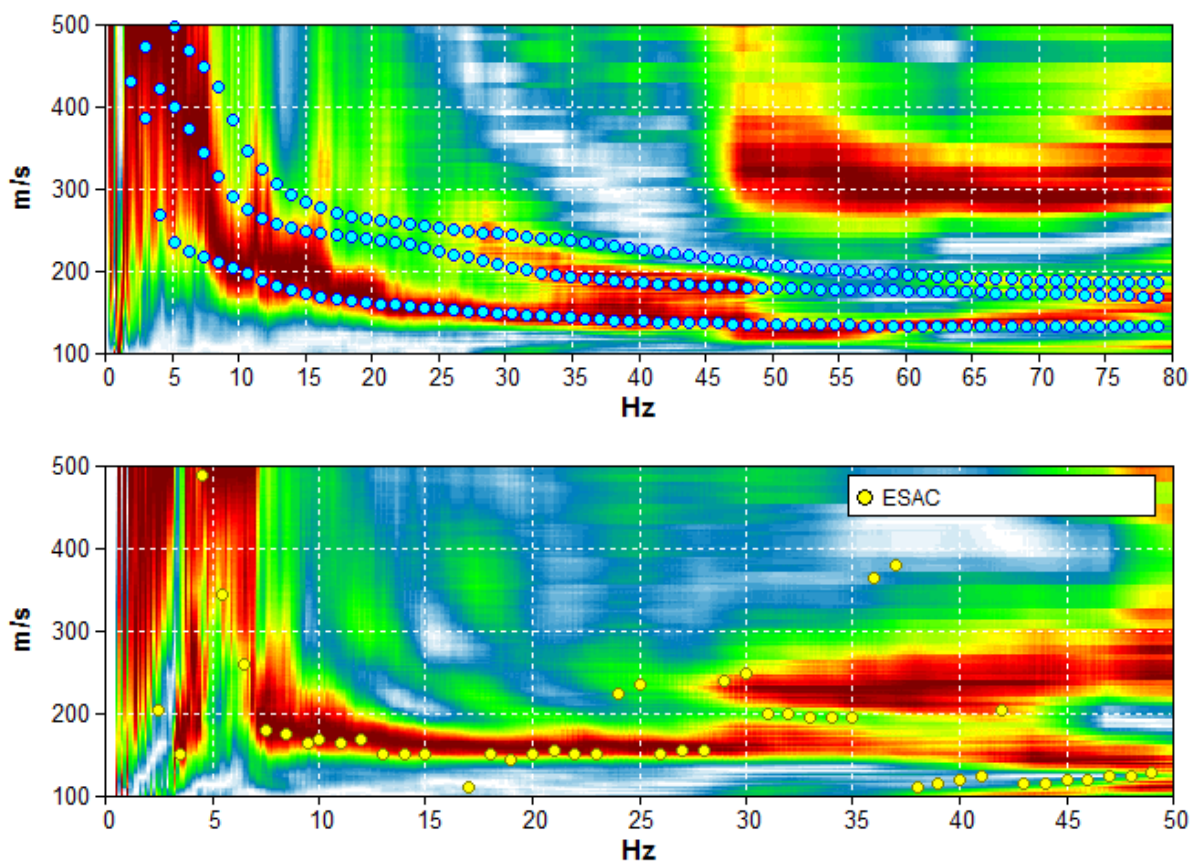
Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Modulo di Poisson
1.20	1.20	120	0.42
6.20	5.00	185	0.42
36.20	30.00	200	0.42
inf.	inf.	280	0.40

**Tabella 17.** Modello di sottosuolo medio sotto l'area indagata ottenuto dal fit congiunto delle prove in array e H/V. Si noti che le prove effettuate forniscono una stima delle sole Vs. Il rapporto di Poisson indicato è quello adottato nella modellazione ma le prove geofisiche basate su onde di superficie non possono fornire misure affidabili di questo parametro.

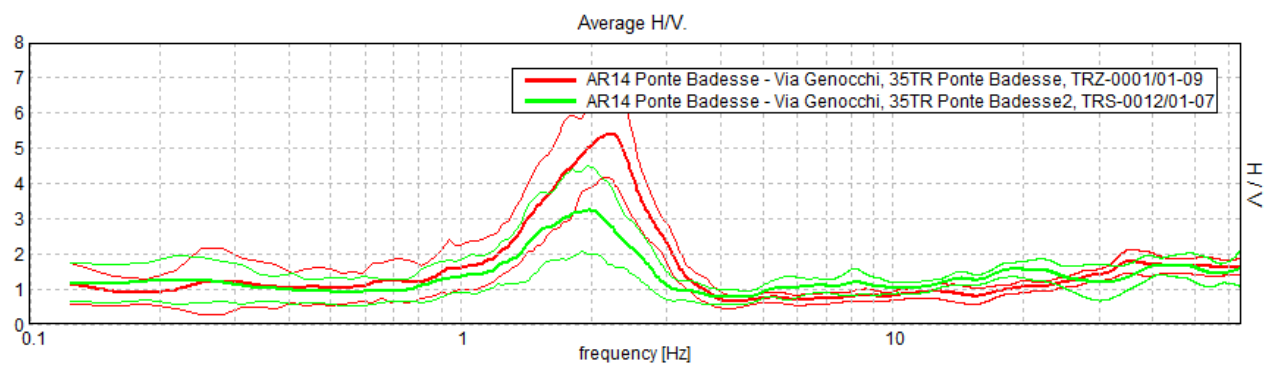


**Figura 124.** Modello di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) medio sotto l'area indagata ottenuto dal fit congiunto di prove in array e H/V.

## TR 35/AR 14: Ponte Badesse – Via Genocchi

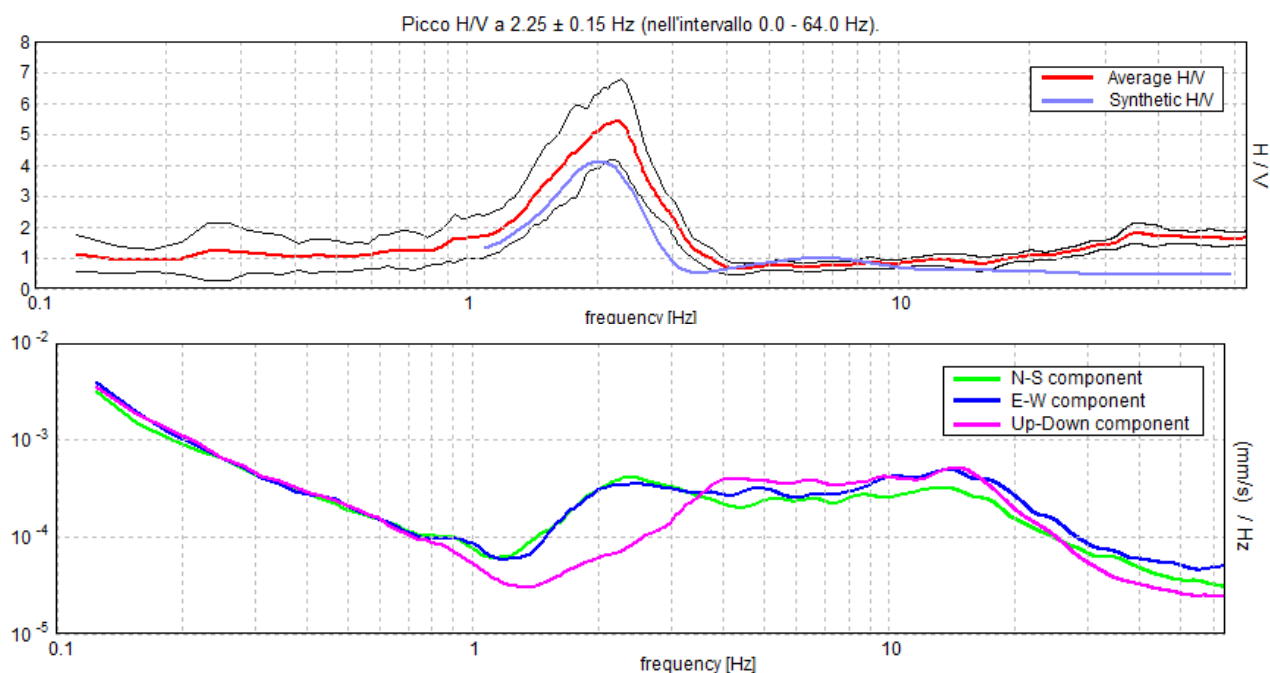


**Figura 125.** Grafico a contour: spettri di velocità di fase dell'onda di Rayleigh per lo stendimento MASW. Cerchi gialli: curva di dispersione da indagine ESAC. Cerchi azzurri: curva di dispersione teorica per il modello di sottosuolo proposto per il sito.



**Figura 126.** Confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza  $2\sigma$  a linea sottile).

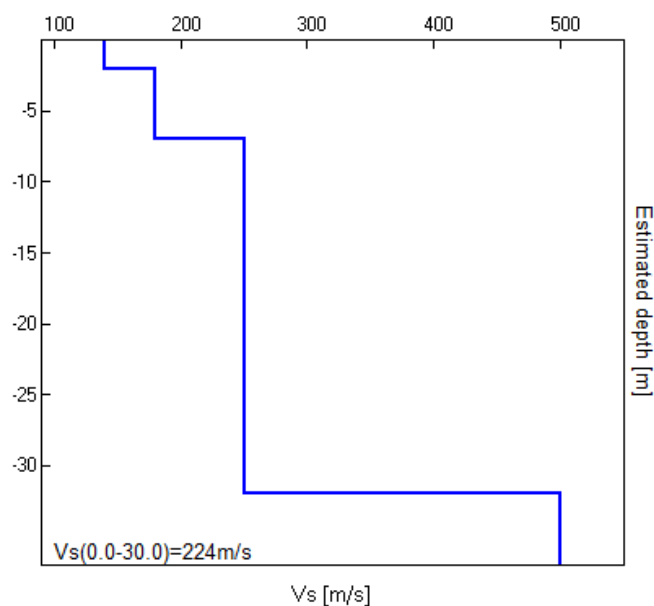




**Figura 127.** *Alto:* curva H/V sperimentale (rosso) e teorica (blu) per il modello di sottosuolo proposto per il sito, *Basso:* spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi alla curva H/V mostrata sopra.

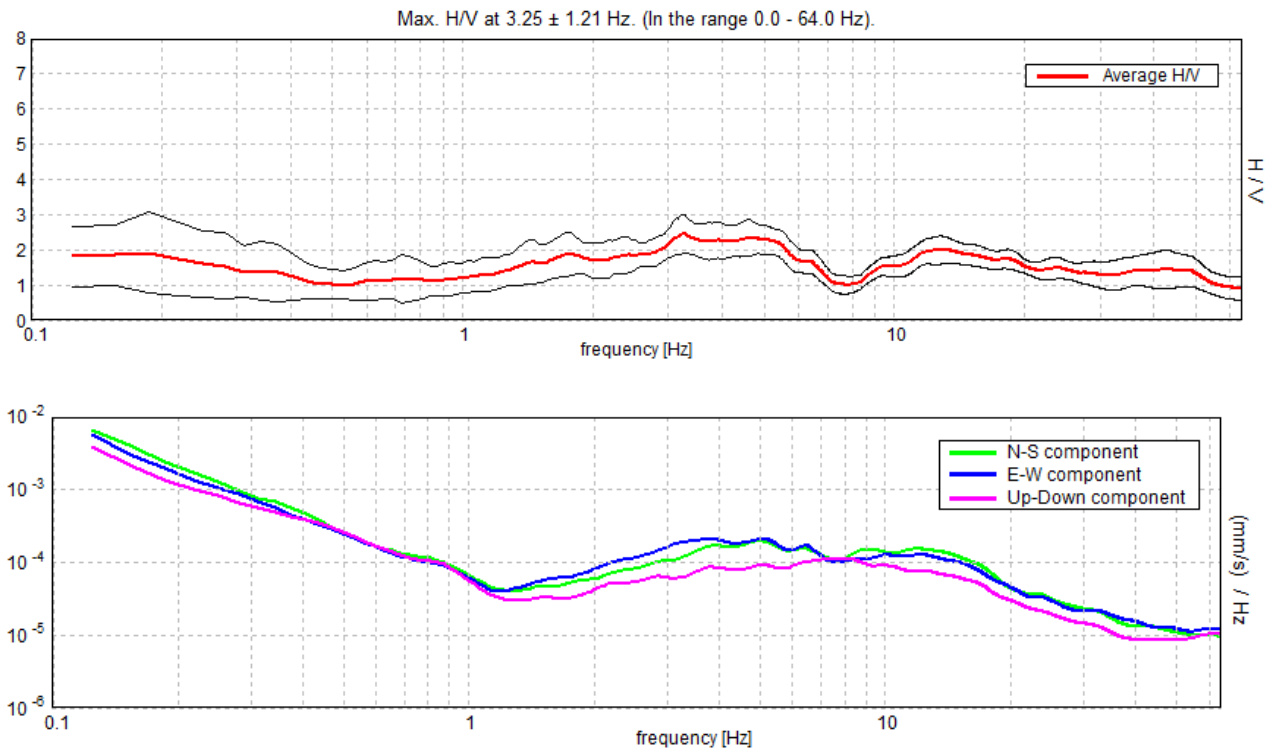
Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Modulo di Poisson
2.00	2.00	140	0.42
7.00	5.00	180	0.42
32.00	25.00	250	0.42
inf.	inf.	500	0.42

**Tabella 18.** Modello di sottosuolo medio sotto l'area indagata ottenuto dal fit congiunto delle prove in array e H/V. Si noti che le prove effettuate forniscono una stima delle sole Vs. Il rapporto di Poisson indicato è quello adottato nella modellazione ma le prove geofisiche basate su onde di superficie non possono fornire misure affidabili di questo parametro.



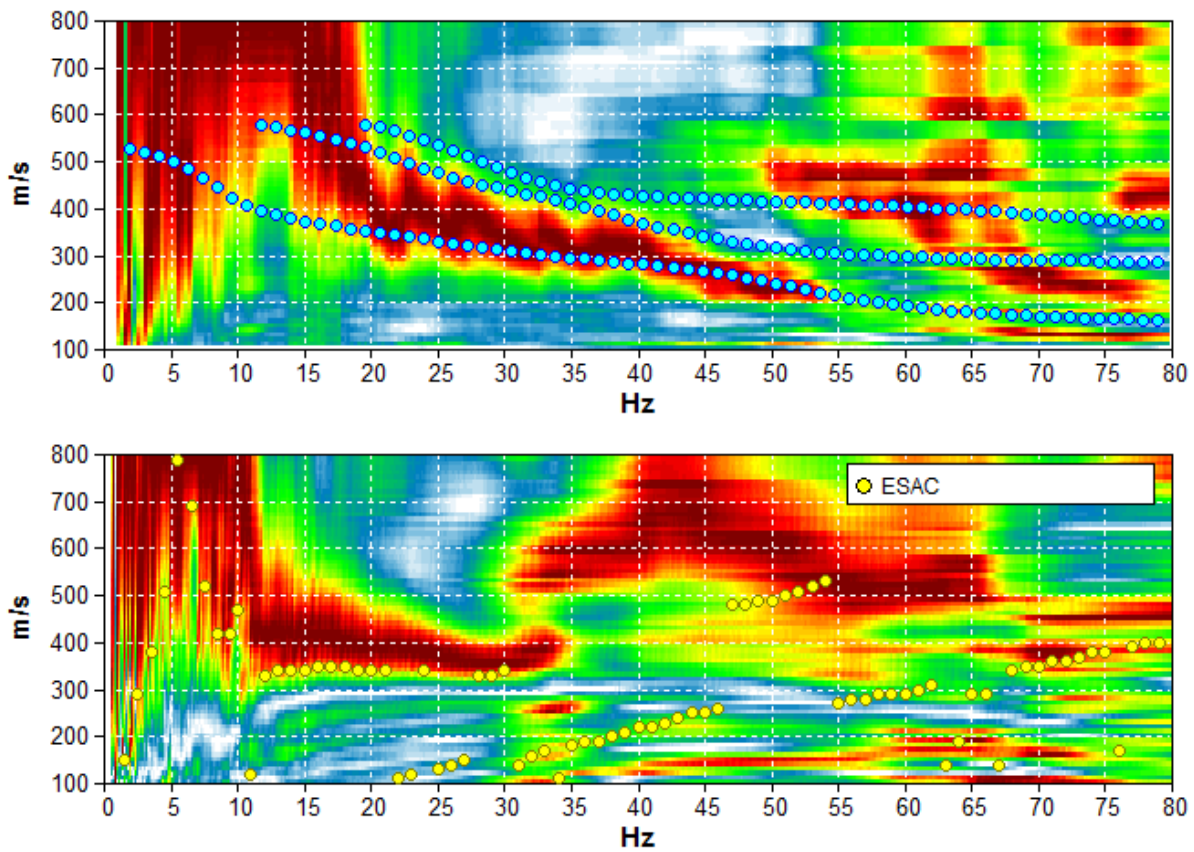
**Figura 128.** Modello di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) medio sotto l'area indagata ottenuto dal fit congiunto di prove in array e H/V.

## TR 36: Ponte Badesse – Via Bosoni

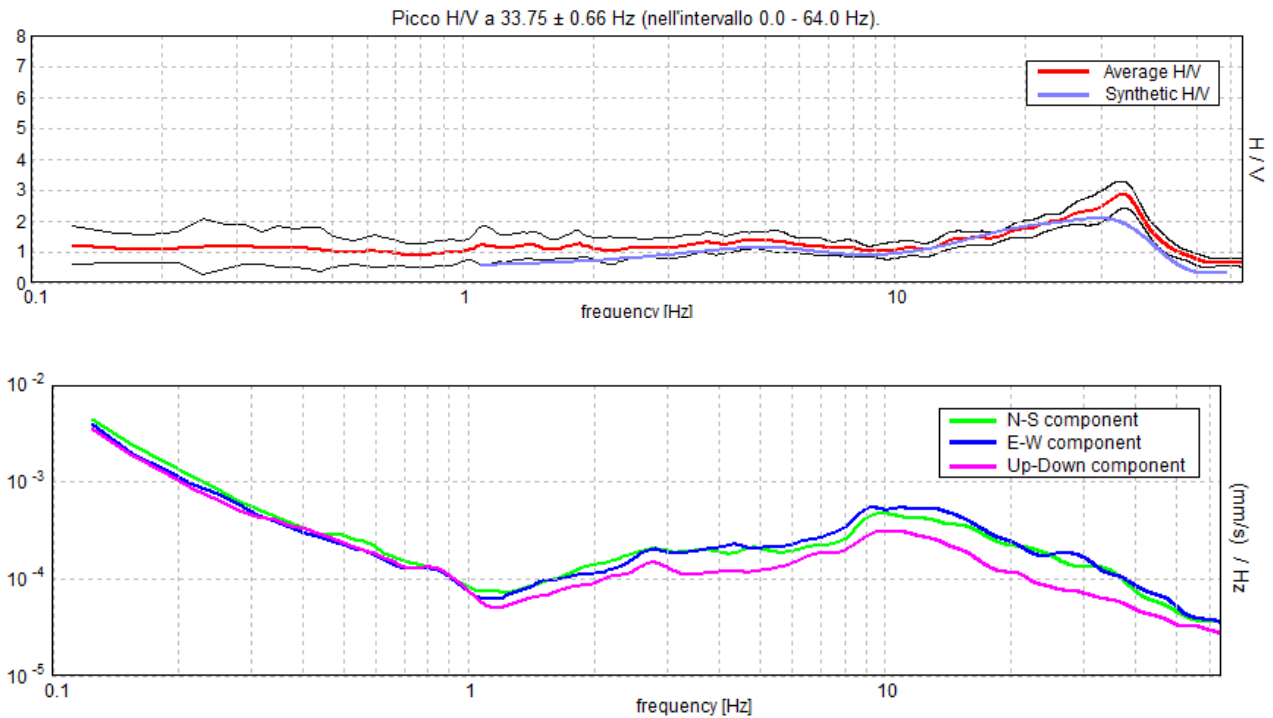


**Figura 129.** *Alto:* confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza  $2\sigma$  a linea sottile). *Basso:* spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi ad una delle due curve H/V mostrate sopra.

TR 37/AR 15: Palazzaccio (Cesena)



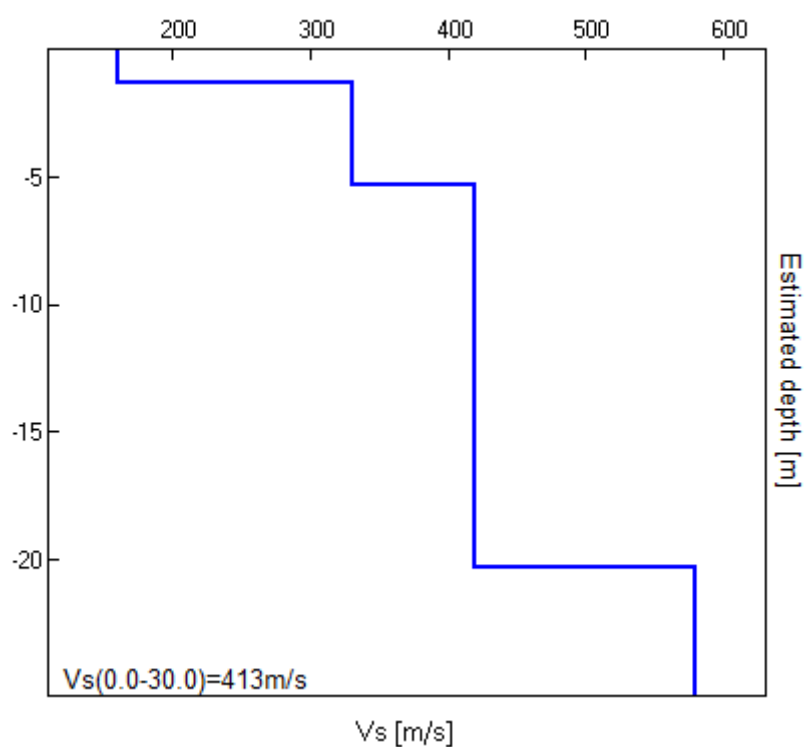
**Figura 130.** Grafico a contour: spettri di velocità di fase dell'onda di Rayleigh per lo stendimento MASW. Cerchi gialli: curva di dispersione da indagine ESAC. Cerchi azzurri: curva di dispersione teorica per il modello di sottosuolo proposto per il sito.



**Figura 131.** Alto: curva H/V sperimentale (rosso) e teorica (blu) per il modello di sottosuolo proposto per il sito, Basso: spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi alla curva H/V mostrata sopra.

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Modulo di Poisson
1.30	1.30	160	0.42
5.30	4.00	330	0.42
20.30	15.00	420	0.40
inf.	inf.	580	0.40

**Tabella 19.** Modello di sottosuolo medio sotto l'area indagata ottenuto dal fit congiunto delle prove in array e H/V. Si noti che le prove effettuate forniscono una stima delle sole Vs. Il rapporto di Poisson indicato è quello adottato nella modellazione ma le prove geofisiche basate su onde di superficie non possono fornire misure affidabili di questo parametro.



**Figura 132.** Modello di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) medio sotto l'area indagata ottenuto dal fit congiunto di prove in array e H/V.

## ALLEGATO 4. APPENDICE

In questa appendice sono riportati in forma numerica i valori dei parametri estratti dalle prove geofisiche pregresse e di nuova acquisizione nel Comune di Cesena.

Il significato dei simboli in colonna è come segue:

IND_INDPU	Numero identificativo della prova
VN	Indica se la prova è di vecchia (V) o nuova (N) acquisizione. Per “nuova” si intende acquisita nel gennaio 2013 ai fini di questo lavoro
TIPO	H/V prova sismica passiva a stazione singola MASW, prove sismica multicanale attive (MASW) e passive (ReMI/ESAC) ReMi, basate sulla dispersione delle onde di superficie ESAC TOMOS tomografia sismica a rifrazione in onde S RIFRA prova sismica a rifrazione DH prova sismica in foro di tipo down-hole CH prova sismica tra fori di tipo cross-hole PR prova elettrica
Z	Profondità in metri raggiunta dall’indagine. Dove non è fornita il motivo è l’illeggibilità dei report di prova o una scarsa qualità della prova stessa
V <sub>s</sub> H	Velocità delle onde S nello strato omogeneo equivalente di spessore H
H	Profondità in metri del bedrock sismico
V <sub>s</sub> 30	Velocità delle onde S nello strato omogeneo equivalente ai primi 30 m di spessore
f	Valore della frequenza di risonanza più bassa riscontrabile nel sito tramite prova H/V (in Hz).
A <sub>f</sub>	Ampiezza del picco H/V alla frequenza f
f <sub>0</sub>	Valore della frequenza di risonanza fondamentale nel dominio di frequenze di interesse ingegneristico determinata tramite prova H/V (in Hz).
A <sub>f0</sub>	Ampiezza del picco H/V alla frequenza f <sub>0</sub>
f <sub>1</sub>	Valore di altre frequenza di risonanza a frequenza > f <sub>0</sub> riscontrate nel sito tramite prova H/V (in Hz).
A <sub>f1</sub>	Ampiezza del picco H/V alla frequenza f <sub>1</sub>
FA	Fattore di amplificazione dello spettro dell’accelerazione a basso periodo (in prossimità del periodo proprio al quale si verifica il massimo della risposta in accelerazione) (ICMS, 2008)
FV	Fattore di amplificazione dello spettro di velocità a periodo proprio, per il quale si verifica la massima risposta in pseudo velocità (ICMS, 2008)
FA <sub>PGA0</sub>	fattore di amplificazione di PGA <sub>0</sub> , (Peak Ground Acceleration, accelerazione sismica di picco al bedrock) (Atto di Indirizzo per la MZS in Emilia Romagna, 2007)
FA_IS [0.1-0.5]s	Fattore di amplificazione dell’intensità spettrale I <sub>s</sub> nell’intervallo di periodo 0.1-0.5 s (Atto di Indirizzo per la MZS in Emilia Romagna, 2007)
FA_IS [0.5, 1]s	Fattore di amplificazione dell’intensità spettrale I <sub>s</sub> nell’intervallo di periodo 0.5-1 s (Atto di Indirizzo per la MZS in Emilia Romagna, 2007)



ID_INDPU	Tipo	VN	NOTE	Z [m]	V <sub>s</sub> H [m/s]	H [m]	V <sub>s</sub> 30 [m/s]	f [Hz]	A <sub>f</sub>	f <sub>0</sub> [Hz]	A <sub>f0</sub>	f <sub>1</sub> [Hz]	A <sub>f1</sub>	FA	FV	FA PGA0	FA_IS [0.1-0.5]s	FA_IS [0.5,1]s
040007P749-CH749	CH	v		47	450	47								1.2	1.5	1.6	1.8	1.7
040007P16-DH16	DH	v		50			300							1	1.8	1.5	1.7	2.3
040007P17-DH17	DH	v		47			540							1.1	1.4	1.3	1.3	1.7
040007P195-DH195	DH	v		30			200							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P750-DH750	DH	v	scartata	70	370	30								1.6	1.8	1.9	2.1	1.9
040007P10-HVSR10	HVSR	v		1000						3	3							
040007P1000-HVSR1000	HVSR	v		1000			200			1	2			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1002-HVSR1002	HVSR	v		100			220							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1027-HVSR1027	HVSR	v		1000			440					10	3	1.1	1.6	1.4	1.5	1.8
040007P1028-HVSR1028	HVSR	v		1000			380			1.5	3	4	3			1.4	1.7	2
040007P1030-HVSR1030	HVSR	v		500			180							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1041-HVSR1041	HVSR	v		1000			260			3	2	10	2	0.9	1.7	1.5	1.8	2.3
040007P1042-HVSR1042	HVSR	v		1000			190	0.5	1.5	3.5	2			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1046-HVSR1046	HVSR	v		1000			390							1.1	1.6	1.4	1.7	2
040007P1048-HVSR1048	HVSR	v	scartata	100														
040007P1050-HVSR1050	HVSR	v		1000			140			0.7	2	9	1.5	0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1051-HVSR1051	HVSR	v		1000			260			3	2			0.9	1.7	1.5	1.8	2.3
040007P1054-HVSR1054	HVSR	v		100	460	5								1.1	1.1	1.2	1.3	1.3
040007P1055-HVSR1055	HVSR	v		100			310			1	2	5	2.5	1	1.8	1.5	1.7	2.3
040007P1056-HVSR1056	HVSR	v		1000			300			1	2	5	2.5	1	1.8	1.5	1.7	2.3

ID_INDPU	Tipo	VN	NOTE	Z [m]	VSH [m/s]	H [m]	VS30 [m/s]	f [Hz]	Af	f0 [Hz]	Af0	f1 [Hz]	Af1	FA	FV	FA PGA0	FA_IS [0.1- 0.5]s	FA_IS [0.5,1]s
040007P1059- HVSR1059	HVSR	v		500			240			3.3	1.2			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1066- HVSR1066	HVSR	v		1000			180			1.5	2			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1068- HVSR1068	HVSR	v		1000			270			5	3			0.9	1.7	1.5	1.8	2.3
040007P1070- HVSR1070	HVSR	v		1000			200							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1072- HVSR1072	HVSR	v		1000			250					7	3	0.9	1.7	1.5	1.8	2.3
040007P1074- HVSR1074	HVSR	v		1000			210			1.5	4			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1079- HVSR1079	HVSR	v		100			380							1.1	1.6	1.4	1.7	2
040007P1082- HVSR1082	HVSR	v		500			240			2.5	1.5			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1084- HVSR1084	HVSR	v		1000			190			4	3			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1087- HVSR1087	HVSR	v		1000			440			1.5	1.5			1.1	1.6	1.4	1.5	1.8
040007P1090- HVSR1090	HVSR	v		1000			200			2.5	1.5			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1093- HVSR1093	HVSR	v		1000			220			0.9	1.5			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1096- HVSR1096	HVSR	v		500			230			3.3	1.5			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1097- HVSR1097	HVSR	v		1000			190			1.5	1.5			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P111- HVSR11	HVSR	v		1000						3	3							
040007P1106- HVSR1106	HVSR	v		1000			180	0.4	2	3	2			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1111- HVSR1111	HVSR	v	scartata															
040007P1114- HVSR1114	HVSR	v		1000			180			1	1.5			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5

ID_INDPU	Tipo	VN	NOTE	Z [m]	VSH [m/s]	H [m]	VS30 [m/s]	f [Hz]	Af	f0 [Hz]	Af0	f1 [Hz]	Af1	FA	FV	FA PGA0	FA_IS [0.1- 0.5]s	FA_IS [0.5,1]s
040007P1115-HVSR1115	HVSR	v		1000	370	12						7	3	1.8	1	1.6	1.6	1.4
040007P1118-HVSR1118	HVSR	v		1000			280			3.3	1.5			0.9	1.7	1.5	1.8	2.3
040007P1119-HVSR1119	HVSR	v		1000			370					7	3	1.1	1.7	1.4	1.7	2
040007P1125-HVSR1125	HVSR	v		1000			290			1.5	3	5	3	0.9	1.7	1.5	1.8	2.3
040007P1132-HVSR1132	HVSR	v		1000			330			4	2.5			1	1.8	1.5	1.7	2.3
040007P1135-HVSR1135	HVSR	v	Coincide con 240150R001PE12	1000			180			1	2			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1138-HVSR1138	HVSR	v		1000			180	0.5	1.1	1	1.5			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1141-HVSR1141	HVSR	v		1000			190	0.5	1.1	3	2.5			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1142-HVSR1142	HVSR	v		1000			340					12	3	1	1.8	1.5	1.7	2.3
040007P1148-HVSR1148	HVSR	v		1000			250			2.5	4			0.9	1.7	1.5	1.8	2.3
040007P1150-HVSR1150	HVSR	v		1000			230			3	3			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1153-HVSR1153	HVSR	v		1000			190			1	1.5			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1155-HVSR1155	HVSR	v		100			380			2	2			1.1	1.7	1.4	1.7	2
040007P1158-HVSR1158	HVSR	v		1000			300			1.5	2	4	1.8	1	1.8	1.5	1.7	2.3
040007P1159-HVSR1159	HVSR	v		100			310					5	4	1	1.8	1.5	1.7	2.3
040007P1162-HVSR1162	HVSR	v		1000			190			1	2.5			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1165-HVSR1165	HVSR	v		1000			200			1.1	2			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1167-HVSR1167	HVSR	v		1000			200	0.5	1.2	4	2.5			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5

ID_INDPU	Tipo	VN	NOTE	Z [m]	VSH [m/s]	H [m]	VS30 [m/s]	f [Hz]	Af	f0 [Hz]	Af0	f1 [Hz]	Af1	FA	FV	FA PGA0	FA_IS [0.1- 0.5]s	FA_IS [0.5,1]s
040007P1170-HVSR1170	HVSR	v		1000			200	0.5	1.2	1	1.2			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1173-HVSR1173	HVSR	v		1000			200			1	1.2			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1178-HVSR1178	HVSR	v		1000			200			2	3			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1181-HVSR1181	HVSR	v		500			280			3	3.5			0.9	1.7	1.5	1.8	2.3
040007P1184-HVSR1184	HVSR	v		100			200			1	1.2			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1187-HVSR1187	HVSR	v		1000			190			3	2			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1194-HVSR1194	HVSR	v		100			450							1.1	1.7			
040007P1196-HVSR1196	HVSR	v		100			190			1	2			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1197-HVSR1197	HVSR	v		1000			160	0.3	2	1.5	1.5			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P12-HVSR12	HVSR	v		500						1.2	1.5	8	2					
040007P1202-HVSR1202	HVSR	v		500			420			4	2			1.1	1.7	1.4	1.5	1.8
040007P1204-HVSR1204	HVSR	v		1000			300			4	2.5			1	1.8	1.5	1.7	2.3
040007P1207-HVSR1207	HVSR	v		1000			230					5	2	0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1211-HVSR1211	HVSR	v		1000	400	5						10	2	1.1	1.1	1.3	1.4	1.4
040007P1212-HVSR1212	HVSR	v		1000			170			1.5	3			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1215-HVSR1215	HVSR	v		1000			320					6	2	1	1.8	1.5	1.7	2.3
040007P1217-HVSR1217	HVSR	v		1000			250	0.5	2	3.5	2.5			0.9	1.7	1.5	1.8	2.3
040007P1221-HVSR1221	HVSR	v		1000			290					5	2	0.9	1.7	1.5	1.8	2.3

ID_INDP	Tip	VN	NOTE	Z [m]	VSH [m/s]	H [m]	VS30 [m/s]	f [Hz]	Af	f0 [Hz]	Af0	f1 [Hz]	Af1	FA	FV	FA PGA0	FA_IS [0.1-0.5]s	FA_IS [0.5,1]s
040007P1224-HVSR1224	HVSR	v	scartata															
040007P1227-HVSR1227	HVSR	v		100			240			3	1.5			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1229-HVSR1229	HVSR	v		100			210			2	1.5			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1231-HVSR1231	HVSR	v		500			350			3	3			1.1	1.7	1.4	1.7	2
040007P1233-HVSR1233	HVSR	v		1000			200			1	1.5			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1240-HVSR1240	HVSR	v		100			190			1	1.2			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1243-HVSR1243	HVSR	v		1000			270					5	3	0.9	1.7	1.5	1.8	2.3
040007P1246-HVSR1246	HVSR	v		1000			400					9	2	1.1	1.7	1.4	1.5	1.8
040007P1252-HVSR1252	HVSR	v		500	590	15						9	3	1.3	1	1.4	1.4	1.3
040007P1253-HVSR1253	HVSR	v		1000			220	0.2	1.5	2	2			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1257-HVSR1257	HVSR	v		1000			190	0.25	2	1.2	1.5			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1258-HVSR1258	HVSR	v		1000			260			2.5	4.5			0.9	1.7	1.5	1.8	2.3
040007P1260-HVSR1260	HVSR	v		1000			180			1	2			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1261-HVSR1261	HVSR	v		200			260			1	1.5			0.9	1.7	1.5	1.8	2.3
040007P1264-HVSR1264	HVSR	v		1000			280			4	2			0.9	1.7	1.5	1.8	2.3
040007P1265-HVSR1265	HVSR	v		500			210			1	2.5			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1269-HVSR1269	HVSR	v		500	360	8				3	1.5			1.8	1	1.6	1.6	1.4
040007P1274-HVSR1274	HVSR	v		200						2	1.5							



ID_INDPU	Tipo	VN	NOTE	Z [m]	VSH [m/s]	H [m]	VS30 [m/s]	f [Hz]	Af	f0 [Hz]	Af0	f1 [Hz]	Af1	FA	FV	FA PGA0	FA_IS [0.1- 0.5]s	FA_IS [0.5,1]s
040007P1280- HVSR1280	HVSR	v		200			220			1	2			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1284- HVSR1284	HVSR	v		1000			300					10	4.5	1.1	1	1.5	1.7	2.3
040007P1285- HVSR1285	HVSR	v	comp. NS KO	1000						1	2							
040007P1299- HVSR1299	HVSR	v		1000			200	0.3	2	1	1.5			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P13- HVSR13	HVSR	v		500								8	3					
040007P1301- HVSR1301	HVSR	v		1000			240			3	2			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1305- HVSR1305	HVSR	v		1000			180			1	2			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1307- HVSR1307	HVSR	v		100			250	0.4	2	3	1.5			0.9	1.7	1.5	1.8	2.3
040007P1309- HVSR1309	HVSR	v		1000			240			2.2	3.5			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1311- HVSR1311	HVSR	v		1000			200			2.5	2			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1312- HVSR1312	HVSR	v		100			190			1.5	1.5			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1318- HVSR1318	HVSR	v		1000			290					8	2	0.9	1.7	1.5	1.8	2.3
040007P1320- HVSR1320	HVSR	v		100			290			1	1.5	5	2	0.9	1.7	1.5	1.8	2.3
040007P1323- HVSR1323	HVSR	v		200	440	5				1.5	2			1.2	1	1.3	1.4	1.4
040007P1326- HVSR1326	HVSR	v		200	450	20				2	1.5			1.5	1.2	1.6	1.5	1.4
040007P1327- HVSR1327	HVSR	v		1000			270			3	6			0.9	1.7	1.5	1.8	2.3
040007P1331- HVSR1331	HVSR	v		1000			210			1.5	3			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1333- HVSR1333	HVSR	v		100			210			1.8	4			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5

ID_INDPU	Tipo	VN	NOTE	Z [m]	VSH [m/s]	H [m]	VS30 [m/s]	f [Hz]	Af	f0 [Hz]	Af0	f1 [Hz]	Af1	FA	FV	FA PGA0	FA_IS [0.1- 0.5]s	FA_IS [0.5,1]s
040007P1336- HVSR1336	HVSR	v		1000			220	0.3	4					0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1340- HVSR1340	HVSR	v	scartata															
040007P1341- HVSR1341	HVSR	v		1000			370	20				5.5	3	1.1	1.7	1.4	1.7	2
040007P1346- HVSR1346	HVSR	v		1000			190	0.4	2					0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1348- HVSR1348	HVSR	v		1000			290					5	3	0.9	1.7	1.5	1.8	2.3
040007P1353- HVSR1353	HVSR	v		1000			200			3	2			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1354- HVSR1354	HVSR	v		1000			270			4.5	3			0.9	1.7	1.5	1.8	2.3
040007P1356- HVSR1356	HVSR	v		1000			230	0.25	2	1.5	2	8	4.5	0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1359- HVSR1359	HVSR	v		1000			300							1	1.8	1.5	1.7	2.3
040007P1361- HVSR1361	HVSR	v		1000			260			5	2			0.9	1.7	1.5	1.8	2.3
040007P1365- HVSR1365	HVSR	v		1000			210			2	1.5			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1366- HVSR1366	HVSR	v		1000	600	2								1	1	1.2	1.1	1.1
040007P1369- HVSR1369	HVSR	v		1000			240			0.9	1.5			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1370- HVSR1370	HVSR	v		500	400	4						6	3	1.1	1	1.3	1.4	1.4
040007P1373- HVSR1373	HVSR	v		1000			260			1	1,5			0.9	1.7	1.5	1.8	2.3
040007P1376- HVSR1376	HVSR	v		1000			270					5	3	0.9	1.7	1.5	1.8	2.3
040007P1378- HVSR1378	HVSR	v		1000			220			2	2.5			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1382- HVSR1382	HVSR	v		1000			190			3	3			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5

ID_INDP	U	Tipo	VN	NOTE	Z [m]	VSH [m/s]	H [m]	VS30 [m/s]	f [Hz]	Af	f0 [Hz]	Af0	f1 [Hz]	Af1	FA	FV	FA PGA0	FA_IS [0.1- 0.5]s	FA_IS [0.5,1]s
040007P1391-HVSR1391		HVSR	v		500			270			3	2			0.9	1.7	1.5	1.8	2.3
040007P1392-HVSR1392		HVSR	v		500			280			2.5	2			0.9	1.7	1.5	1.8	2.3
040007P1395-HVSR1395		HVSR	v		500			210			1.5	1.5			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1396-HVSR1396		HVSR	v		100			190	0.7	2					0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1399-HVSR1399		HVSR	v		1000						3.5	2							
040007P1400-HVSR1400		HVSR	v		1000						3.5	2							
040007P1401-HVSR1401		HVSR	v		1000						3.5	2							
040007P1402-HVSR1402		HVSR	v		1000						3.5	2							
040007P1403-HVSR1403		HVSR	v		1000						3.5	2							
040007P1404-HVSR1404		HVSR	v		500						3.5	2							
040007P1405-HVSR1405		HVSR	v		1000						3.5	2							
040007P1406-HVSR1406		HVSR	v		1000						3.5	2							
040007P1408-HVSR1408		HVSR	v		1000						3.5	2							
040007P1423-HVSR1423		HVSR	v	scartata	1000	550	8				10	2.5			1.1	1.1	1.3	1.3	1.3
040007P1424-HVSR1424		HVSR	v	scartata		550	8				10	2.5			1.1	1.1	1.3	1.3	1.3
040007P1425-HVSR1425		HVSR	v		1000				0.3	2	3	3							
040007P1426-HVSR1426		HVSR	v		1000						3	4							
040007P1427-HVSR1427		HVSR	v		100						3	4							

ID_INDPU	Tipo	VN	NOTE	Z [m]	VSH [m/s]	H [m]	VS30 [m/s]	f [Hz]	Af	f0 [Hz]	Af0	f1 [Hz]	Af1	FA	FV	FA PGA0	FA_IS [0.1- 0.5]s	FA_IS [0.5,1]s
040007P1428- HVSR1428	HVSR	v		1000						3	4							
040007P1429- HVSR1429	HVSR	v		1000						3.6	3							
040007P1435- HVSR1435	HVSR	v		1000			270			4	4			0.9	1.7	1.5	1.8	2.3
040007P1439- HVSR1439	HVSR	v		500			200			1	3			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1462- HVSR1462	HVSR	v		1000				0.2	2	1.5	2							
040007P1487- HVSR1487	HVSR	v		1000			200	0.2	2	1.5	2			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1539- HVSR1539	HVSR	v		1000			270					8	2	0.9	1.7	1.5	1.8	2.3
040007P1540- HVSR1540	HVSR	v		1000			210			4	2	10	2	0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1566- HVSR1566	HVSR	v		1000			180			3	1.5	8	2	0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1567- HVSR1567	HVSR	v		100			400			3	1.5	8	2	1.1	1.7	1.4	1.5	1.8
040007P1568- HVSR1568	HVSR	v		1000			240			4	2	8	2	0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1569- HVSR1569	HVSR	v		1000			190	0.3	1.5	4	2	8	2	0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1570- HVSR1570	HVSR	v		500						2	2	8	2					
040007P1571- HVSR1571	HVSR	v		500						2.5	2	7	2					
040007P1628- HVSR1628	HVSR	v		100								6	4					
040007P1681- HVSR1681	HVSR	v		1000			190					5	2	0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1682- HVSR1682	HVSR	v		100						4	1.5							
040007P1683- HVSR1683	HVSR	v		1000			200			1	2	5	2	0.9	1.7	1.5	1.8	2.5

ID_INDPU	Tipo	VN	NOTE	Z [m]	VSH [m/s]	H [m]	VS30 [m/s]	f [Hz]	Af	f0 [Hz]	Af0	f1 [Hz]	Af1	FA	FV	FA PGA0	FA_IS [0.1- 0.5]s	FA_IS [0.5,1]s
040007P1684-HVSR1684	HVSR	v		1000						1	1.5							
040007P1697-HVSR1697	HVSR	v		500						2	4							
040007P1704-HVSR1704	HVSR	v		500			200	0.3	1.5	3	1.5			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P1714-HVSR1714	HVSR	v		100			230	0.5	2	3	2			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P18-HVSR18	HVSR	v		100			230			2	4			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P19-HVSR19	HVSR	v		1000			290			1.5	2	5	2	0.9	1.7	1.5	1.8	2.3
040007P20-HVSR20	HVSR	v		500			190			1	1.5	5	1.5	0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P21-HVSR21	HVSR	v		1000			310			1	3			1	1.8	1.5	1.7	2.3
040007P249-HVSR249	HVSR	v		1000			160	0.2	1.5	1.2	3.5			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P250-HVSR250	HVSR	v		1000			160			1.2	3.5			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P251-HVSR251	HVSR	v		1000			160			1.5	2			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P28-HVSR28	HVSR	v		500						1	1.52							
040007P29-HVSR29	HVSR	v		100			320			2.5	1.5			1	1.8	1.5	1.7	2.3
040007P30-HVSR30	HVSR	v		1000						0.7	3	4	3					
040007P31-HVSR31	HVSR	v		1000						0.9	2	4	2					
040007P32-HVSR32	HVSR	v		500			250			0.9	2	4	2	0.9	1.7	1.5	1.8	2.3
040007P33-HVSR33	HVSR	v		1000			200			0.9	2			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P3668	HVSR	N		1000			220			2	3			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P3669	HVSR	N		1000														



ID_INDPU	Tipo	VN	NOTE	Z [m]	VSH [m/s]	H [m]	VS30 [m/s]	f [Hz]	Af	f0 [Hz]	Af0	f1 [Hz]	Af1	FA	FV	FA PGA0	FA_IS [0.1- 0.5]s	FA_IS [0.5,1]s
040007P3670	HVSR	N		1000	400	15				2	2			1.6	1	1.8	1.7	1.4
040007P3671	HVSR	N		1000								6	4					
040007P3672	HVSR	N		1000								10	2					
040007P3673	HVSR	N		1000			360			2.5	5	6	2	1.1	1.7	1.4	1.7	2
040007P3674	HVSR	N		1000								7	6					
040007P3675	HVSR	N		1000								6	3					
040007P3676	HVSR	N		1000														
040007P3677	HVSR	N		1000								6	3					
040007P3678	HVSR	N		1000			270			2.5	4			0.9	1.7	1.5	1.8	2.3
040007P3679	HVSR	N		1000						1.2	2.5							
040007P3680	HVSR	N		1000						4.5	3							
040007P3681	HVSR	N		1000														
040007P3682	HVSR	N		1000						2.5	3							
040007P3683	HVSR	N		1000						1.2	2	10	2					
040007P3684	HVSR	N		1000														
040007P3685	HVSR	N		1000						1.2	1.2							
040007P3686	HVSR	N		1000	310	15						5	4	2	1.4	1.9	1.9	1.5
040007P3687	HVSR	N		1000	420	10								1.6	1	1.5	1.5	1.4
040007P3688	HVSR	N		1000	390	10						8	4	1.8	1	1.6	1.6	1.4
040007P3689	HVSR	N		1000			240			1.5	2			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P3690	HVSR	N		1000								10	4					
040007P3691	HVSR	N		1000								5	4					
040007P3692	HVSR	N		1000						1	1.2							
040007P3693	HVSR	N		1000			180	0.4	1.2	1	1.2			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P3694	HVSR	N		1000			320			3	2			1	1.8	1.5	1.7	2.3
040007P3695	HVSR	N		1000														
040007P3696	HVSR	N		1000				0.3	1.5	1	1.5							

ID_INDPU	Tipo	VN	NOTE	Z [m]	VSH [m/s]	H [m]	VS30 [m/s]	f [Hz]	Af	f0 [Hz]	Af0	f1 [Hz]	Af1	FA	FV	FA PGA0	FA_IS [0.1- 0.5]s	FA_IS [0.5,1]s
040007P3697	HVSR	N		1000						2.5	3							
040007P3698	HVSR	N		1000				0.3	1.5	1	1.5							
040007P3699	HVSR	N		1000			190	0.3	1.5					0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P3700	HVSR	N		1000			210	0.3	1.5					0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P3701	HVSR	N		1000			190	0.3	1.5					0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P3702	HVSR	N		1000			220			2	4			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P3703	HVSR	N		1000								5	2					
040007P3704	HVSR	N		1000	400	20				4	2			1.6	1	1.7	1.7	1.4
040007P565- HVSR565	HVSR	v		1000			350					5	2	1.1	1.7	1.4	1.7	2
040007P579- HVSR579	HVSR	v		1000			220			3	1.5			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P580- HVSR580	HVSR	v		1000			200			2.50	2	10	2	0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P630- HVSR630	HVSR	v		100			200			1.5	3			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P634- HVSR634	HVSR	v		1000			240	0.5	2	3	3			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P637- HVSR637	HVSR	v		1000			200					12	2	0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P639- HVSR639	HVSR	v		1000			180			1	2			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P640- HVSR640	HVSR	v		100			220			4	1.5			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P643- HVSR643	HVSR	v	scartata															
040007P645- HVSR645	HVSR	v	scartata															
040007P650- HVSR650	HVSR	v		1000	310	13						5	8	2	1.4	1.9	1.9	1.5
040007P653- HVSR653	HVSR	v		50			180			1.7	4			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P656- HVSR656	HVSR	v		1000			170	0.35	2	1.7	3.5			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5

ID_INDPU	Tipo	VN	NOTE	Z [m]	VSH [m/s]	H [m]	VS30 [m/s]	f [Hz]	Af	f0 [Hz]	Af0	f1 [Hz]	Af1	FA	FV	FA PGA0	FA_IS [0.1- 0.5]s	FA_IS [0.5,1]s
040007P658- HVS658	HVSR	v		500			270					12	5	0.9	1.7	1.5	1.8	2.3
040007P661- HVS661	HVSR	v		1000			290			2	3			0.9	1.7	1.5	1.8	2.3
040007P666- HVS666	HVSR	v		100	400	5						10	2	1.2	1	1.3	1.4	1.4
040007P669- HVS669	HVSR	v		500						4	5							
040007P675- HVS675	HVSR	v		100			260			1	2			0.9	1.7	1.5	1.8	2.3
040007P677- HVS677	HVSR	v		500			190			0.8	1,5			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P687- HVS687	HVSR	v		100			180			3	4			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P689- HVS689	HVSR	v		500			230			4	1.7			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P703- HVS703	HVSR	v		100			210			1	1.5			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P708- HVS708	HVSR	v		100			200			3.5	1.5			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P712- HVS712	HVSR	v		1000			230			1.5	3			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P713- HVS713	HVSR	v		1000				0.5	2	1.5	3							
040007P717- HVS717	HVSR	v		100	410	12				1.5	1.5			1.6	1	1.5	1.5	1.4
040007P720- HVS720	HVSR	v		100			170			1.5	2			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P724- HVS724	HVSR	v		1000	340	12				3	3			2	1.4	1.8	1.7	1.4
040007P726- HVS726	HVSR	v		1000			190			4	2			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P728- HVS728	HVSR	v		200			200			1	2			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P734- HVS734	HVSR	v		1000			240			0.8	2			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5

ID_INDPU	Tipo	VN	NOTE	Z [m]	VSH [m/s]	H [m]	VS30 [m/s]	f [Hz]	Af	f0 [Hz]	Af0	f1 [Hz]	Af1	FA	FV	FA PGA0	FA_IS [0.1- 0.5]s	FA_IS [0.5,1]s
040007P737- HVS737	HVSR	v		100	720	2				3.6	2.5			1	1	1.1	1.1	1.1
040007P740- HVS740	HVSR	v		500	290	15				3	3			2	1.4	1.9	1.9	1.5
040007P745- HVS745	HVSR	v		1000			250	0.4	1.5					0.9	1.7	1.5	1.8	2.3
040007P747- HVS747	HVSR	v		1000			220			3	3			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P756- HVS756	HVSR	v		1000			210			4	4			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P759- HVS759	HVSR	v		1000			180	0.4	1.2	1	1.2			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P761- HVS761	HVSR	v		1000	340	12				3	3			1.8	1	1.8	1.7	1.4
040007P763- HVS763	HVSR	v		1000			160	0.3	1.5	1.2	3.5			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P767- HVS767	HVSR	v		200	320	15				4	3.5			1.8	1	1.9	1.9	1.5
040007P769- HVS769	HVSR	v		500			300			3	1.5			1	1.8	1.5	1.7	2.3
040007P770- HVS770	HVSR	v		100			290			3.5	4			0.9	1.7	1.5	1.8	2.3
040007P772- HVS772	HVSR	v		100			220			1.5	1.5			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P778- HVS778	HVSR	v		1000			200			1	3			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P781- HVS781	HVSR	v		100														
040007P782- HVS782	HVSR	v		1000			200			1	2.5			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P785- HVS785	HVSR	v		1000			370					5.5	3	1.1	1.7	1.4	1.7	2
040007P788- HVS788	HVSR	v		500			280			3	3			0.9	1.7	1.5	1.8	2.3

ID_INDPU	Tipo	VN	NOTE	Z [m]	VSH [m/s]	H [m]	VS30 [m/s]	f [Hz]	Af	f0 [Hz]	Af0	f1 [Hz]	Af1	FA	FV	FA PGA0	FA_IS [0.1- 0.5]s	FA_IS [0.5,1]s
040007P795- HVS8795	HVSR	v		1000			210			1.5	4			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P797- HVS8797	HVSR	v		1000			420			2	2			1.1	1.7	1.4	1.5	1.8
040007P803- HVS8803	HVSR	v		1000			290					7	3	0.9	1.7	1.5	1.8	2.3
040007P805- HVS8805	HVSR	v		1000			280					5	3	0.9	1.7	1.5	1.8	2.3
040007P807- HVS8807	HVSR	v		1000			330			1.5	2	6	2	1	1.8	1.5	1.7	2.3
040007P813- HVS8813	HVSR	v		100			210			1	2.5	10	2	0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P828- HVS8828	HVSR	v		1000			290			4	3			0.9	1.7	1.5	1.8	2.3
040007P831- HVS8831	HVSR	v		1000			190			0.9	2			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P834- HVS8834	HVSR	v		100			180			0.9	2			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P836- HVS8836	HVSR	v		1000			300			1.5	2	5	2	1	1.8	1.5	1.7	2.3
040007P838- HVS8838	HVSR	v		1000			260	0.6	1.2					0.9	1.7	1.5	1.8	2.3
040007P842- HVS8842	HVSR	v		100			190			1	2			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P844- HVS8844	HVSR	v		1000			180			1	2			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P846- HVS8846	HVSR	v		1000			220			2	3			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P850- HVS8850	HVSR	v		500			160			1	3			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P851- HVS8851	HVSR	v		100			190			1	1.5			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P852- HVS8852	HVSR	v		1000			190					6	4	0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P858- HVS8858	HVSR	v		1000	320	35				2	3			1.5	2.2	2	2.3	2.7



ID_INDPU	Tipo	VN	NOTE	Z [m]	VSH [m/s]	H [m]	VS30 [m/s]	f [Hz]	Af	f0 [Hz]	Af0	f1 [Hz]	Af1	FA	FV	FA PGA0	FA_IS [0.1- 0.5]s	FA_IS [0.5,1]s
040007P863- HVS863	HVSR	v		1000	430	5						5	3	1.2	1	1.3	1.4	1.4
040007P870- HVS870	HVSR	v		1000			220			4	3			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P887- HVS887	HVSR	v		1000			220			1.5	1.5			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P888- HVS888	HVSR	v		500	530	5				4	4			1.1	1.1	1.2	1.3	1.3
040007P890- HVS890	HVSR	v		1000			200							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P898- HVS898	HVSR	v		1000			180			1	1.5			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P899- HVS899	HVSR	v		1000			200			1.2	1.5			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P905- HVS905	HVSR	v		1000			160	0.25	2	1.2	1.5			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P907- HVS907	HVSR	v		1000			200	0.3	1.2	1	1.2			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P909- HVS909	HVSR	v		500	420	10				1.8	1.5			1.6	1	1.5	1.5	1.4
040007P931- HVS931	HVSR	v		1000			190			2.4	1.5			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P933- HVS933	HVSR	v		1000			250			3	1.5			0.9	1.7	1.5	1.8	2.3
040007P939- HVS939	HVSR	v		100			200			1.5	2			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P942- HVS942	HVSR	v		1000				0.7	2									
040007P947- HVS947	HVSR	v		1000	500	5								1.1	1.1	1.2	1.3	1.3
040007P950- HVS950	HVSR	v		500			320					10	2	1	1.8	1.5	1.7	2.3
040007P953- HVS953	HVSR	v		1000			280					7	3	0.9	1.7	1.5	1.8	2.3
040007P956- HVS956	HVSR	v		100			200							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5

ID_INDP	U	Tipo	VN	NOTE	Z [m]	VSH [m/s]	H [m]	VS30 [m/s]	f [Hz]	Af	f0 [Hz]	Af0	f1 [Hz]	Af1	FA	FV	FA PGA0	FA_IS [0.1- 0.5]s	FA_IS [0.5,1]s
040007P958-HVSR958		HVSR	v	scartata															
040007P960-HVSR960		HVSR	v		100			210			1	1.2			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P966-HVSR966		HVSR	v		1000	610	5						5	4	1	1	1.2	1.2	1.2
040007P967-HVSR967		HVSR	v		1000			240	0.3	1.5	1.5	2			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P968-HVSR968		HVSR	v	EW non funzionante	1000			190			1.2	2			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P972-HVSR972		HVSR	v		500			250							0.9	1.7	1.5	1.8	2.3
040007P973-HVSR973		HVSR	v		500			300			1.5	1.5	5	2.5	1	1.8	1.5	1.7	2.3
040007P976-HVSR976		HVSR	v		100			190			1.5	1.5			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P978-HVSR978		HVSR	v		1000	420	12						5	2.5	1.6	1	1.5	1.5	1.4
040007P982-HVSR982		HVSR	v		1000			180			1	2			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P984-HVSR984		HVSR	v		1000			190					7	3	0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P986-HVSR986		HVSR	v		500			200			4	3			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P988-HVSR988		HVSR	v		1000			210	0.5	1.5	1.5	1.5	4	3	0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P990-HVSR990		HVSR	v		1000			180	0.25	2	1	2			0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007P992-HVSR992		HVSR	v	Scartata	100			200							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007L1		SR	V	impossibile stabilire la bontà dell'interpretazione															
040007L2		SR	V	onde P															
040007L3		SR	V	onde P															
040007L4		SR	V	onde P															
040007L5		SR	V	onde P															

ID_INDP	U	Tipo	VN	NOTE	Z [m]	VSH [m/s]	H [m]	VS30 [m/s]	f [Hz]	Af	f0 [Hz]	Af0	f1 [Hz]	Af1	FA	FV	FA PGA0	FA_IS [0.1-0.5]s	FA_IS [0.5,1]s
040007L6		MASW	V		40			370							1.1	1.7	1.4	1.7	2
040007L7		ReMi	V		15			340							1.1	1.7	1.5	1.7	2.3
040007L8		ReMi	V		50			320							1	1.8	1.5	1.7	2.3
040007L9		ReMi	V		50			430							1.1	1.7	1.6	1.5	1.8
040007L10		ReMi	V		40			360							1.1	1.7	1.4	1.7	2
040007L11		MASW	V		30			330							1	1.8	1.5	1.7	2.3
040007L12		MASW	V		20			440							1.1	1.7	1.6	1.5	1.8
040007L13		MASW	V		25			230							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007L14		MASW	V	Scartata															
040007L15		MASW	V	Scartata															
040007L16		MASW	V	scartata															
040007L17		MASW	V		15			220							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007L18		MASW	V		15			220							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007L19		MASW	V		15			200							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007L20		MASW	V		30			250							0.9	1.7	1.5	1.8	2.3
040007L21		MASW	V		50			200							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007L22		MASW	V		18			210							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007L23		MASW	V		25			220							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007L24		MASW	V		25			220							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007L25		MASW	V		20			180							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007L26		MASW	V		20			200							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007L27		ReMi	V		30			200							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007L28		MASW	V		15			200							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007L29		SR	V	onde P e superficie ma non visibili i dati				240							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007L30		MASW	V		20			170							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007L31		ReMi	V		25			240							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007L32		MASW	V		25			380							1.1	1.7	1.4	1.7	2

ID_INDP	Tipo	VN	NOTE	Z [m]	VSH [m/s]	H [m]	VS30 [m/s]	f [Hz]	Af	f0 [Hz]	Af0	f1 [Hz]	Af1	FA	FV	FA PGA0	FA_IS [0.1-0.5]s	FA_IS [0.5,1]s
040007L33	MASW	V		25			480							1.1	1.5	1.4	1.4	1.7
040007L34	MASW	V	scartata															
040007L35	MASW	V	Scartata	25			200							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007L36	MASW	V		30			320							1	1.8	1.5	1.7	2.3
040007L37	MASW	V		15			210							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007L38	ReMi	V		30			230							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007L39	ReMi	V		25			250							0.9	1.7	1.5	1.8	2.3
040007L40	ReMi	V	reinterpretata	25			250							0.9	1.7	1.5	1.8	2.3
040007L41	MASW	V		10			210							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007L42	ReMi	V		18			200							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007L43	MASW	V		25			260							0.9	1.7	1.5	1.8	2.3
040007L44	ReMi	V	Reinterpretata	15			240							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007L45	PR	V	Elettrica															
040007L46	PR	V	Elettrica															
040007L47	ReMi	V		25			180							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007L48	MASW	V	Scartata															
040007L49	MASW	V	Scartata															
040007L50	MASW	V	battute andata e ritorno completamente diverse	20			200							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007L51	ReMi	V		20			300							1	1.8	1.5	1.7	2.3
040007L52	MASW	V	scartata				300							1	1.8	1.5	1.7	2.3
040007L53	MASW	V	reinterpretata	10			200							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007L54	ReMi	V		10			210							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007L55	MASW	V		25			220							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007L56	ReMi	V		25			220							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007L57	MASW	V		25			220							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5

ID_INDPU	Tipo	VN	NOTE	Z [m]	VSH [m/s]	H [m]	VS30 [m/s]	f [Hz]	Af	f0 [Hz]	Af0	f1 [Hz]	Af1	FA	FV	FA PGA0	FA_IS [0.1- 0.5]s	FA_IS [0.5,1]s
040007L58	ReMi	V		25			220							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007L59	SR	V	onde P															
040007L60	MASW	V		15			210							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007L61	ReMi	V		40			240							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007L62	SR	V	onde P															
040007L63	MASW	V		20			240							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007L64	ReMi	V		15			250							0.9	1.7	1.5	1.8	2.3
040007L65	MASW	V		25			240							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007L66	MASW	V		35			190							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007L67	MASW	V	Scartata				350							1.1	17	1.4	1.7	2
040007L68	MASW	V	Sovrastimata	25			370							1.1	17	1.4	1.7	2
040007L69	MASW	V		15			390							1.1	17	1.4	1.7	2
040007L70	SR	V	onde P															
040007L71	SR	V	onde P															
040007L72	MASW	V		15			310							1	1.8	1.5	1.7	2.3
040007L73	MASW	V		15			310							1	1.8	1.5	1.7	2.3
040007L74	ReMi	V		15			310							1	1.8	1.5	1.7	2.3
040007L75	ReMi	V		15			310							1	1.8	1.5	1.7	2.3
040007L76	MASW	V	scartata															
040007L77	MASW	V		10			230							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007L78	MASW	V		20			200							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007L79	MASW	V	scartata															
040007L80	MASW	V	scartata				250							0.9	1.7	1.5	1.8	2.3
040007L81	MASW	V	scartata															
040007L82	MASW	V	scartata															
040007L83	MASW	V	scartata	18			350							1.1	17	1.4	1.7	2
040007L84	MASW	V	scartata															

ID_INDP	Tipo	VN	NOTE	Z [m]	VSH [m/s]	H [m]	VS30 [m/s]	f [Hz]	Af	f0 [Hz]	Af0	f1 [Hz]	Af1	FA	FV	FA PGA0	FA_IS [0.1- 0.5]s	FA_IS [0.5,1]s
040007L85	MASW	V		25			220							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007L86	PR	V	elettrica															
040007L87	PR	V	elettrica															
040007L88	MASW	V		25			200							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007L89	MASW	V		10			180							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007L90	ReMi	V		50			310							1	1.8	1.5	1.7	2.3
040007L91	MASW	V	scartata				350							1.1	17	1.4	1.7	2
040007L92	SR	V	reinterpretata	25			280							0.9	1.7	1.5	1.8	2.3
040007L93	MASW	V	reinterpretata	18			200							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007L94	MASW	V	reinterpretata	10			200							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007L95	MASW	V	reinterpretata	10			200							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007L96	MASW	V	reinterpretata	10			200							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007L97	MASW	V	reinterpretata	10			200							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007L98	ReMi	V		20			250							0.9	1.7	1.5	1.8	2.3
040007L99	ReMi	V		20			250							0.9	1.7	1.5	1.8	2.3
040007L100	ReMi	V		25			250							0.9	1.7	1.5	1.8	2.3
040007L101	ReMi	V		25			230							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007L102	MASW	V		30			240							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007L103	MASW- REMI-ESAC	N					210							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007L104	MASW- REMI-ESAC	N			400	15								1.6	1	1.6	1.6	1.4
040007L105	MASW- REMI-ESAC	N					360							1.1	17	1.4	1.7	2
040007L106	MASW- REMI-ESAC	N					270							0.9	1.7	1.5	1.8	2.3
040007L107	MASW- REMI-ESAC	N			310	15								2	1.4	1.9	1.9	1.5
040007L108	MASW- REMI-ESAC	N			420	10								1.6	1	1.5	1.5	1.4



ID_INDP	Tipo	VN	NOTE	Z [m]	VSH [m/s]	H [m]	VS30 [m/s]	f [Hz]	Af	f0 [Hz]	Af0	f1 [Hz]	Af1	FA	FV	FA PGA0	FA_IS [0.1- 0.5]s	FA_IS [0.5,1]s
040007L109	MASW- REMI-ESAC	N			390	10								1.6	1	1.5	1.5	1.4
040007L110	MASW- REMI-ESAC	N					240							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007L111	MASW- REMI-ESAC	N					180							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007L112	MASW- REMI-ESAC	N					320							1	1.8	1.5	1.7	2.3
040007L113	MASW- REMI-ESAC	N					190							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007L114	MASW- REMI-ESAC	N					210							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007L115	MASW- REMI-ESAC	N					190							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007L116	MASW- REMI-ESAC	N					220							0.9	1.7	1.5	1.8	2.5
040007L117	MASW- REMI-ESAC	N			400	20								1.6	1	1.7	1.7	1.4

## ALLEGATO 5. ULTERIORI ALLEGATI

Allegati alla presentazione sono i seguenti elaborati cartografici:

I LIVELLO	II LIVELLO
CARTA DELLE INDAGINI	CARTA DELLA VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO
CARTA GEOLOGICO TECNICA	CARTE DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE
comprensiva di:	- FA e FV (ICMS, 2008)
<ul style="list-style-type: none"><li>- 2 sezioni geologiche significative</li><li>- (per le zone di pianura) carta dei depositi del sottosuolo che possono influenzare il moto in superficie</li></ul>	- $FA_{PGA}$ , $FA_{IS\ 0,1-0,5\ s}$ , $FA_{IS\ 0,5-1\ s}$ (Atto di Indirizzo RER, 2007)
MOPS (carta delle zone omogenee in prospettiva sismica)	