

MOPS2003 (MLec + SFALS)

SPESSORE MASSIMO (15 m)

Modello Lineare Elastico (LE)

Lo spessore maggiore di depositi a componente prevalente fina (MLec) si ha in corrispondenza di Via Rimessa e Via AVIS-AIDO, dove le velocità determinate dalle prove MASW realizzate ex-novo *043006L12MASW12*, *043006L15MASW15* non hanno mai fornito valori di Vs superiori a 280 m/s per tali coperture. Le indagini HVSR eseguite *043006P473HVSR476*, *043006P398HVSR399* mostrano picchi con f_0 nel range 3,111 – 3,289 Hz e ampiezza 3,289 – 2,600 compatibile con quanto derivato dall'analisi lineare elastica che propone un picco a 3,76 Hz con ampiezza 2,43. Il modello geologico dell'area risulta pertanto valido.

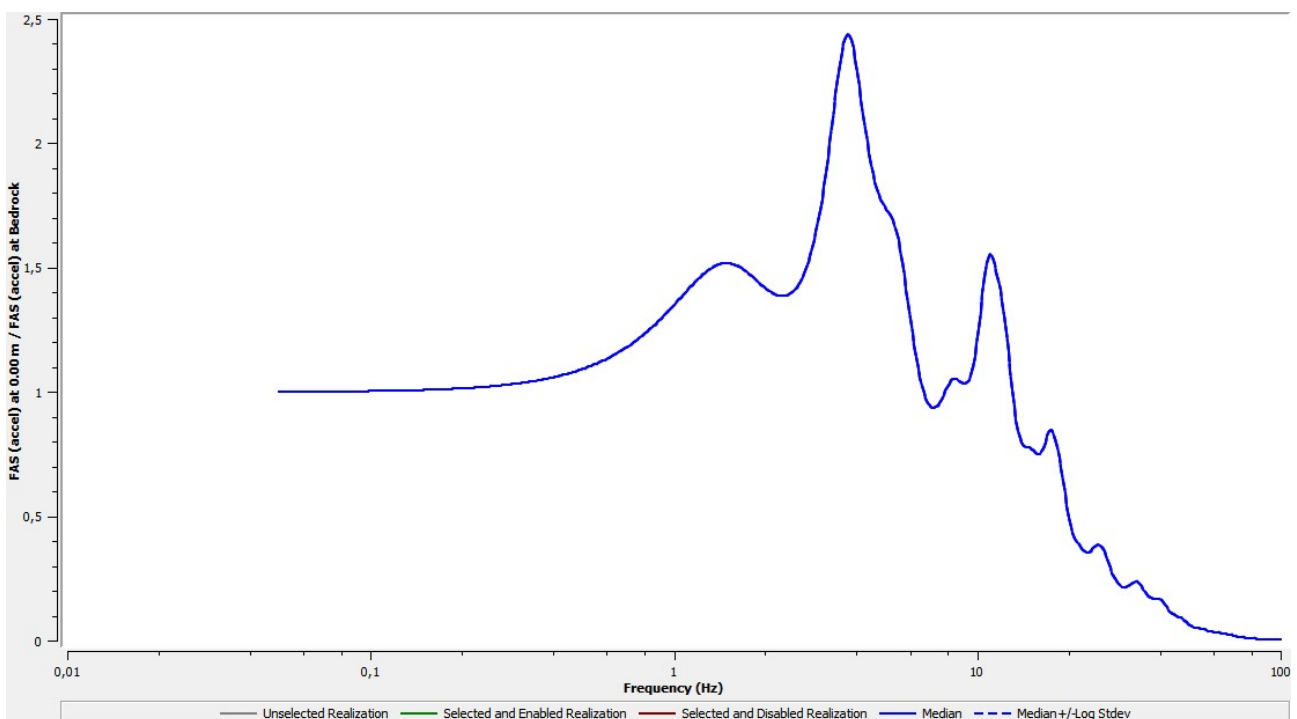


Figura 48 – MOPS2003, spessore massimo. Analisi lineare elastica (LE).

Modello Lineare Equivalente (EQL)

L'analisi ultima, realizzata inserendo le opportune curve di decadimento ai terreni di copertura secondo quanto illustrato nel paragrafo precedente, hanno fornito valori di FA abbastanza alti, soprattutto nei primi 2 intervalli di periodo considerati.

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1,89	1,76	1,62

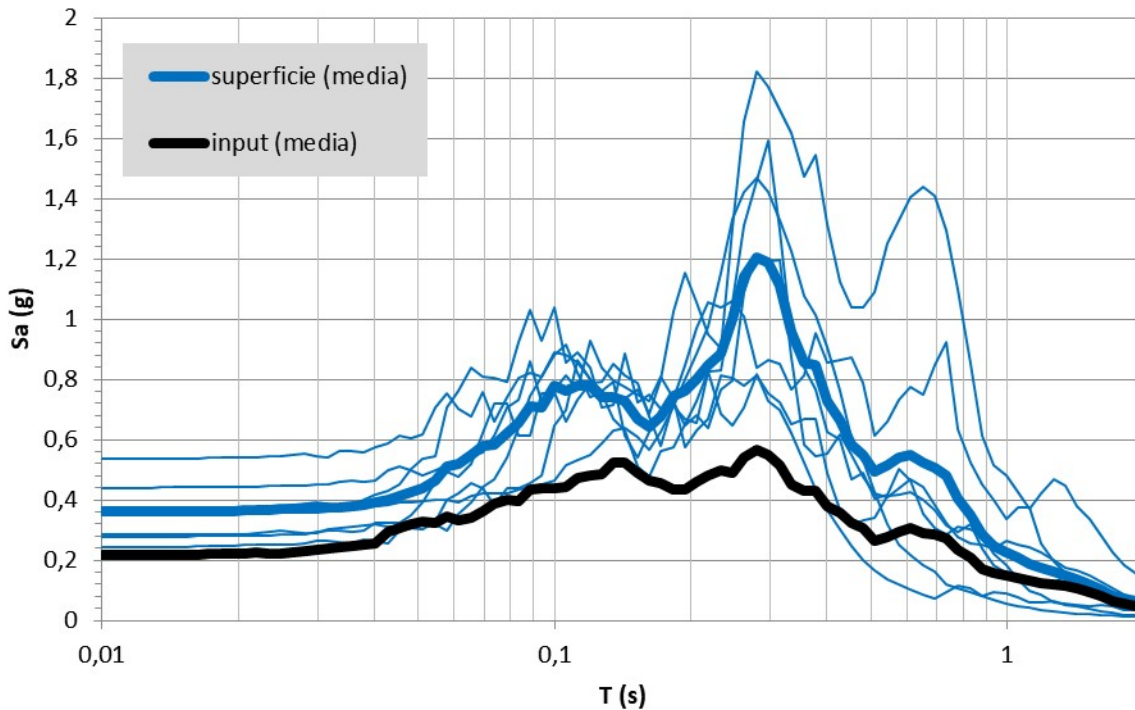


Figura 49 – MOPS2003, spessore massimo. Rapporto tra gli spettri di risposta in accelerazione calcolati in superficie e al bedrock (input).

MOPS2004 (SMtf + GWtf + SFALS)

Modello Lineare Elastico (LE)

Nel caso specifico, facendo la MOPS2004 riferimento esclusivamente ad una fascia limitata di depositi alluvionali attuali del Rio delle Concie e del Fiume Chienti, aventi variazione di spessore inferiore a 15 m, si è provveduto ad eseguire una sola analisi considerando gli spessori medi delle coperture sabbiose e ghiaiose presenti. Le velocità determinate dalle prove MASW reperite hanno fornito valori di Vs tra i 200 e 360 m/s per i litotipi SMtf e tra i 300 e 450 m/s per i litotipi GWtf. L'analisi lineare elastica viene mostrata nella figura seguente.

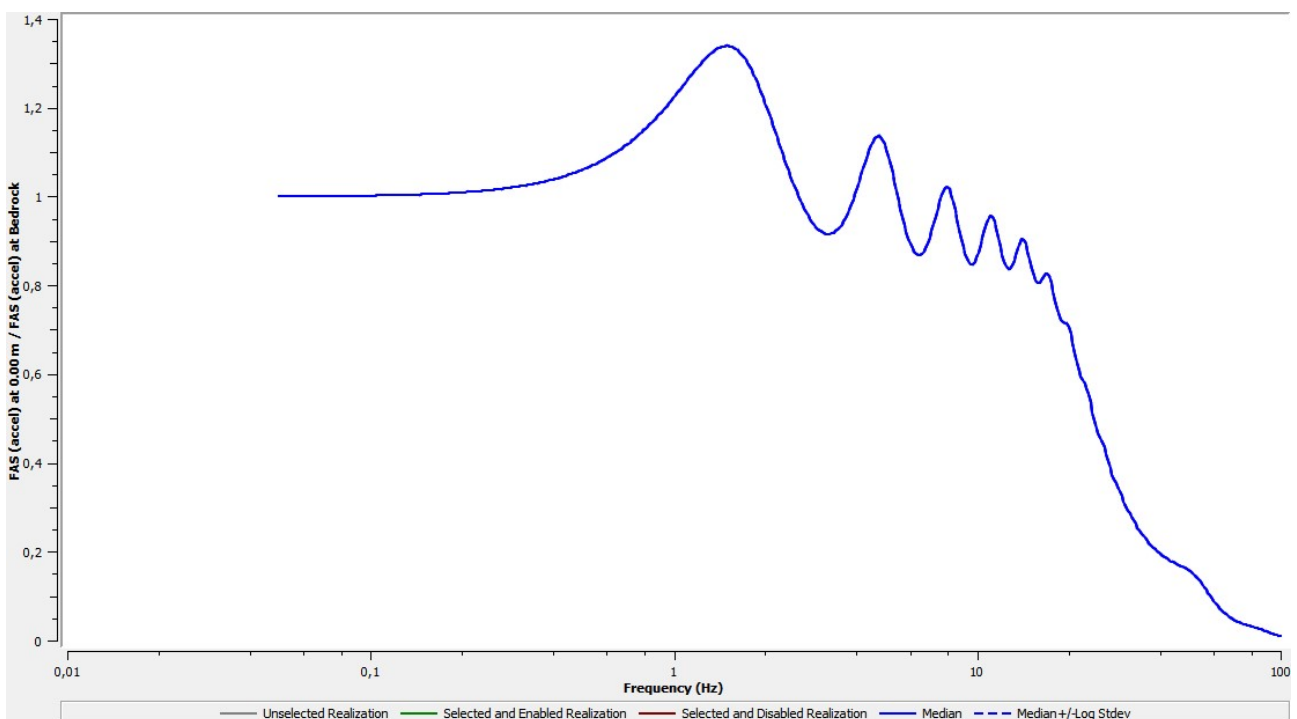


Figura 50 – MOPS2004, spessore medio. Analisi lineare elastica (LE).

Modello Lineare Equivalente (EQL)

L'analisi ultima, realizzata inserendo le opportune curve di decadimento ai terreni di copertura secondo quanto illustrato nel paragrafo precedente, hanno fornito i seguenti valori di FA.

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1,20	1,33	1,33

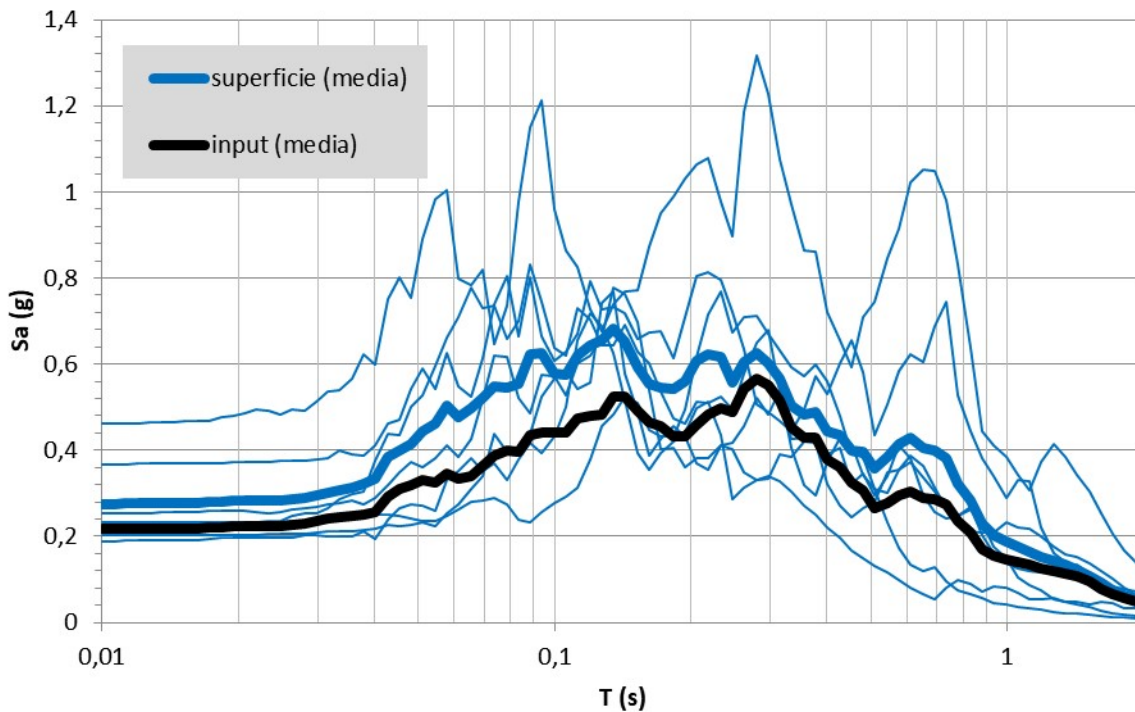


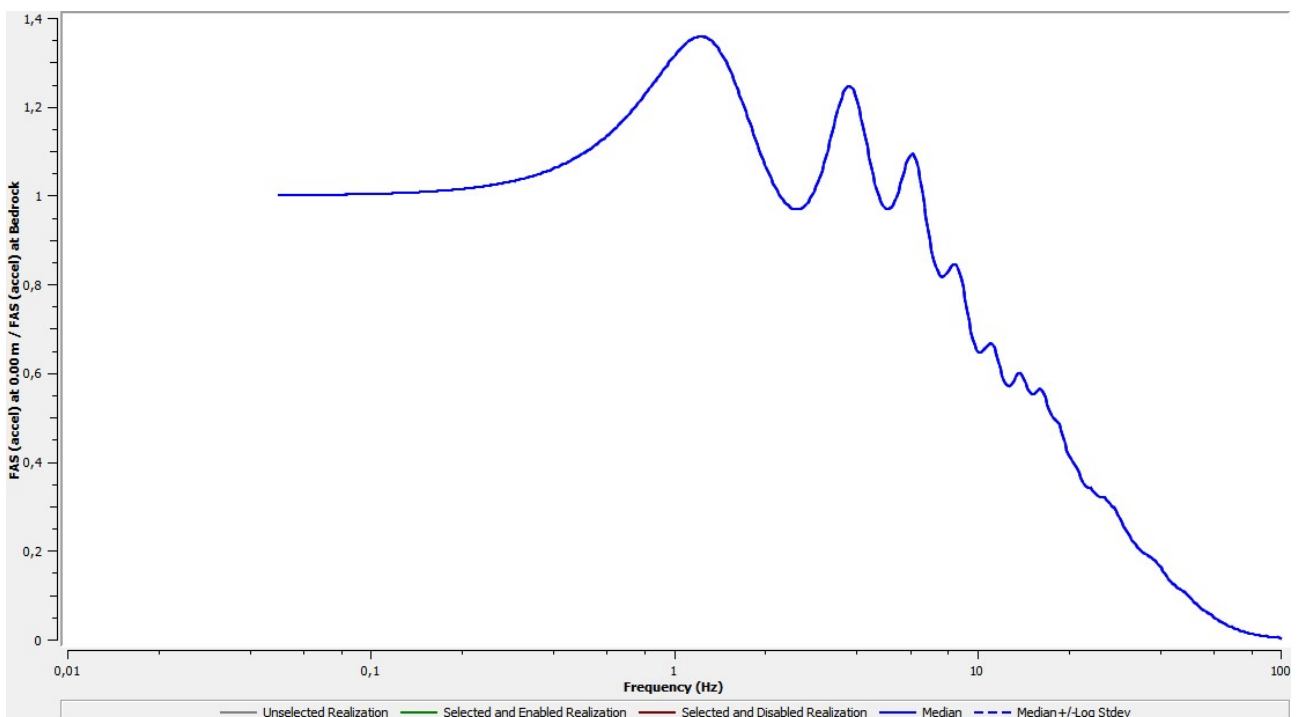
Figura 51 – MOPS2004, spessore medio. Rapporto tra gli spettri di risposta in accelerazione calcolati in superficie e al bedrock (input).

MOPS2005 (SMtf + GMtf + SFALS)

SPESSORE MINIMO (21,50 m)

Modello Lineare Elastico (LE)

Lo spessore minimo di depositi alluvionali del pleistocene superiore a grana grossolana (GMtf) si ha in corrispondenza di Via Piandassalto, Via Lungara del Rio, Via Fonte dei Cavalli e Borgo Piandebussi, dove le velocità determinate dalle prove MASW realizzate ex-novo *043006L11MASW11* e reperite *043006L5MASW5*, *043006L7MASW7*, *043006L7MASW7* hanno fornito valori di Vs nell'intervallo di 300 – 360 m/s per la ghiaia limosa sciolta o poco addensata e 400 – 580 m/s per un moderato stato di addensamento. Le misure HVSR realizzate su spessori minimi di depositi GWtf *043006P472HVS475* mostrano l'assenza di un contrasto di impedenza significativo, con la curva di ellitticità che si mantiene quasi sempre sotto al valore di ampiezza pari a 2; solamente la misura effettuata nella parte più elevata di Borgo Piandebussi *043006P447HVS450* mostra un evidente picco a 6,549 Hz e ampiezza 2,334, probabilmente dovuto ad un grado di addensamento decisamente inferiore o alla presenza di granulometrie più fini (matrice limosa molto abbondante). La funzione di trasferimento derivata dall'analisi lineare elastica non mostra particolari picchi e ampiezza massima inferiore a 1,4.



Dott. Geol. Mauro Cataldi



Figura 52 – MOPS2005, spessore minimo. Analisi lineare elastica (LE).

Modello Lineare Equivalente (EQL)

L'analisi ultima, realizzata inserendo le opportune curve di decadimento ai terreni di copertura secondo quanto illustrato nel paragrafo precedente, hanno fornito i seguenti valori di FA.

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1,44	1,42	1,48

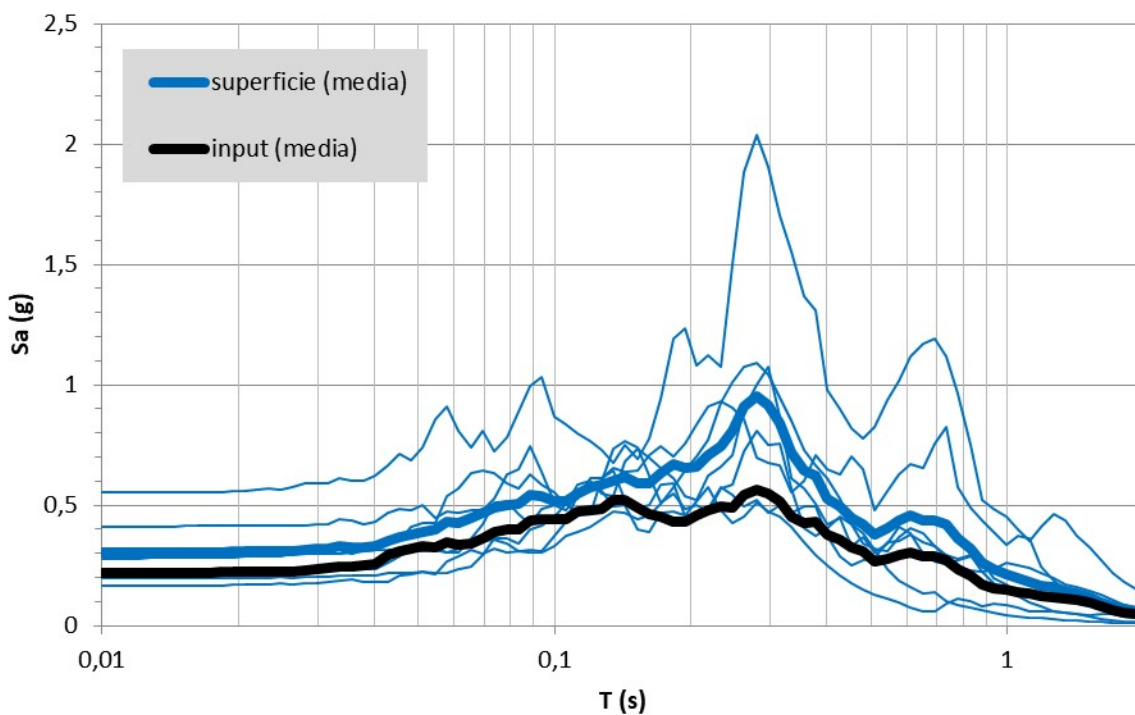


Figura 53 – MOPS2005, spessore minimo. Rapporto tra gli spettri di risposta in accelerazione calcolati in superficie e al bedrock (input).

MOPS2005 (SMtf + GMtf + SFALS)

SPESSORE MEDIO (30,75 m)

Modello Lineare Elastico (LE)

Lo spessore medio di depositi alluvionali del pleistocene superiore a grana grossolana (GMtf) si ha in corrispondenza di Via Ludovico Clodio, Via Rimessa e nella parte alta della Via dei Missionari Caldarolesi (Lottizzazione Tardella). Le misure HVSR realizzate su spessori medi di tali depositi *043006P477HVSR480*, *043006P401HVSR402* mostrano l'assenza di un contrasto di impedenza significativo, con la curva di ellitticità che si mantiene quasi sempre sotto al valore di ampiezza pari a 2, salvo picchi ad alte frequenze, al di fuori di intervalli di interesse ingegneristico. Anche qui la funzione di trasferimento derivata dall'analisi lineare elastica non mostra particolari picchi e ampiezza massima inferiore a 1,4.

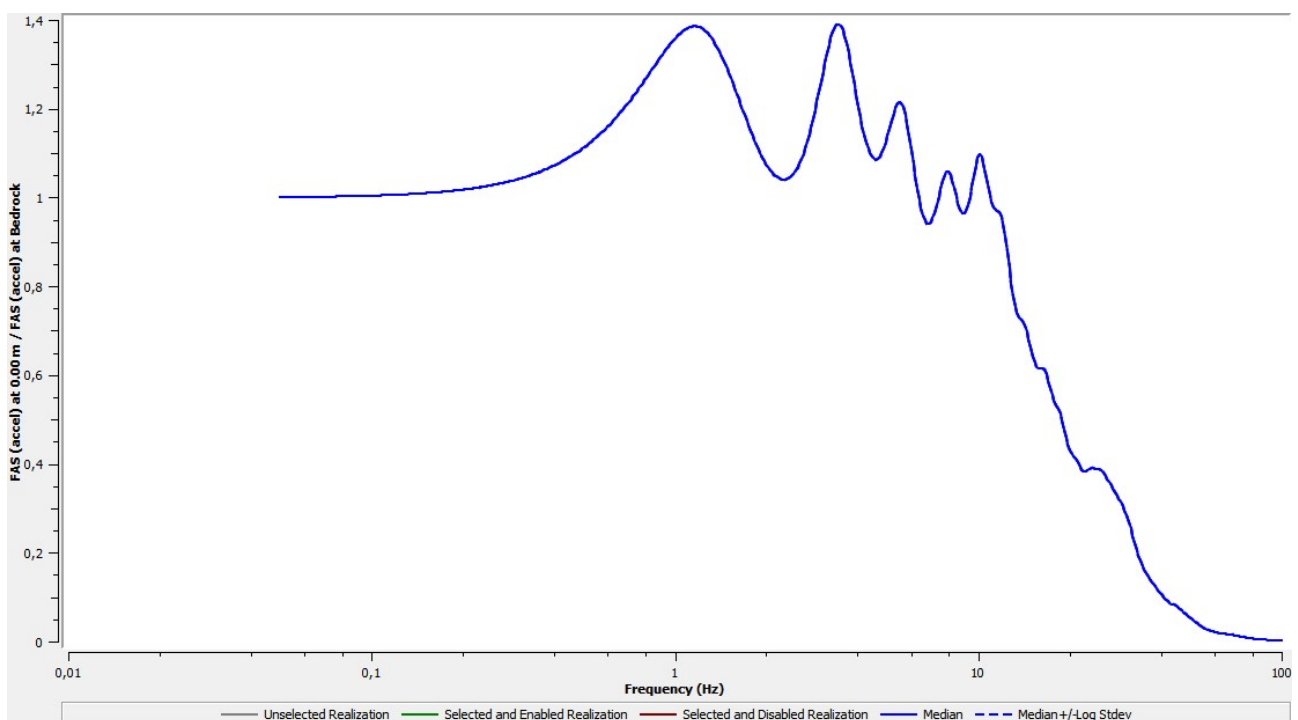


Figura 54 – MOPS2005, spessore medio. Analisi lineare elastica (LE).

Modello Lineare Equivalente (EQL)

L'analisi ultima, realizzata inserendo le opportune curve di decadimento ai terreni di copertura secondo quanto illustrato nel paragrafo precedente, hanno fornito i seguenti valori di FA.

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1,63	1,63	1,61

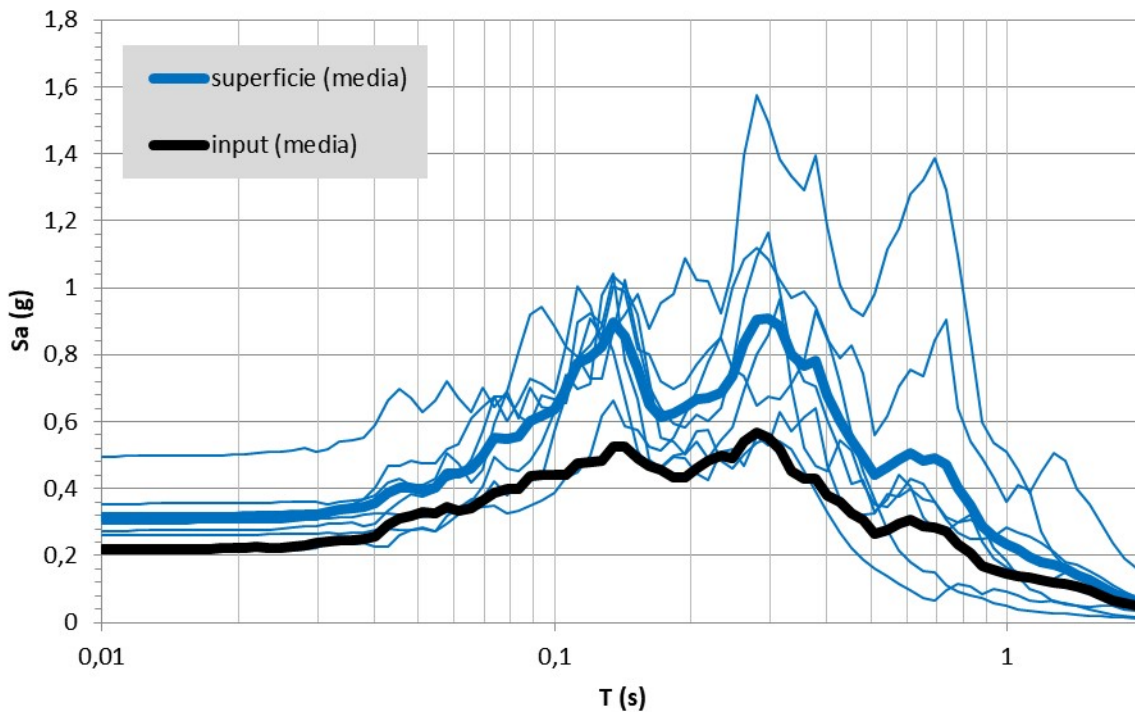


Figura 55 – MOPS2005, spessore medio. Rapporto tra gli spettri di risposta in accelerazione calcolati in superficie e al bedrock (input).

MOPS2005 (SMtf + GMtf + SFALS)

SPESSORE MASSIMO (38,00 m)

Modello Lineare Elastico (LE)

Lo spessore massimo di depositi alluvionali del pleistocene superiore a grana grossolana (GMtf) si ha in aree esterne al settore oggetto di studio di Microzonazione Sismica di Livello 3. Pertanto non si hanno misure H/V a disposizione. La funzione di trasferimento derivata dall'analisi lineare elastica mostra particolari il picco maggiore a frequenza 3,43 e ampiezza 1,55.

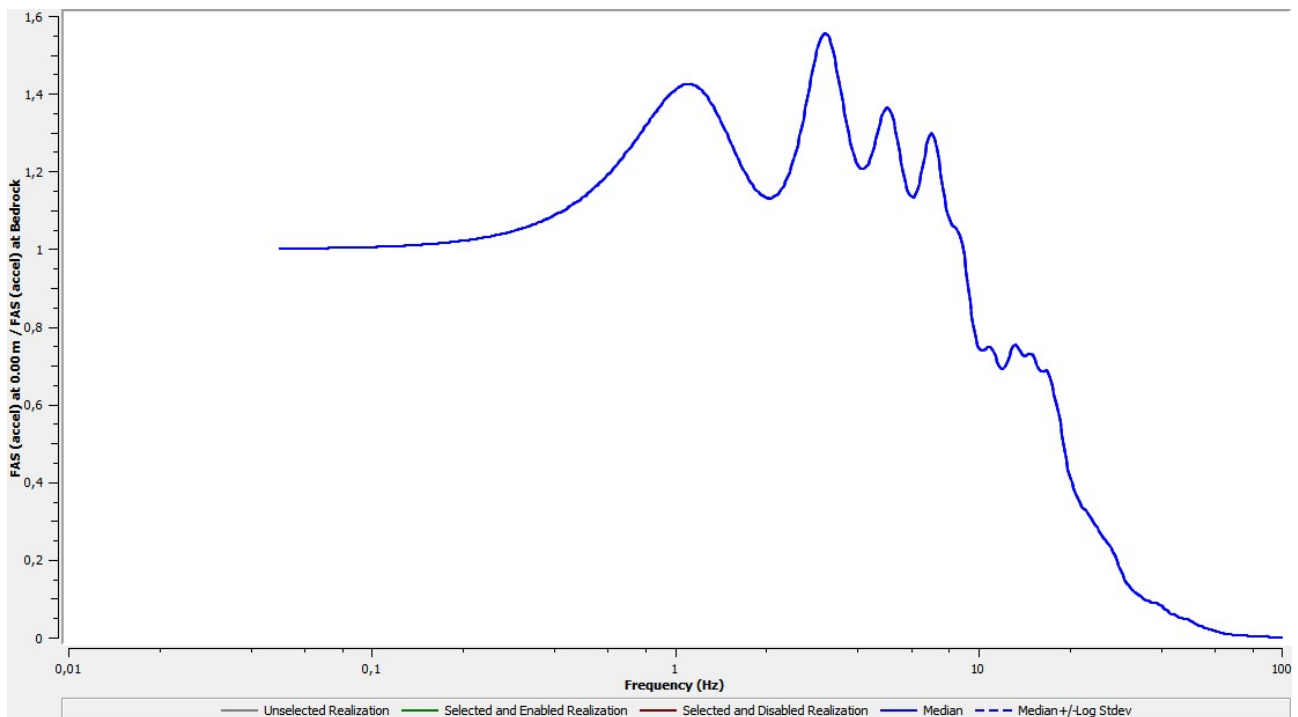


Figura 56 – MOPS2005, spessore massimo. Analisi lineare elastica (LE).

Modello Lineare Equivalente (EQL)

L'analisi ultima, realizzata inserendo le opportune curve di decadimento ai terreni di copertura secondo quanto illustrato nel paragrafo precedente, hanno fornito i seguenti valori di FA, abbastanza alti per determinati intervalli.

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1,69	1,89	1,80

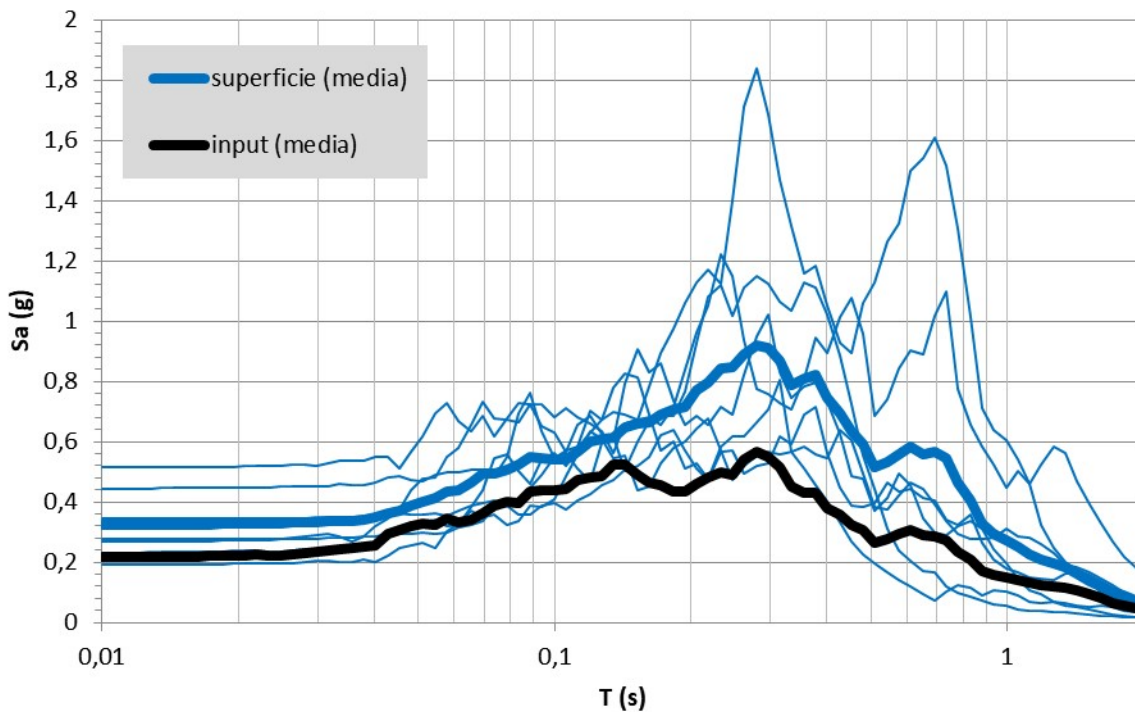


Figura 57 – MOPS2005, spessore massimo. Rapporto tra gli spettri di risposta in accelerazione calcolati in superficie e al bedrock (input).

MOPS2006 (GPca + SFALS)

SPESSORE MINIMO (21,50 m)

Modello Lineare Elastico (LE)

Lo spessore minimo di depositi di conoide alluvionale del Rio delle Concie a grana grossolana (GPca) occupa la parte apicale della conoide particolarmente estesa nell'area sub-pianeggiante del settore oggetto di studio di Microzonazione di Livello 3, che si apre a ventaglio verso N, a partire dalla fine di Corso Roma. Le velocità determinate dalle prove MASW realizzate ex-novo *043006L14MASW14* e reperite *043006L1MASW1*, *043006L6MASW6*, *043006L8MASW8* hanno fornito valori di V_s nell'intervallo di 300 – 380 m/s per la ghiaia poco addensata e 400 – 800 m/s per un moderato stato di addensamento. Le misure HVSR realizzate su spessori minimi di depositi GPca mostrano l'assenza di un contrasto di impedenza significativo, con la curva di ellitticità che si mantiene quasi sempre sotto al valore di ampiezza pari a 2. La funzione di trasferimento derivata dall'analisi lineare elastica non mostra particolari picchi e ampiezza massima inferiore a 1,4. Il modello geologico è pertanto valido.

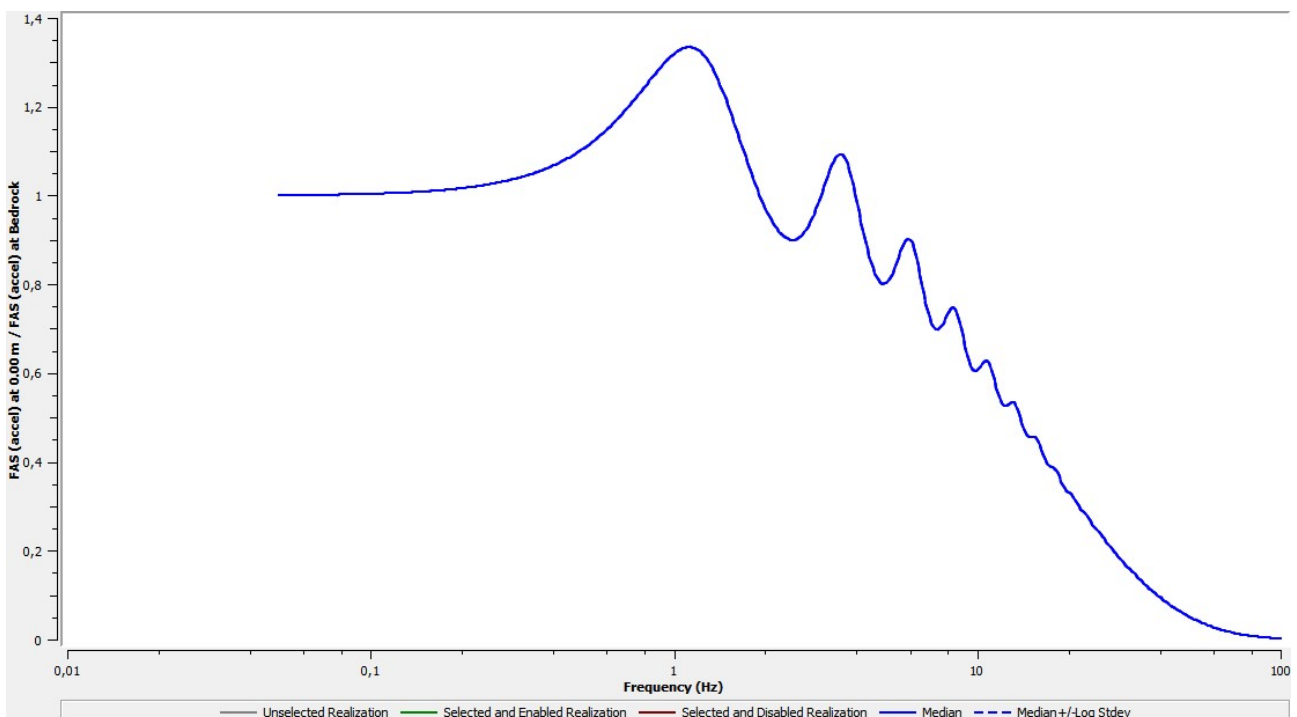


Figura 58 – MOPS2006, spessore minimo. Analisi lineare elastica (LE).

Modello Lineare Equivalente (EQL)

L'analisi ultima, realizzata inserendo le opportune curve di decadimento ai terreni di copertura secondo quanto illustrato nel paragrafo precedente, hanno fornito i seguenti valori di FA.

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1,13	1,23	1,38

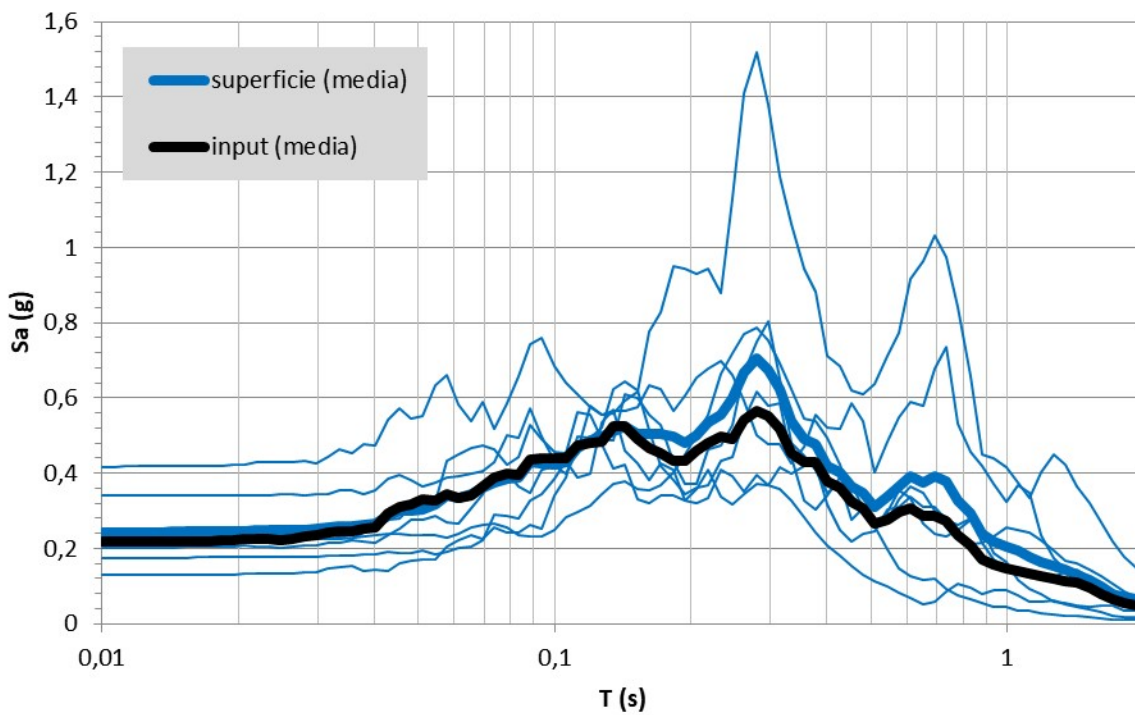


Figura 59 – MOPS2006, spessore minimo. Rapporto tra gli spettri di risposta in accelerazione calcolati in superficie e al bedrock (input).

MOPS2006 (GPca + SFALS)

SPESSORE MEDIO (36,25 m)

Modello Lineare Elastico (LE)

Lo spessore medio di depositi di conoide alluvionale del Rio delle Concie a grana grossolana (GPca) occupa la parte centrale della conoide particolarmente estesa nell'area sub-pianeggiante del settore oggetto di studio di Microzonazione di Livello 3, che si apre a ventaglio verso N, a partire dalla fine di Corso Roma. Come già detto, le velocità determinate dalle prove MASW realizzate ex-novo *043006L14MASW14* e reperite *043006L1MASW1*, *043006L6MASW6*, *043006L8MASW8* hanno fornito valori di V_s nell'intervallo di 300 – 380 m/s per la ghiaia poco addensata e 400 – 800 m/s per un moderato stato di addensamento. Le misure HVSR realizzate *043006P389HVS390*, *043006P390HVS391*, *043006P476HVS479*, *043006P479HVS482* su spessori medi di depositi GPca mostrano l'assenza di un contrasto di impedenza significativo, con la curva di ellitticità che si mantiene quasi sempre sotto al valore di ampiezza pari a 2. La funzione di trasferimento derivata dall'analisi lineare elastica non mostra particolari picchi e ampiezza massima inferiore a 1,4. Il modello geologico è pertanto valido.

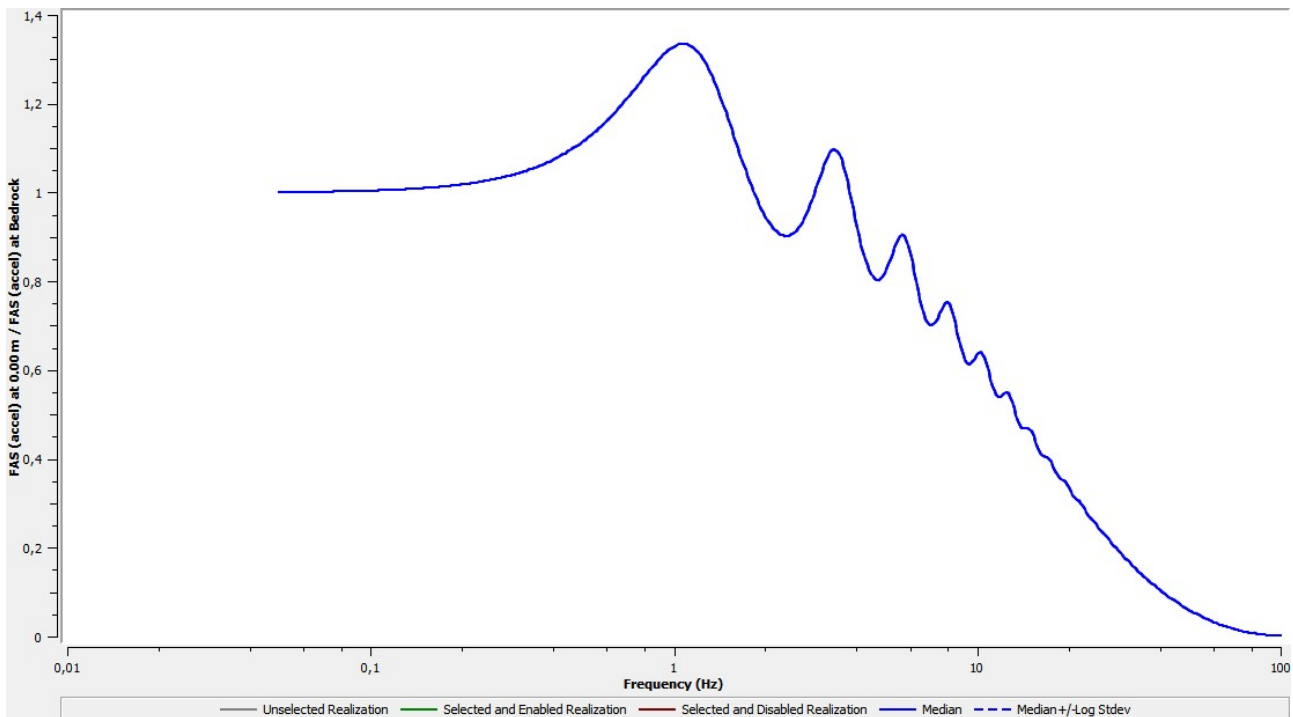


Figura 60 – MOPS2006, spessore minimo. Analisi lineare elastica (LE).

Dott. Geol. Mauro Cataldi



Modello Lineare Equivalente (EQL)

L'analisi ultima, realizzata inserendo le opportune curve di decadimento ai terreni di copertura secondo quanto illustrato nel paragrafo precedente, hanno fornito i seguenti valori di FA.

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1,11	1,22	1,38

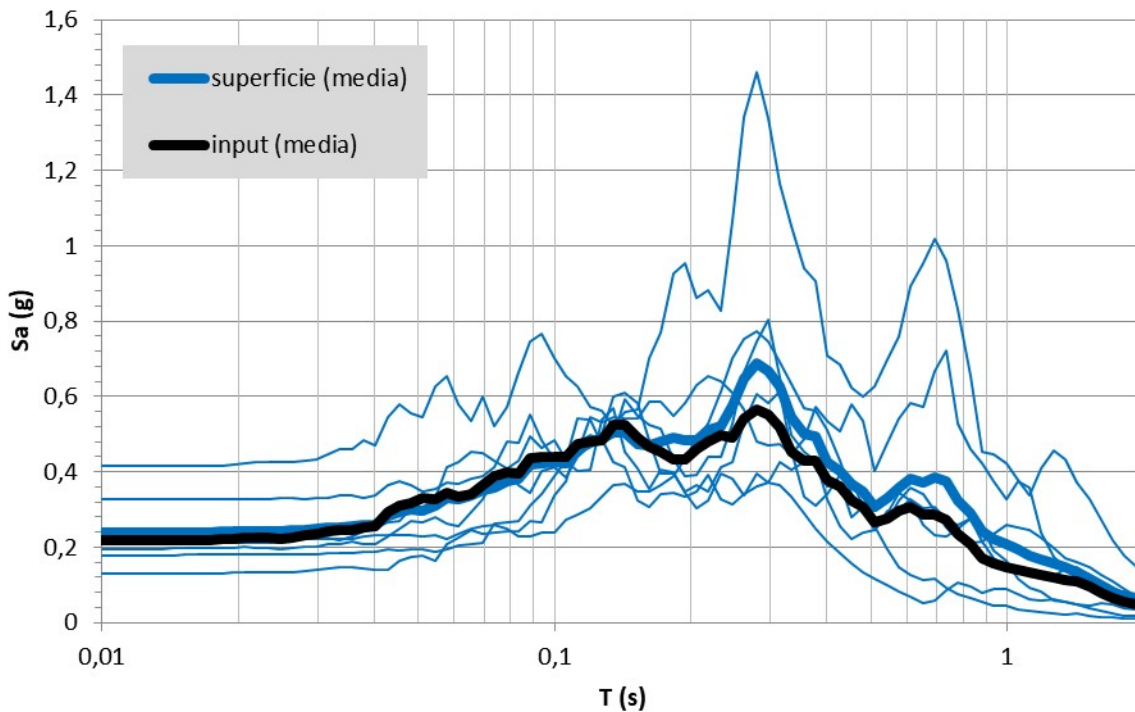


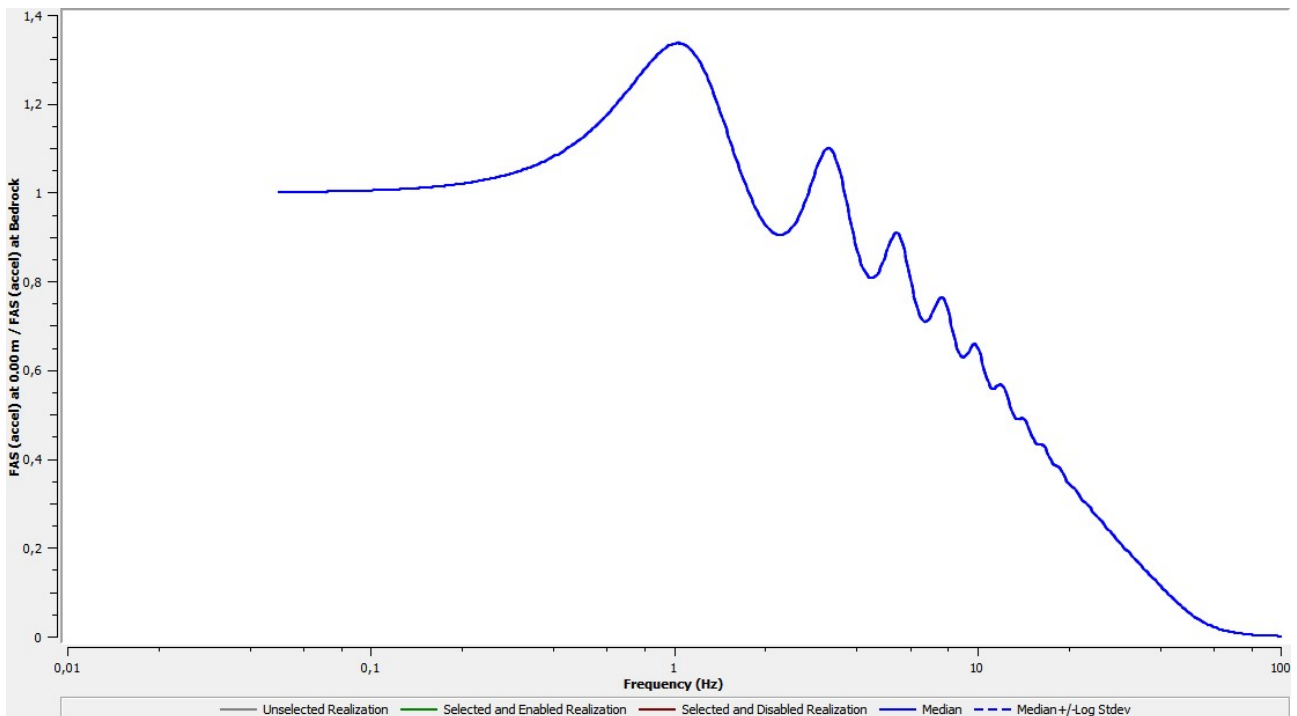
Figura 61 – MOPS2006, spessore medio. Rapporto tra gli spettri di risposta in accelerazione calcolati in superficie e al bedrock (input).

MOPS2006 (GPca + SFALS)

SPESSORE MASSIMO (42,00 m)

Modello Lineare Elastico (LE)

Lo spessore medio di depositi di conoide alluvionale del Rio delle Concie a grana grossolana (GPca) occupa la parte distale della conoide particolarmente estesa nell'area sub-pianeggiante del settore oggetto di studio di Microzonazione di Livello 3, che si apre a ventaglio verso N, a partire dalla fine di Corso Roma. Come già detto, le velocità determinate dalle prove MASW realizzate ex-novo *043006L14MASW14* e reperite *043006L1MASW1*, *043006L6MASW6*, *043006L8MASW8* hanno fornito valori di V_s nell'intervallo di 300 – 380 m/s per la ghiaia poco addensata e 400 – 800 m/s per un moderato stato di addensamento. Anche le misure HVSR realizzate *043006P442HVSR445*, *043006P468HVSR471*, *043006P465HVSR468*, *043006P5HVSR5* su spessori massimi di depositi GPca mostrano l'assenza di un contrasto di impedenza significativo, con la curva di ellitticità che si mantiene quasi sempre sotto al valore di ampiezza pari a 2, tranne che nella parte più distale *043006P462HVSR465*, *043006P463HVSR466* dove superano appena il valore di 2. La funzione di trasferimento derivata dall'analisi lineare elastica non mostra particolari picchi e ampiezza massima inferiore a 1,4. Il modello geologico è pertanto valido.



Dott. Geol. Mauro Cataldi



Figura 62 – MOPS2006, spessore minimo. Analisi lineare elastica (LE).

Modello Lineare Equivalente (EQL)

L'analisi ultima, realizzata inserendo le opportune curve di decadimento ai terreni di copertura secondo quanto illustrato nel paragrafo precedente, hanno fornito i seguenti valori di FA.

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1,10	1,22	1,37

In definitiva, a tutta la MOPS2006 sono stati associati i fattori FA derivati dalle modellazioni con spessore minimo della copertura, in quanto più cautelativi.

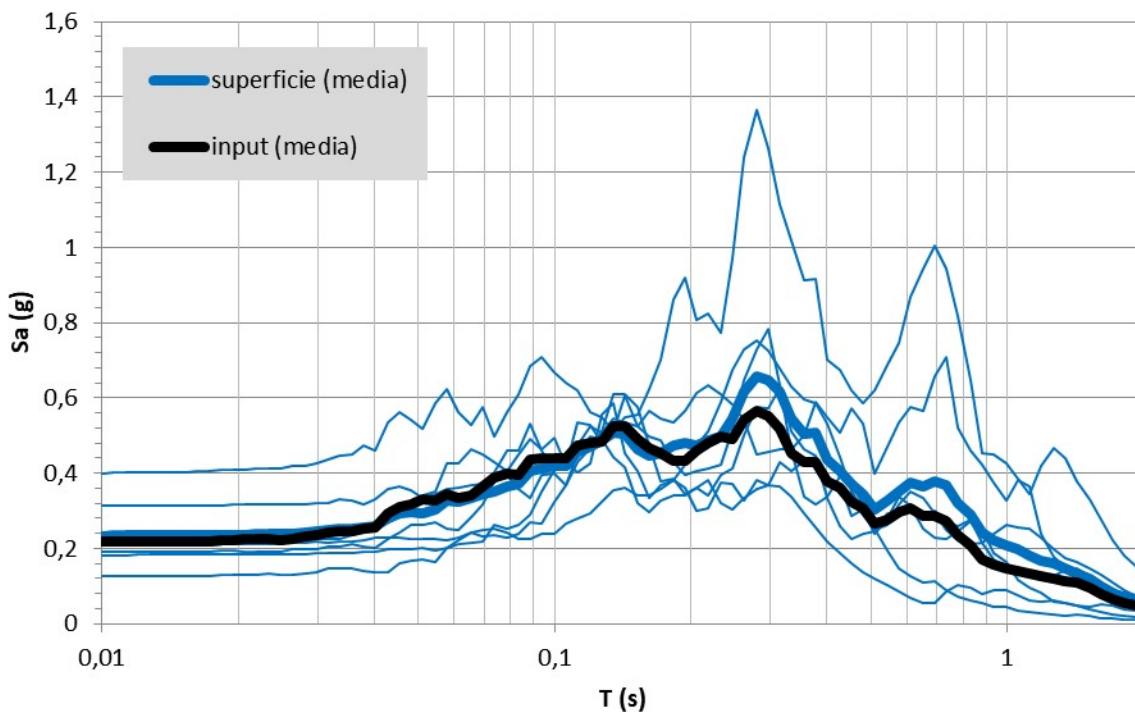


Figura 63 – MOPS2006, spessore massimo. Rapporto tra gli spettri di risposta in accelerazione calcolati in superficie e al bedrock (input).

MOPS2007 (CLtf + GPca + SFALS)

SPESSORE MINIMO (28,00 m)

Modello Lineare Elastico (LE)

Lo spessore minimo di depositi alluvionali a grana fine (CLtf) che bordano la conoide alluvionale del Rio delle Concie ad W presenta velocità determinata dalla prova MASW realizzata ex-novo *043006L13MASW13*: i valori di V_s sono nell'intervallo di 250 – 330 m/s per l'argilla sabbiosa (CLtf). Le misure HVSR realizzate su spessori minimi di depositi CLtf mostrano la presenza di un contrasto di impedenza spostato verso frequenze maggiori a 10 Hz *043006P399HVSR400* e con la curva di ellitticità che supera anche il valore di ampiezza pari a 3. Per pochi spessori, comunque la funzione di trasferimento derivata dall'analisi lineare elastica non mostra particolari picchi e ampiezza massima inferiore a 1,4.

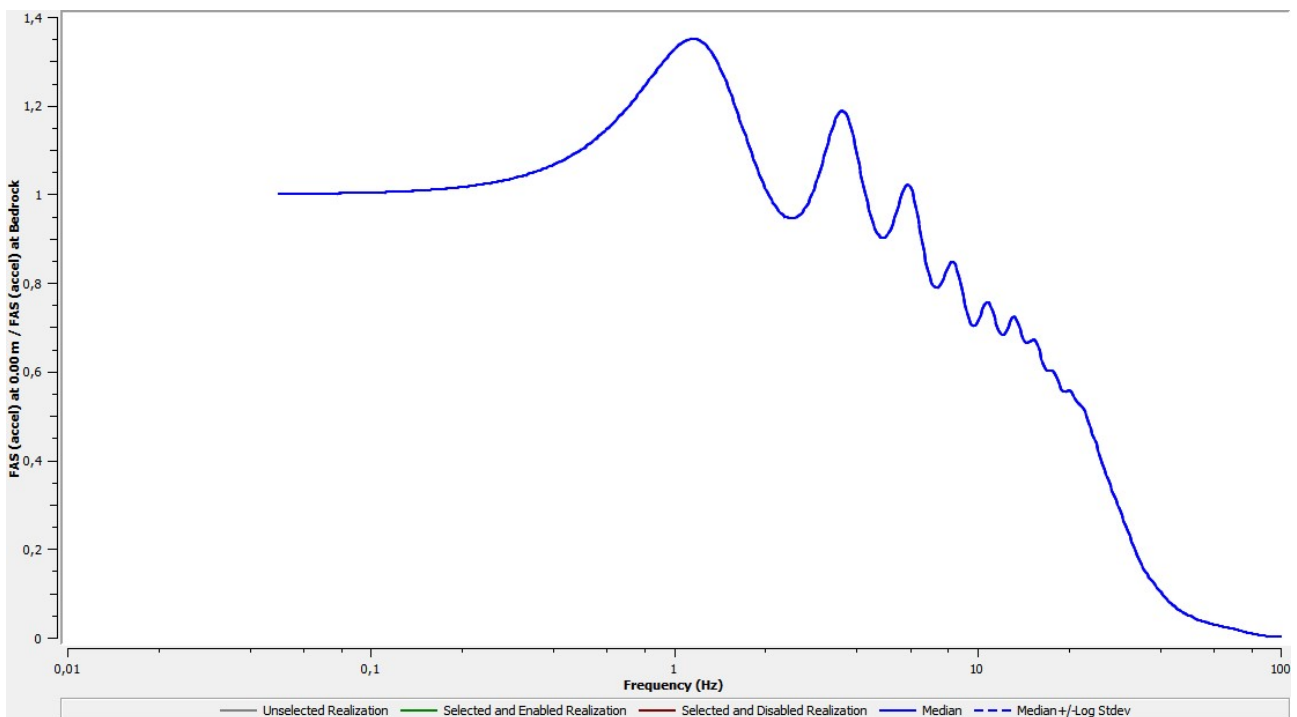


Figura 64 – MOPS2007, spessore minimo. Analisi lineare elastica (LE).

Modello Lineare Equivalente (EQL)

L'analisi ultima, realizzata inserendo le opportune curve di decadimento ai terreni di copertura secondo quanto illustrato nel paragrafo precedente, hanno fornito i seguenti valori di FA.

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1,21	1,28	1,41

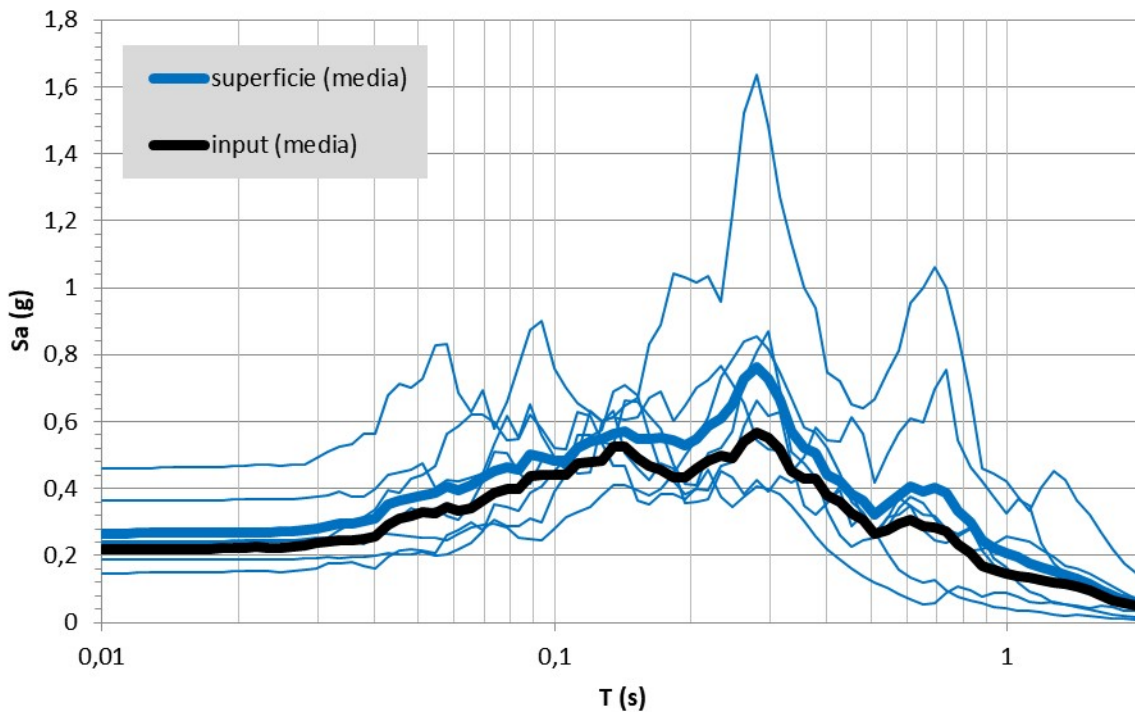


Figura 65 - MOPS2007, spessore minimo. Rapporto tra gli spettri di risposta in accelerazione calcolati in superficie e al bedrock (input).

MOPS2007 (CLtf + GPca + SFALS)

SPESSORE MEDIO (34,00 m)

Modello Lineare Elastico (LE)

Lo spessore medio di depositi alluvionali a grana fine (CLtf) che bordano la conoide alluvionale del Rio delle Concie ad W presenta velocità, come visto, determinata dalla prova MASW realizzata ex-novo *043006L13MASW13*: i valori di V_s sono nell'intervallo di 250 – 330 m/s per l'argilla sabbiosa (CLtf). Le misure HVSR realizzate su spessori medi di depositi CLtf mostrano la presenza di un contrasto di impedenza spostato verso frequenze intorno a 10 Hz *043006P444HVSR447* e con la curva di ellitticità intorno a 2,5 come ampiezza massima. La funzione di trasferimento derivata dall'analisi lineare elastica non mostra particolari picchi e ampiezza massima inferiore a 1,4.

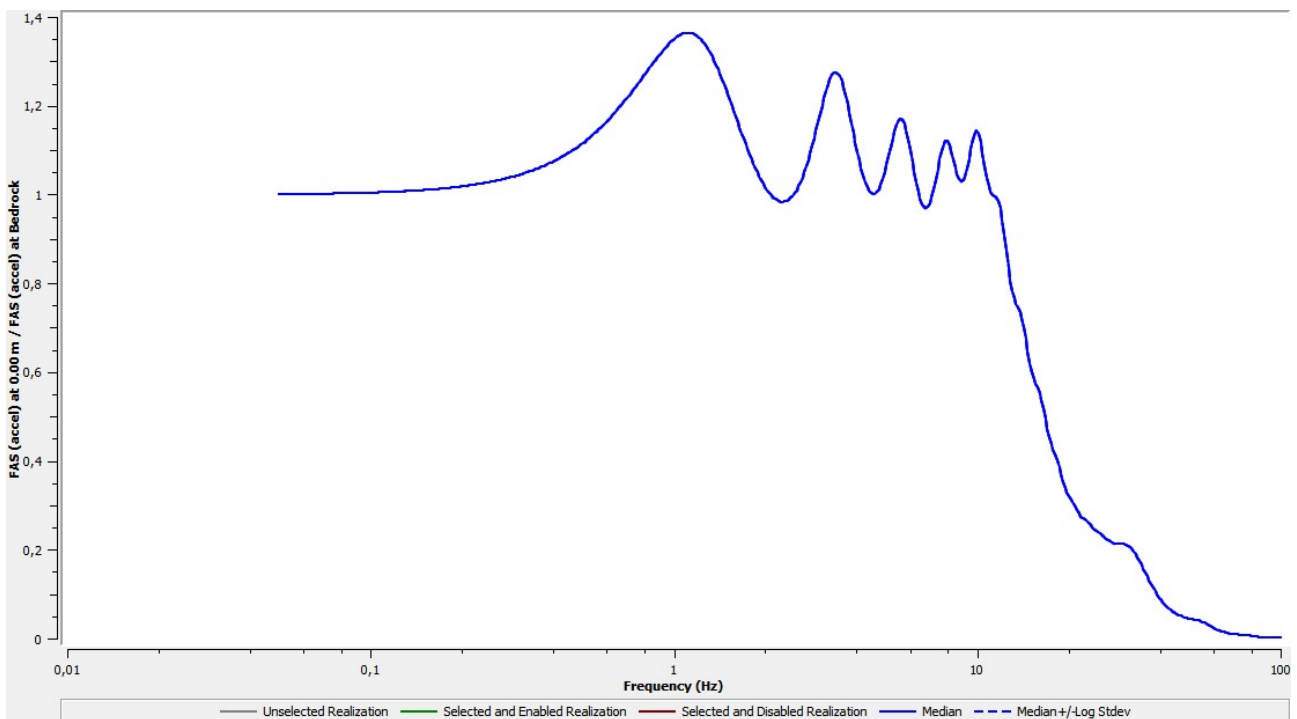


Figura 66 – MOPS2007, spessore medio. Analisi lineare elastica (LE).

Modello Lineare Equivalente (EQL)

L'analisi ultima, realizzata inserendo le opportune curve di decadimento ai terreni di copertura secondo quanto illustrato nel paragrafo precedente, hanno fornito i seguenti valori di FA.

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1,32	1,31	1,43

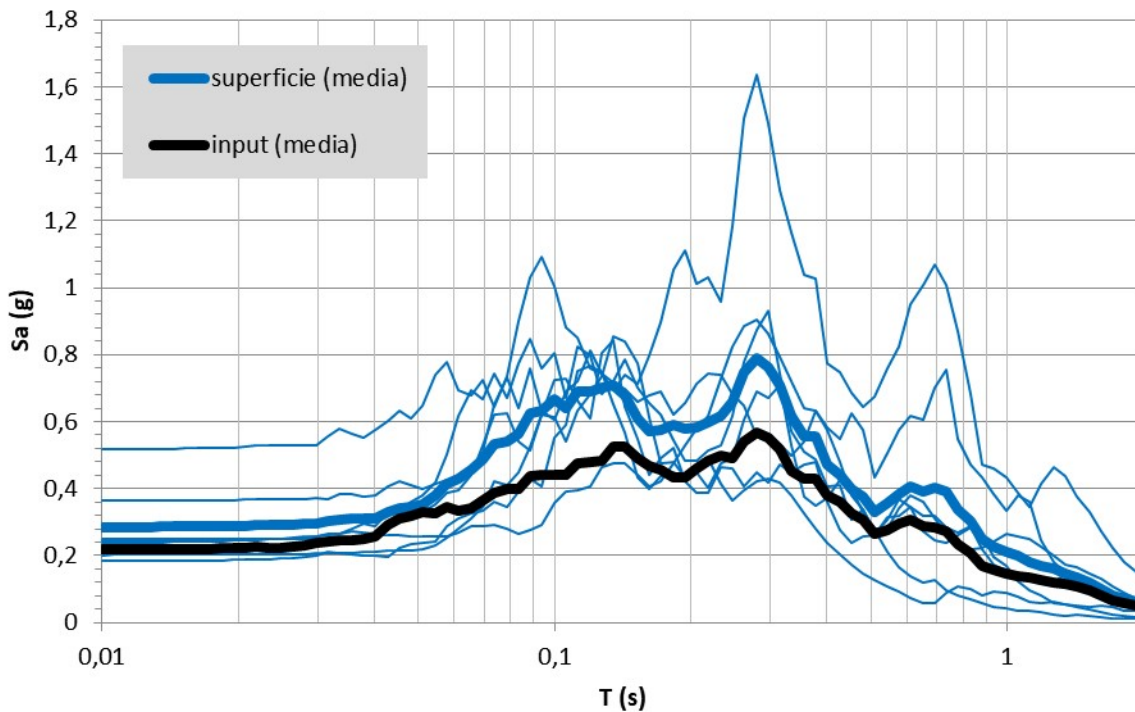


Figura 67 – MOPS2007, spessore medio. Rapporto tra gli spettri di risposta in accelerazione calcolati in superficie e al bedrock (input).

MOPS2007 (CLtf + GPca + SFALS)

SPESSORE MASSIMO (40,00 m)

Modello Lineare Elastico (LE)

Lo spessore massimo di depositi alluvionali a grana fine (CLtf) che bordano la conoide alluvionale del Rio delle Concie ad W presenta velocità, come visto, determinata dalla prova MASW realizzata ex-novo *043006L13MASW13*: i valori di Vs sono nell'intervallo di 250 – 330 m/s per l'argilla sabbiosa (CLtf). Le misure HVSr realizzate su spessori massimi di depositi CLtf mostrano la presenza di un contrasto di impedenza spostato verso frequenze intorno a 7 Hz *043006P404HVSr405* e 2,2 come ampiezza massima. La funzione di trasferimento derivata dall'analisi lineare elastica mostra picchi intorno a 6 Hz più ampi rispetto alle modellazioni precedenti ma comunque sempre inferiori a 1,4.

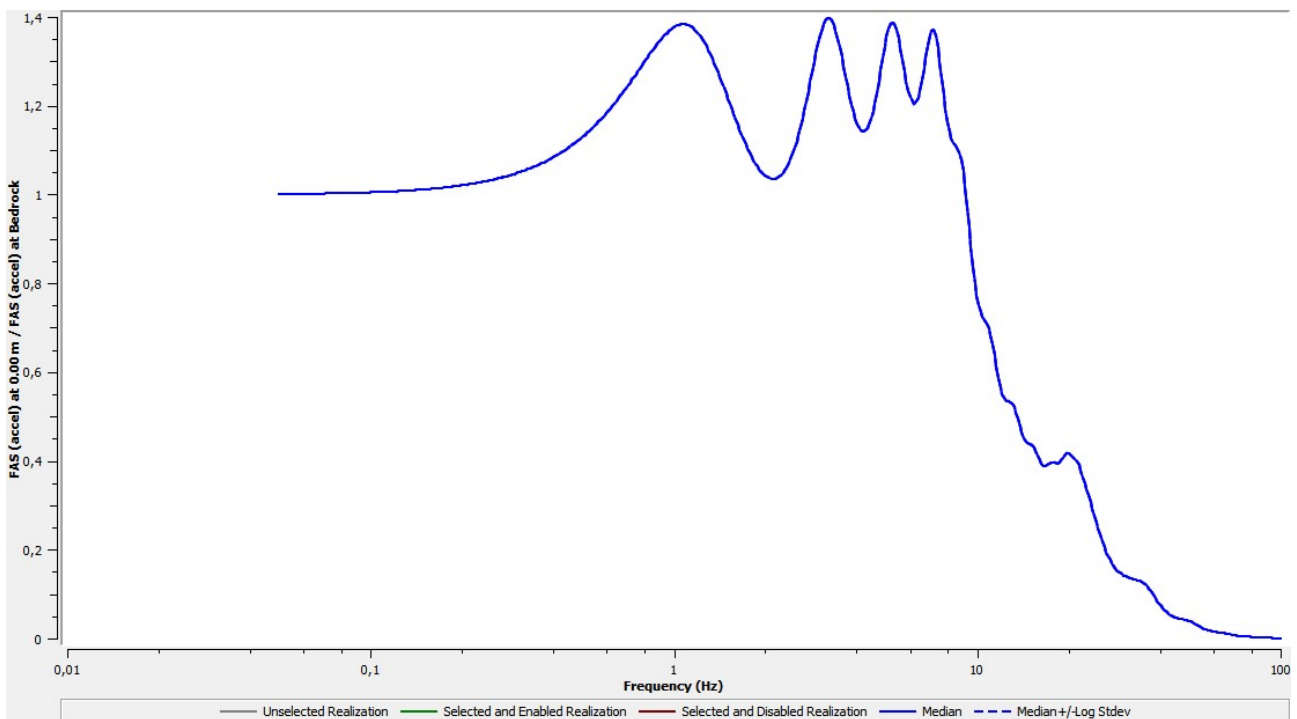


Figura 68 – MOPS2007, spessore massimo. Analisi lineare elastica (LE).

Modello Lineare Equivalente (EQL)

L'analisi ultima, realizzata inserendo le opportune curve di decadimento ai terreni di copertura secondo quanto illustrato nel paragrafo precedente, hanno fornito i seguenti valori di FA.

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1,45	1,36	1,46

In definitiva, a tutta la MOPS2007 sono stati associati i fattori FA derivati dalle modellazioni con spessore massimo della copertura, in quanto più cautelativi.

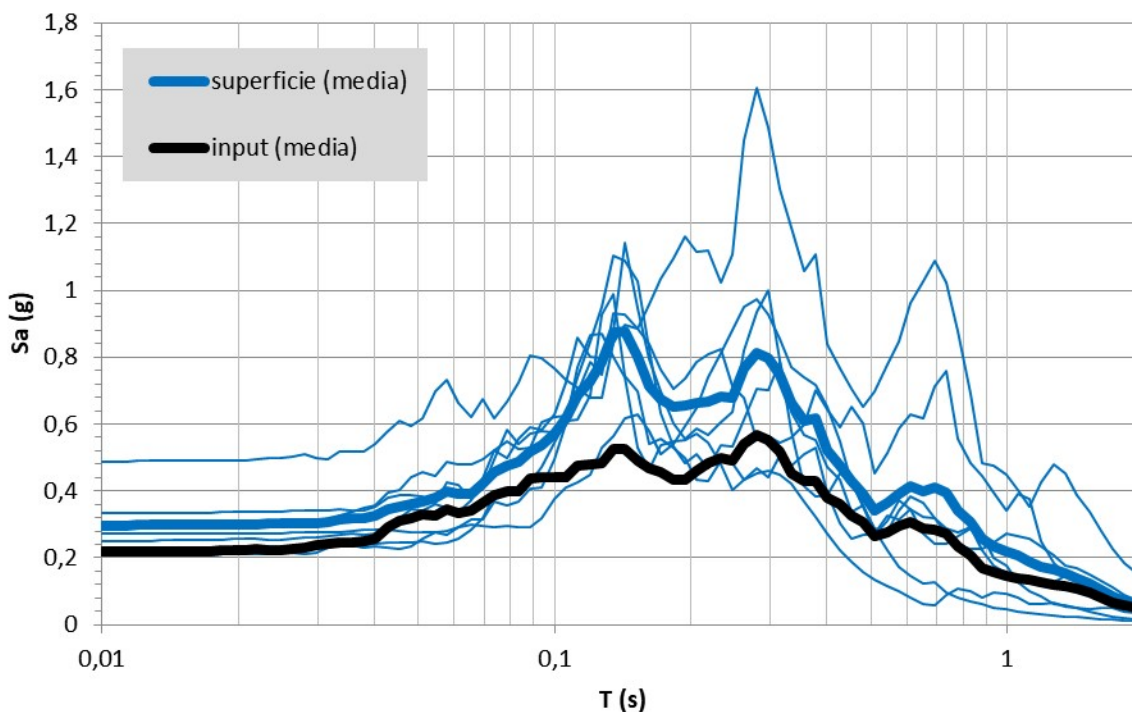


Figura 69 – MOPS2007, spessore massimo. Rapporto tra gli spettri di risposta in accelerazione calcolati in superficie e al bedrock (input).

MOPS2008 (GMtf + GPca + SFALS)

SPESSORE MINIMO (35,00 m)

Modello Lineare Elastico (LE)

Lo spessore minimo di depositi alluvionali a grana grossolana (GMtf) che bordano la conoide alluvionale del Rio delle Concie a NE presenta velocità determinata dalla prova MASW reperita *043006L2MASW2*: i valori di V_s sono nell'intervallo di 300 – 580 m/s per la ghiaia limosa (GMtf) e 500 – 670 m/s per la sottostante ghiaia (GPca). Le misure HVSR realizzate mostrano la presenza di un contrasto di impedenza compreso tra 6,251 e 7,188 Hz *043006P460HVSR463*, *043006P461HVSR464* e con la curva di ellitticità che mostra un valore di ampiezza massima pari a 2,759. La funzione di trasferimento derivata dall'analisi lineare elastica non mostra particolari picchi e ampiezza massima inferiore a 1,4.

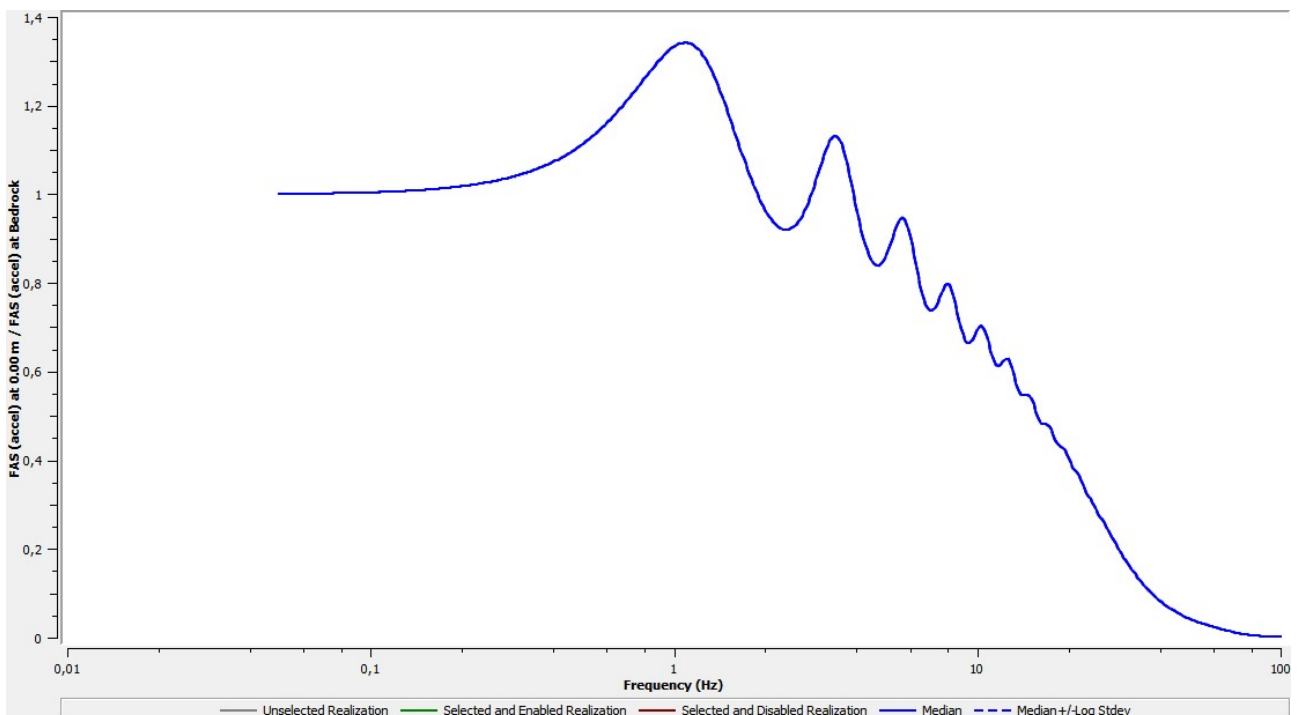


Figura 70 – MOPS2008, spessore minimo. Analisi lineare elastica (LE).

Modello Lineare Equivalente (EQL)

L'analisi ultima, realizzata inserendo le opportune curve di decadimento ai terreni di copertura secondo quanto illustrato nel paragrafo precedente, hanno fornito i seguenti valori di FA.

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1,16	1,25	1,39

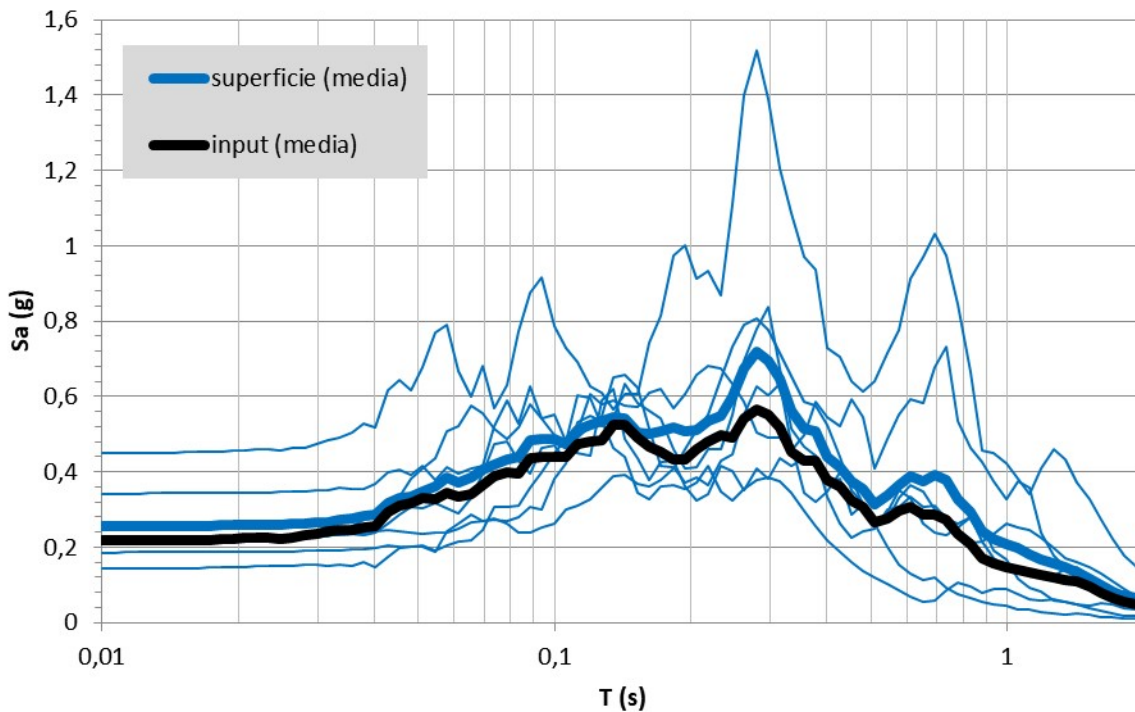


Figura 71 – MOPS2008, spessore minimo. Rapporto tra gli spettri di risposta in accelerazione calcolati in superficie e al bedrock (input).

MOPS2008 (GMtf + GPca + SFALS)

SPESSORE MEDIO (40,00 m)

Modello Lineare Elastico (LE)

Lo spessore medio di depositi alluvionali a grana grossolana (GMtf) che bordano la conoide alluvionale del Rio delle Concie a NE presenta, come già visto, velocità determinata dalla prova MASW reperita *043006L2MASW2*: i valori di V_s sono nell'intervallo di 300 – 580 m/s per la ghiaia limosa (GMtf) e 500 – 670 m/s per la sottostante ghiaia (GPca). Le misure HVSR realizzate mostrano la presenza di un contrasto di impedenza compreso tra 6,251 e 7,188 Hz *043006P460HVSR463*, *043006P461HVSR464* e con la curva di ellitticità che mostra un valore di ampiezza massima pari a 2,759. Anche qui la funzione di trasferimento derivata dall'analisi lineare elastica non mostra particolari picchi e ampiezza massima inferiore a 1,4.

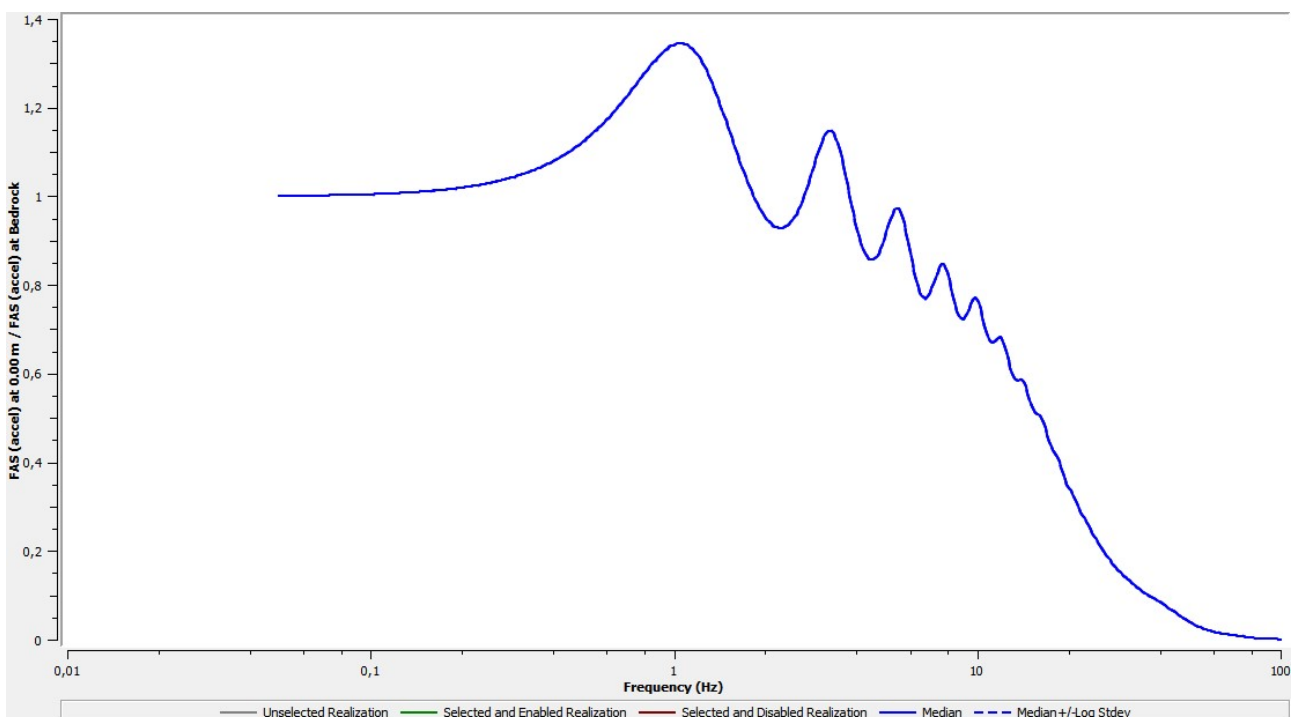


Figura 72 – MOPS2008, spessore medio. Analisi lineare elastica (LE).

Modello Lineare Equivalente (EQL)

L'analisi ultima, realizzata inserendo le opportune curve di decadimento ai terreni di copertura secondo quanto illustrato nel paragrafo precedente, hanno fornito i seguenti valori di FA.

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1,20	1,25	1,40

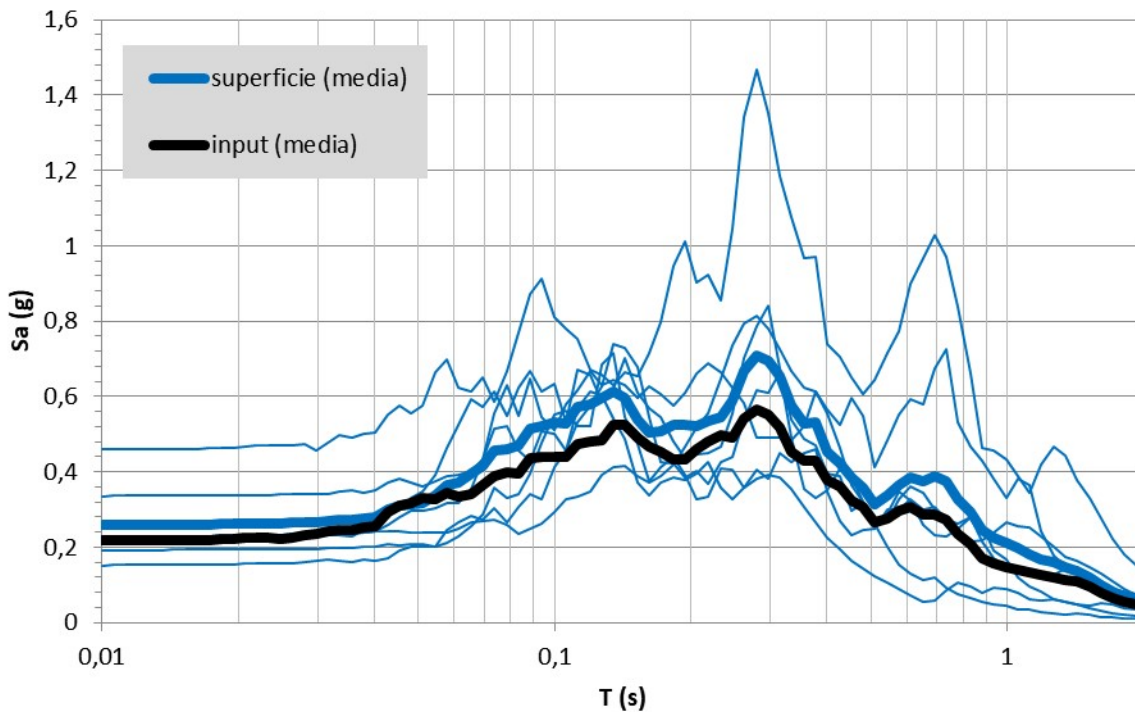


Figura 73 – MOPS2008, spessore medio. Rapporto tra gli spettri di risposta in accelerazione calcolati in superficie e al bedrock (input).

MOPS2008 (GMtf + GPca + SFALS)

SPESSORE MASSIMO (45,00 m)

Modello Lineare Elastico (LE)

Lo spessore massimo di depositi alluvionali a grana grossolana (GMtf) che bordano la conoide alluvionale del Rio delle Concie a NE presenta, come già visto, velocità determinata dalla prova MASW reperita *043006L2MASW2*: i valori di V_s sono nell'intervallo di 300 – 580 m/s per la ghiaia limosa (GMtf) e 500 – 670 m/s per la sottostante ghiaia (GPca). Le misure HVSR realizzate mostrano la presenza di un contrasto di impedenza compreso tra 6,251 e 7,188 Hz *043006P460HVSR463*, *043006P461HVSR464* e con la curva di ellitticità che mostra un valore di ampiezza massima pari a 2,759. Anche qui la funzione di trasferimento derivata dall'analisi lineare elastica non mostra particolari picchi e ampiezza massima inferiore a 1,4.

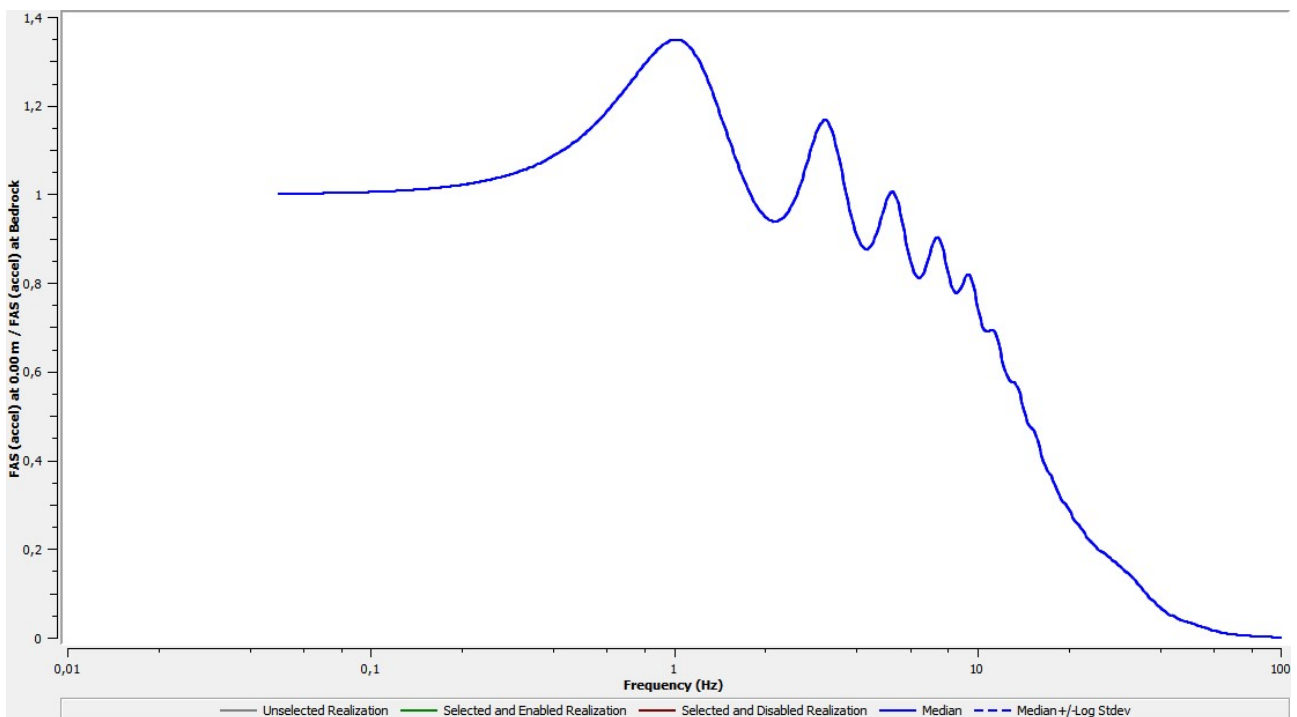


Figura 74 – MOPS2008, spessore massimo. Analisi lineare elastica (LE).

Modello Lineare Equivalente (EQL)

L'analisi ultima, realizzata inserendo le opportune curve di decadimento ai terreni di copertura secondo quanto illustrato nel paragrafo precedente, hanno fornito i seguenti valori di FA.

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1,25	1,26	1,40

In definitiva, a tutta la MOPS2008 sono stati associati i fattori FA derivati dalle modellazioni con spessore massimo della copertura, in quanto più cautelativi.

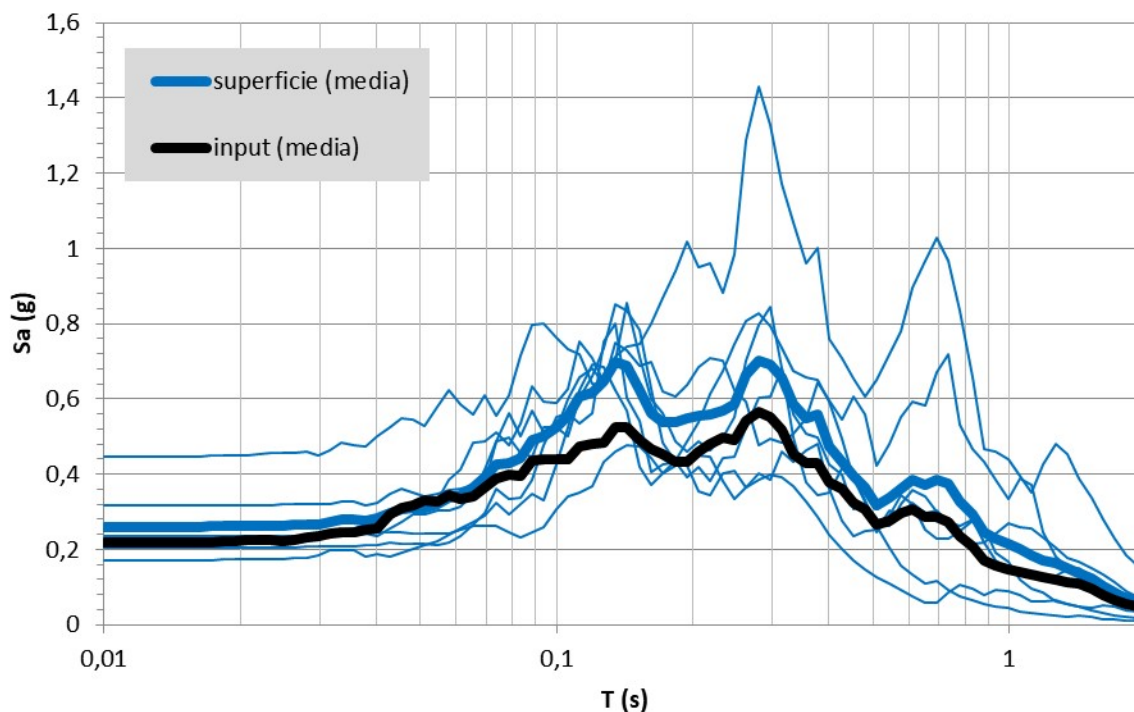


Figura 75 – MOPS2008, spessore massimo. Rapporto tra gli spettri di risposta in accelerazione calcolati in superficie e al bedrock (input).

MOPS2009 (RI + SMtf + SFALS)

SPESSORE MINIMO (34,50 m)

Modello Lineare Elastico (LE)

Lo spessore minimo di depositi alluvionali del Pleistocene medio sommitale (terrazzo 2° ordine) si ha nell'area dove sorge il Monastero di Santa Caterina ed il Cassero. Le velocità determinate dalla prova MASW effettuata nel corso degli studi di Microzonazione Sismica di Livello 3 *043006L10MASW10*, sono racchiuse nell'intervallo 150 – 190 m/s per i terreni di riporto, 160 – 200 m/s per le sabbie limose poco addensate e 200 – 300 m/s per le sabbie moderatamente addensate. Le misure HVSR realizzate mostrano la presenza di un contrasto di impedenza compreso tra 2,5 – 2,6 Hz *043006P394HVSR395*, *043006P395HVSR396* e con la curva di ellitticità che mostra un valore di ampiezza massima superiore a 3. La funzione di trasferimento derivata dall'analisi lineare elastica mostra picchi alla frequenza di 2,1 Hz con ampiezza massima superiore a 2, validando pertanto il modello geologico proposto.

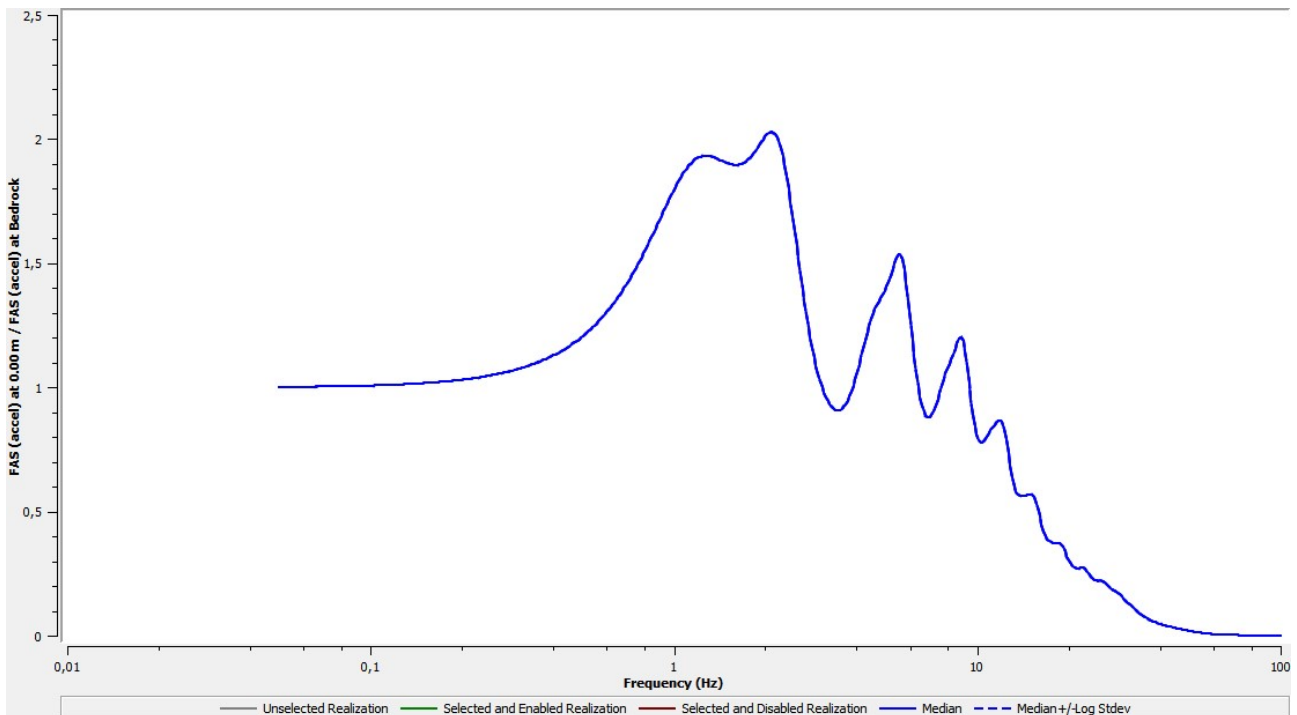


Figura 76 – MOPS2009, spessore minimo. Analisi lineare elastica (LE).

Modello Lineare Equivalente (EQL)

L'analisi ultima, realizzata inserendo le opportune curve di decadimento ai terreni di copertura secondo quanto illustrato nel paragrafo precedente, hanno fornito i seguenti valori di FA.

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1,23	1,71	2,12

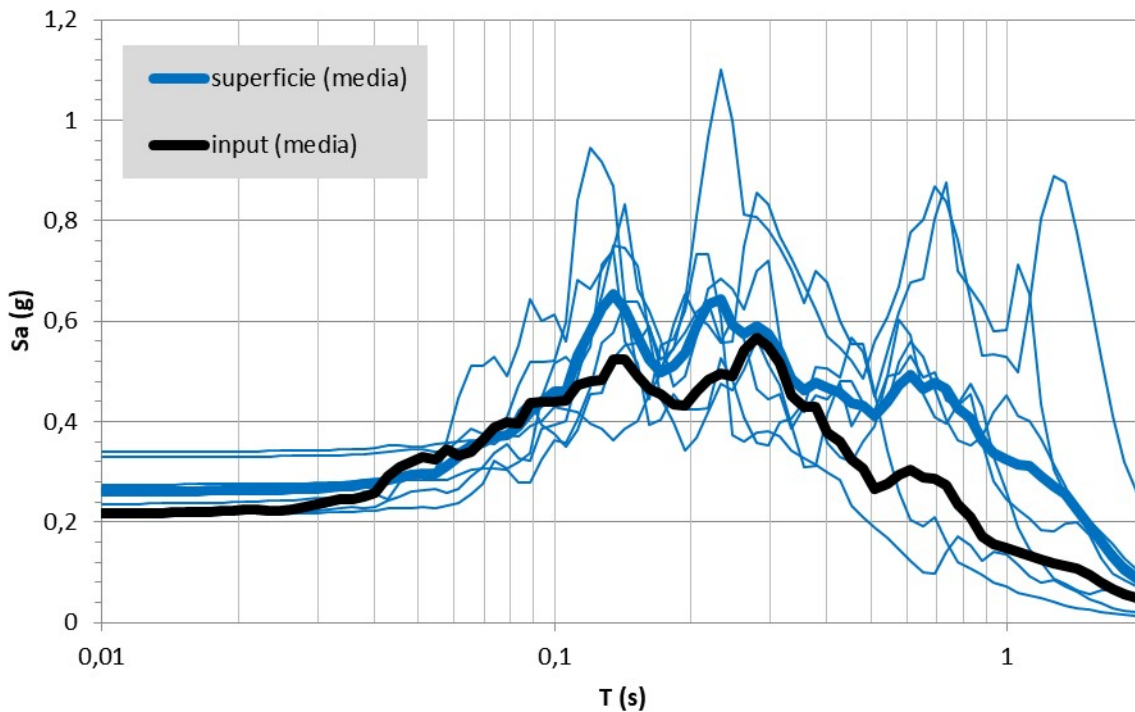


Figura 77 - MOPS2009, spessore minimo. Rapporto tra gli spettri di risposta in accelerazione calcolati in superficie e al bedrock (input).

MOPS2009 (RI + SMtf + SFALS)

SPESSORE MEDIO (39,50 m)

Modello Lineare Elastico (LE)

Lo spessore minimo di depositi alluvionali del Pleistocene medio sommitale (terrazzo 2° ordine) si ha nell'area dove sorge il Monastero di Santa Caterina ed il Cassero. Come già detto, le velocità determinate dalla prova MASW effettuata nel corso degli studi di Microzonazione Sismica di Livello 3 *043006L10MASW10*, sono racchiuse nell'intervallo 150 - 190 m/s per i terreni di riporto, 160 - 200 m/s per le sabbie limose poco addensate e 200 - 300 m/s per le sabbie moderatamente addensate. Le misure HVSR realizzate mostrano la presenza di un contrasto di impedenza compreso tra 2,5 - 2,6 Hz *043006P394HVSR395*, *043006P395HVSR396* e con la curva di ellitticità che mostra un valore di ampiezza massima superiore a 3. La funzione di trasferimento derivata dall'analisi lineare elastica mostra picchi alla frequenza di 2,1 Hz con ampiezza massima superiore a 2, validando pertanto il modello geologico proposto.

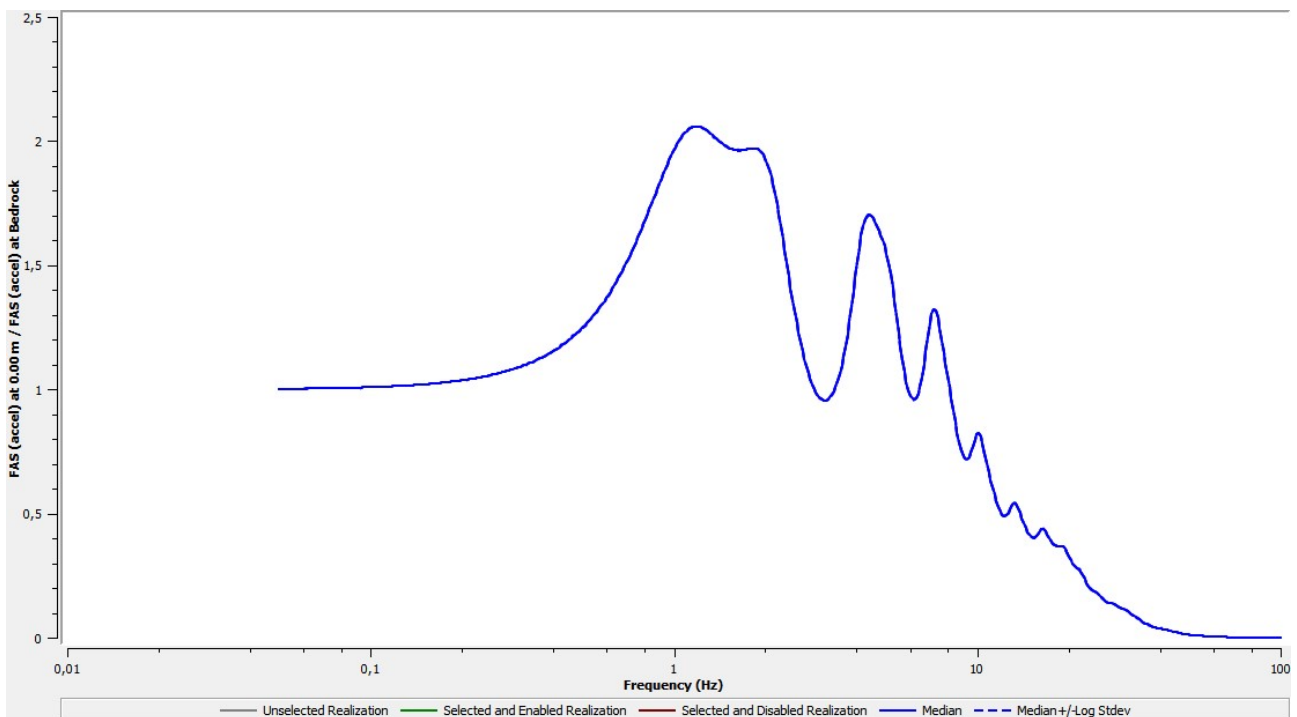


Figura 78 – MOPS2009, spessore medio. Analisi lineare elastica (LE).

Modello Lineare Equivalente (EQL)

L'analisi ultima, realizzata inserendo le opportune curve di decadimento ai terreni di copertura secondo quanto illustrato nel paragrafo precedente, hanno fornito i seguenti valori di FA.

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1,25	1,49	1,75

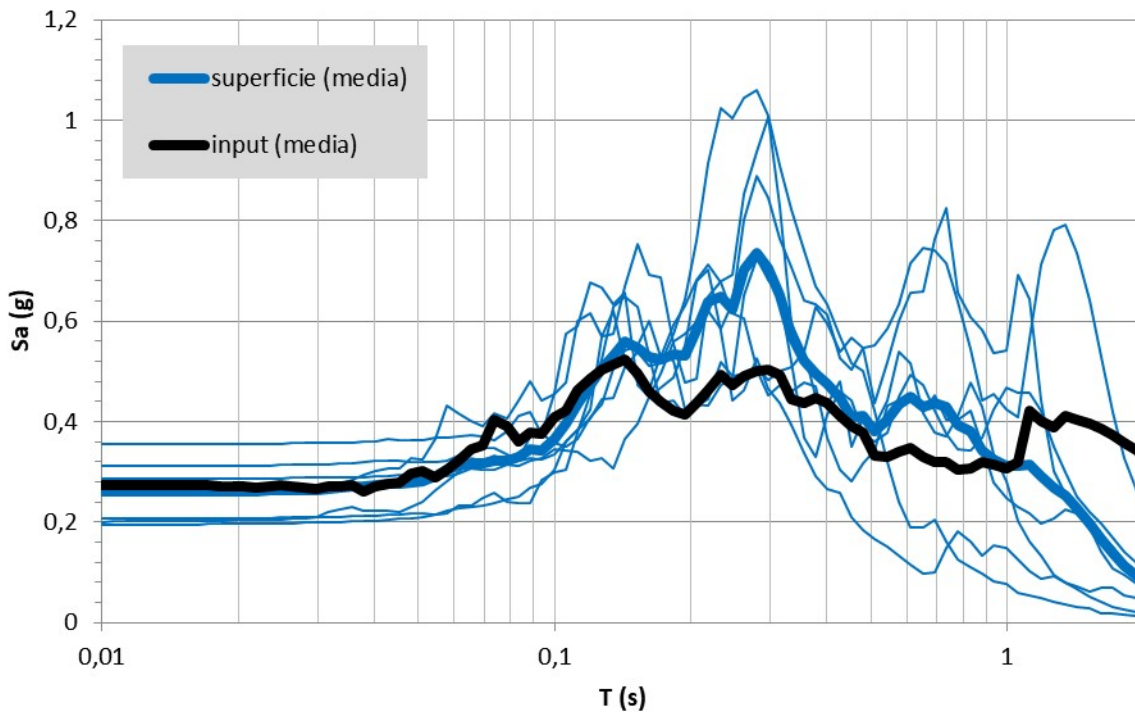


Figura 79 – MOPS2009, spessore medio. Rapporto tra gli spettri di risposta in accelerazione calcolati in superficie e al bedrock (input).

MOPS2009 (RI + SMtf + SFALS)

SPESSORE MASSIMO (44,50 m)

Modello Lineare Elastico (LE)

Lo spessore massimo di depositi alluvionali del Pleistocene medio sommitale (terrazzo 2° ordine) si ha nell'area dove sorge il Monastero di Santa Caterina ed il Cassero. Come già detto, le velocità determinate dalla prova MASW effettuata nel corso degli studi di Microzonazione Sismica di Livello 3 *043006L10MASW10*, sono racchiuse nell'intervallo 150 - 190 m/s per i terreni di riporto, 160 - 200 m/s per le sabbie limose poco addensate e 200 - 300 m/s per le sabbie moderatamente addensate. Le misure HVSR realizzate mostrano la presenza di un contrasto di impedenza compreso tra 2,5 - 2,6 Hz *043006P394HVSR395*, *043006P395HVSR396* e con la curva di ellitticità che mostra un valore di ampiezza massima superiore a 3. La funzione di trasferimento derivata dall'analisi lineare elastica mostra picchi alla frequenza di 2,1 Hz con ampiezza massima superiore a 2, validando pertanto il modello geologico proposto.

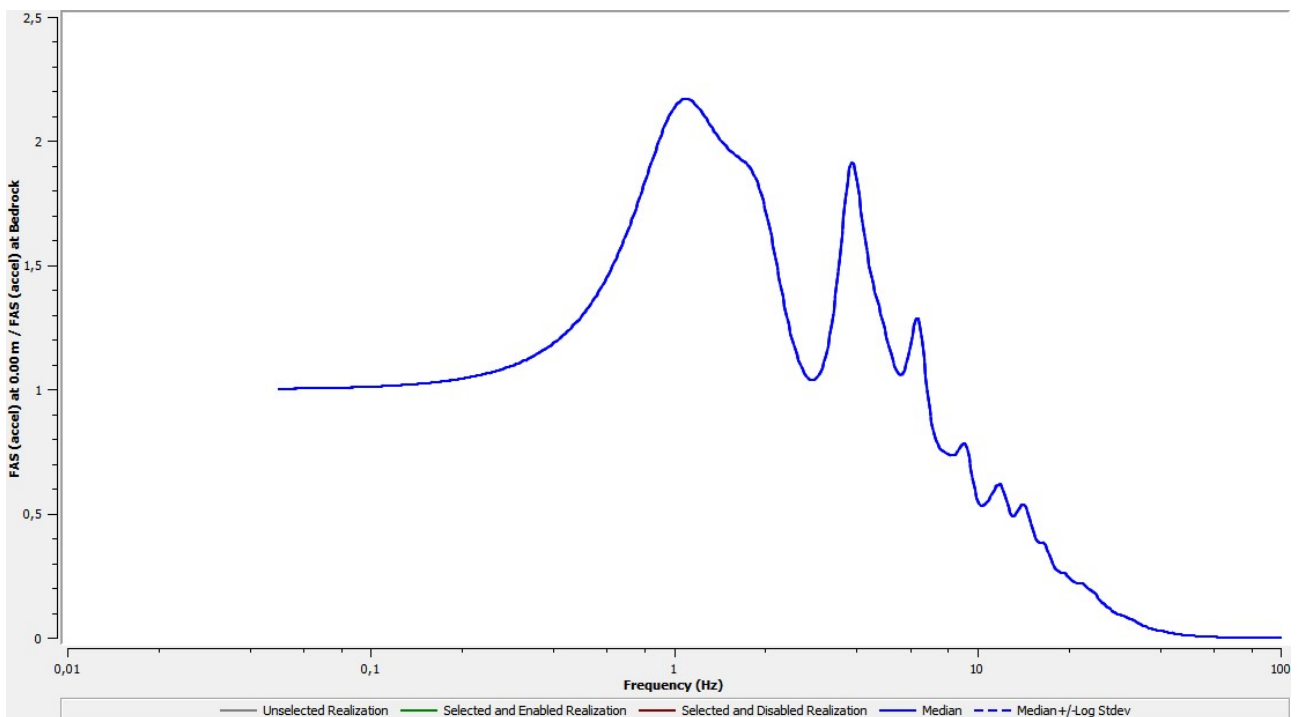


Figura 80 – MOPS2009, spessore massimo. Analisi lineare elastica (LE).

Modello Lineare Equivalente (EQL)

L'analisi ultima, realizzata inserendo le opportune curve di decadimento ai terreni di copertura secondo quanto illustrato nel paragrafo precedente, hanno fornito i seguenti valori di FA.

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1,28	1,58	2,01

In definitiva, a tutta la MOPS2009 sono stati associati i fattori FA derivati dalle modellazioni con spessore minimo della copertura, in quanto più cautelativi e più corrispondenti al modello geologico.

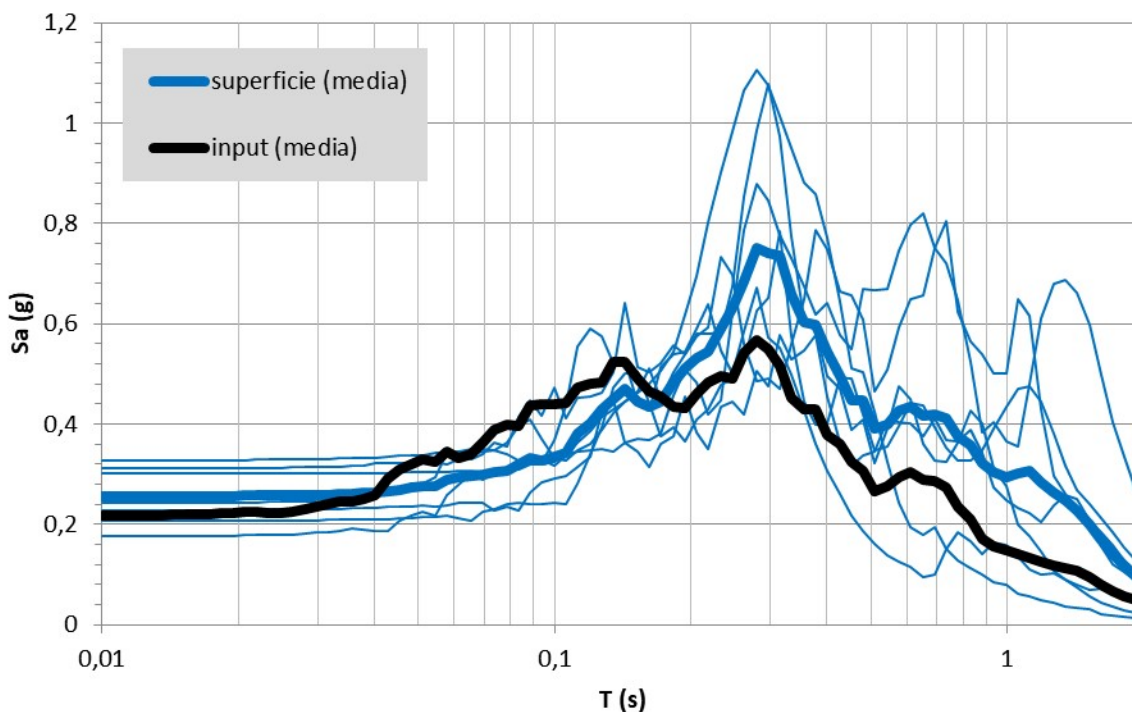


Figura 81 – MOPS2009, spessore massimo. Rapporto tra gli spettri di risposta in accelerazione calcolati in superficie e al bedrock (input).

MOPS2010 (RI + GMcz + GPca + SFALS)

SPESSORE MINIMO (16,50 m)

Modello Lineare Elastico (LE)

Lo spessore minimo di depositi di deiezione del Pleistocene superiore si ha nella parte apicale della conoide del centro storico, in corrispondenza della Chiesa dei Santi Valentino e Gregorio. Le velocità sono state determinate dalla misura in foro di tipo *Downhole* effettuata nel corso degli studi di Microzonazione Sismica di Livello 3. Hanno trovato scarso utilizzo sia le MASW che le misure HVSR effettuate nel centro storico per le ragioni ampiamente spiegate nel capitolo 6. La funzione di trasferimento derivata dall'analisi lineare elastica mostra picchi che si mantengono sotto a 1,4 di ampiezza.

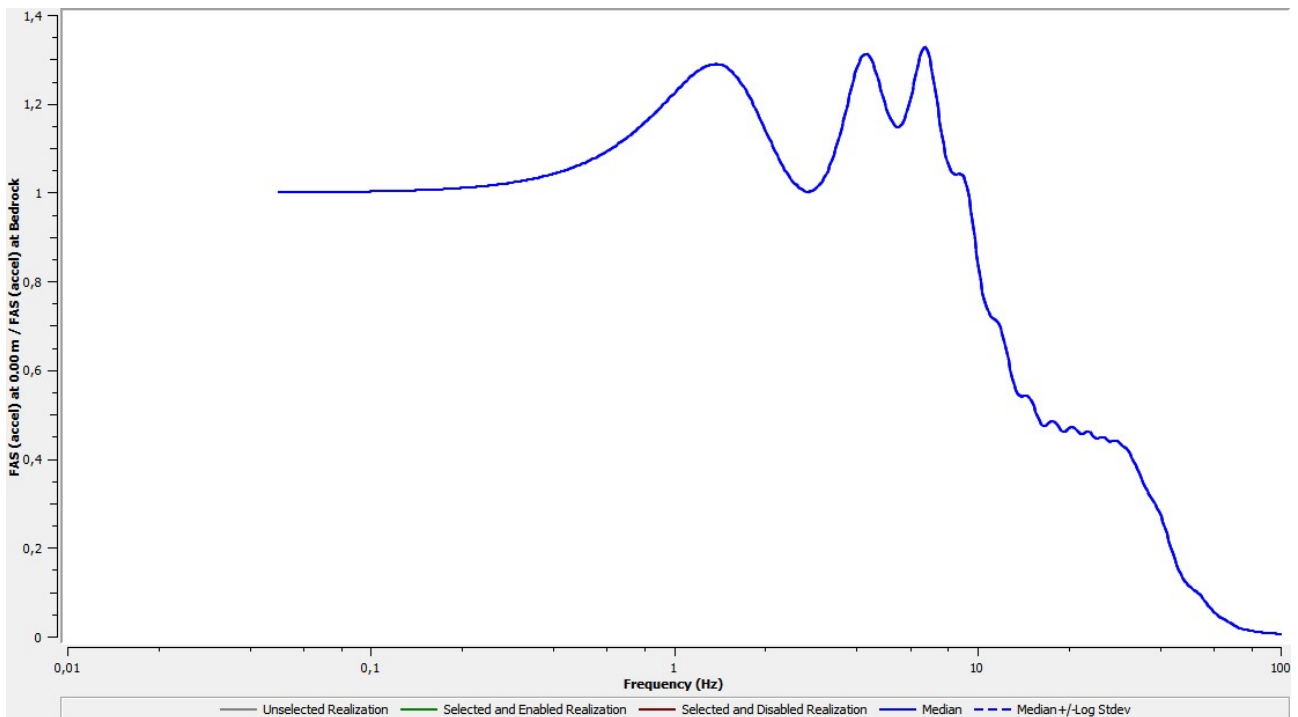


Figura 82 – MOPS2010, spessore minimo. Analisi lineare elastica (LE).

Modello Lineare Equivalente (EQL)

L'analisi ultima, realizzata inserendo le opportune curve di decadimento ai terreni di copertura secondo quanto illustrato nel paragrafo precedente, hanno fornito i seguenti valori di FA.

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1,39	1,31	1,33

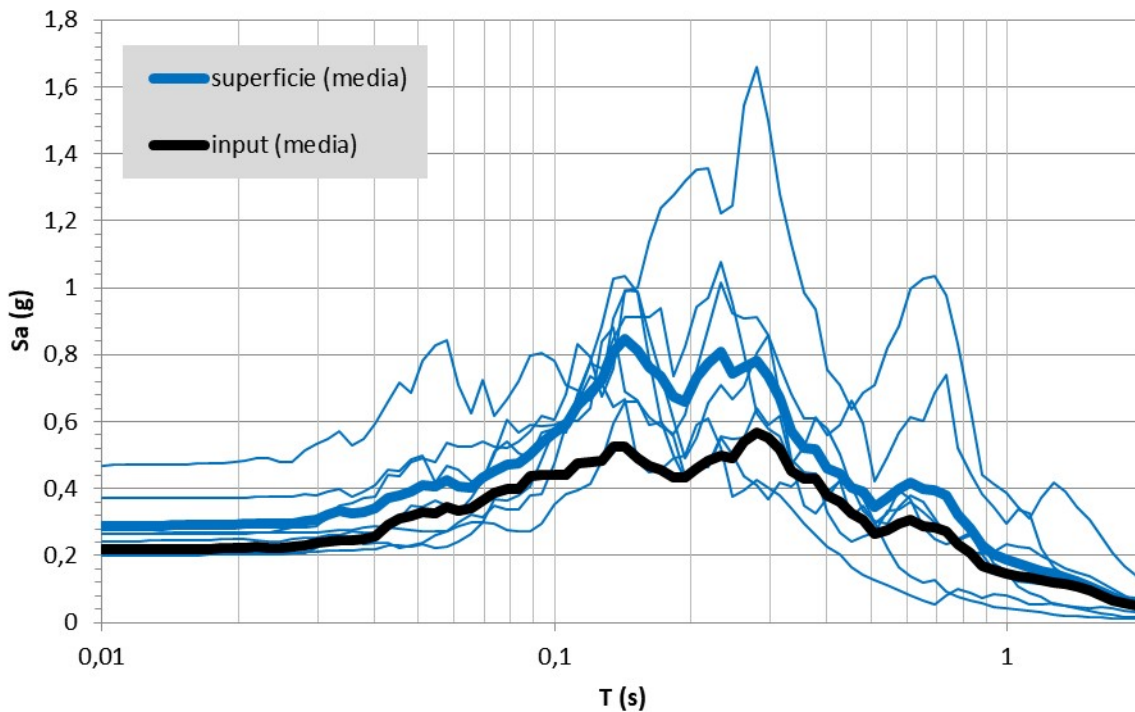


Figura 83 – MOPS2010, spessore minimo. Rapporto tra gli spettri di risposta in accelerazione calcolati in superficie e al bedrock (input).

MOPS2010 (RI + GMcz + GPca + SFALS)

SPESSORE MEDIO (24,50 m)

Modello Lineare Elastico (LE)

Lo spessore minimo di depositi di deiezione del Pleistocene superiore si ha nella parte centrale della conoide del centro storico, in corrispondenza di Piazza Cavallotti, Piazza Leopardi, Via Durante, Corso Roma e Via Portarella. Come già detto, le velocità sono state determinate dalla misura in foro di tipo *Downhole* effettuata nel corso degli studi di Microzonazione Sismica di Livello 3. Hanno trovato scarso utilizzo sia le MASW che le misure HVSR effettuate nel centro storico per le ragioni ampiamente spiegate nel capitolo 6. La funzione di trasferimento derivata dall'analisi lineare elastica mostra picchi che si mantengono sotto a 1,6 di ampiezza.

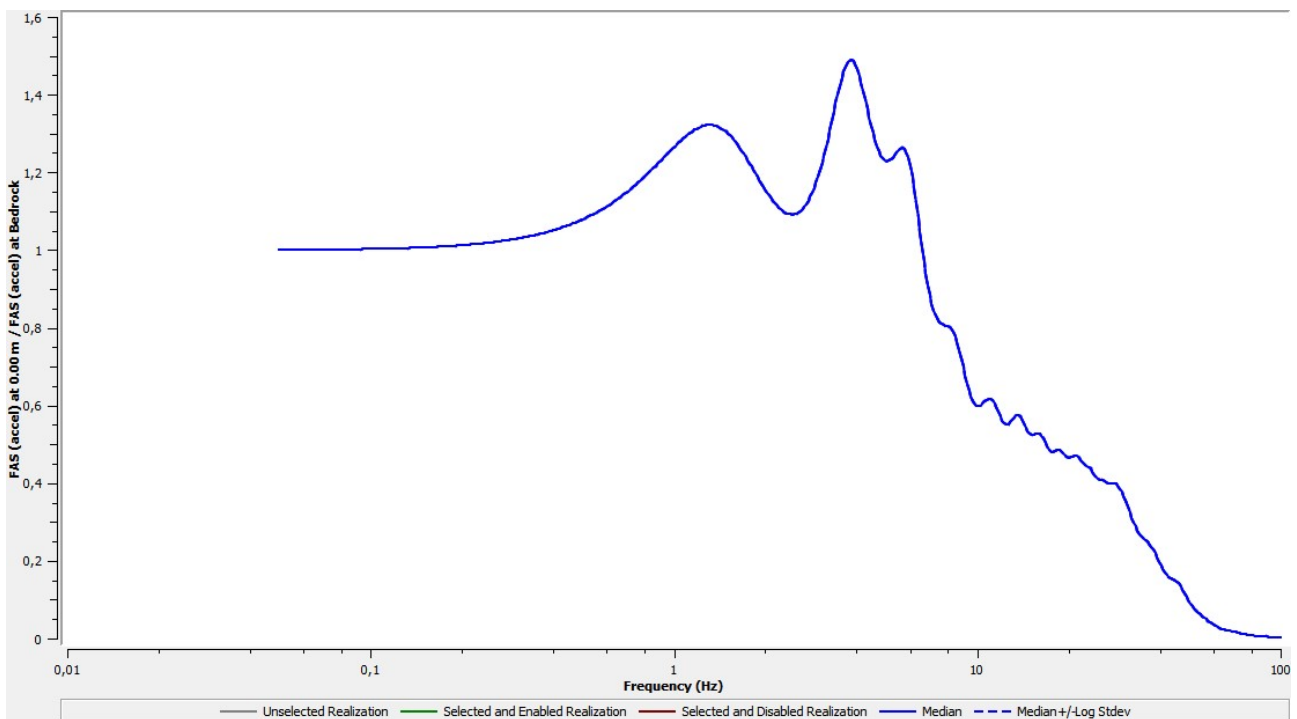


Figura 84 – MOPS2010, spessore medio. Analisi lineare elastica (LE).

Modello Lineare Equivalente (EQL)

L'analisi ultima, realizzata inserendo le opportune curve di decadimento ai terreni di copertura secondo quanto illustrato nel paragrafo precedente, hanno fornito i seguenti valori di FA.

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1,43	1,40	1,41

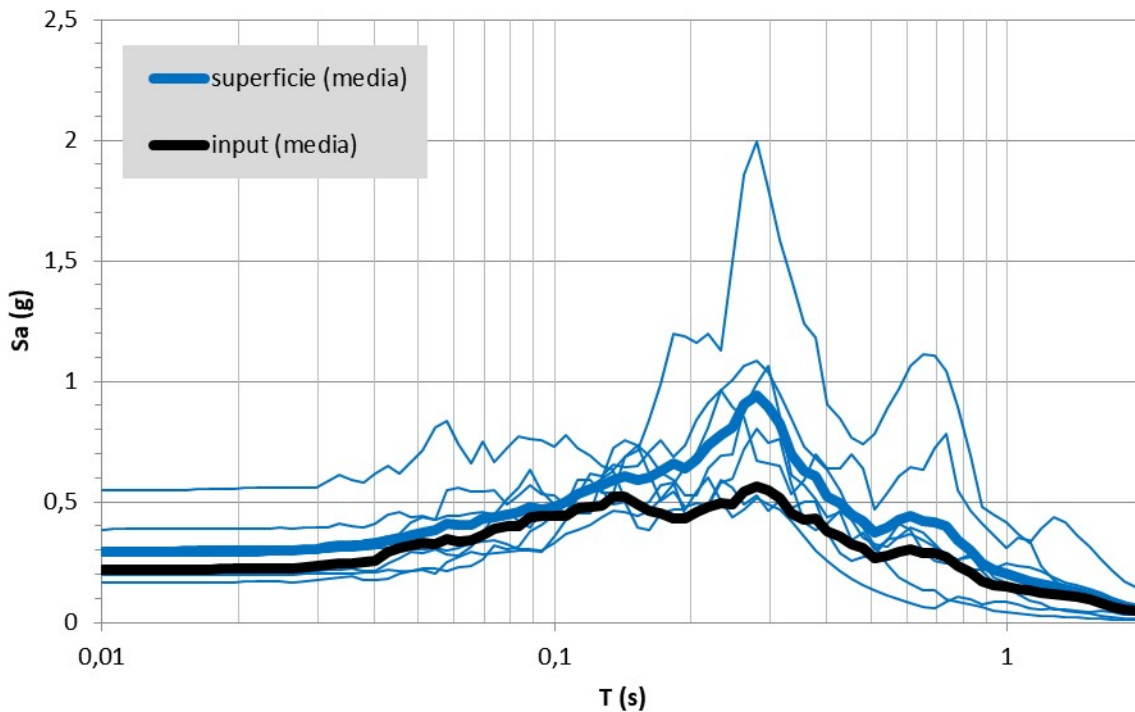


Figura 85 – MOPS2010, spessore medio. Rapporto tra gli spettri di risposta in accelerazione calcolati in superficie e al bedrock (input).

MOPS2010 (RI + GMcz + GPca + SFALS)

SPESSORE MASSIMO (28,00 m)

Modello Lineare Elastico (LE)

Lo spessore minimo di depositi di deiezione del Pleistocene superiore si ha nella parte apicale della conoide del centro storico, in corrispondenza di Piazza Vittorio Emanuele II. Il modello è stato costruito sulla verticale emersa durante il sondaggio a carotaggio continuo e le velocità attribuite secondo quanto risultato dalla misura in foro di tipo *Downhole* effettuata nel corso degli studi di Microzonazione Sismica di Livello 3. Hanno trovato scarso utilizzo sia le MASW che le misure HVSR effettuate nel centro storico per le ragioni ampiamente spiegate nel capitolo 6. Solamente la misura HVSR effettuata nei pressi del punto dove è stato fatto il sondaggio ha fornito un valore di f_0 a 3,478 Hz, compatibile con il modello geologico proposto (*043006P470HVSR473*). La funzione di trasferimento derivata dall'analisi lineare elastica mostra picchi che si mantengono sotto a 1,8 di ampiezza. Il picco massimo si ha alla frequenza di 3,597.

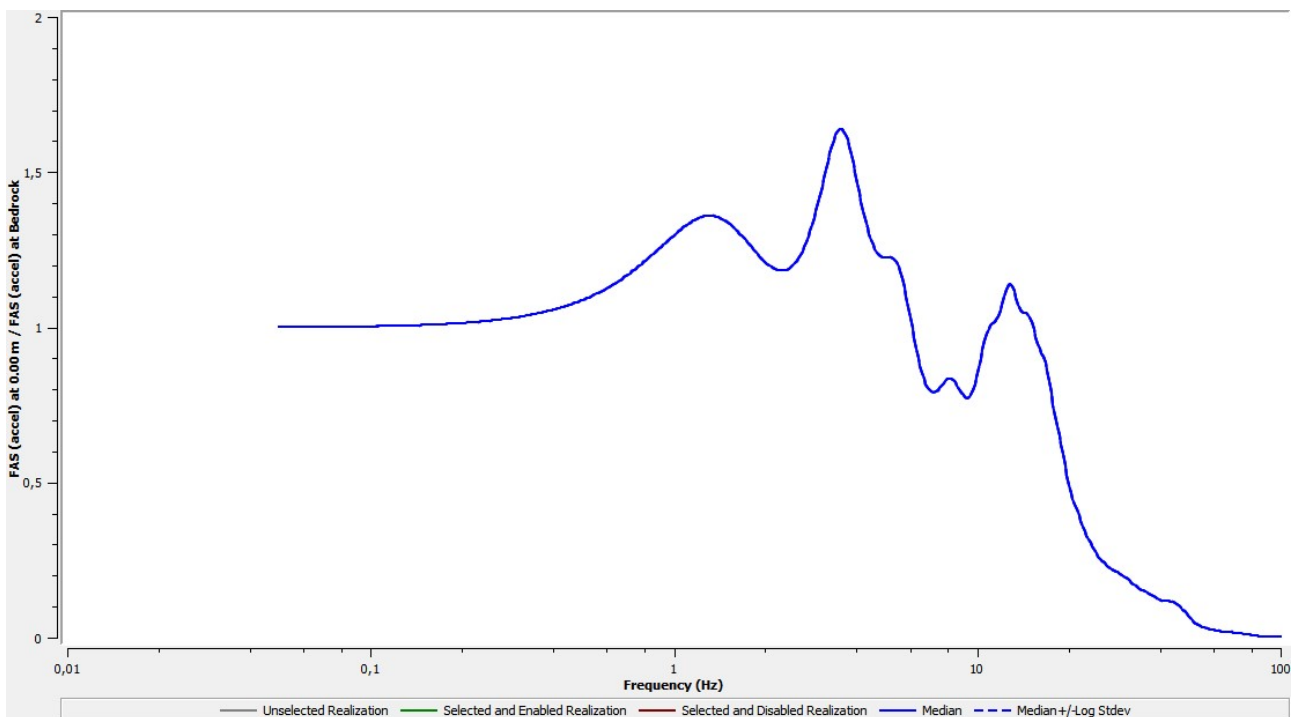


Figura 86 – MOPS2010, spessore massimo. Analisi lineare elastica (LE).

Modello Lineare Equivalente (EQL)

L'analisi ultima, realizzata inserendo le opportune curve di decadimento ai terreni di copertura secondo quanto illustrato nel paragrafo precedente, hanno fornito i seguenti valori di FA.

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1,53	1,54	1,49

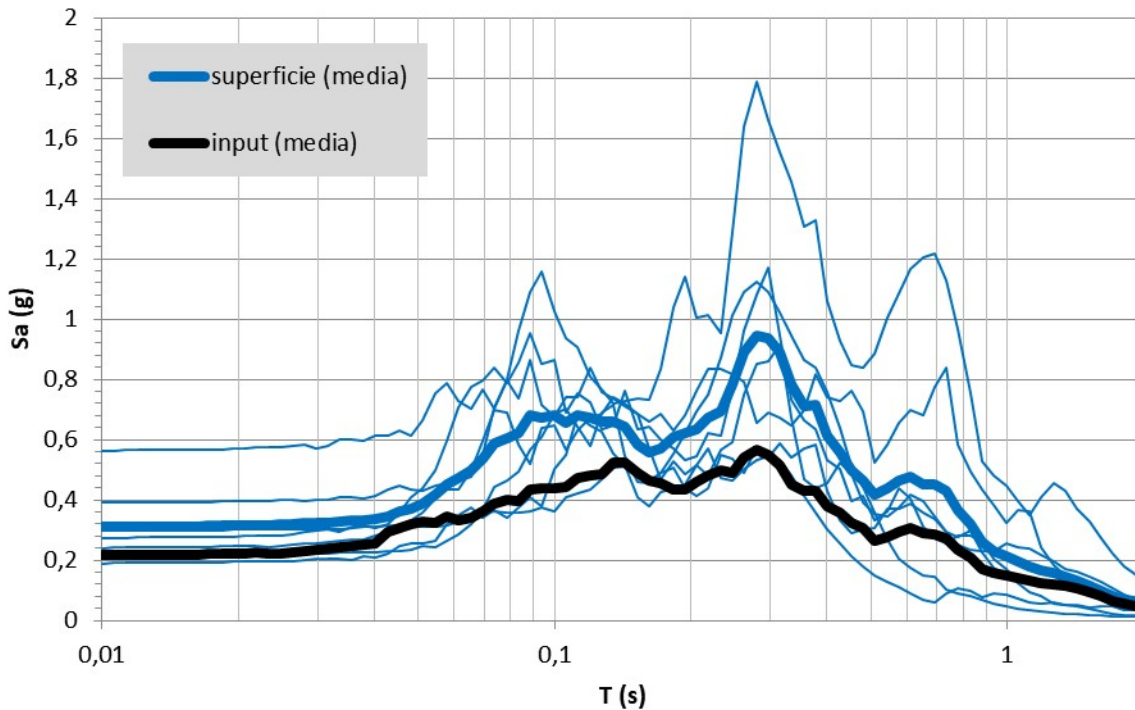


Figura 87 – MOPS2010, spessore massimo. Rapporto tra gli spettri di risposta in accelerazione calcolati in superficie e al bedrock (input).

Per quanto riguarda la modellazione 2D, effettuata dalla dott.ssa Anna Chiaradonna dell'Università degli Studi Federico II di Napoli, in supporto all'Unità Operativa Marche 2, su una sezione parallela prossima alla sezione geologico-tecnica D-D' illustrata nel paragrafo 5.2, si riporta per intero il rapporto su quanto emerso dal calcolo.

1. Modello geotecnico

Il modello geometrico del sottosuolo per le analisi di risposta sismica locale relative al comune di Caldarola è stato definito sulla base dei risultati delle indagini geofisiche (H/V, MASW e DH) e dei rilievi di campagna, specificamente effettuati per lo studio di microzonazione sismica dell'area. Questi sono stati integrati con i dati stratigrafici già disponibili, derivanti da indagini pregresse.

La profondità e l'andamento del substrato roccioso corrispondente alla formazione del flysch della Laga in facies pelitico-arenacea (SFALS_LAG1) sono stati definiti sulla base degli studi geologici e calibrati verificando la corrispondenza tra le funzioni di amplificazioni numeriche e quelle ricavate sperimentalmente sotto forma di rapporti HVSR misurati su *noise*. Nella Figura 1 è riportato uno stralcio della carta geologico-tecnica dell'area, dove è riportata la traccia della sezione SW-NE sottoposta ad analisi bidimensionale. Il profilo è invece riportato nella Figura 2.

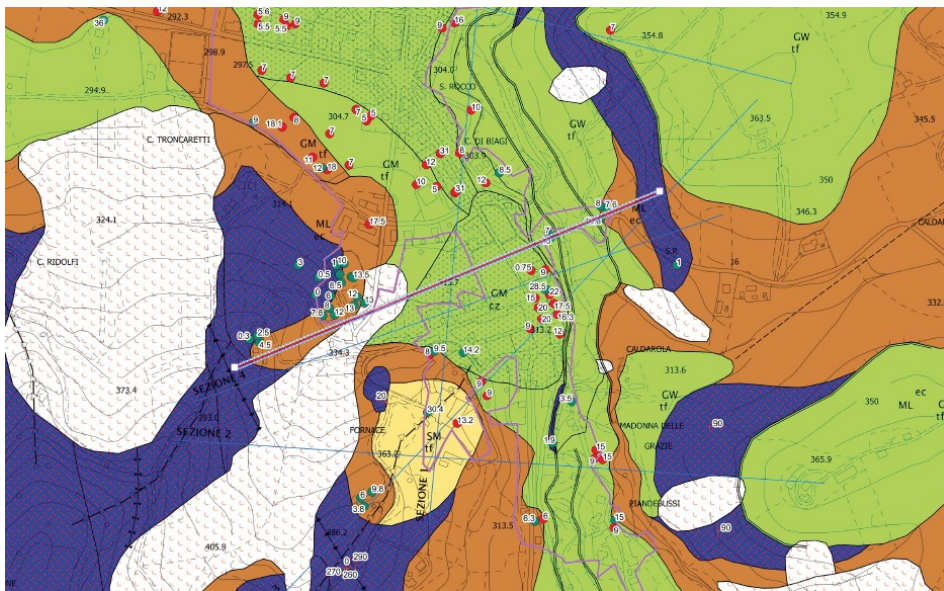
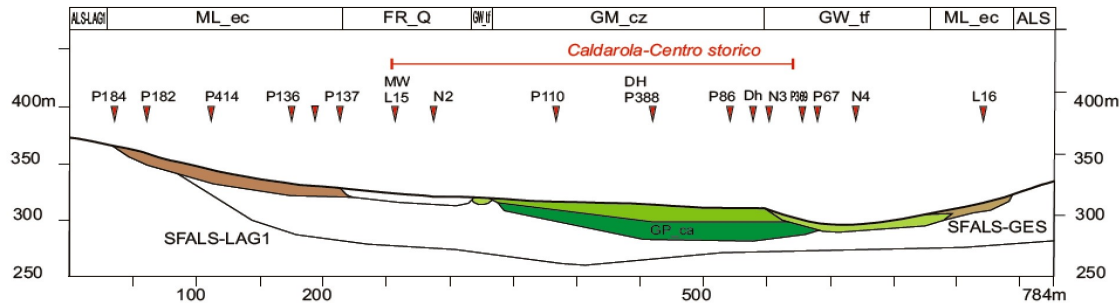


Figura 1 – Carta geologico-tecnica di Caldarola

Regione Marche – Comune di Caldarola
 MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3 DEL COMUNE DI CALDAROLA AI SENSI DELL'ORDINANZA DEL COMMISSARIO
 STRAORDINARIO N. 24 REGISTRATA IL 15 MAGGIO 2017 AL N. 1065
 Relazione Illustrativa



Terreni di copertura

- ML_ec** Depositi eluvio-colluviali, ML - ec:
Limi argillosi e sabbie fini limose. Velocità Vs da 130 a 280 m/s
- GW_tf** Depositi alluvionali:
Ghiaie pulite, miscela di ghiaie e sabbie. Velocità Vs da 300 a 400 m/s (da tabella professionista)
- GM_cz** Depositi di conoide di deiezione:
Ghiaie pulite, miscela di ghiaie e sabbie. Velocità Vs da 300 a 600 m/s (da tabella professionista)
- GP_ca** Depositi di conoide alluvionale
Ghiaie limose, miscela di ghiaie, sabbie e limo. Velocità Vs da 400 a 800 m/s da Mw1

Substrato geologico

- SFALS_GES** **Formazione Gessoso-Solfifera** -Argille bituminose nerastre e laminate a luoghi di colore bruno-rossastro. Gessi microcristallini e laminati. Spessore 40-50m (da letteratura). Velocità Vs da 400 a 550 m/s (da tabella professionista)
- SFALS_LAG1d** **Formazione Flysch della Laga** -Litofacies pelitico-arenacea: Banchi di arenaria fine o grossolane con livelli pelitici decimetrici. Velocità Vs da 400 a 550 m/s (da tabella professionista)

Figura 2 – Profilo sottoposto alle analisi numeriche

Le proprietà fisico-meccaniche dei terreni adottate nelle analisi sono sinteticamente riportate in Tabella I.

Denominazione	Litologia	interpretazione	spessori	$\gamma(kN/m^3)$	$V_s(m/s)$	ν	α	$V_p(m/s)$	$G/Go(\gamma) D(\gamma)$
Depositi eluvio-colluviali MLec	Limi argillosi e sabbie fini limose	MASW	0-10	20	205	0.39	2.35	483	Mlec (IP= 20÷36)
Frana quiescente FRQ	Limi argillosi e sabbie fini limose	MASW	0-8	20	205	0.39	2.35	424	Mlec (IP= 20÷36)
Depositi alluvionali GWtf	Ghiaie pulite, miscela di ghiaie e sabbie	MASW	0-10	19.5	300	0.46	3.81	1142	GWtf
Depositi di conoide di deiezione GMcz	Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla	DH	0-15	19.5	478	0.46	3.81	1820	GMfd
Depositi di conoide alluvionale GPca	Ghiaie limose, miscela di ghiaie, sabbie e limo	DH	15-27	19.5	370	0.47	4.53	1675	GPtf
			27-32		523	0.48	4.76	2491	
Formazione Gessoso-Solfifera SFALS-GES	Argille bituminose nerastre e laminate. Gessi microcristallini e laminati	DH	0-40	20.5	621	0.47	4.41	2741	ALS
Formazione Flysch della Laga SFALS-LAG1	Banchi di arenaria fine o grossolane con livelli pelitici decimetrici	MASW	0-100	23	400	0.47	4.41	1766	ALS

Dott. Geol. Mauro Cataldi



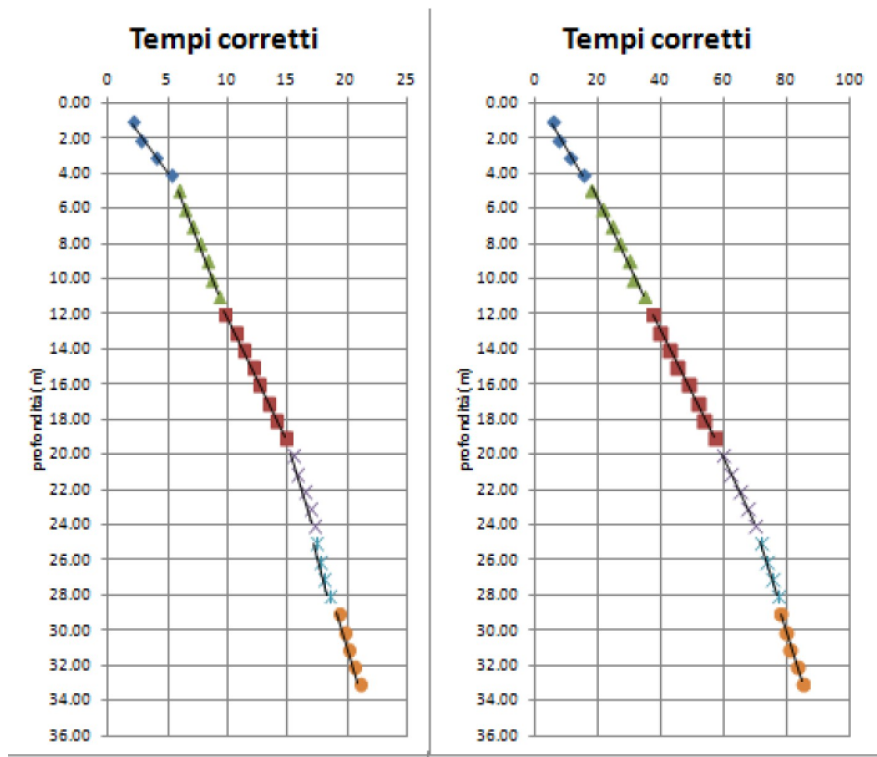
Bedrock SFALS-LAG1		-	-	23	800	0.47	4.41	3531	-
-----------------------	--	---	---	----	-----	------	------	------	---

Tabella I – Proprietà fisiche e meccaniche dei terreni

Poiché i metodi numerici di analisi utilizzati nel presente studio fanno riferimento al tradizionale approccio di legame costitutivo visco-elastico lineare equivalente, il comportamento di ciascun materiale è stato espresso attraverso il peso dell'unità di volume (γ), le velocità delle onde di taglio e di compressione (V_s , V_p), e le curve di variazione di rigidezza e smorzamento con la deformazione al taglio, $G(\gamma)/G_0$ e $D(\gamma)$.

Le velocità delle onde S sono state determinate a partire dai risultati delle prove MASW e dall'unica prova DH disponibile. Questa è stata interpretata in termini di dromocrone associate alla colonna stratigrafica del sondaggio (Figura 3), fornendo i valori medi di V_p e V_s da attribuire alle singole formazioni ai diversi campi di profondità.

Ad ogni unità litologica, sono stati anche attribuiti valori dei coefficienti α ($=V_p/V_s$) e di Poisson ν^1 relativi ai diversi campi di profondità esplorati con la prova DH. Questi parametri sono stati poi utilizzati per le analisi di risposta sismica eseguite con modelli bidimensionali.



¹ Dalla teoria dell'elasticità $\nu = (0.5\alpha^2 - 1) / (\alpha^2 - 1)$

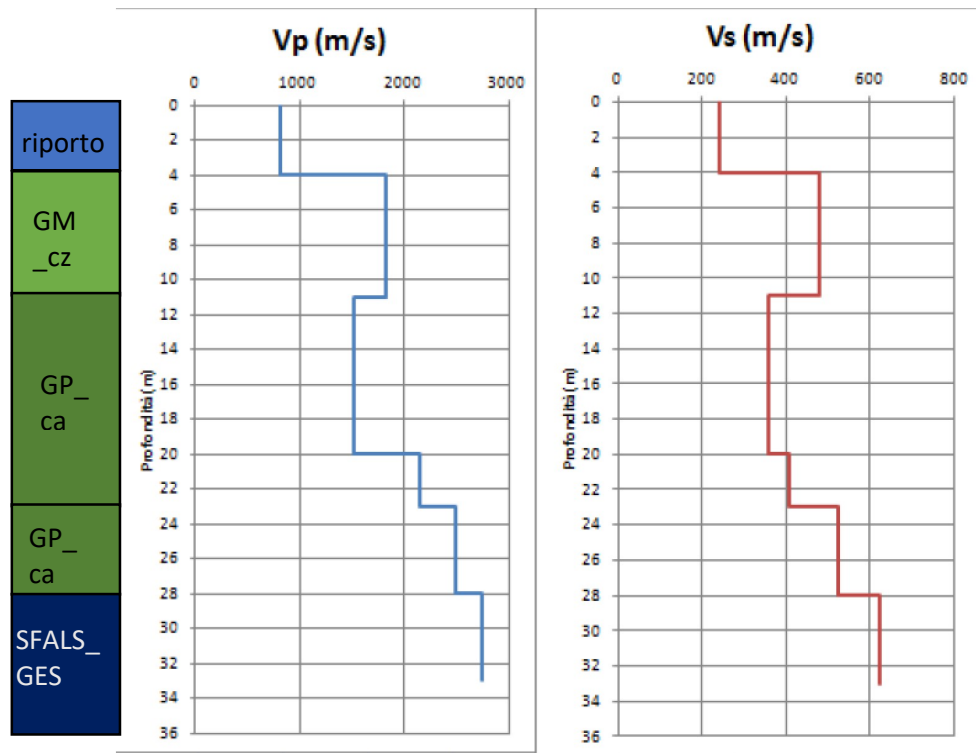


Figura 3 – Risultati prova DH: a) dromocroni; b) profilo Vp e Vs.

I profili di V_s delle diverse formazioni adottate nei modelli di calcolo sono riassunti e confrontati in figura 4. In figura 5 sono invece presentate le curve di variazione di rigidità al taglio normalizzata e fattore di smorzamento con la deformazione tangenziale, adottate per le analisi. Entrambe le figure evidenziano la notevole variabilità sia della rigidità sia del comportamento non-lineare e dissipativo dei diversi materiali.

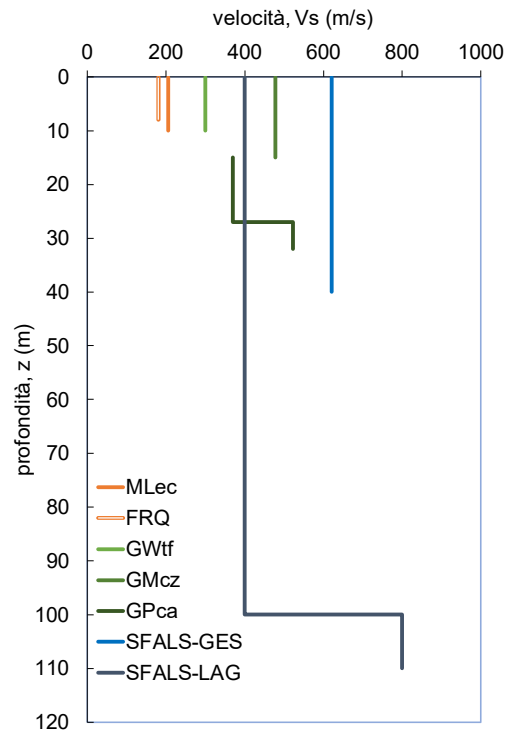


Figura 4 – Modello di velocità

Il valore medio di velocità delle onde S dei depositi eluvio-colluviali limo argillosi (MLec), desunto dai risultati della prova MASW L16, è pari a circa 205 m/s. A tali depositi, costituiti da limi Argillosi di origine colluviale sono state attribuite curve di non-linearità di rigidezza e smorzamento ottenute applicando il modello di Ramberg & Osgood a un insieme di dati sperimentali misurati su campioni prelevati negli stessi depositi in altri comuni della macroarea Marche2. La frana negli stessi depositi è stata caratterizzata con lo stesso valore di velocità di 205 m/s.

Il DH ha consentito di caratterizzare le velocità delle ghiaie di conoide di deiezione GMcz cui è stata attribuita una velocità di 478 m/s e nonché quella delle ghiaie di conoide alluvionale GPca, caratterizzata da un primo strato d circa 10 m con velocità di 370 m/s seguito da uno strato decisamente più rigido con velocità di 523 m/s. A entrambe le ghiaie sono state attribuite curve di non linearità desunte dalla letteratura; le prime (GMcz) sono state caratterizzate con le curve di non linearità fornite da Stokoe et al. (2004) mentre le ghiaie alluvionali sono state caratterizzate attraverso le curve determinate da Rollins (1998) su angular gravel.

Le ghiaie del terrazzo fluviale GWtf sono state caratterizzate grazie al risultato dalla MASWL5 che attribuisce a tale formazione una velocità di 300m/s. A queste sono state attribuite le curve di non linearità desunte da Kokusho et al. (1981). Il risultato della DH ha altresì consentito di attribuire la velocità della formazione gessoso solfifera pari a 621 m/s mentre per la formazione della Laga il valore di velocità di 400m/s è stato desunto da risultati di MASW non intercettati dalla sezione esaminata. A tutte le formazioni appartenenti al substrato geologico è stata attribuita un'unica curva di non linearità ottenuta dai risultati di una prova di torsione ciclica su un campione prelevato nelle stesse formazioni nel comune di Massa Fermana.

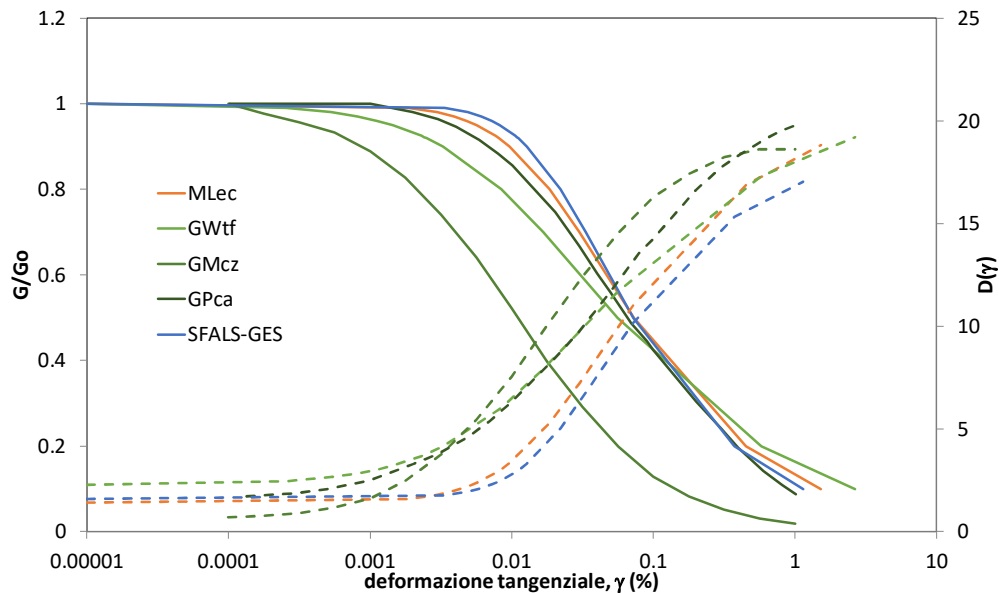


Figura 5 – Curve del decadimento del modulo di taglio e dell'andamento del fattore di smorzamento con il livello di deformazione

Infine il *bedrock*, corrispondente in quest'area alla formazione del flysch della Laga è stato modellato come materiale a comportamento lineare con V_s pari a 800m/s e valore molto limitato del fattore di smorzamento ($D_0= 0.5\%$).

2. Analisi numeriche

Di seguito si riportano i risultati delle analisi numeriche bidimensionali condotte utilizzando il codice QUAD4M (Hudson et al., 2003). Gli input adottati nelle analisi sono stati forniti dal Centro di Microzonazione.

L'analisi numerica bidimensionale per il centro abitato di Caldarola ha riguardato la sezione orientata in direzione NW-SE che attraversa le MOPS 2099, 2003, ZAfr, 2005 e 2010 (Figura 6).

L'edificato di Caldarola interessa buona parte della sezione considerata, con il centro storico che sorge sui depositi di conoide e sui depositi alluvionali, mentre case sparse poggiano essenzialmente sui depositi eluvio colluviali poggianti sul substrato. Il substrato geologico affiora a nord-ovest dell'edificato nella formazione flysch della Laga, mentre a sud-est si ritrova la formazione gessoso-solfifera.

Le Figura 7, Figura 8 e Figura 9 riportano con linea nera i fattori di amplificazione medi ottenuti dall'analisi, rispettivamente nei campi di periodo 0.1-0.5s ($FA_{0.1-0.5s}$), 0.4-0.8s ($FA_{0.4-0.8s}$) e 0.7-1.1s ($FA_{0.7-1.1s}$) con l'involuppo dei loro valori massimi e minimi (linea nera tratteggiata). La linea rossa indica il valore del fattore di amplificazione medio calcolato per ciascuna delle MOPS attraversate dalla sezione, i cui valori numerici sono riportati in Tabella II.

L'elaborazione dei risultati delle analisi ha evidenziato un diverso andamento del fattore di amplificazione, FA, in funzione del campo di periodi considerato. Nell'intervallo di periodi compreso tra 0.1 ÷ 0.5 s si osservano i valori più alti del fattore di amplificazione medio variabili tra 1 e 2, mentre una minore amplificazione è associata ai medi ed agli alti periodi.

Regione Marche – Comune di Caldarola
 MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3 DEL COMUNE DI CALDAROLA AI SENSI DELL'ORDINANZA DEL COMMISSARIO
 STRAORDINARIO N. 24 REGISTRATA IL 15 MAGGIO 2017 AL N. 1065
 Relazione Illustrativa

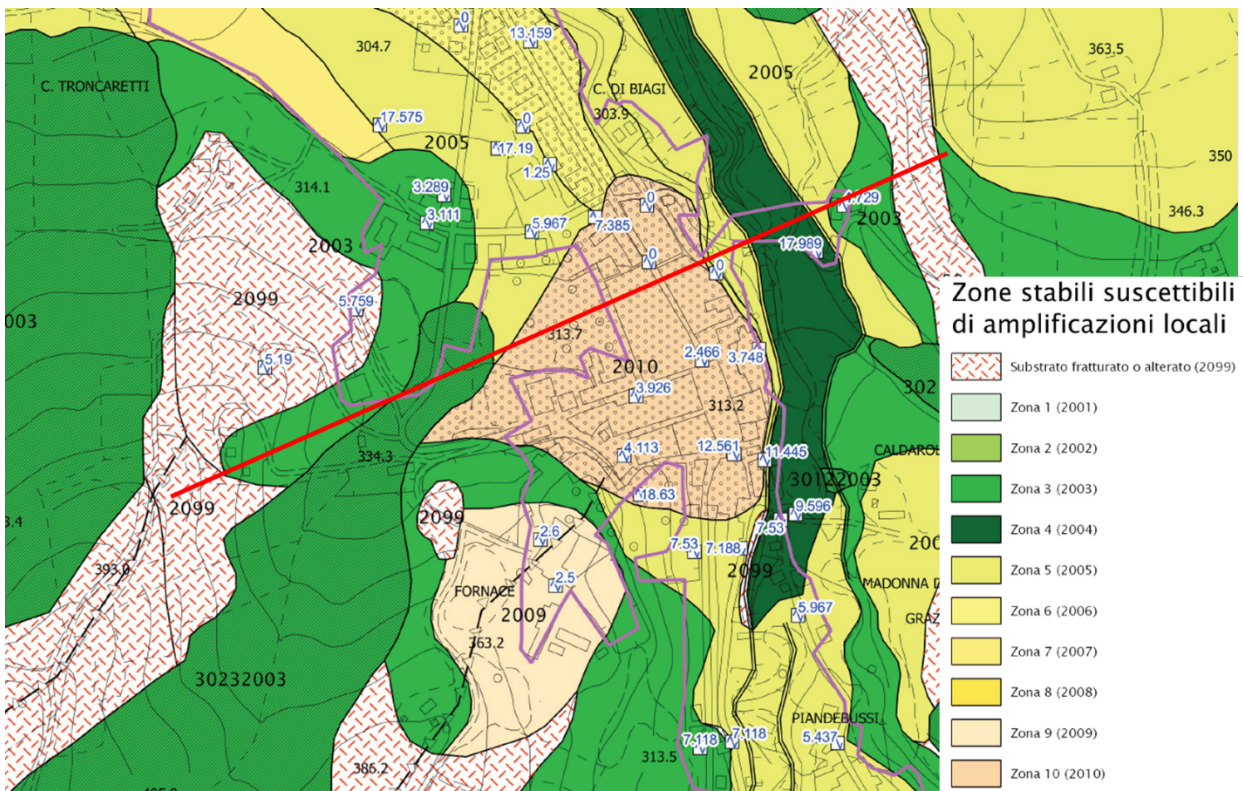


Figura 6 – Traccia della sezione considerata nelle analisi bidimensionali sovrapposta alla carta delle MOPS

Nel dettaglio, in corrispondenza dell'affioramento del substrato (SFALS-LAG1) si osserva un valore pressoché costante del fattore di amplificazione medio $FA_{0.1-0.5s}$ pari a 1.19 tra la progressiva 300 e 334 m. In prossimità dell'inizio della valle, laddove la coltre eluvio-colluviale (MLec) ricopre le formazioni più rigide (SFALS-GES e SFALS-LAG1), il fattore di amplificazione attinge il massimo con una variabilità compresa tra 1.2 e 2. Tale risposta si evince anche per la zona di attenzione per instabilità di versante (FRQ) tra la progressiva 520 e 620 m. Una riduzione significativa del fattore di amplificazione si osserva in corrispondenza del sottile deposito alluvionale (GWtf) su substrato tra la progressiva 620 e 631 m. In corrispondenza di un maggiore approfondimento del tetto del substrato (SFALS-GES), il fattore $FA_{0.1-0.5s}$ assume un andamento mediamente crescente e poi leggermente decrescente tra 1.12 e 1.7 dalla progressiva 631 a 850 m. Il fattore di amplificazione manifesta una riduzione al piede del versante tra la progressiva 850 e 880 in virtù anche del ridotto spessore di materiale deformabile (GWtf). Un picco locale di amplificazione, pari a 1.8, si evince infine alla progressiva 1012 m in presenza della coltre eluvio-colluviale (MLec).

Regione Marche – Comune di Caldarola
 MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3 DEL COMUNE DI CALDAROLA AI SENSI DELL'ORDINANZA DEL COMMISSARIO
 STRAORDINARIO N. 24 REGISTRATA IL 15 MAGGIO 2017 AL N. 1065
 Relazione Illustrativa

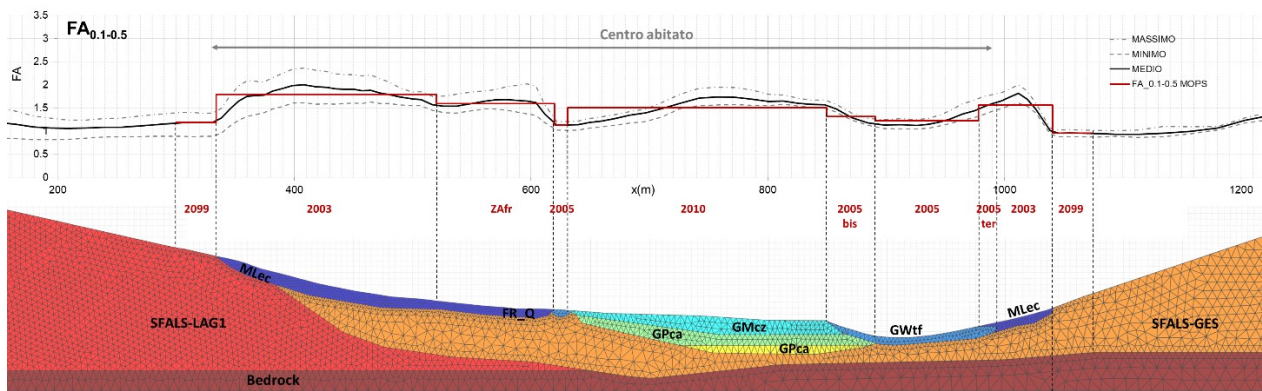


Figura 7 – Profilo del fattore di amplificazione nell'intervallo di periodi 0.1 ÷ 0.5 s

Nell'intervallo di periodi compreso tra 0.4 e 0.8 s, il fattore di amplificazione $FA_{0.4-0.8s}$ attinge un picco locale di 1.87 alla progressiva 408 m in corrispondenza della coltre eluvio-colluviale, mentre all'interno della valle si evidenziano valori del fattore $FA_{0.4-0.8s}$ sempre maggiori dell'unità, compresi tra 1 e 1.62. Infine, all'estremità SE della sezione si osserva una deamplificazione del moto alla base con un fattore minore dell'unità al piede del versante.

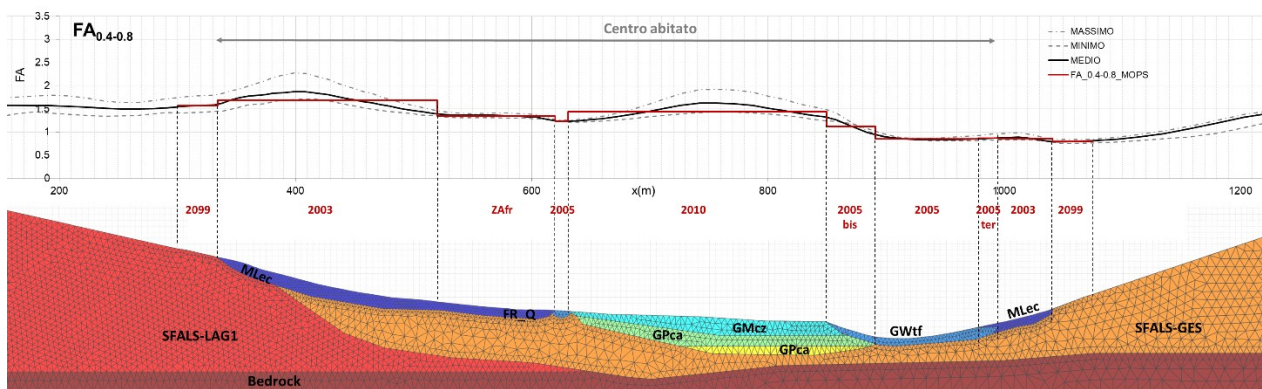


Figura 8 – Profilo del fattore di amplificazione nell'intervallo di periodi 0.4 ÷ 0.8 s

Nell'intervallo di periodi compreso tra 0.7 e 1.1 s, il fattore di amplificazione $FA_{0.7-1.1s}$ segue lo stesso andamento del fattore calcolato sul campo dei medi periodi $FA_{0.4-0.8s}$, sebbene si osserva una minore oscillazione del fattore medio rispetto all'unità, contenuta nell'intervallo tra 1.5 e 0.8.

Regione Marche – Comune di Caldarola
 MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3 DEL COMUNE DI CALDAROLA AI SENSI DELL'ORDINANZA DEL COMMISSARIO
 STRAORDINARIO N. 24 REGISTRATA IL 15 MAGGIO 2017 AL N. 1065
 Relazione Illustrativa

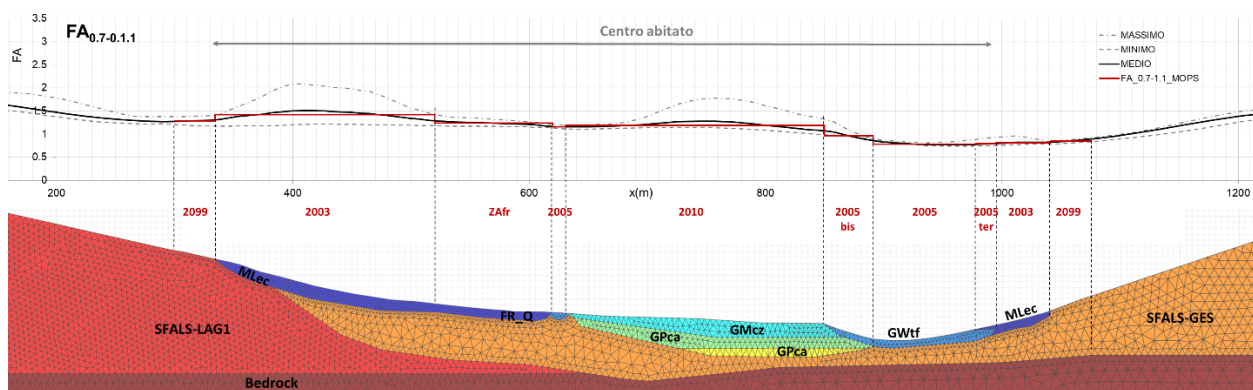


Figura 9 – Profilo del fattore di amplificazione nell'intervallo di periodi 0.7 ÷ 1.1 s

3. Sintesi dei fattori di amplificazione e spettri calcolati per ciascuna MOPS

In Tabella II sono riportati i fattori di amplificazione calcolati per ciascuna MOPS per i tre campi di periodo considerati. I valori corrispondono alla media degli FA per ogni MOPS ottenuti dalle analisi bidimensionali per le MOPS 2099, 2003, ZAfr, 2005 e 2010. Laddove la sezione attraversa più volte la stessa MOPS, si è fatto riferimento al valore massimo attinto.

MOPS	FA _{0.1-0.5s}	FA _{0.4-0.8s}	FA _{0.7-1.1s}
2099	1.19	1.57	1.29
2003	1.79	1.69	1.42
ZAfr	1.59	1.35	1.24
2010	1.50	1.44	1.19
2005	1.23	0.85	0.79
2005bis	1.32	1.13	0.97
2005ter	1.56	0.86	0.79

Tabella II – Fattori di amplificazione attribuiti a ciascuna MOPS

In relazione alle analisi bidimensionali, i 7 accelerogrammi in superficie e i corrispondenti spettri di risposta elastici in accelerazione da assegnare a ciascuna MOPS sono stati ottenuti individuando la verticale, all'interno della porzione di sezione competente alla medesima MOPS, caratterizzata dal fattore di amplificazione FA_{0.1-0.5s} più prossimo al valore medio (Figura 7).

I 7 accelerogrammi e relativi spettri di risposta in accelerazione assegnati a ciascuna MOPS sono allegati alla presente relazione in un apposito file Excel "MOPS_ACC_SPETTRI_CALDAROLA".

4. Riferimenti bibliografici

Hudson M., Idriss I.M., Beikae M. (2003). User's Manual for QUAD4M. Center for Geotechnical Modeling. University of California, Davis.

7.2. Zone instabili

7.2.1. Faglie attive e capaci (FAC)

In accordo con quanto stabilito negli ICMS (Gruppo di lavoro MS, 2008), è considerata attiva una faglia che si è attivata almeno una volta negli ultimi 40.000 anni (parte alta del Pleistocene superiore–Olocene), ed è considerata capace una faglia attiva che raggiunge la superficie topografica, producendo una frattura/dislocazione del terreno. Questa definizione si riferisce al piano di rottura principale della faglia (piano su cui avviene la maggiore dislocazione).

Per quanto riguarda la porzione di territorio studiata nel corso della Microzonazione Sismica di Livello 3, non è stata rilevata sul terreno la presenza di eventuali faglie capaci.

7.2.2. Liquefazioni (LQ)

Con il termine “liquefazione” si indicano vari fenomeni fisici (liquefazione in campo libero, mobilità ciclica, fluidificazione), osservati nei depositi e nei pendii sabbiosi saturi durante i terremoti forti ($M_w \geq 5$), che hanno come elemento comune, per effetto dell’instaurarsi di condizioni non drenate, un incremento e un accumulo delle pressioni interstiziali che può provocare una drastica caduta della resistenza al taglio e quindi una perdita di capacità portante del terreno.

Nel sottosuolo si sviluppano fenomeni di liquefazione in presenza delle seguenti 3 condizioni (si riprendono, modificandole in parte, le indicazioni di AGI, 2005 e NTC, 2008):

C1. nella successione litologica sono presenti orizzonti di terreni non coesivi saturi (limi sabbiosi, sabbie, sabbie limose, sabbie ghiaiose, sabbie argillose e ghiaie sabbiose) ad una profondità inferiore a 20m dal p.c. Se si hanno dati disponibili è possibile rilevare più analiticamente la presenza nella successione litologica di orizzonti di terreni non coesivi con particelle di diametro compreso nei fusi granulometrici della figura seguente;

C2. La falda acquifera deve essere ad una profondità media stagionale inferiore a 15 m dal p.c.;

C3. gli eventi sismici attesi al sito devono essere caratterizzati da valori magnitudo $M_w \geq 5$ ($I_{rif} \geq VII$) e da un’accelerazione in superficie di riferimento $a_{max} \geq 0,1 g$ ($IMCS \geq VII$).

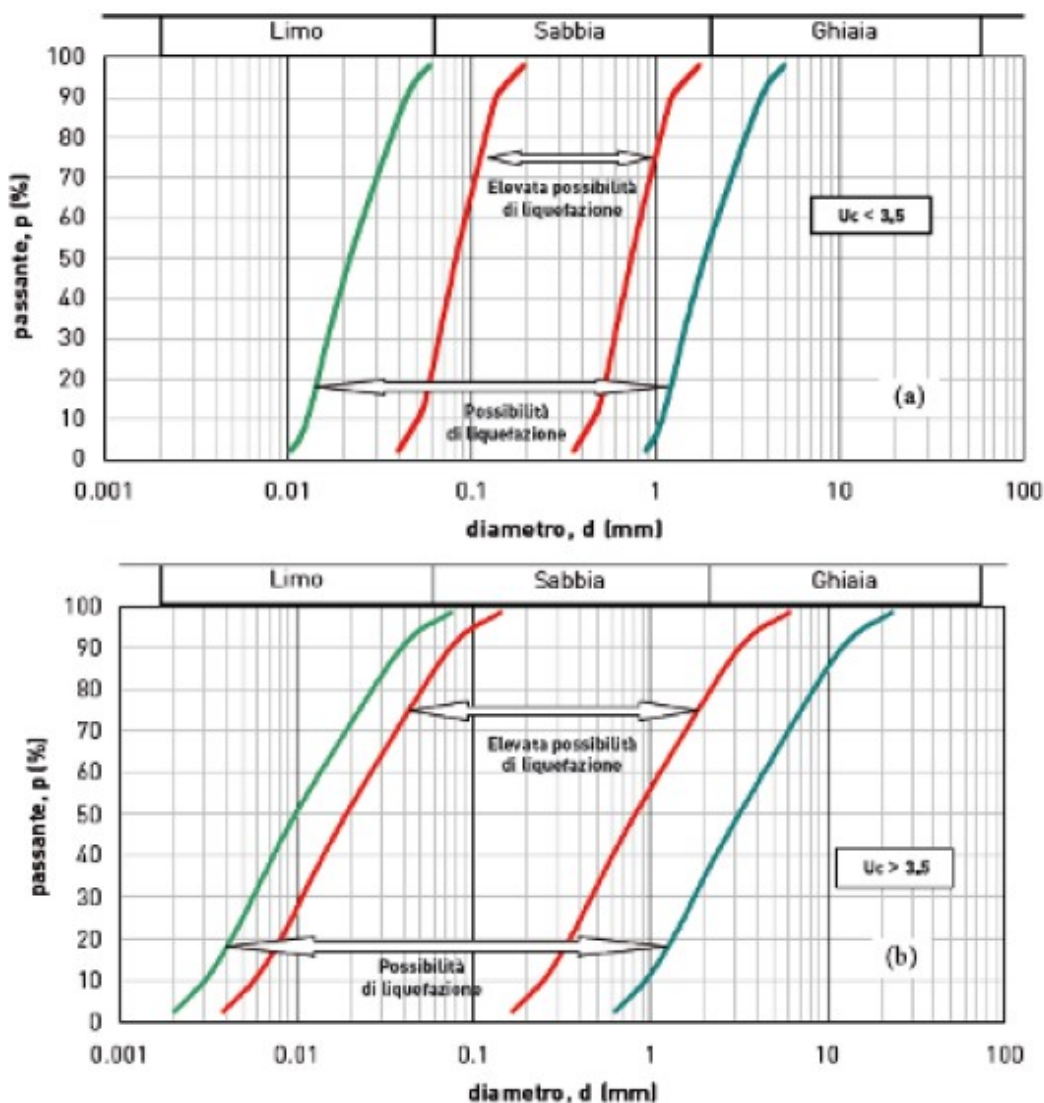


Figura 88 – Fasce granulometriche per la valutazione preliminare della suscettibilità alla liquefazione di un terreno, per i terreni a granulometria uniforme (sopra) ed estesa (sotto). Da Sherif e Ishibashi, 1977.

Per quanto riguarda la porzione di territorio studiata nel corso della Microzonazione Sismica di Livello 3, la successione di terreni presenti non rientra nell'intervallo granulometrico "critico" oppure si ha presenza di falda freatica generalmente ad una quota superiore ai 15 m.

7.2.3. Instabilità di versante sismoindotte (FR)

Viene definita frana sismoindotta un dissesto per il quale, tra le forzanti possibili per la sua mobilitazione, è prevista anche quella sismica. Per quanto riguarda la presenza di instabilità di versante si fa presente che nel corso degli studi di Microzonazione Sismica

di Livello 3, è pervenuta una comunicazione da parte della segreteria del Centro di MS con cui si invitava i professionisti incaricati a trattare le instabilità in deroga agli Standard 4.0b.

Pertanto nelle carte di Microzonazione Sismica di livello 3 non è stato mappato nessun fattore di amplificazione per le instabilità di versante individuate come ZA nella carta delle MOPS.

Sulla carta di Microzonazione Sismica di livello 3 quindi, la zona in frana è stata mappata solo con il retinato della ZA, senza il colore del fattore di amplificazione.

8. Elaborati cartografici

Tutti gli elaborati cartografici prodotti, sono stati realizzati a partire dal progetto *MS_Aree_EQ.qgs* fornito per ogni comune dal Centro di MS. Tale progetto, oltre a permettere l'editing dei singoli *shape files* ha consentito la composizione e l'esportazione in .pdf degli elaborati di seguito illustrati, data la presenza di alcuni *template* dedicati.

8.1. Carta delle indagini (CI)

In tale elaborato (realizzato in n. 1 tavola in scala 1: 5.000), sono state rappresentate tutte le indagini preesistenti reperite e quelle realizzate *ex-novo* nel corso degli studi di Microzonazione Sismica di Livello 1, Livello 3 e fornite da altri professionisti fino ad ottobre 2017. In particolare, partendo dalla cartografia di base rappresentata dalla Carta Tecnica Regionale, sezioni 313030 "Serrapetrona" e 313070 "Caldarola", sono state ubicate le 483 indagini puntuali e 16 indagini lineari illustrate nel capitolo 4 e rappresentate in forma simbolica a seconda della tipologia (Cap. 2.2.3 degli I.C.M.S.).

Tutte le indagini (sondaggi, prove penetrometriche, misure di microtremore, *Downhole*, ecc...), eventuali dati geotecnici ricavati (analisi granulometriche, indici di consistenza e prove di taglio diretto) e le indagini geofisiche lineari (MASW) sono stati archiviati nella banca dati, attraverso il software *SoftMS*, versione 4.0.1, da cui è stato possibile esportare il database definitivo, allegato al presente lavoro di Microzonazione Sismica di Livello 3, assieme a tutta la documentazione in formato *.pdf*.

8.2. Carta delle frequenze naturali dei terreni

La carta delle frequenze naturali dei terreni è stata realizzata partendo dall'inserimento puntuale di tutte le misure HVSR reperite ed effettuate nel corso degli studi di

Dott. Geol. Mauro Cataldi



Microzonazione Sismica di Livello 1 e 3. In totale sono state inserite 62 misure. Successivamente, la struttura della Banca dati geografica HVSR ha previsto l'archiviazione di n. 4 valori di frequenze e relative ampiezze: tali valori di rumore sono stati riportati nei campi F0, F1, F2 e F3 (Hz) a crescere in frequenza e relative Ampiezze (H/V) A0, A1, A2, e A3. Nel campo numerico Fr e della relativa ampiezza Ar sono stati invece riportati i valori di riferimento della Frequenza e dell'Ampiezza più rappresentative scelte tra F0, F1, F2, F3. Il valore 'No pick' della misura si ottiene dando un valore nullo o '0' (zero) nel campo numerico F0 o Fr.

Per tale scopo sono state creati due template: CFF e CFF_R; il primo rappresenta la Carta delle frequenze naturali dei terreni basata sui valori di F0, il secondo rappresenta la Carta delle frequenze naturali dei terreni costruita sui valori di Fr.

Per il Comune di Caldarola, d'accordo con l'Unità Operativa Marche 2, è stato prodotto l'elaborato (scala 1: 5.000) CFF_R, basato, come già detto, sui valori di Fr.

8.3. Carta Geologico Tecnica per la MS (CGT_MS)

Nella Carta geologico–tecnica per la Microzonazione Sismica (CGT_MS) sono riportate tutte le informazioni di base (geologia, geomorfologia, caratteristiche litotecniche, geotecniche e idrogeologiche) derivate da carte ed elaborati esistenti dei quali non ne è richiesta l'archiviazione.

I dati riportati nella CGT_MS sono necessari alla definizione del modello di sottosuolo e funzionali alla realizzazione della Carta delle MOPS. Tale elaborato contiene gli elementi descritti nel capitolo 5 e viene fornita in n. 1 tavola in scala 1: 5.000 sulla stessa base usata per la stesura della Carta delle indagini.

Nell'ottica di una gestione e analisi delle informazioni mediante sistemi informativi geografici, gli elementi riportati sulla carta sono stati distinti in: areali (unità geologico–tecniche, instabilità, ecc...), lineari (faglie, creste, ecc...) e puntuali (picchi isolati, cavità, ecc...) in accordo agli standard vers. 4.0b, di cui si è ampiamente tenuto conto nella redazione del presente lavoro.

Unità geologico–tecniche

In particolare, per quanto riguarda le unità geologico–tecniche si è operata una distinzione tra terreni di copertura (TC) e substrato geologico (SG), sulla base delle indagini reperite, sulla cartografia esistente e derivata dalla Microzonazione Sismica di Livello 1 e su un dettagliato rilievo di tipo geologico e geomorfologico effettuato insieme







Dott. Geol. Mauro Cataldi



al dott. Giuseppe Cavuoto del CNR-IAMC, supporto dell'Unità Operativa Marche 2 per quanto riguarda gli aspetti legati alla formulazione del modello geologico.

Per le coperture, lo spessore minimo considerato è di 3 m: per l'identificazione è stato usato lo standard U.S.C.S. (*Unfield Soil Classification System*) leggermente modificato.

Sono state individuate sei tipologie di coperture:

-  GW (fd/ tf/ ca) – Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbie
-  GP (ca) – Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia
-  GM (fd/ tf/ cz/ ca) – Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo
-  SM (tf) – Sabbie limose, miscela di sabbia e limo
-  CL (tf) – Argille inorganiche di medio-bassa plasticità argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre
-  ML (ec) – Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità

- 1) GW: ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbie. Vengono individuate nei depositi alluvionali terrazzati (tf) del 2°, 3° o 4° ordine, nei depositi di conoide (ca) oppure nelle falde detritiche (fd). Si presentano da addensate a moderatamente addensate. Sono materiali stabili se impiegati per rilevati, dotati di capacità portante buona; il coefficiente di permeabilità è di circa 10^{-1} – 10^{-2} cm/s tant'è che possono ospitare importanti falde all'interno dove la morfologia è sub-pianeggiante.
- 2) GP: ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbie. Vengono individuate nei depositi nei depositi di conoide (ca) associati al Rio delle Concie. Si presentano da addensate a moderatamente addensate. Anche esse sono materiali stabili se impiegati per rilevati, dotati di capacità portante buona; il coefficiente di permeabilità è di circa 10^{-1} – 10^{-2} cm/s tant'è che ospitano importanti falde all'interno data la morfologia è sub-pianeggiante.
- 3) GM: ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo. Corrispondono ai depositi alluvionali attuali (tf) ma possono essere individuate, concomitanti alla stregua della tipologia GW, anche nei depositi alluvionali terrazzati (tf) del 3° ordine, oppure nelle falde detritiche (fd). Lo stato di addensamento e la consistenza è

Dott. Geol. Mauro Cataldi



simile alle coperture di tipo GW. Stabilità accettabile come rilevati, buona capacità portante; il coefficiente di permeabilità è variabile (a seconda della presenza più o meno evidente dei livelli limosi) ed oscilla da 10^{-2} a 10^{-3} cm/s, con falde freatiche diffuse.

- 4) CL: argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre. Spesso rappresentano livelli presenti dei depositi alluvionali terrazzati del 3° ordine oppure possono costituire importanti banchi nella parte superficiale, avente spessore fino ad oltre 10 m. Si presentano da poco a moderatamente addensate, con discreta consistenza e stabilità, capacità portante da buona a scarsa e con coefficiente di permeabilità molto variabile (a seconda dello spessore dei livelli argillosi) che oscilla da 10^{-4} a 10^{-6} cm/s.
- 5) SM: sabbie limose, miscela di sabbia e limo. Come l'unità precedente, costituiscono livelli presenti dei depositi alluvionali terrazzati del 2° o 3° ordine oppure possono costituirne la parte superficiale avente spessore fino ad oltre 3 m. Nella zona del Cassero e del Monastero, rappresentano un importante pacco spesso almeno 30 m posto (terrazzo 2° ordine) al di sopra del substrato geologico. Si presentano da poco a moderatamente addensate, con discreta consistenza e stabilità, capacità portante da buona a scarsa e con coefficiente di permeabilità molto variabile (a seconda dello spessore dei livelli limosi) che oscilla da 10^{-3} a 10^{-5} cm/s.
- 6) ML: limi inorganici, farine di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità. Presenti soprattutto sui versanti come depositi eluvio-colluviali (ec), a copertura del substrato. La stabilità, così come l'affidabilità come terreni di fondazione, in genere è scarsa. La presenza di una falda è al quanto improbabile, data un coefficiente di permeabilità intorno a 10^{-6} cm/s.

Per quanto riguarda il substrato geologico esclusivamente presente nel settore indagato, sulla base della tabella delle sigle litotecniche fornita dall'ISPRA, vengono assegnate due categorie:



LPS – Lapideo stratificato



SFALS – Alternanza di litotipi, stratificato, fratturato/alterato

- 1) Lapideo stratificato (LPS): raggruppa le unità litologiche della Scaglia bianca (SBI), Scaglia rossa appenninica (SAA) e Scaglia variegata (VAS) in cui non si ha eccessiva fratturazione o alterazione.
- 2) Alternanza di litotipi stratificato fratturato o alterato (SFALS): comprende la Scaglia cinerea appenninica (SCC), il Bisciario (BIS), lo Schlier (SCH), le litofacies arenaceo-pelitica o pelitico-arenacea della Formazione della Laga (LAG1), la Formazione gessoso-solfifera e la Formazione di San Donato e che si presentano fratturate o alterate tettonicamente.

Instabilità di versante

In questo tematismo vengono riportate le perimetrazioni di tutti i fenomeni gravitativi riconosciuti per le aree di studio analizzate nel lavoro di Microzonazione Sismica. Anche le instabilità di versante sono state distinte in base a quanto riportato sugli standard di rappresentazione e archiviazione informatica vers. 4.0b. I fenomeni franosi riportati in cartografia sono stati riconosciuti tramite rilievi effettuati in sito e in base a quanto riportato su carte preesistenti (Carta Geomorfologica Regionale, Carta Geomorfologica del Piano Regolatore Generale, ecc...). Inoltre si è fatto riferimento al Progetto I.F.F.I. (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia) per quanto riguarda lo stato di attività ed alla cartografia del P.A.I. (Piano stralcio di bacino per l'assetto Idrogeologico): tutti i dati sono stati comunque verificati direttamente sul terreno, in particolare per identificare segni di eventuali evoluzioni del fenomeno relative all'ultimo ciclo stagionale (frana attiva), aiutati dalle precipitazioni avute nella stagione autunnale e invernale 2016-17.

Come illustrato nell'inquadramento geomorfologico, sono state rilevate frane di tipo scorrimento, colamento, di tipo misto (scorrimento + colamento) che nella Carta geologico-tecnica vengono classificate come complesse e crolli.

Forme di superficie e sepolte

Sono state rilevate, anche con l'ausilio di immagini satellitari: conoidi alluvionali, concentrate soprattutto a valle dell'abitato di Pievefavera e nel capoluogo, conoide di deiezione in corrispondenza del centro storico di Caldarola, falde detritiche esistenti soprattutto a ridosso della dorsale calcarea del settore occidentale, orli di scarpate morfologiche di altezza compresa tra 10 e 20 m e superiori ai 20 m (in corrispondenza di cave), orli di terrazzi fluviali (tra i depositi alluvionali terrazzati di vario ordine) e creste (Pievefavera, Colle Croce, Vestignano, ecc...).

Elementi tettonico strutturali

Dott. Geol. Mauro Cataldi



Sono stati riportati tutti i lineamenti tettonici evidenziati dai rilievi cartografici alla scala 1: 10.000 eseguiti per la realizzazione dei fogli della Carta Geologica Regionale relativi all'area di indagine.

Tutte le faglie riconosciute sono state mappate come non attive.

Elementi geologici e idrogeologici

Gli elementi geologici rappresentati sono costituiti dalle giaciture di strato, le quali sono state distinte in funzione della geometria che si evidenzia sul terreno. Inoltre vengono riportati i sondaggi geognostici già inseriti nella Carta delle indagini ma suddivisi e raggruppati in 2 tipologie a seconda che raggiungano, o no, il substrato geologico con relativa profondità. Un ulteriore elemento riportato riguarda l'indicazione della falda, nel caso siano stati effettuati pozzi a scopo irriguo o potabile: la falda freatica nei depositi alluvionali terrazzati del 3° ordine (GW) è individuata ad una quota da circa 36 a 42 m di profondità dal piano campagna.

8.4. Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)

L'elaborato finale previsto per il livello 1 di Microzonazione Sismica è la Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (M.O.P.S.).

La carta individua le microzone ove, sulla base di osservazioni geologiche e geomorfologiche e della valutazione dei dati litostratigrafici (sia dati pregressi disponibili per l'area che, eventualmente, indagini *ex-novo*), è prevedibile l'occorrenza di diversi tipi di effetti prodotti dall'azione sismica (amplificazioni, instabilità di versante, liquefazione, ecc...).

Le informazioni da utilizzare per la redazione, oltre alla cartografia di base disponibile (sezioni della Carta Tecnica Regionale già illustrate), sono:

- a) Carta delle indagini, precedentemente prodotta per questo livello;
- b) Carta geologico-technica, anche essa precedentemente realizzata ed altre carte geologiche, geomorfologiche e litotecniche almeno alla scala 1: 10.000, preferibilmente di maggiore dettaglio;
- c) *logs* litostratigrafici dedotti da dati di sondaggio;
- d) sezioni geolitologiche costruite con dati dedotti dai punti precedenti a), b) e c);
- e) eventuali carte di dissesto idrogeologico (es. Progetto I.F.F.I., piani provinciali di dissesto idrogeologico, piani delle Autorità di bacino).

Dott. Geol. Mauro Cataldi



Questa carta identifica le geometrie di microzone potenzialmente caratterizzate da specifici effetti sismici.

Non è previsto l'utilizzo di un input sismico, né la quantificazione numerica dei diversi effetti.

Le microzone della carta sono classificate in tre categorie:

- A. **zone stabili**, nelle quali non si ipotizzano effetti locali di rilievo di alcuna natura (substrato geologico in affioramento con morfologia pianeggiante o poco inclinata – pendii con inclinazione inferiore a circa 15°);
- B. **zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**, nelle quali sono attese amplificazioni del moto sismico, come effetto dell'assetto litostratigrafico e morfologico locale;
- C. **zone di attenzione per le instabilità**, nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio (non sono necessariamente esclusi per queste zone anche fenomeni di amplificazione del moto). I principali tipi di instabilità sono:
 - instabilità di versante;
 - liquefazioni;
 - faglie attive e capaci;
 - cedimenti differenziali.

Per quanto riguarda i cedimenti differenziali, in tale elaborato prodotto non sono stati presi in considerazione. Tali tipi di instabilità, in generale, non hanno la stessa importanza degli altri fenomeni. I cedimenti differenziali si verificano limitatamente nelle zone adiacenti i contatti fra formazioni con caratteristiche litologiche e meccaniche molto diverse.

Una nota particolare merita il tema delle faglie attive e capaci. La definizione dell'attività di una faglia attiva e capace deve scaturire da una serie di studi di dettaglio eseguiti da esperti del settore e, solo dopo una validazione tecnico-scientifica, questi studi possono essere messi a disposizione di coloro che si occupano della Microzonazione Sismica. Si raccomanda quindi che, per il livello 1, nella Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica si riportino solo le faglie identificate da studi validati da esperti del settore.

Dott. Geol. Mauro Cataldi

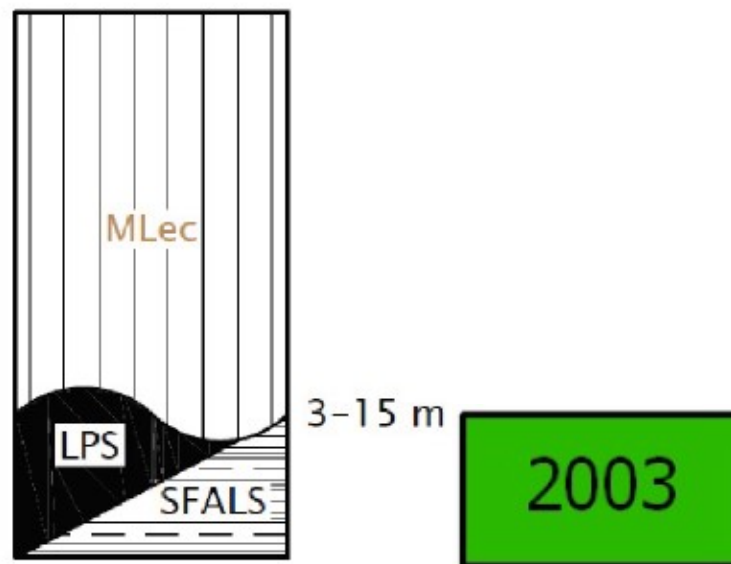


La microzona omogenea riferita all'eventuale faglia attiva e capace sarà costruita in modo da comprendere la traccia superficiale della faglia e i fenomeni deformativi del terreno (rottture secondarie, rigonfiamenti, cedimenti, ecc...) correlati alla rottura principale.

Inoltre, nella carta sono rappresentate alcune caratteristiche morfologiche del territorio e, laddove individuabili, forme sepolte che possono contribuire ad eventuali effetti di amplificazione.

Di seguito, vengono trattate solamente le microzone indagate durante gli studi di Microzonazione Sismica di Livello 3; per le zone presenti in cartografia ma non illustrate di seguito, si rimanda alla relazione redatta durante gli studi di Livello 1 dal dott. geol. Mauro Cataldi.

Zona 3 2003



La Zona 3, rappresentata con il codice 2003, fa riferimento ai depositi di natura eluvio-colluviale olocenici [MUSb2] poggianti su substrato solitamente marnoso, arenaceo-pelitico o pelitico-arenaceo. Tale deposito è costituito prevalentemente dai terreni ricadenti nella classe geotecnica ML (limi inorganici, farine di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità), caratterizzati da più ridotte resistenze meccaniche rispetto ai terreni del substrato, dovute al minore addensamento e/o minore coesione. La velocità delle onde di taglio in tale litologia, determinata attraverso indagini MASW eseguite, viene riassunto nella figura sottostante.

Dott. Geol. Mauro Cataldi



2003	0-0.8	Terreno vegetale (PT/OL) o di RIPORTO (RI)	110	90	130
	1-3	Limo argilloso/sabbioso (MLec) poco addensato	160	130	190
	3-12	Limo argilloso/sabbioso (MLec) moderatamente addensato	245	210	280
	>	Pelitico-arenacea/Gessoso-solfifera (SFALS)	580	510	650

L'incremento di intensità risentita in caso di sisma è generalmente piuttosto notevole data la differenza di rigidità tra depositi e substrato, come risultato anche dalla modellazione 1D eseguita: viene mostrata come esempio un'indagine H/V svolta in via Lago (043006P478HVSR481) che evidenzia un contrasto di impedenza compatibile (Figura 89) con la situazione stratigrafica. Il contatto tra depositi e *bedrock* può variare da 3-5 m fino 15 m: in caso di spessore minore, gli effetti della presenza del deposito è piuttosto insignificante.

Nelle aree che sono state cartografate come zona 2003 assume grande importanza, nella stabilità di insieme, sia l'aspetto geomorfologico che quello idrogeologico.

Tale zona è abbastanza diffusa (c.da Acquaviva, c.da San Domenico, c.da Colcù, ecc...) e caratterizza i pendii a debole pendenza del settore orientale, dove il substrato è costituito da terreni miocenici.

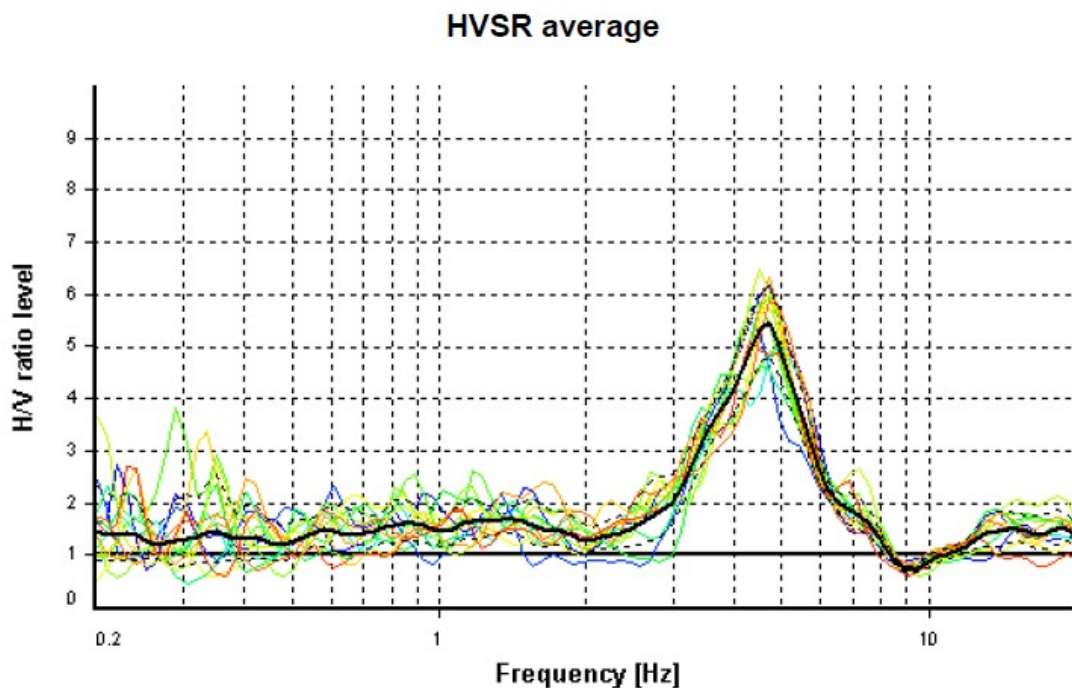
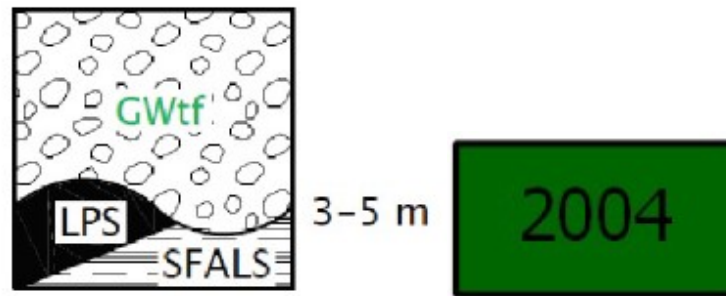


Figura 89 – Risultato dell'indagine HVSR effettuata in via Lago (043006P478HVSR481).

Zona 4 2004



La zona rappresentata con il codice 2004, corrisponde agli attuali alvei dei fiumi, dove si rinvencono depositi di natura alluvionale non terrazzati olocenici [MUSb] poggiati direttamente su substrato non rigido. Tale deposito è costituito prevalentemente dai terreni ricadenti nella classe geotecnica GW (ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbia) o subordinatamente GM (ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo) aventi spessore 3–5 m, a cui si può sovrapporre fino a 2,0 m di sabbie, limi o argille. Generalmente la Zona 4 è caratterizzata da più ridotte resistenze meccaniche rispetto ai terreni del substrato, dovute al minore addensamento e/o minore coesione. Le misure della velocità delle onde di taglio effettuate su tale vengono riassunte di seguito.

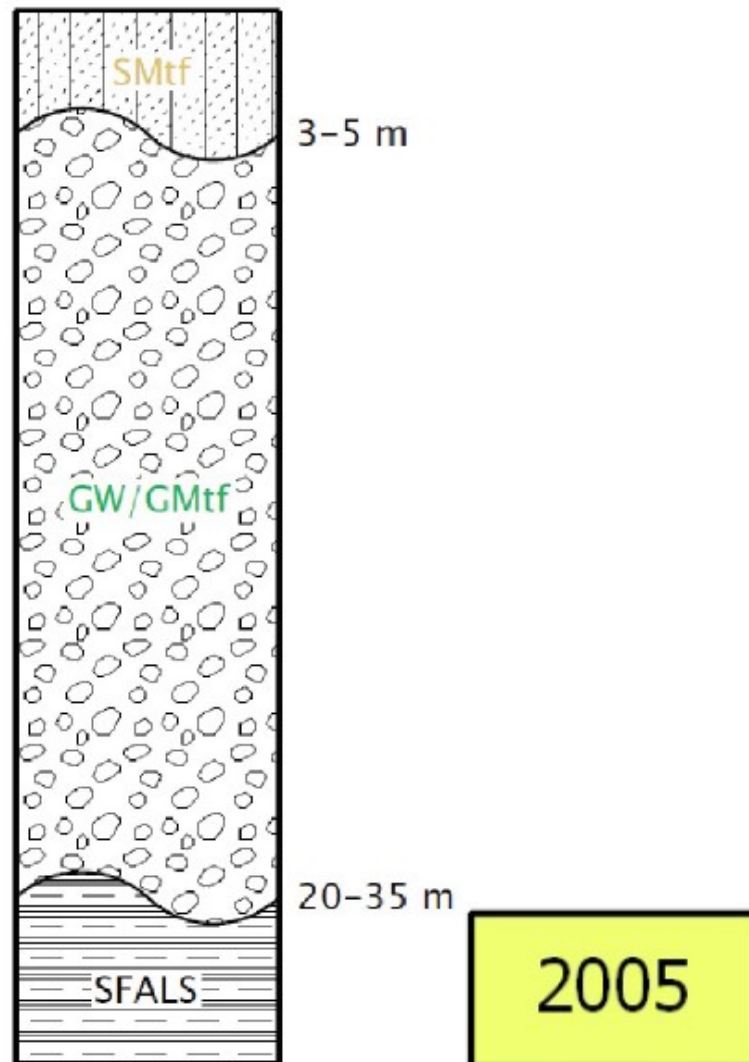
2004	0-2	Sabbia limosa / limo sabbioso (SMtf)	280	200	360
	3-5	Ghiaia sabbiosa (GWtf)	375	300	450
	>	Pelitico-arenacea/Gessoso-solfifera (SFALS)	580	510	650

L'incremento di intensità risentita in caso di sisma è basso, come risultato dall'analisi 1D illustrata nel paragrafo 7.1.3.

L'incidenza delle condizioni idrogeologiche nella Zona 4 può essere comunque significativa. Anche in questo caso, quando il contatto tra depositi e *bedrock* è inferiore ai 3–5 m di profondità, gli effetti di incremento sismico sono piuttosto insignificanti.

Nel territorio in esame, la Zona 4 è presente in corrispondenza dell'alveo attuale del Fiume Chienti o del Rio delle Concie.

Zona 5 2005



La Zona 5, rappresentata con il codice 2005, fa riferimento generalmente ai depositi di natura alluvionale terrazzati pleistocenici [ACbn3, MTIbn] ed olocenici [MUSbn] costituiti da terreni ricadenti nella classe geotecnica GW, in misura minore GM, poggianti sul substrato non rigido. Spesso, al di sopra dei depositi ghiaioso-sabbiosi, si possono avere frazioni limoso-argillose o sabbiose, per uno spessore che in genere non supera i 5,0 m.

Le velocità delle onde di taglio, sulla base di prove MASW reperite, sono illustrate di seguito.

2005	0-0.5	Terreno vegetale (PT/OL) o di RIPORTO (RI)	160	130	190
	0.5-3	Sabbia limosa / limo sabbioso (SMtf)	205	180	230
	1-10	Ghiaia limosa o sabbiosa (GMtf/GWtf) poco addensata	330	300	360
	20-25	Ghiaia limosa o sabbiosa (GMtf/GWtf) moderatamente addensata	490	400	580
	>	Pelitico-arenacea/Gessoso-solfifera (SFALS)	580	510	650

Dott. Geol. Mauro Cataldi



L'incremento di intensità risentita in caso di sisma è piuttosto variabile, come dimostra la modellazione 1D eseguita e 2 misure HVSr che vengono illustrate.

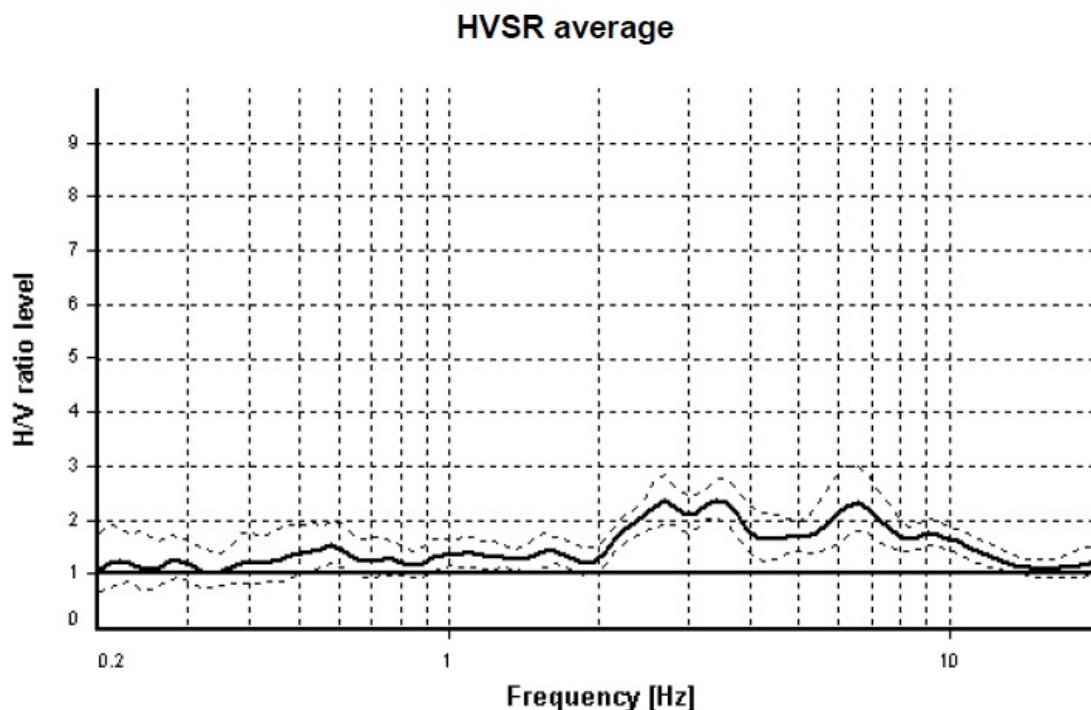


Figura 90 – Risultato dell'indagine HVSr effettuata in Borgo Piandebussi (043006P447HVSr450).

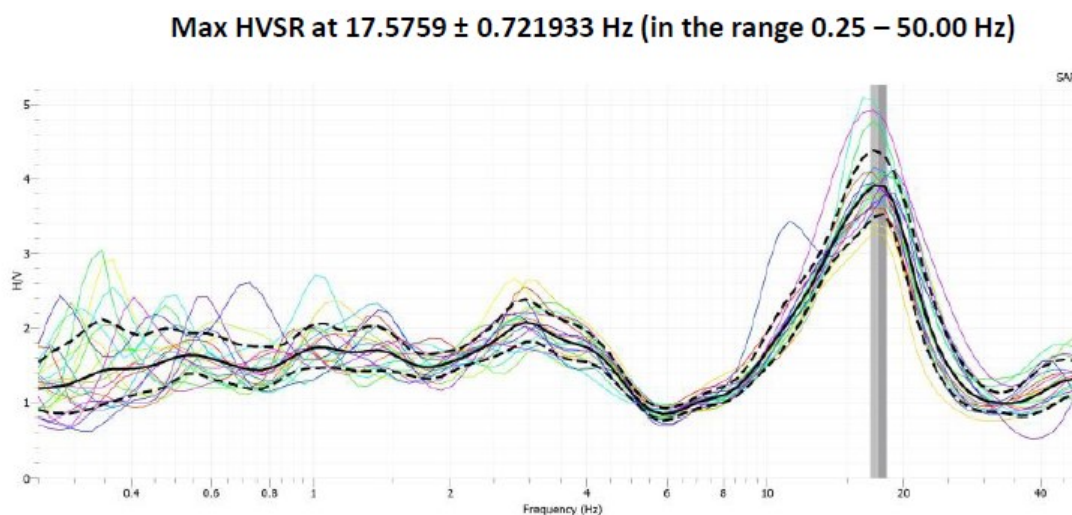


Figura 91 – Risultato dell'indagine HVSr effettuata nella Lottizzazione Tardella (043006P401HVSr402).

L'incidenza delle condizioni idrogeologiche, come nella zona precedente, può essere notevole. Morfologicamente, la Zona 5 insiste su situazioni pianeggianti o a debole

Dott. Geol. Mauro Cataldi



pendenza (ampie fasce adiacenti ai principali corsi d'acqua), pertanto, nel caso di sollecitazioni sismiche è minima la possibilità che questi terreni possano mostrare stati di incipiente instabilità con cedimenti, fessurazioni e inizio di fenomeni franosi, tranne che in corrispondenza di scarpate fluviali.

Per quanto riguarda la stabilità nei confronti della liquefazione, come già illustrato nel paragrafo 7.2.2., la verifica nei confronti del fenomeno viene esclusa, data una distribuzione granulometrica esterna a determinate fasce critiche, secondo la procedura di Sherif & Ishibashi.

Comunque si segnala un particolare fenomeno di emissione fluida dal sottosuolo occorso a seguito dell'evento sismico del 30/10/2016 (Foto 37 e 38) e che ha coinvolto il giardino di un'abitazione posta in viale Aldo Moro per una superficie inferiore a 100 m². Le granulometrie coinvolte nell'emissione in superficie erano piuttosto fini, in un'area dove la falda è attestata oltre i 30 m.

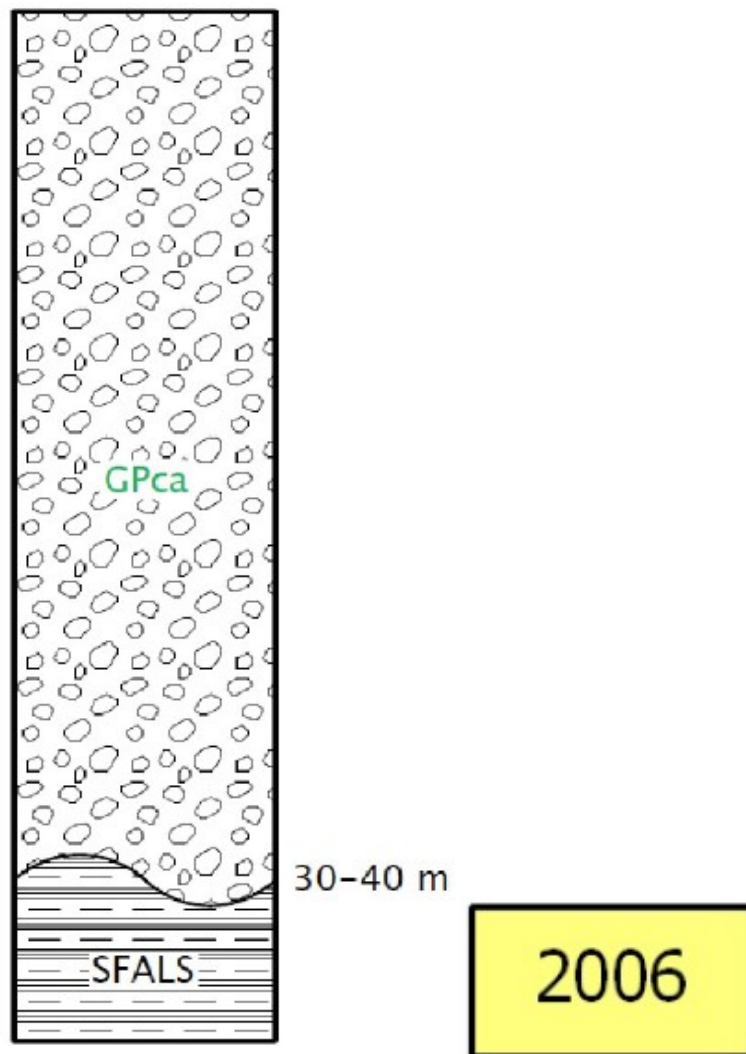


Foto 37 – Emissione fluida verificatasi a seguito dell'evento sismico del 30/10/2016 in via Aldo Moro.



Foto 38 – Emissione fluida verificatasi a seguito dell'evento sismico del 30/10/2016 in via Aldo Moro.

Zona 6 2006



La Zona 6, rappresentata con il codice 2006, fa riferimento generalmente ai depositi di conoide alluvionale pleistocenici [MTIbn] costituiti da terreni ricadenti nella classe geotecnica GP, poggianti su substrato non rigido, per uno spessore che può arrivare anche a 40,0 m e messi in posto dal Rio delle Concie. Spesso, al di sopra dei depositi ghiaioso-sabbiosi, si possono avere terreno vegetale o di riporto.

Le velocità delle onde di taglio, sulla base di diverse prove MASW effettuate o reperite, vengono illustrate di seguito.

2006	0-1.5	Terreno vegetale (PT/OL) o di RIPORTO (RI)	200	190	210
	0.5-2	Ghiaia (GPca) poco addensata	340	300	380
	30-40	Ghiaia (GPca) addensata	600	400	800
	>	Pelitico-arenacea/Gessoso-solfifera (SFALS)	580	510	650

Dott. Geol. Mauro Cataldi



È una zona piuttosto omogenea dal punto di vista della risposta sismica come visto dalla modellazione 1D e dalle misure HVSr effettuate a supporto, che mostrano valori di ampiezza quasi sempre sotto al valore di 2.

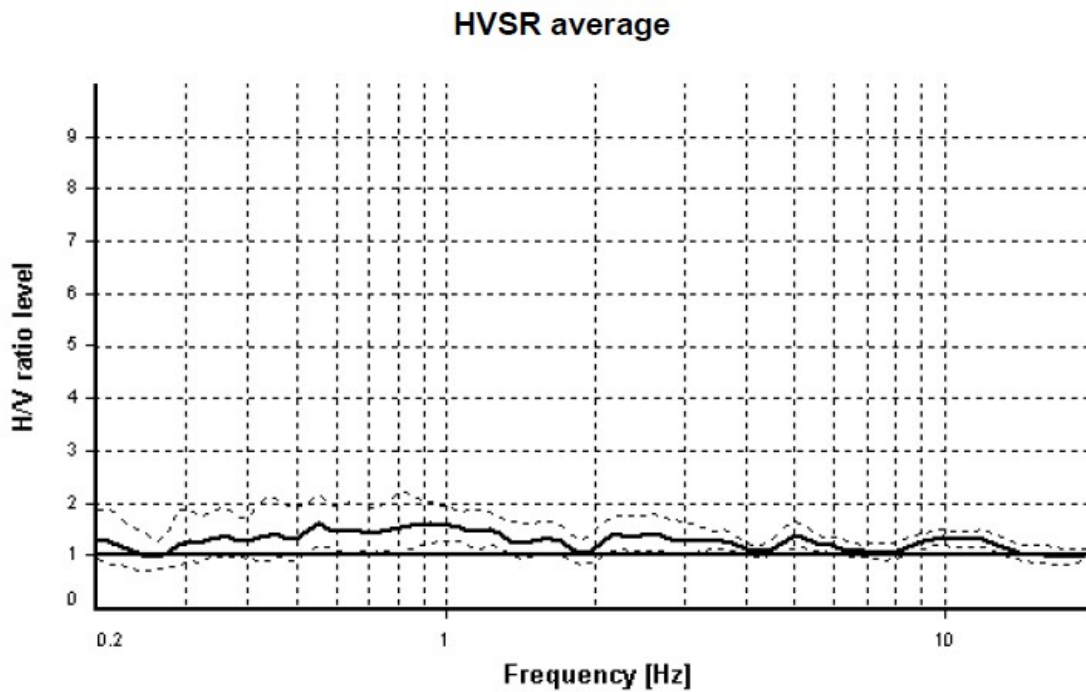


Figura 92 – Risultato dell'indagine HVSr effettuata in Piazza Rocchi-Mercorelli (043006P442HVSr445).

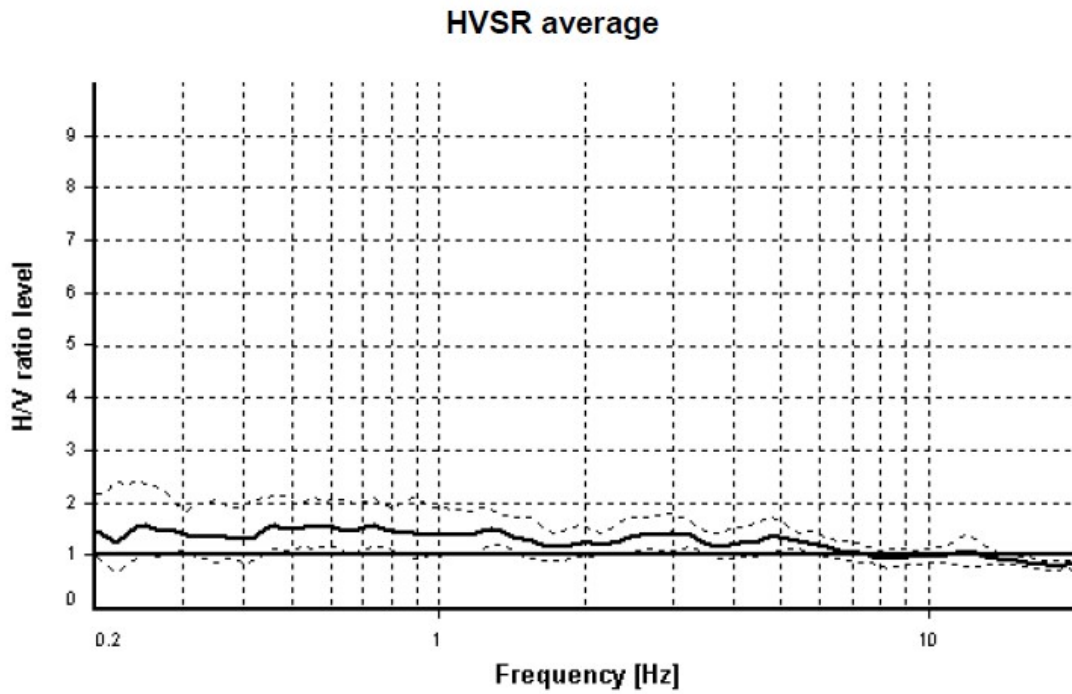


Figura 93 – Risultato dell'indagine HVSR effettuata nei pressi del vecchio ospedale (043006P476HVSR479).

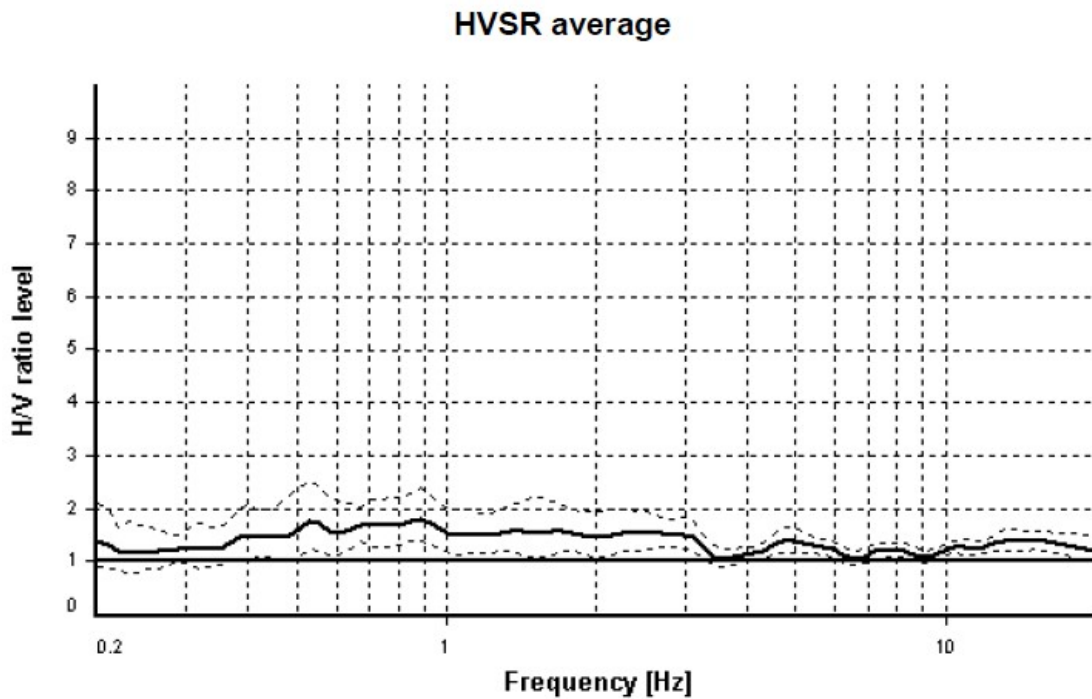
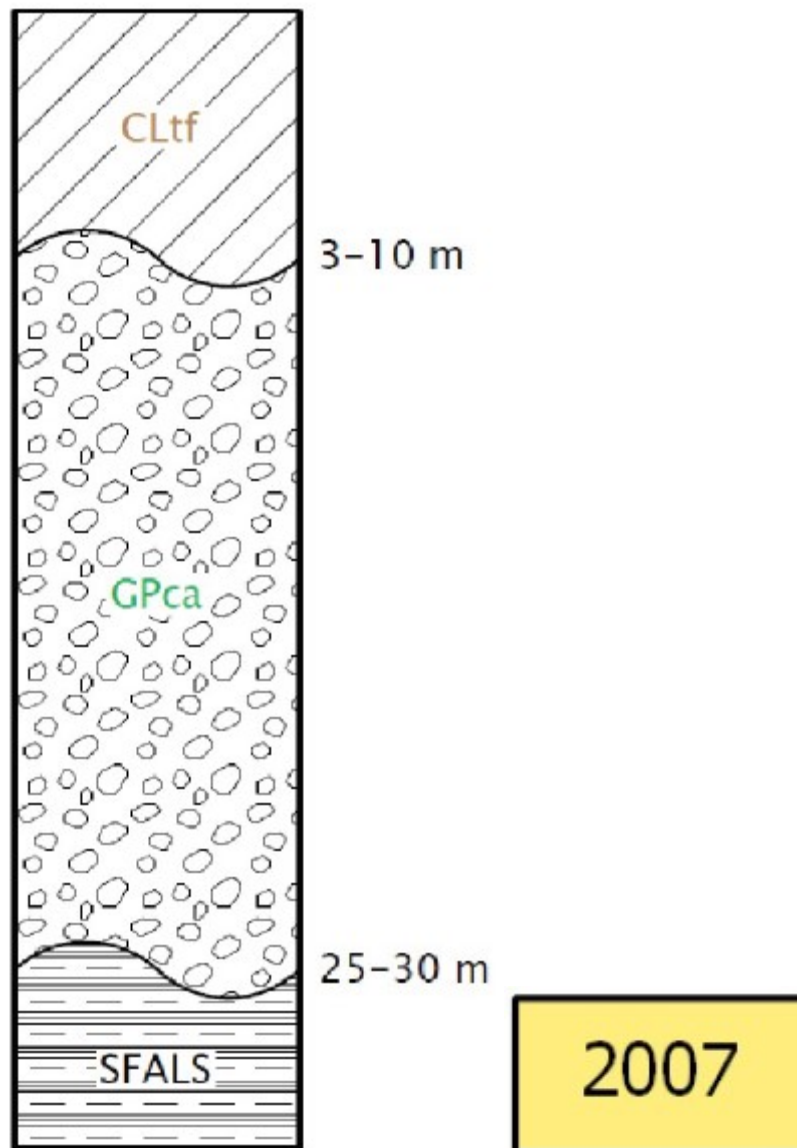


Figura 94 – Risultato dell'indagine HVSR effettuata in Via Piandassalto (043006P465HVSR468).

L'incidenza delle condizioni idrogeologiche, come nella zona precedente, è sicuramente notevole anche se la falda è sempre attestata oltre i 30 m. Morfologicamente, la Zona 6 insiste su situazioni pianeggianti o a debole pendenza (terrazzo alluvionale), pertanto, nel caso di sollecitazioni sismiche è minima la possibilità che questi terreni possano mostrare stati di incipiente instabilità con cedimenti, fessurazioni e inizio di fenomeni franosi. Per quanto riguarda la stabilità nei confronti della liquefazione, la verifica nei confronti del fenomeno viene esclusa, data una distribuzione granulometrica esterna a determinate fasce critiche e l'assenza di una falda freatica entro i primi 15 m.

Zona 7 2007



La Zona 7, rappresentata con il codice 2007, borda la conoide alluvionale del Rio delle Concie ad W, in corrispondenza del nuovo insediamento delle Soluzioni Abitative Emergenziali. Si possono avere fino a 10 m di argille sabbiose o limose (CL) al di sopra dell'unità ghiaioso-sabbiosa (GP).

Le indagini MASW reperite, mostrano le velocità riassunte di seguito.

2007	0-0.5	Terreno vegetale (PT/OL) o di RIPORTO (RI)	260	130	190
	3-10	Argilla sabbiosa (CLtf)	290	250	330
	25-30	Ghiaia (GPca) moderatamente addensata	550	520	580
	>	Pelitico-arenacea/Gessoso-solfifera (SFALS)	580	510	650

Ciò lascia supporre la generazione di un importante contrasto di impedenza che in effetti

Dott. Geol. Mauro Cataldi



è stato osservato nella realizzazione di un'indagine H/V nel parcheggio del campo polivalente (043006P405HVSR406), svolta in orario notturno per minimizzare eventuali disturbi antropici.

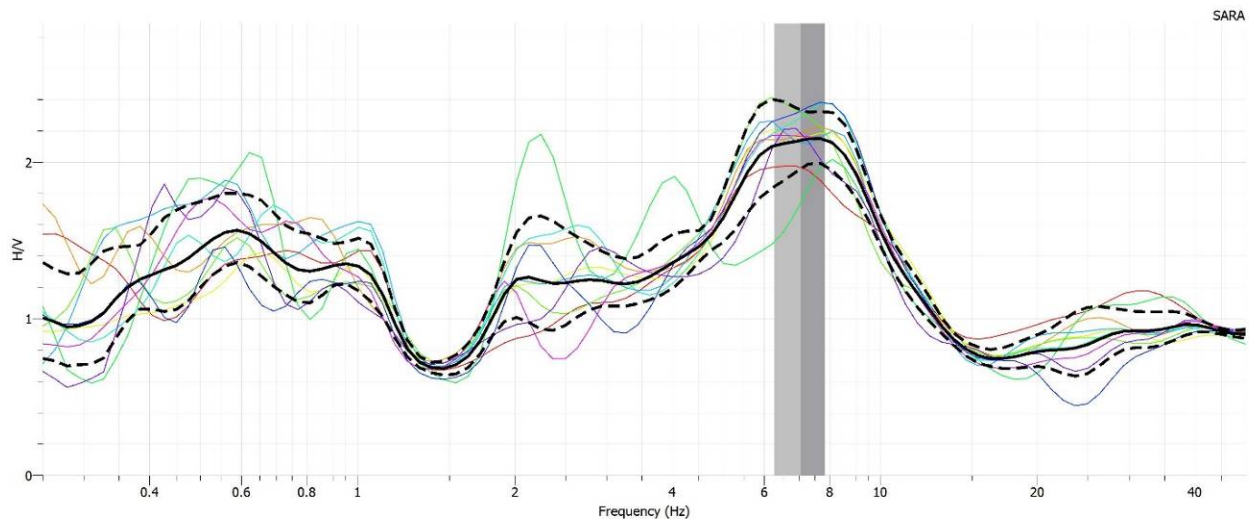
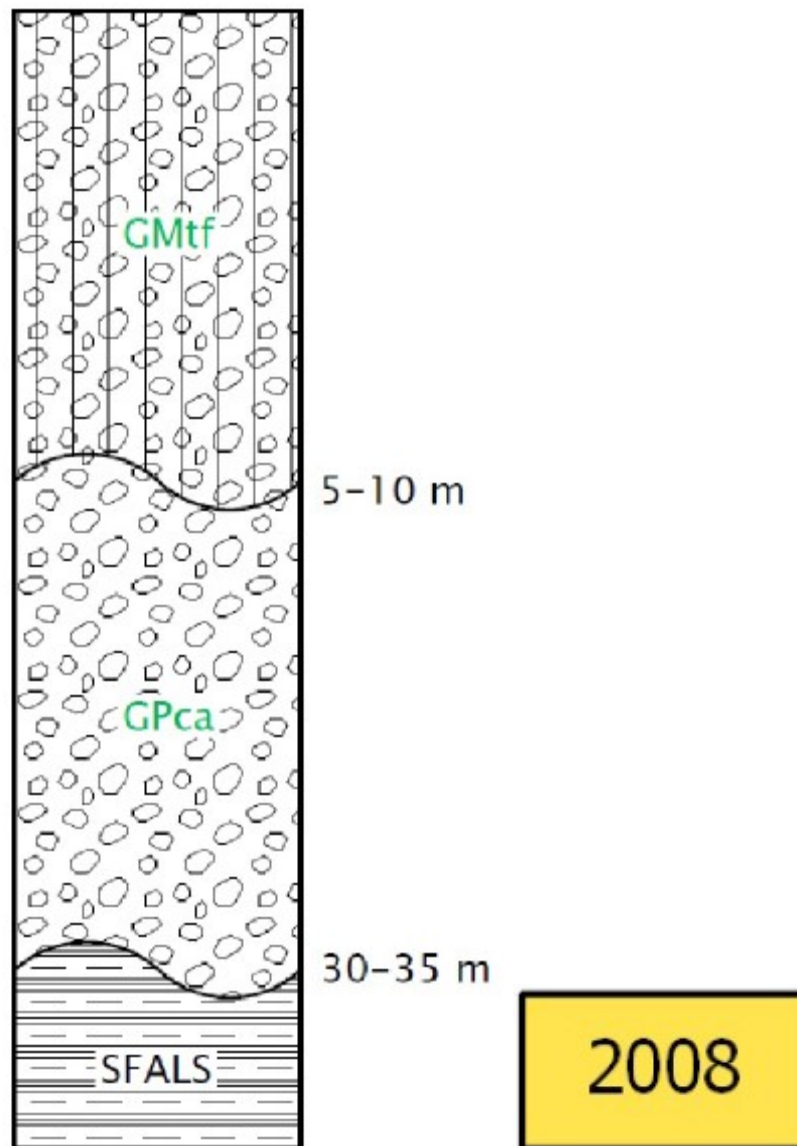


Figura 95 – Risultato dell'indagine HVSR effettuata nel parcheggio del campo Polivalente (043006P405HVSR406).

Indagini geognostiche effettuate in corrispondenza della misura H/V, mostrano una situazione stratigrafica molto compatibile con quanto atteso, in quanto permette di attribuire al contatto tra argille limose e le sottostanti ghiaie sabbiose, il contrasto di impedenza evidenziato.

L'incidenza delle condizioni idrogeologiche, come nella zona precedente, è sicuramente notevole. Morfologicamente, la Zona 6 insiste su situazioni pianeggianti o a debole pendenza (terrazzo alluvionale), pertanto, nel caso di sollecitazioni sismiche è minima la possibilità che questi terreni possano mostrare stati di incipiente instabilità con cedimenti, fessurazioni e inizio di fenomeni franosi. Per quanto riguarda la stabilità nei confronti della liquefazione, la verifica nei confronti del fenomeno viene esclusa, data l'assenza di una falda freatica entro i primi 15 m.

Zona 8 2008



La Zona 8, rappresentata con il codice 2008, è ubicata a NE della conoide alluvionale del Rio delle Concie, in corrispondenza della Zona Industriale “Martiri di Montalto”. Sono presenti fino a 10 m di depositi ghiaioso-limosi (GM) poggianti al di sopra delle ghiaie poco assortite (GP) descritte nella MOPS2006.

Si ha a disposizione un'indagine di tipo MASW realizzata per la progettazione di un capannone industriale (043006L2MASW2), supportata da misure H/V (043006P460HVSR463, 043006P461HVSR464), emergono particolari contrasti di impedenza nel range 6,251 - 7,188 Hz.

Dott. Geol. Mauro Cataldi



Le indagini MASW reperite, mostrano le velocità riassunte di seguito.

2008	0-0.5	Terreno vegetale (PT/OL) o di RIPORTO (RI)	160	130	190
	5-10	Ghiaia limosa (GMtf) moderatamente addensata	440	300	580
	30-35	Ghiaia (GPca) addensata	585	500	670
	>	Pelitico-arenacea/Gessoso-solfifera (SFALS)	580	510	650

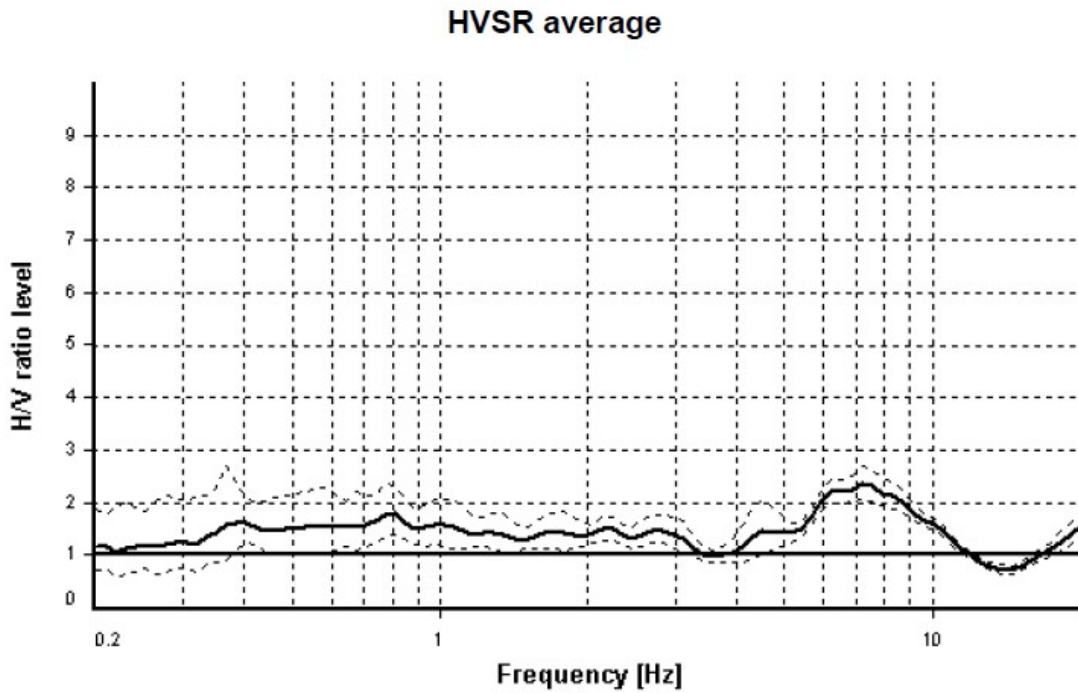


Figura 96 – Risultato dell'indagine HVSR effettuata nella Zona Industriale "Martiri di Montalto" (043006P460HVSR463).

HVSR average

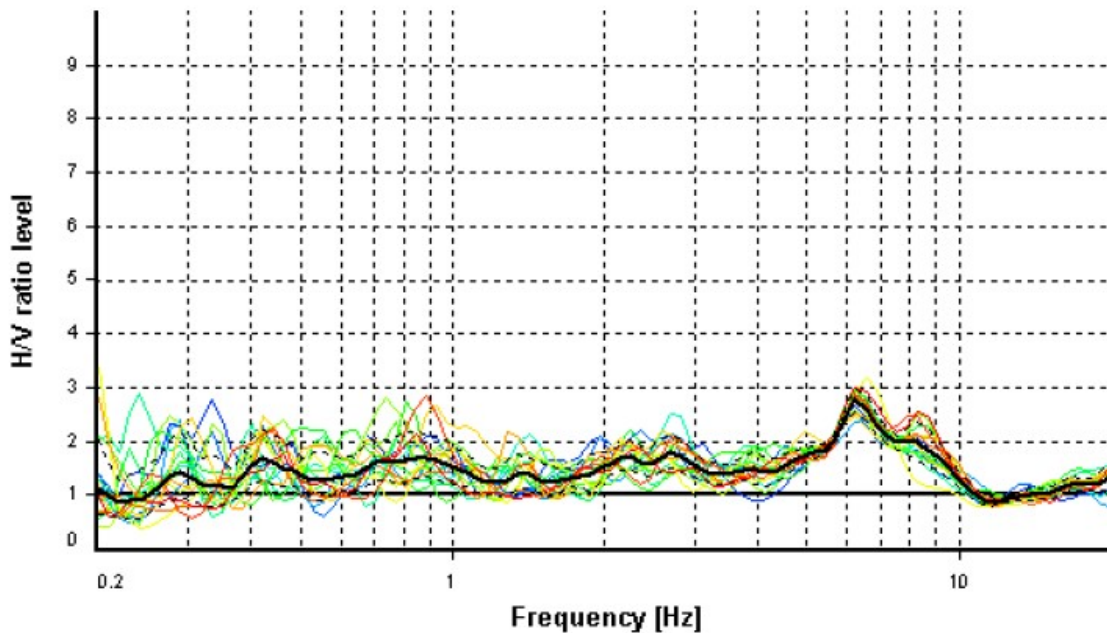
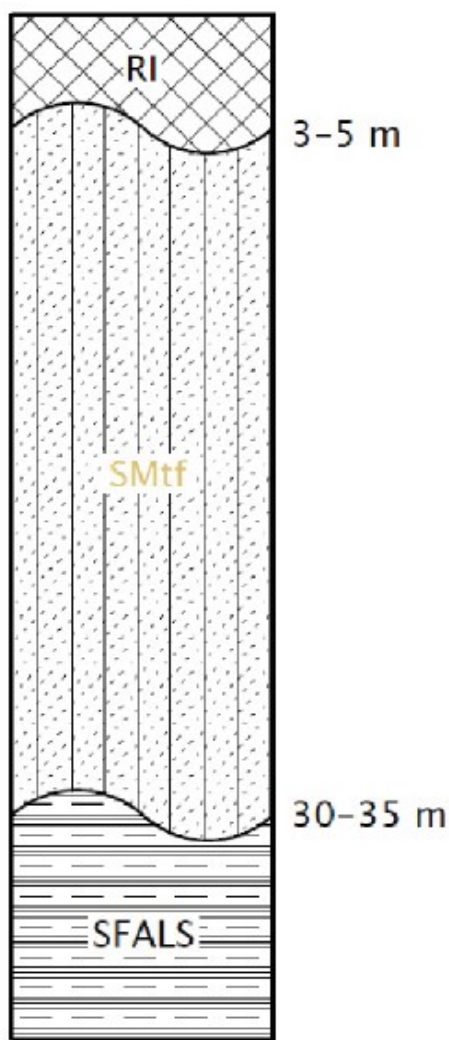


Figura 97 – Risultato dell'indagine HVSR effettuata nella Zona Industriale "Martiri di Montalto" (043006P461HVSR464).

Per quanto riguarda l'incidenza delle condizioni idrogeologiche e la morfologia valgono le stesse condizioni delle Zone 6 e 7 precedentemente trattate. Per quanto riguarda la stabilità nei confronti della liquefazione, anche qui la verifica nei confronti del fenomeno viene esclusa, data l'assenza di una falda freatica entro i primi 15 m.

Zona 9 2009



La Zona 9, rappresentata con il codice 2009, individua l'area del capoluogo in cui sorgono il Monastero di Santa Caterina, il cassero, la torre e una porzione del castello Pallotta (terrazzo alluvionale del 2° ordine). Si ha un solo sondaggio geognostico che arriva al substrato, che mostra come ci sia una prevalenza di litotipi maggiormente sabbiosi e limosi (SM) decisamente diversa dalle altre zone precedentemente trattate.

Le velocità delle onde di taglio sono state ricavate da un'indagine MASW effettuata per gli studi di Microzonazione Sismica di Livello 3.

2009	0-3	Ripporto (RI)	170	150	190
	3-8	Sabbia limosa / limo sabbioso (SM) poco addensata	180	160	200
	30-35	Sabbia limosa / limo sabbioso (SM) moderatamente addensata	250	200	300
	>	Pelitico-arenacea/Gessoso-solfifera (SFALS)	580	510	650

Inoltre sono state effettuate indagini H/V per determinare eventuali amplificazioni: si ha

Dott. Geol. Mauro Cataldi



un moderato picco (043006P394HVSR395) intorno alla frequenza di 2,60 Hz (Figura 103) compatibile con il contrasto di impedenza che si ha al passaggio tra depositi sabbioso-limosi e substrato e compatibile con i risultati della modellazione 1D.

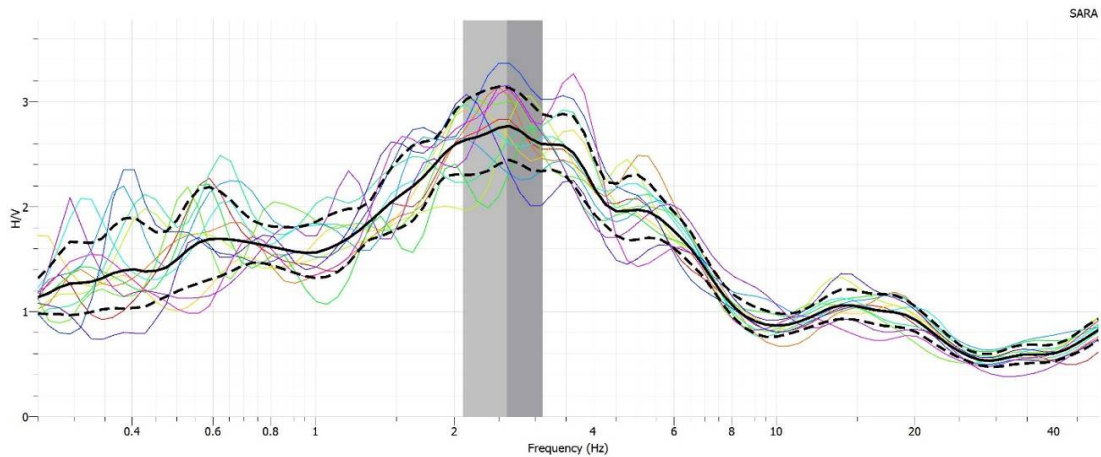


Figura 98 – Risultato dell'indagine HVSR effettuata nei pressi del Monastero di Santa Caterina (043006P394HVSR395).

L'incidenza delle condizioni idrogeologiche, come in altre zone, è sicuramente notevole. Morfologicamente, la Zona 9 insiste su una situazione di cresta (Figura 99), abbastanza pianeggiante in sommità, però, nel caso di sollecitazioni sismiche sono possibili instabilità con cedimenti, fessurazioni.

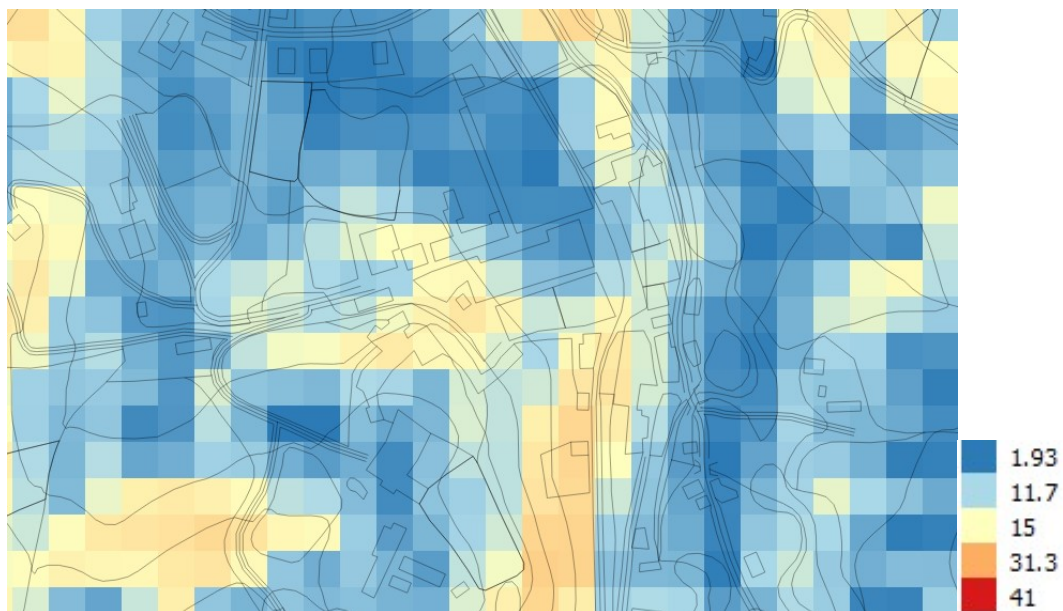
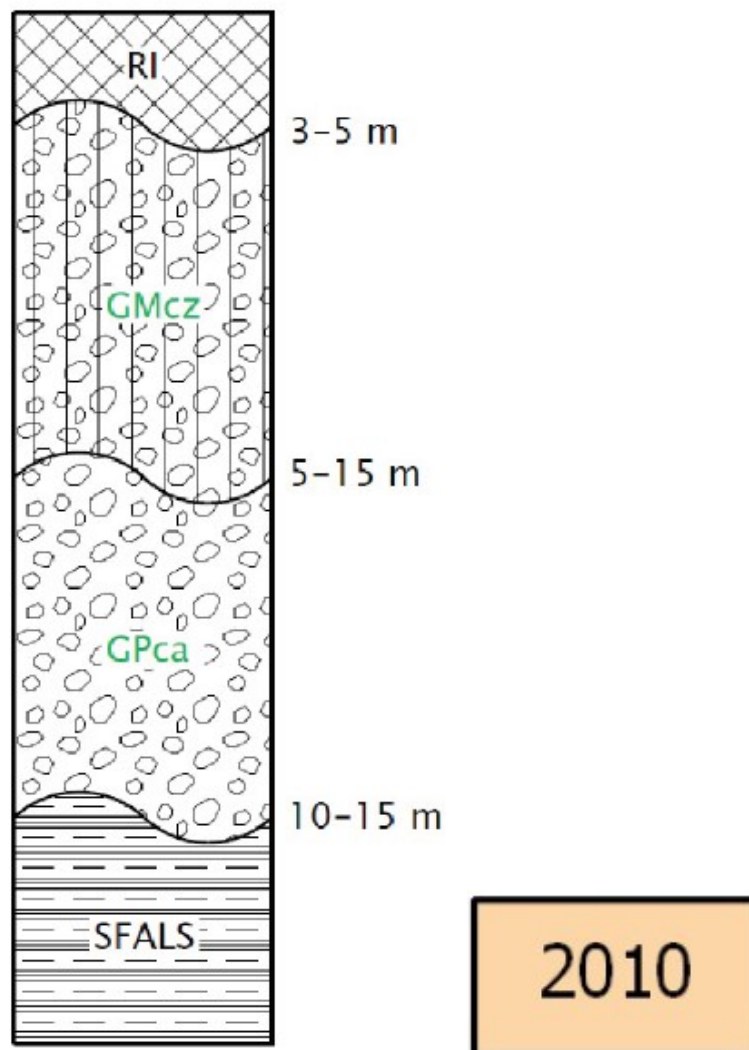


Figura 99 – Carta delle pendenze espresse in gradi (°) riferite al centro storico di Caldarola.

Zona 10 2010



La Zona 10, rappresentata con il codice 2010, individua l'area del capoluogo dove sorge il centro storico, settore dalla forma triangolare (conoide di deiezione) che dalla Chiesa dei Santi Gregorio (parte apicale), si apre a ventaglio verso E, inglobando Via Pallotta, Piazza Cavallotti, Piazza Leopardi e la centrale Piazza Vittorio Emanuele II.

Le indagini MASW effettuate sono state di scarso utilizzo per le ragioni illustrate nel capitolo 6 e pertanto si è ritenuta di fondamentale importanza l'esecuzione di una misura sismica in foro di tipo *Downhole*, mostrata in allegato. Le velocità delle onde di taglio ricavate vengono comunque illustrate di seguito.

2010	0-3	Riporto (Rl)	241
		Ghiaia limosa (GMcz) addensata	478
15-30		Ghiaia limosa (GPca) poco o moderatamente addensata	358
		Ghiaia limosa (GPca) moderatamente addensata	406
		Ghiaia limosa (GPca) moderatamente addensata	523
>		Pelitico-arenacea/Gessoso-solfifera (SFALS)	621

L'unica misura H/V attendibile, effettuata in prossimità della Downhole ha mostrato una f_0 a 3,748 Hz e ampiezza superiore a 2, compatibile con i risultati della modellazione 1D.

HVSr average

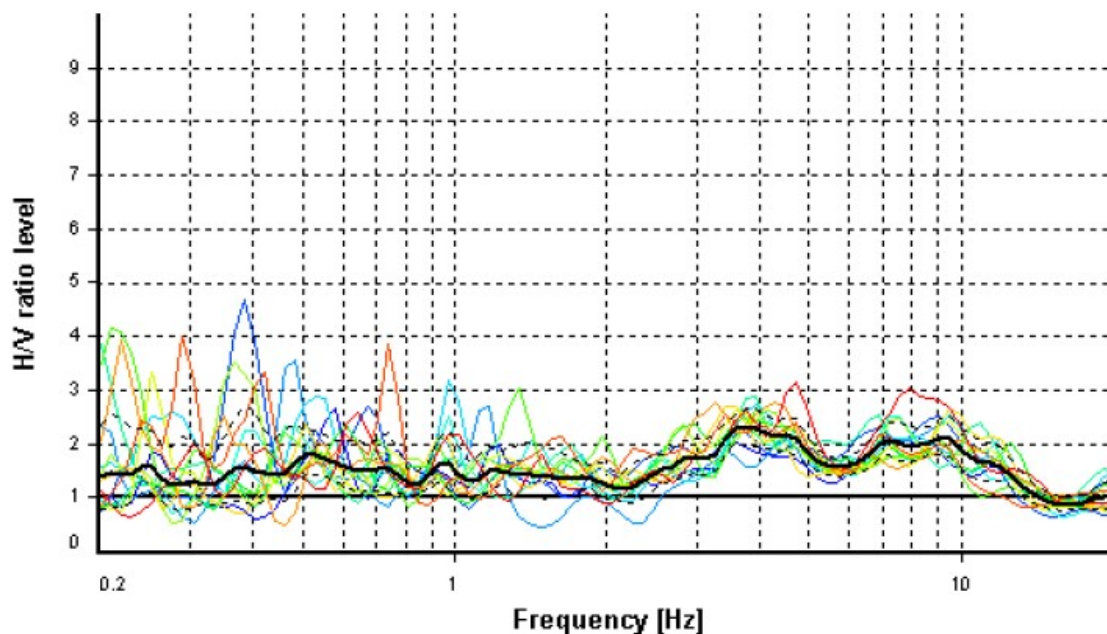
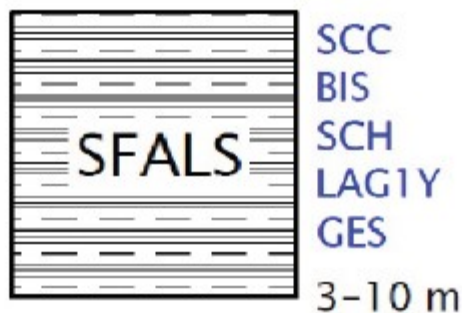


Figura 100 – Risultato dell'indagine HVSr effettuata nel piazzale retrostante il Palazzo Comunale (043006P470HVSr473).

L'incidenza delle condizioni idrogeologiche, come in altre zone, è sicuramente notevole. Morfologicamente, la Zona 10 insiste su versante avente pendenze che possono superare i 15°. Determinante anche la presenza della scarpata che borda ad E la conoide. Nel caso di sollecitazioni sismiche sono possibili instabilità con cedimenti, fessurazioni.

Substrato frattutato o alterato 2099



L'ultima zona, rappresentata con il codice 2099, individua aree del territorio comunale di Caldarola che presentano substrato fratturato o alterato tettonicamente ($J_v > 30$).

Le MASW effettuate e l'indagine sismica in foro di tipo *Downhole* hanno fornito velocità delle onde di taglio sempre inferiori a 800 m/s; pertanto i litotipi in questione rappresentano un substrato geologico ma non sismico.

2099 (SFALS)	0-10	Pelitico-arenacea/Gessoso-solfifera (SFALS) molto alterato	400	390	410
	80-100	Pelitico-arenacea/Gessoso-solfifera (SFALS) alterato	580	510	650
	>	Pelitico-arenacea/Gessoso-solfifera (ALS)	820	780	860

Per quanto riguarda la valutazione di contrasti di impedenza, sono state fatte misure H/V nel corso degli studi di Livello 1: nel caso specifico viene mostrata l'indagine effettuata sulla Formazione gessoso-solfifera (043006P414HVSR415) da cui emergono diversi picchi a varie frequenze.

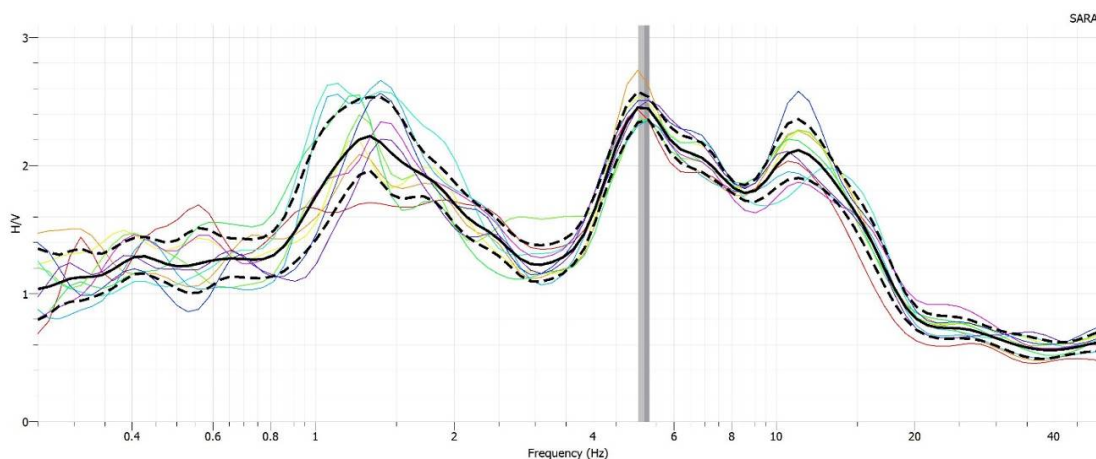


Figura 101 – Risultato dell'indagine HVSR effettuata nei pressi di c.da Bozzolone (043006P414HVSR415).

In tale zona, la presenza di acqua generalmente non influisce in maniera sensibile sulla portanza, elasticità e deformabilità. Riguardo alle sollecitazioni sismiche, nel caso di

Dott. Geol. Mauro Cataldi



substrato non fratturato o alterato, la risposta sarebbe stata da considerarsi ottimale (incremento nullo e/o poco avvertibile). Qui assume una certa rilevanza, dal punto di vista della risposta sismica locale, il controllo geomorfologico, dato che la zona 2099 presenta spesso acclività media o medio-alta, essendo localizzata in corrispondenza dei rilievi costituiti dalle unità mioceniche.

Per quanto riguarda le “Zone di Attenzione per le instabilità (ZA)”, sono state proposte perimetrazioni sulla base degli elementi individuati nella Carta geologico-tecnica per quanto concerne esclusivamente le instabilità di versante, tenendo conto delle zone di suscettibilità su cui insistono, a differenza degli standard usati in passato che prendevano in considerazione lo stato di attività.



ZA fr – Zona di attenzione per instabilità di versante

Per una più dettagliata descrizione delle varie tipologie, si rimanda al capitolo relativo all'assetto geomorfologico e all'illustrazione della Carta geologico-tecnica.

Altri elementi che sono stati inseriti per la redazione della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica sono: forme di superficie e sepolte (alla stessa stregua di quanto visto nella Carta geologico-tecnica), stazioni di misura del microtremore HVSR con indicazione dell'eventuale frequenza f_0 (contrasto di impedenza). Non sono state richieste le isobate del substrato sepolto.

8.5. Carte di Microzonazione Sismica (MS) di livello 3

Tali elaborati sono costituiti da n. 3 tavole in scala 1: 5.000 che, come descritto nell'introduzione, definiscono 3 classi di intervallo dei periodi di vibrazione di interesse in relazione al numero dei piani in elevazione degli edifici presenti, o di futura edificazione, nell'area studiata (con caratteristiche omogenee):

- 0,1 – 0,5 s
- 0,4 – 0,8 s
- 0,7 – 1,1 s

In particolare, sono stati applicati i fattori FA emersi durante la modellazione 1D alle zone precedentemente individuate, operando talvolta una suddivisione ragionata delle MOPS,