

ALLEGATO 1

**Caratterizzazione dinamica del sottosuolo
del comune di Rimini attraverso indagini di
sismica di superficie realizzate con tecniche
di tipo “passivo”**

Committente: Provincia di Rimini

Dott. Geologo Domenico Pileggi

Relazione Tecnica

PREMESSA

Su incarico della Provincia di Rimini, il Dott. Geologo Domenico Pileggi, con la supervisione del Prof. Dario Albarello dell'Università degli Studi di Siena, ha eseguito una campagna di misure di sismica di superficie per la caratterizzazione del sottosuolo dell'area comunale di Rimini. La fase di acquisizione dati, svolta tra i mesi di maggio e giugno del 2010, è durata all'incirca 15 giorni lavorativi nei quali sono stati studiati 20 siti ritenuti significativi ai fini della risposta sismica locale. Le metodologie d'indagine, definite di "sismica passiva", utilizzate per lo svolgimento del lavoro, si basano sullo studio delle onde superficiali attraverso acquisizioni delle vibrazioni ambientali. Nel dettaglio, in ognuno dei siti considerati, sono state eseguite sia misure con antenne bidimensionali che con tecnica a "stazione singola" (HVSr) per un totale di 75 acquisizioni. Di seguito verranno esposti i principi teorici delle tecniche adottate, la fase di lavoro legata all'elaborazione dati ed infine i risultati ottenuti.

INTRODUZIONE

L'andamento delle velocità di propagazione delle onde di taglio nel primo sottosuolo (profilo delle Vs) rappresenta in generale un'informazione importante ai fini della caratterizzazione meccanica (in campo dinamico) dei terreni.

In particolare essa risulta fondamentale negli studi della risposta sismica locale. A seguito di un terremoto, si ha spesso modo di osservare come la distribuzione dei danni sul territorio sia assai eterogenea a parità di vulnerabilità dell'edificato. Le condizioni geologico-tecniche degli strati più superficiali, nonché le caratteristiche geomorfologiche possono concorrere, infatti, ad accrescere localmente lo scuotimento indotto da un terremoto. Per un'efficace azione di prevenzione, in materia di rischio sismico, è necessario tener conto non solo, quindi, della zonazione sismica nazionale, ma anche di eventuali sfavorevoli condizioni locali, a scala intra-comunale. Particolarmente rilevanti sono i cosiddetti effetti di amplificazione di sito, ossia l'insieme delle variazioni in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico, rispetto ad una formazione rocciosa di base, subisce attraversando gli strati sovrastanti, fino alla superficie. Tali effetti sono causati, essenzialmente, da un processo di intrappolamento e risonanza dell'energia del terremoto all'interno di un volume di sottosuolo costituito da materiali sedimentari a bassa impedenza sismica (IS: prodotto della velocità di propagazione

dell'onda per la densità del mezzo attraversato) e posto sopra ad un dominio con più alta IS, per esempio un substrato roccioso o un suolo particolarmente rigido. Durante la propagazione dalla sorgente al sito, il raggio sismico, per via del fenomeno della rifrazione, subisce un processo di verticalizzazione e tende ad emergere dal basso verso l'alto. Le onde compressionali (P), dunque, sollecitano all'incirca verticalmente l'edificato, tuttavia è la sollecitazione orizzontale, dovuta alle onde trasversali (S), la causa principale del danneggiamento per le costruzioni. Gli edifici e le opere architettoniche in genere sono collaudate per resistere a forti carichi statici ma quasi mai viene valutata la risposta della costruzione a carichi dinamici. Da quanto detto si deduce che studiare le modalità di propagazione ed amplificazione delle onde trasversali o di taglio (S) nel sottosuolo vuol dire prevedere, a basso costo, le sollecitazioni che una struttura dovrà sopportare durante il verificarsi di un probabile evento sismico.

Tra le metodologie che consentono di ricavare il profilo Vs del sottosuolo stanno suscitando particolare interesse quelle definite di tipo "passivo" ovvero basate sullo studio della continua vibrazione del suolo dovuta a cause sia antropiche che naturali (Vibrazioni Ambientali). Queste tipologie d'indagini presentano diversi pregi. Sono tecniche geofisiche di superficie che, non richiedendo peraltro l'impiego di alcuna strumentazione per energizzare i terreni, risultano totalmente non invasive. Le misure sono rapide e relativamente poco costose. Necessitano unicamente della disponibilità di una superficie libera su cui poter posizionare i geofoni. Sono particolarmente adatte ad essere utilizzate in contesti nei quali altri metodi geofisici (p.es. i metodi di sismica a riflessione o rifrazione) soffrono pesantemente per il basso rapporto segnale-rumore (p.es. in aree urbane). Le profondità d'indagine che possono raggiungere sono, a parità di caratteristiche degli stendimenti e dei sensori, di gran lunga superiori a qualsiasi altra tecnica sismica di superficie.

PRINCIPI TEORICI

Misure su "Antenna Sismica"

La metodologia consiste nel valutare i tempi di arrivo delle diverse onde sismiche a un insieme di sensori (geofoni) posti alla superficie del terreno. Questi sensori possono essere distribuiti secondo geometrie variabili fino a coprire distanze dell'ordine delle decine di metri (antenna sismica). Il segnale registrato, dovuto alle vibrazioni ambientali, risulta un insieme articolato di fasi sismiche dove tuttavia le onde superficiali (Sw) rappresentano la fase energeticamente prevalente e dunque più facilmente analizzabile. Oggetto di studio di tali metodi sono proprio le Sw, dunque, ed in particolare la loro caratteristica propagazione dispersiva in mezzi stratificati.

In termini qualitativi, la dispersione delle onde Sw può essere spiegata come segue. Onde superficiali di diversa frequenza (f) si propagano interessando volumi di terreno fino ad una profondità circa pari alla loro lunghezza d'onda (λ). La velocità di propagazione (v) sarà strettamente dipendente dalle proprietà fisiche degli strati coinvolti. Giacché f e λ sono correlate da una semplice relazione, si ha che onde Sw ad alta frequenza avranno tendenzialmente una minore lunghezza d'onda e si propagheranno nei livelli di terreno più superficiali, viceversa onde a bassa frequenza interesseranno strati più profondi. Ne deriva anche che differenti componenti armoniche delle onde superficiali avranno diverse velocità di propagazione. La funzione che associa la velocità di propagazione alla frequenza è detta curva di dispersione; essa è univocamente correlata alla struttura meccanico-stratigrafica del sito e può essere ricavata

attraverso differenti metodologie di elaborazione dei dati acquisiti in campagna (ESAC, FK, HR) . La figura 1 mostra nel pannello a destra un esempio di antenna sismica mentre nel pannello di sinistra è mostrata la curva di dispersione.

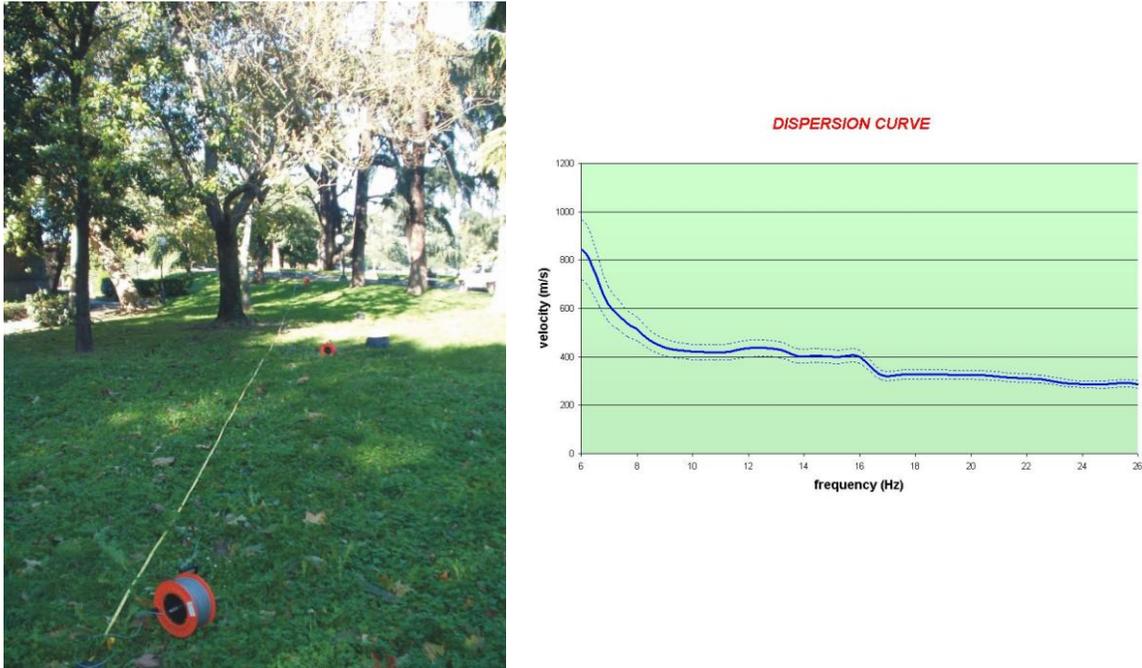


Figura 1: Esempio di misura realizzata con la tecnica dell'antenna sismica. Nel pannello di sinistra, si può osservare la disposizione dei sensori; nel pannello di destra è visualizzata la curva di dispersione.

Considerando che le onde superficiali sono essenzialmente un prodotto delle onde di volume ed in particolar modo delle onde trasversali (S), attraverso opportune procedure numeriche, definite di inversione, è possibile infine risalire al profilo di velocità V_s nel sottosuolo partendo dalla curva di dispersione ricavata dai dati acquisiti in campagna.

Metodologia a "Stazione Singola"(HVSr)

Accanto alle tecniche basate sull'impiego di una antenna sismica esistono altre tecniche basate sull'uso di una singola stazione di misura. In questo caso vengono misurate le vibrazioni ambientali nelle tre direzioni dello spazio attraverso un unico sensore tridirezionale posto sulla superficie del terreno. In particolare viene valutato il rapporto di ampiezza fra le componenti orizzontali e verticali del moto (metodo HVSr ovvero "Horizontal to Vertical Spectral Ratios"). Analizzando misure di questo tipo è possibile identificare le modalità di vibrazione del terreno. In particolare è possibile individuare la frequenza f di questa vibrazione definita di "Risonanza". Sapendo che in generale esiste una relazione semplice fra f , lo spessore della parte più soffice del terreno e la velocità media delle onde sismiche nel sottosuolo (ricavata per esempio dai metodi con antenna), attraverso le misure HVSr è possibile risalire allo spessore di questo strato. In figura 2 viene mostrato nel pannello di sinistra un esempio di misura a stazione

singola mentre nel pannello a destra la curva HVSR corrispondente. Il massimo della curva HVSR indica la frequenza fondamentale di risonanza del sito.

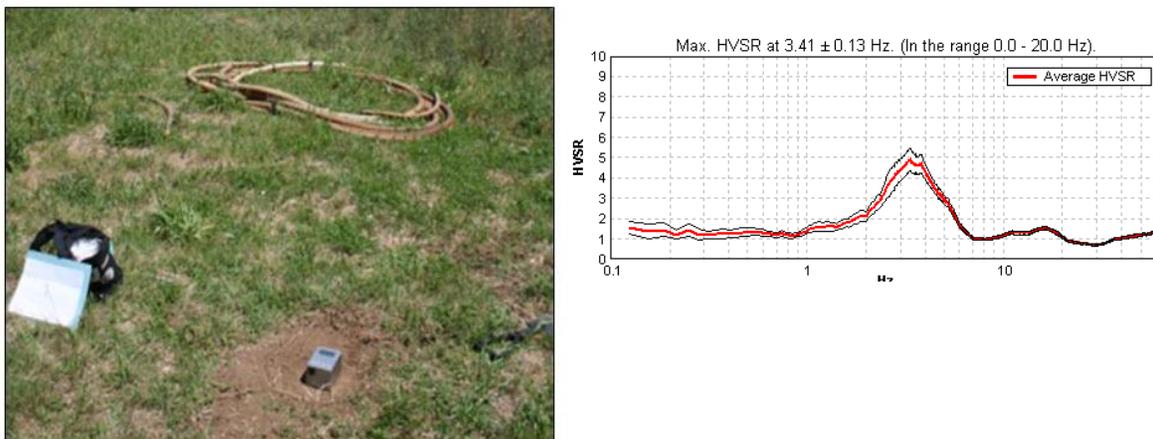


Figura 2: Esempio di misura realizzata con la tecnica a stazione singola. Nel pannello di sinistra, si può osservare il sensore tridirezionale ; nel pannello di destra è visualizzata la curva dei rapporti spettrali.

Questa tipologia di misure può contribuire, inoltre, a ridurre la variabilità dovuta alla non unicità della soluzione del problema inverso realizzando una procedura d'inversione congiunta della curva di dispersione e della curva HVSR.

CARATTERIZZAZIONE DINAMICA DEL SOTTOSUOLO DI RIMINI

Durante i mesi di maggio e giugno del 2010 sono state realizzate 75 acquisizioni di vibrazioni ambientali in 20 siti del Comune di Rimini. Si tratta di 35 acquisizioni su antenna sismica bidimensionale (la cui ubicazione è riportata in figura 3) e 40 registrazioni a stazione singola



Figura 3: Ubicazione dei siti . I colori rappresentano i gruppi di misure che sono state in fase di elaborazione dati associate per caratteristiche geografiche e risultati

(2 per sito), posizionate a pochi metri di distanza da ogni antenna. Per le misure su antenna si è usato un acquirente a 16 canali e 24 bit equivalenti (Brainspy, Micromed) ed esse sono quindi state elaborate con la procedura ESAC per la ricostruzione della curva di dispersione di ogni singolo sito.

Per le misure HVSR è stato impiegato un tromografo digitale modello Tromino (Micromed).

I dati di vibrazioni ambientali acquisiti con questa tecnica d'indagine sono stati successivamente elaborati con il software "Grilla" in dotazione al tromografo.

Le curve di dispersione e le curve HVSR di ogni sito sono infine state invertite congiuntamente attraverso una procedura agli algoritmi genetici per risalire al profilo di velocità delle onde di taglio V_s . In appendice alla relazione sono sinteticamente riportati i risultati ottenuti per ogni singolo sito in studio.

Interpretazioni preliminari

Prima di realizzare le procedure d'inversione è stata eseguita una serie di confronti tra le curve di dispersione dei singoli siti di studio. In figura 4 è possibile osservare la somiglianza tra le curve A2, A3, A14 ed A19, tutte ubicate all'incirca nell'area nord del comune ed evidenziate in figura 3 dai pallini colorati in blu. Per quanto riguarda le curve di dispersione dei siti A1 ed A4, ubicate anch'esse nella medesima zona (pallini color magenta in figura 3), non è stato possibile effettuare alcun tipo di considerazione poiché, per via di forti disturbi, sono state giudicate non interpretabili.

Considerando la vicinanza geografica dei siti in studio, nonché l'uniformità della geologia dell'area, il risultato del confronto realizzato sembrerebbe indicare un unico modello interpretativo.

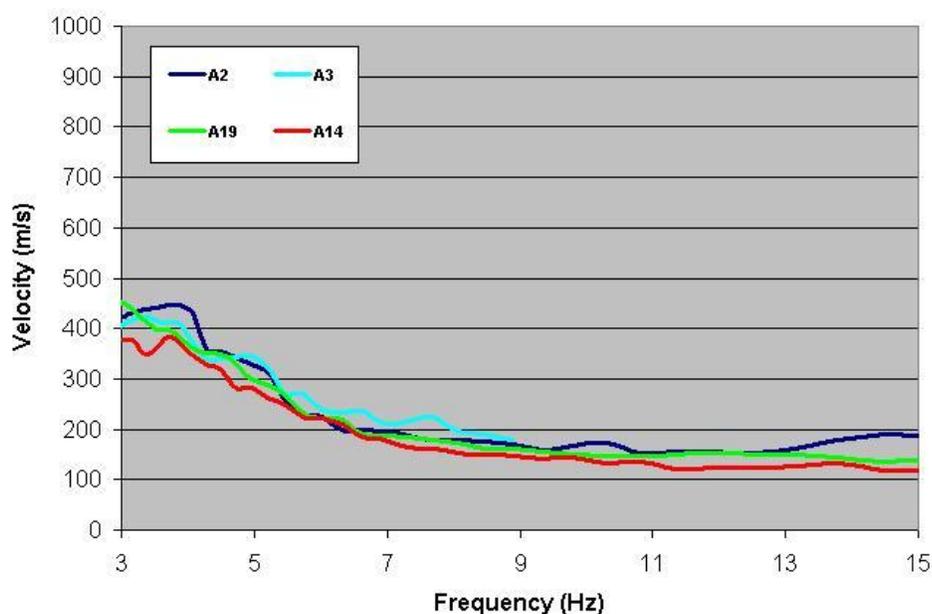


Figura 4: Confronto tra le curve di dispersione dei punti di misura A2, A3, A14 ed A19

Tale ipotesi è, inoltre, confermata dalle misure HVSR che, come si osserva in figura 5, mostrano tutte un massimo compreso tra 2 e 3 Hz circa (per tale confronto è stato possibile utilizzare le misure a stazione singola dei siti A1 ed A4).

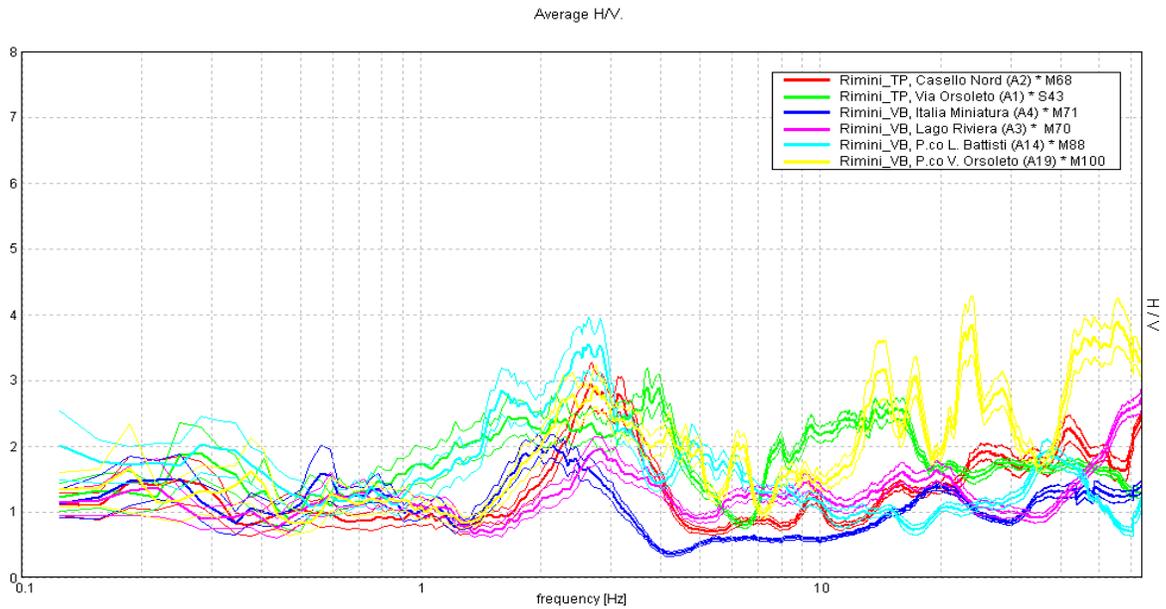


Figura 5: Confronto tra le curve di rapporti spettrali dei punti di misura A1, A2, A3, A4, A14 ed A19

Anche buona parte delle antenne ubicate nell'area centro-sud di Rimini mostra curve di dispersione confrontabili. In figura 6 è possibile osservare le curve riferite ad i siti A5, A8, A9, A10, A11, A16 ed A17 (questi siti sono indicati con pallini di colore giallo in figura 3).

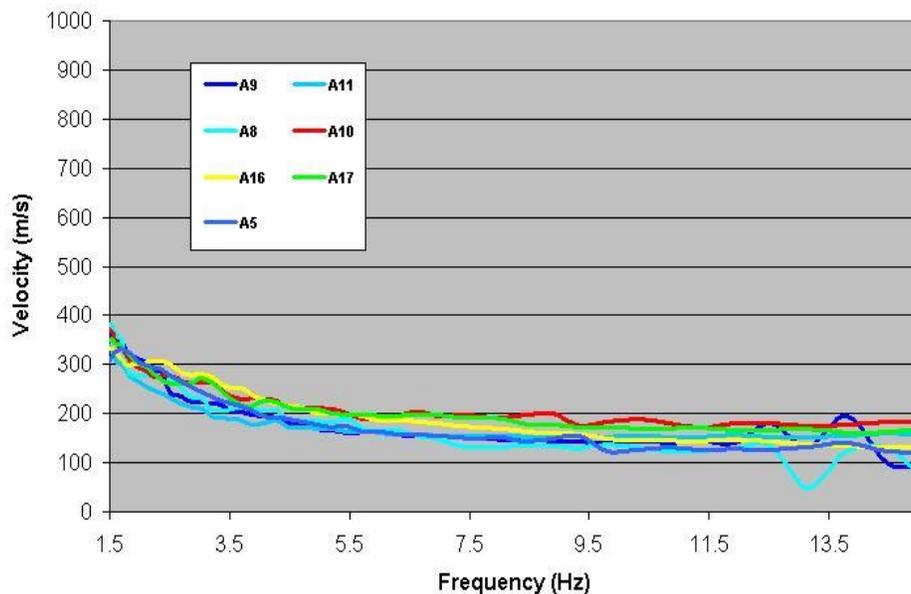


Figura 6: Confronto tra le curve di dispersione dei punti di misura A5, A8, A9, A10, A11, A16 ed A17

Tutte le curve rappresentate in figura 6 mostrano in bassa frequenza (da circa 1 a 5 Hz) il medesimo andamento. In particolar modo le curve A5, A8, A9 ed A11 (rappresentate in figura 6 con diverse tonalità di celeste) hanno un andamento complessivamente molto somigliante sia in alta che bassa frequenza. Differentemente, le restanti curve A10, A16 ed A17 sembrano discostarsi leggermente dalle altre a partire da 5 Hz in poi, disponendosi su valori di velocità lievemente più elevati.

In generale, anche in questo caso il modello interpretativo del sottosuolo di quest'area potrebbe essere unico. Le sole differenze, probabilmente, risiedono negli strati superficiali dei siti A10, A16 ed A17, che dimostrano velocità di poco maggiorate rispetto agli altri.

Anche in questo caso le misure HVSR sembrano confermare quanto ipotizzato, non rilevando, per nessuno dei siti, indicati in giallo in figura 3, particolari massimi risonanti nell'intervallo di frequenze ingegneristico (le misure risultano praticamente piatte tra 1 e 10 Hz, confronto in figura 7).

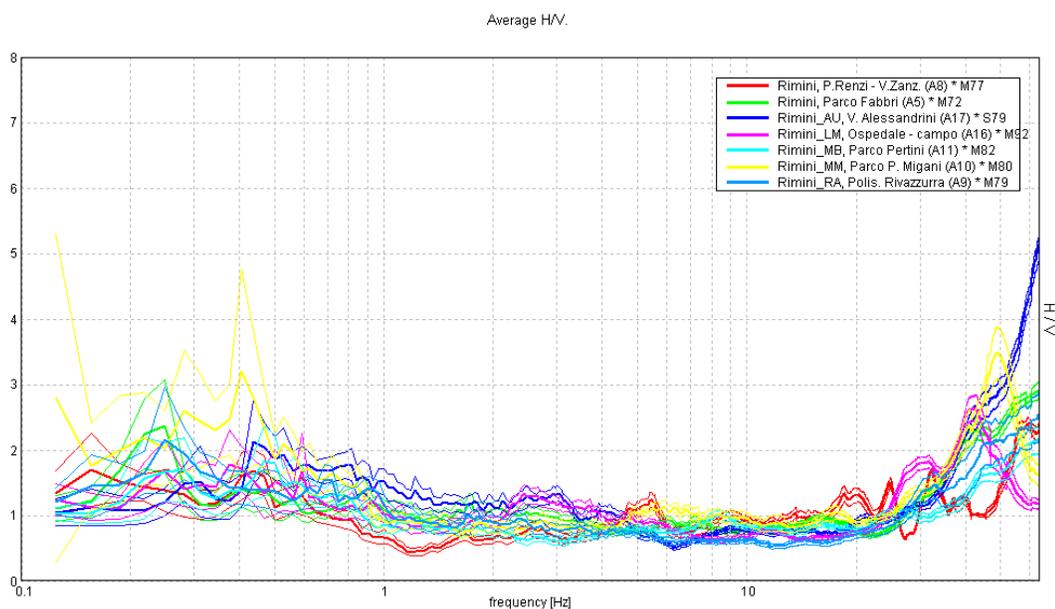


Figura 7: Confronto tra le curve di rapporti spettrali dei punti di misura A5, A8, A9, A10, A11, A16 ed A17

Contrapponendo, infine, le curve di dispersione dei siti rimanenti (indicati in figura 3 con i pallini di colore verde), si osserva come presentino tutte andamenti abbastanza diversi (figura 8). Per tale ragione non è possibile ipotizzare, come fatto per gli altri casi, un unico modello interpretativo per l'area che va da Rivabella a Marina Centro. La curva A18 è stata inserita in questo raffronto poiché, nonostante la distanza geografica, sembra avere caratteristiche in alta frequenza molto più simili alle curve A15 e A7 ed A20 piuttosto che a quelle dell'area nord, precedentemente osservata. Le misure svolte nell'area di Covignano (A13) non sono state considerate in alcun raffronto, poiché le caratteristiche geologiche di questa zona risultano molto differenti dal restante contesto.

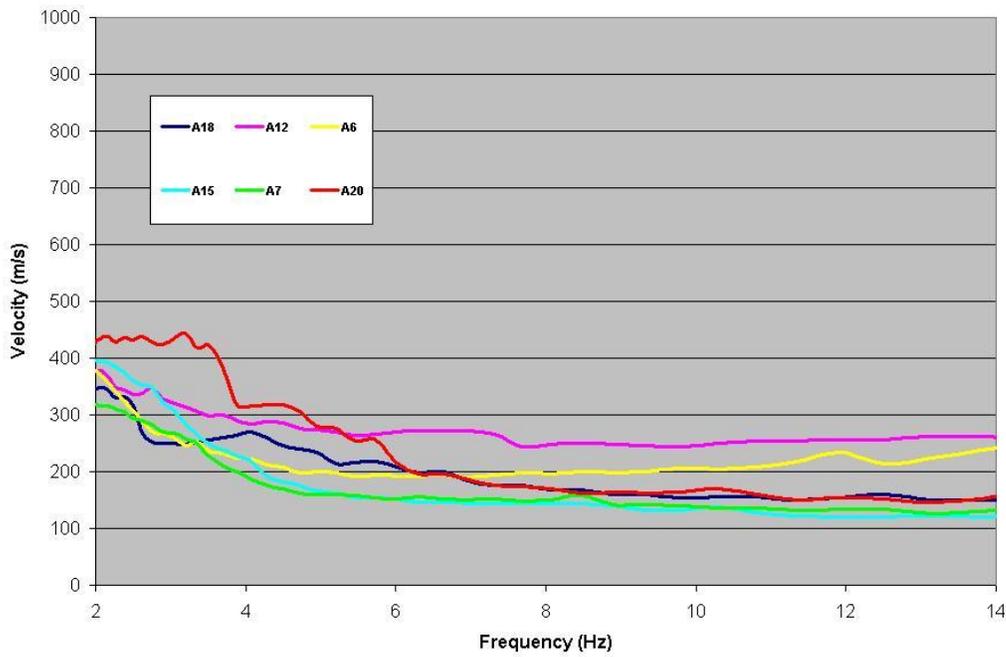


Figura 8: Confronto tra le curve di dispersione dei punti di misura A6, A7, A12, A15, A18, ed A20

Un'altra importante considerazione che è possibile effettuare, osservando le misure HVSR sia in figura 5 che in figura 7, riguarda la presenza, in bassissima frequenza (0.2-0.3 Hz circa), di un massimo con ampiezza variabile da misura a misura. In generale tale massimo è presente in tutte le acquisizioni a stazione singola realizzate nel Comune di Rimini. Inoltre, se si osserva attentamente la figura 5, si noterà la presenza di un altro massimo compreso tra 0.6 e 0.7 Hz. Quest' altro picco in frequenza, che compare unicamente nelle misure realizzate nell'area nord ed in alcuni siti dell'area Marina Centro.

Inversione congiunta

Per tutti i siti esaminati, eccetto A1 ed A4, è stata realizzata un'inversione congiunta delle curve HVSR e di dispersione con lo scopo di ottenere il profilo di velocità V_s delle onde di taglio nel sottosuolo. Le considerazioni effettuate sia sulle curve dei rapporti spettrali che sulle curve ricavate dalle antenne hanno permesso di suddividere l'area comunale in 3 zone principali:

- Area Rimini Nord: si estende da Torre Pedrera a Viserba e comprende i siti A1, A2, A3, A4, A14, A18 ed A19.
- Area Rimini Centro-Sud: si estende da Miramare a Marina Centro e comprende i siti A5, A8, A9, A10, A11, A16 ed A17.
- Area Rimini Centro: Si estende da Rivabella sino alla parte più a nord di Marina Centro e comprende i siti A6, A7, A12, A15 ed A19.

Il sito A13 ubicato presso la frazione di Covignano, che presenta caratteristiche geologiche e geografiche differenti dalle aree appena definite, non è stato inserito in questa suddivisione.

Area Rimini Nord

In base a quanto esposto nel paragrafo sulle “Interpretazioni Preliminari” è stato possibile attribuire ai siti ubicati nell’area nord un unico modello interpretativo. In pratica è stato realizzato un unico profilo V_s per i punti di misura A2, A3, A14 ed A19. Nei due pannelli di figura 9 viene mostrata la correlazione tra le curve sperimentali e le curve teoriche che meglio riproducono il dato osservato.

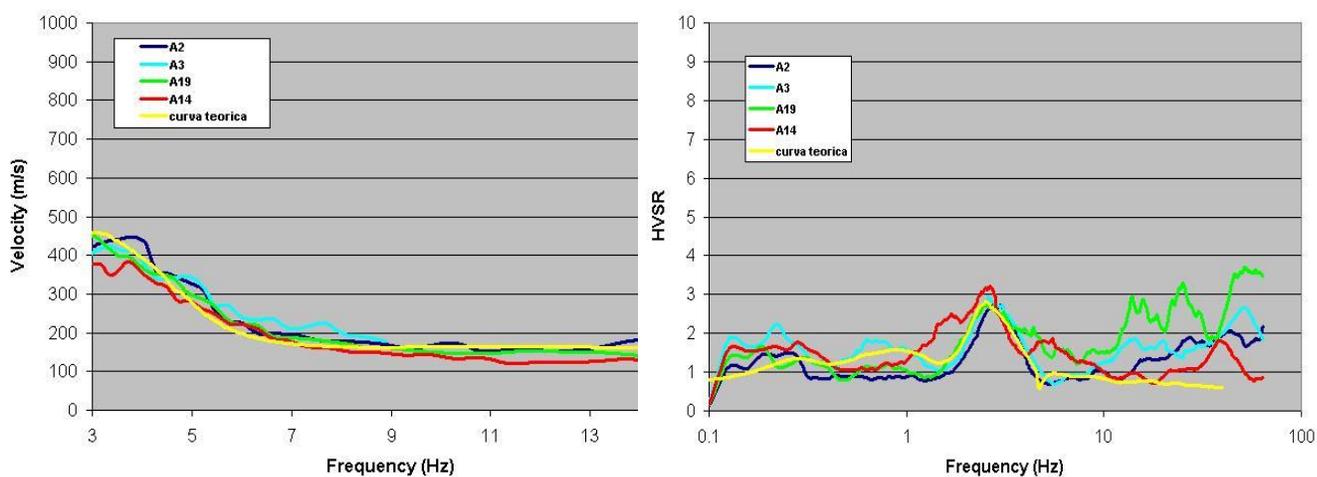


Figura 9: Correlazioni tra curve sperimentali e teoriche riferite ai punti di misura A2, A3, A14 ed A19 (curve di dispersione nel pannello di sinistra; curve dei rapporti spettrali nel pannello di destra).

Poiché la curva di dispersione A18 non presenta caratteristiche compatibili con il resto dei siti in studio in quest’area, è stato scelto di trattare singolarmente i dati acquisiti per tale punto di misura. La figura 10 mostra le correlazioni tra curve sperimentali e teoriche realizzate.

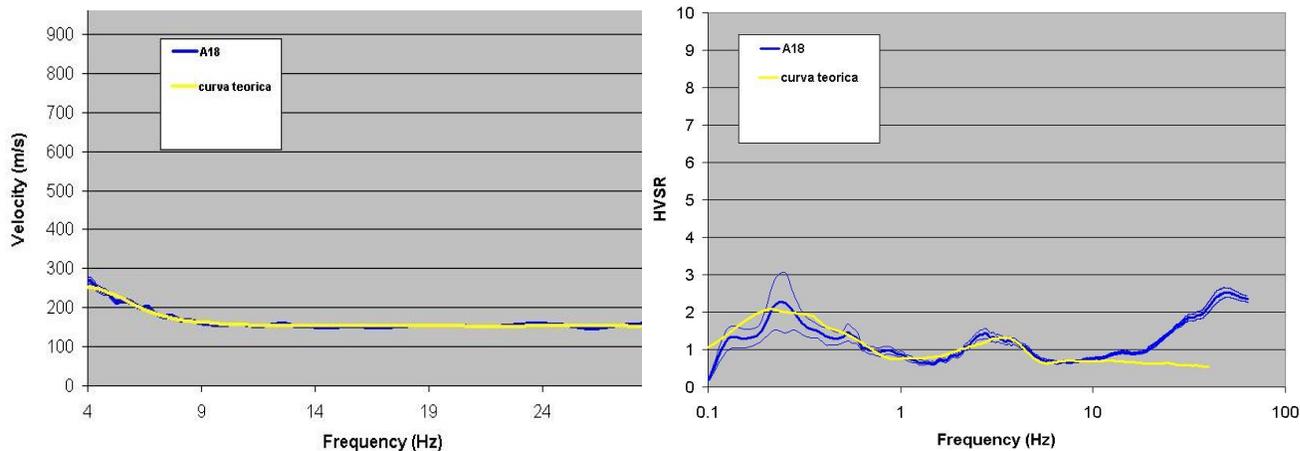


Figura 10: Correlazioni tra curve sperimentali e teoriche riferite al punto di misura A18 (curve di dispersione nel pannello di sinistra; curve dei rapporti spettrali nel pannello di destra).

Sia in figura 9 che 10 è possibile verificare come la curva teorica HVSR riproduca il massimo a circa 0.2-0.3 Hz presente nelle acquisizioni sperimentali. Questo picco potrebbe rappresentare una variazione nelle caratteristiche fisico-meccaniche del sottosuolo ad elevate profondità (300-400 metri circa), tuttavia per ragioni legate alla risoluzione dei metodi utilizzati ed agli scopi di questo lavoro si è scelto di rappresentare i modelli V_s sino alla ragionevole profondità di 160 m. In figura 11 è possibile visualizzare sia il profilo V_s riferito ai punti di misura A2, A3, A14 ed A19 sia il profilo V_s del sito A18.

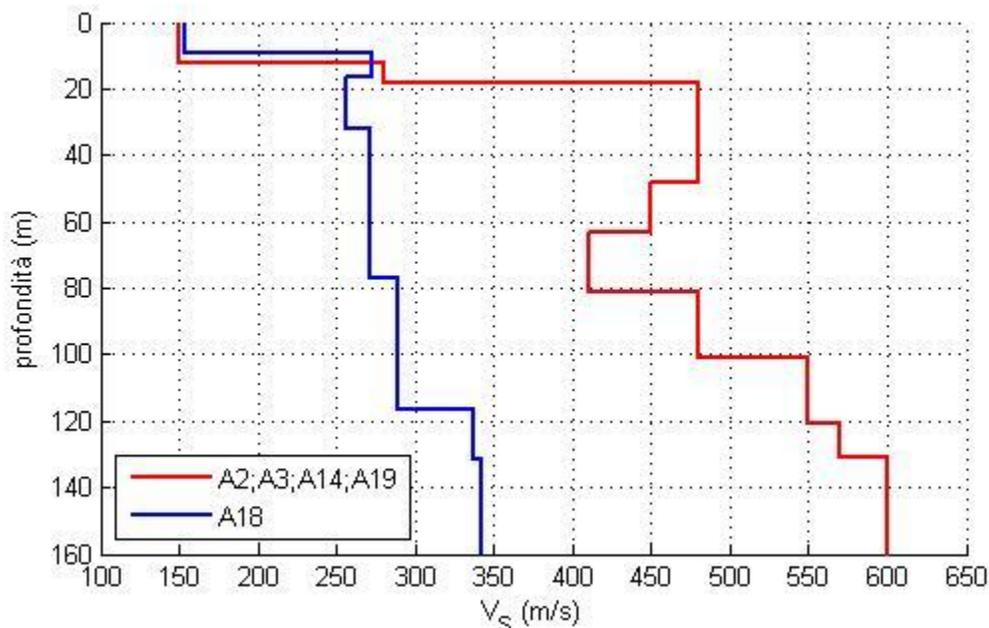


Figura 11: Profili V_s dell'area nord di Rimini. In blu è visualizzato il profilo riferito al sito A18. In rosso il profilo riferito ai punti A2, A3, A14 ed A19.

Nonostante la distanza relativamente breve del sito A18 dai restanti, i risultati evidenziati nella figura sopra, mostrano decise differenze tra le velocità Vs. Senza scendere troppo nel dettaglio le diversità tra i due profili potrebbero essere attribuite ad un cambiamento delle caratteristiche del sottosuolo sul margine nord dell'area in esame. Il punto di misura A18 è infatti posizionato sull'estremo bordo nord di Torre Pedrera, nei pressi del confine territoriale del Comune di Rimini.

Area Rimini Centro-Sud

Anche per l'area comunale centro-sud è stata seguita, alla luce delle considerazioni effettuate sull'andamento delle curve, una strategia interpretativa simile a quella appena commentata. In pratica è stato scelto di attribuire un unico profilo Vs ai siti A5, A8, A9 ed A11 (in figura 12 è possibile visualizzare le correlazioni tra curve sperimentali e teoriche per tali punti di misura). Le velocità dei siti A10, A16 ed A17 sono state ricavate dal profilo Vs riferito ai punti di misura A5, A8, A9 ed A11. Riadattando, per ogni singolo caso, negli strati superficiali questo profilo, sono state calcolate le curve HVSR e di dispersione teoriche per i punti A10, A16 ed A17. Le correlazioni ottenute per le curve di dispersione sono mostrate in figura 13. Non sono invece riportate le correlazioni tra curve HVSR poiché le variazioni realizzate sul modello di velocità principale non hanno influenzato in nessuno dei 3 casi in esame l'andamento della curva HVSR teorica mostrata nel pannello di destra di figura 12.

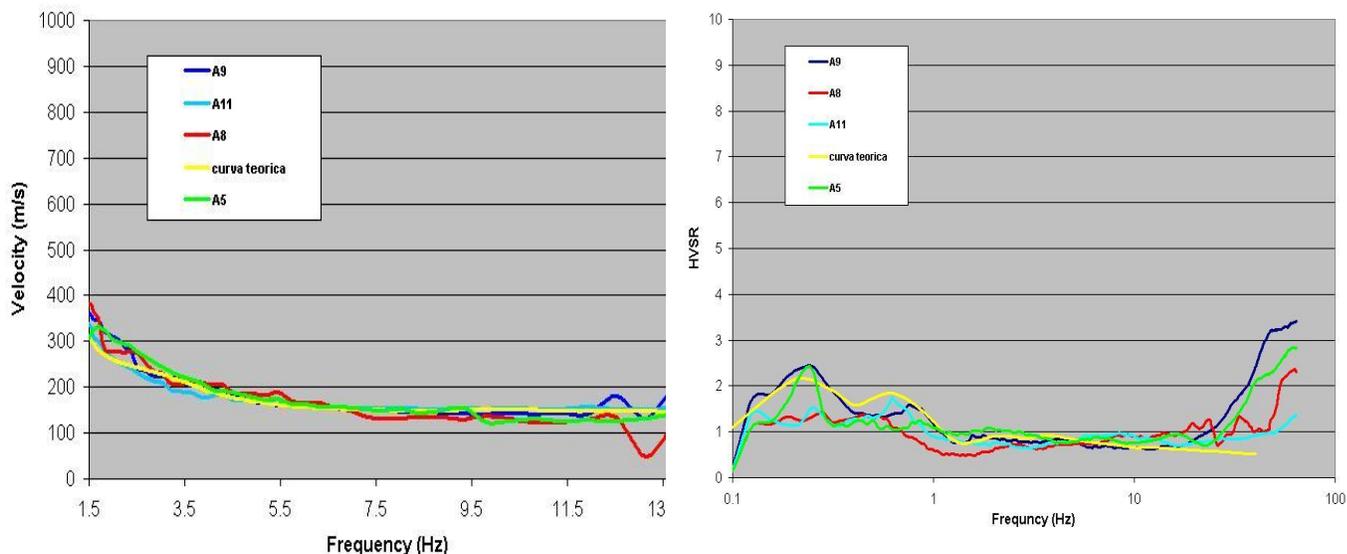


Figura 11: Correlazioni tra curve sperimentali e teoriche riferite ai punti di misura A5, A8, A12 ed A11 (curve di dispersione nel pannello di sinistra; curve dei rapporti spettrali nel pannello di destra).

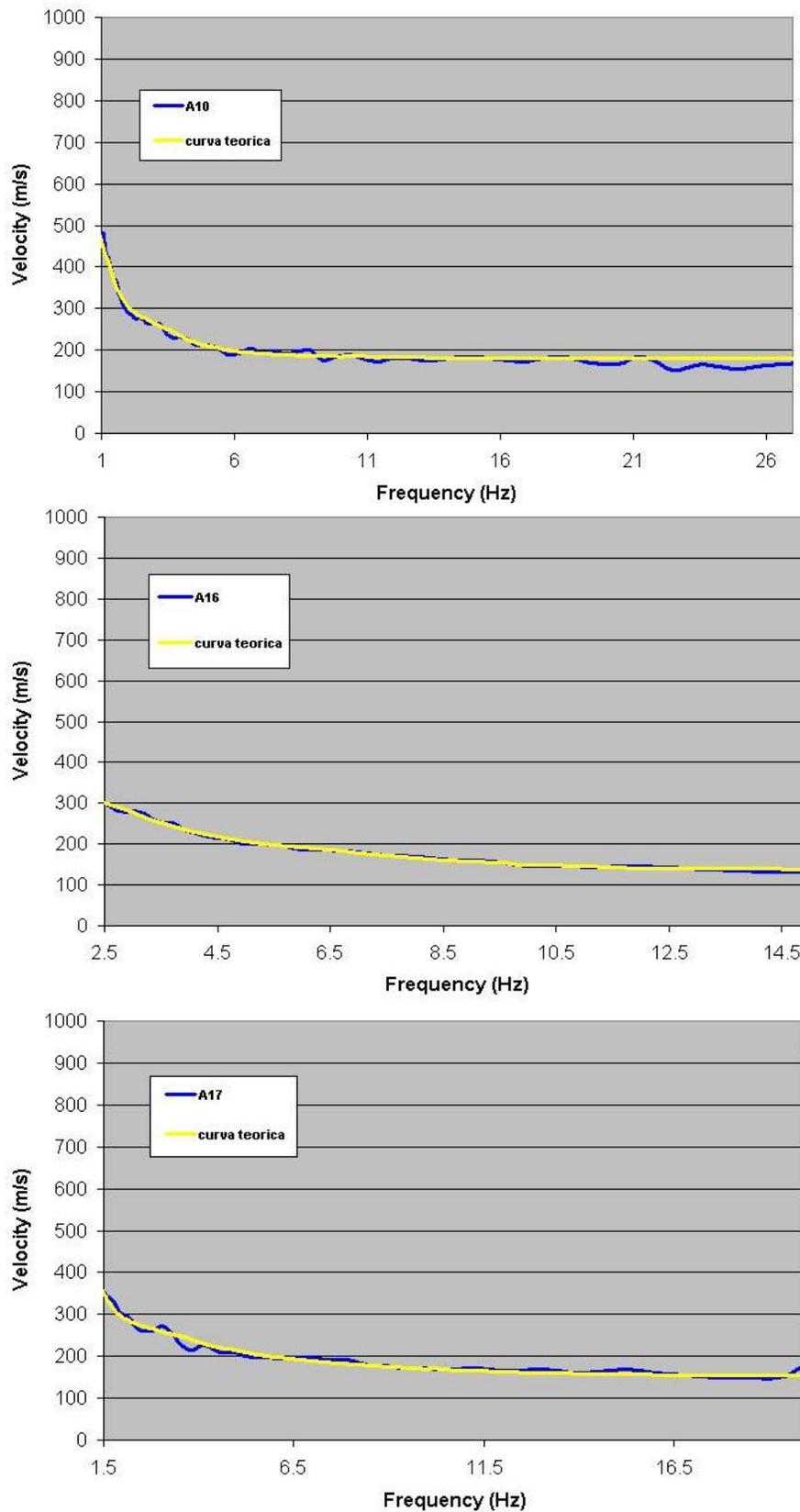


Figura 12: Correlazioni tra curve di dispersione sperimentali e teoriche per i punti di misura A10, A16 ed A17 (in quest'ordine dall'alto verso il basso).

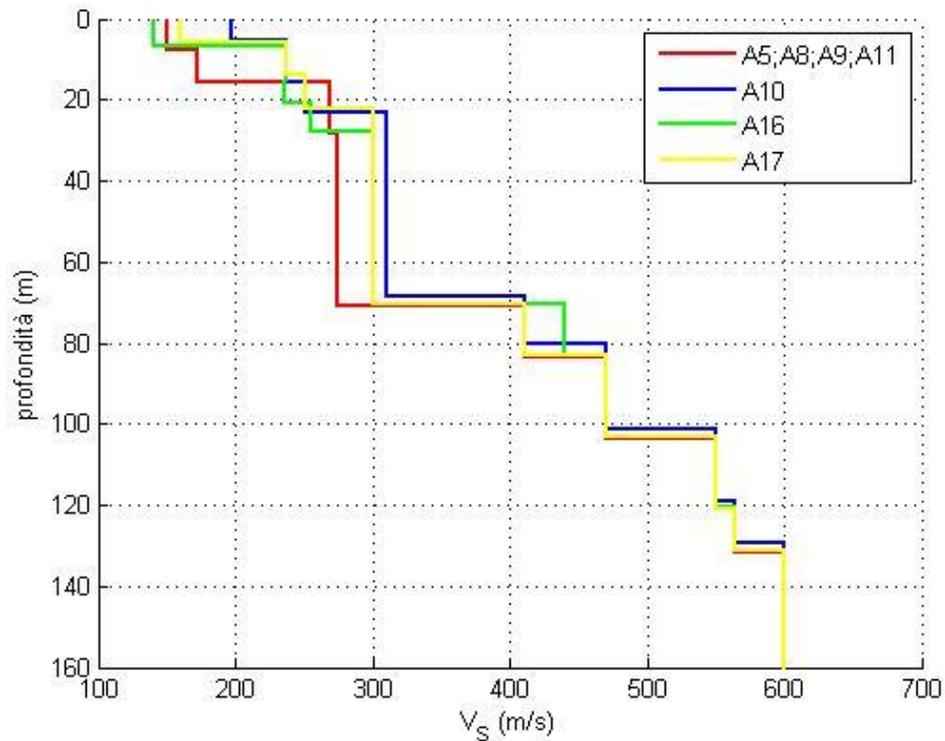


Figura 13: Profili Vs dell'area centro-sud di Rimini.

In figura 13, infine, è possibile osservare tutti i profili riferiti all'area centro-sud di Rimini. Come si nota le caratteristiche del sottosuolo restano più o meno costanti per tutta la zona.

Area Rimini Centro

Per quanto riguarda l'area che va da Rivabella al bordo nord di Marina Centro, non essendovi particolari congruenze tra le curve, i differenti siti sono stati analizzati singolarmente. I risultati ottenuti (figura 14) dimostrano una forte variabilità delle caratteristiche del sottosuolo in quest'area.

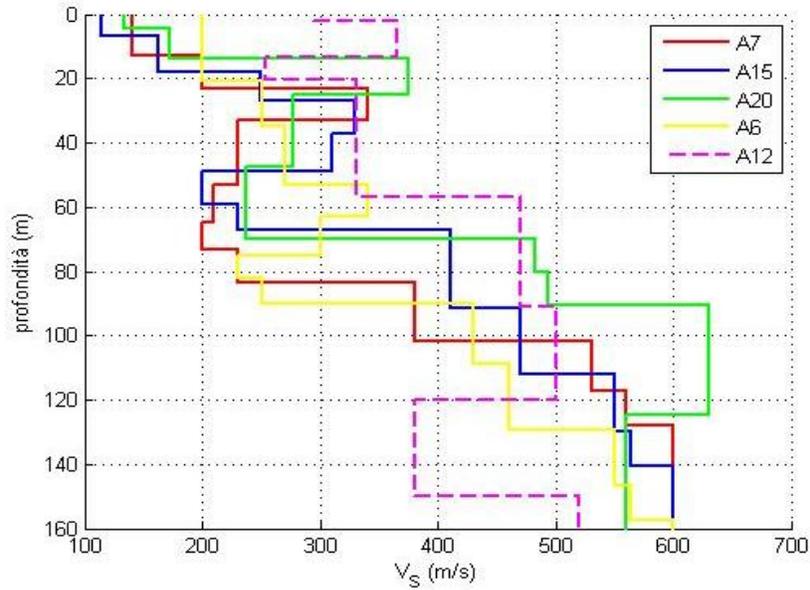


Figura 14: Profili Vs dell'area centrale di Rimini

Gli unici profili Vs che sembrano avere qualche caratteristica comune risultano quelli riferiti ai punti di misura A7 ed A15 (rispettivamente ubicati a San Giuliano Mare e Rivabella). Questi due modelli, seppur con velocità complessivamente differenti, sembrano avere un andamento piuttosto simile. Entrambi dimostrano a circa 30 metri di profondità un'inversione delle Vs che passa da 340 m/s circa a poco più di 200 m/s, inoltre, oltre i 100 metri di profondità, gli andamenti sembrano assestarsi su velocità abbastanza confrontabili (risultati visualizzabili in figura 15).

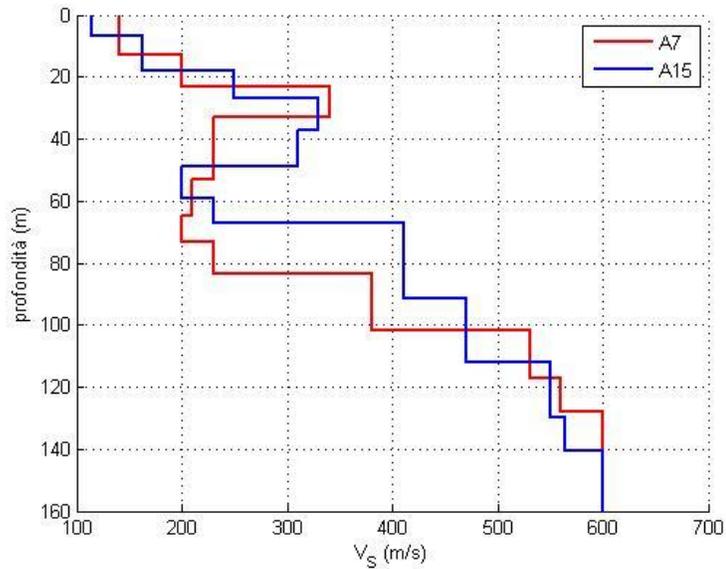


Figura 15: Confronto tra i profili Vs dei punti di misura A7 ed A15

Di seguito vengono riportate le correlazioni tra le curve teoriche e sperimentali per questi due siti (figura 16).

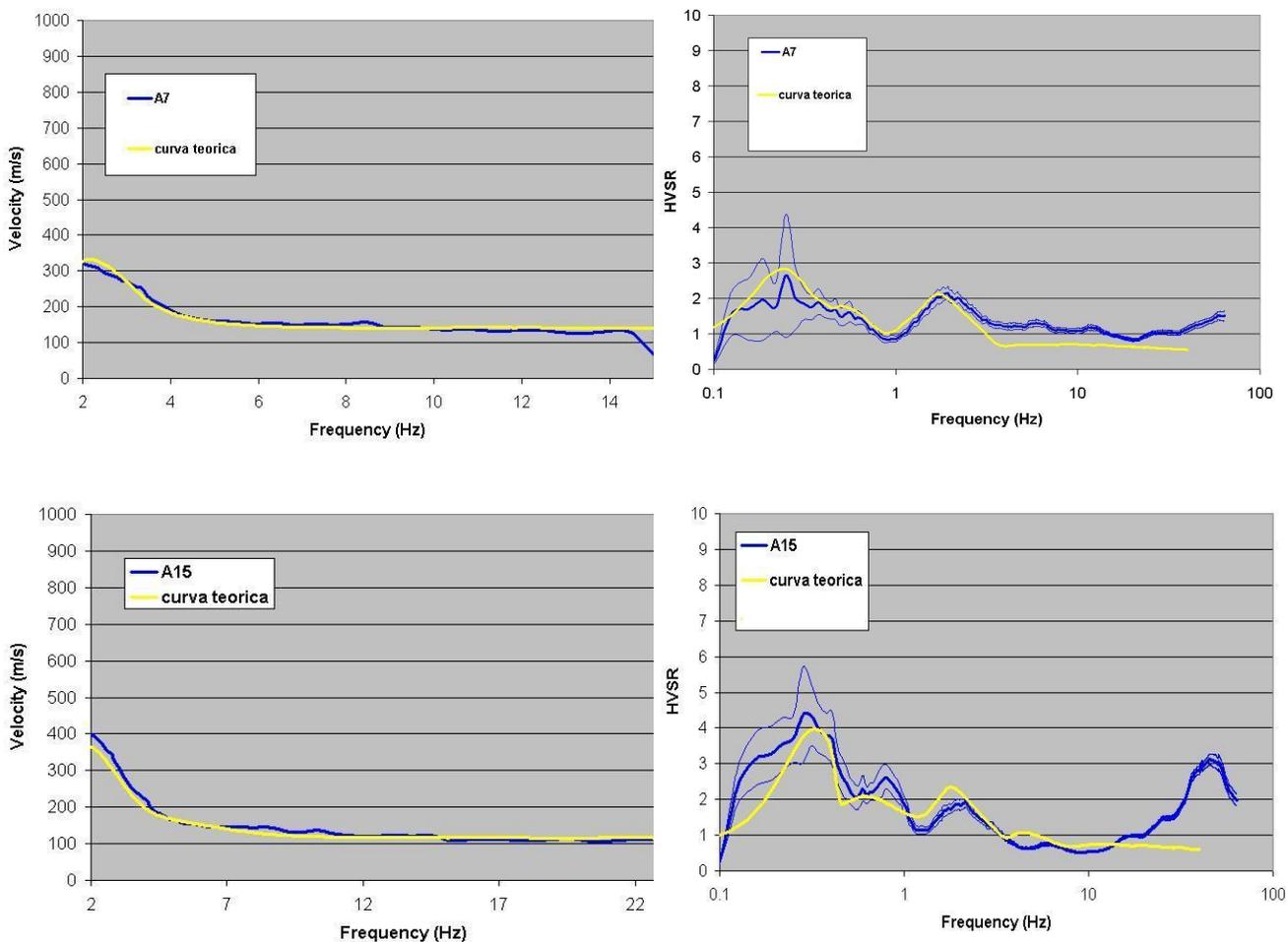


Figura 16: Correlazioni tra curve di dispersione sperimentali e teoriche per i punti di misura A7 ed A15 (in quest'ordine dall'alto verso il basso).

Nelle figure delle pagine (figure 17, 18 e 19) successive vengono mostrati i risultati e le correlazioni tra le curve dei siti rimanenti nell' area centrale di Rimini.

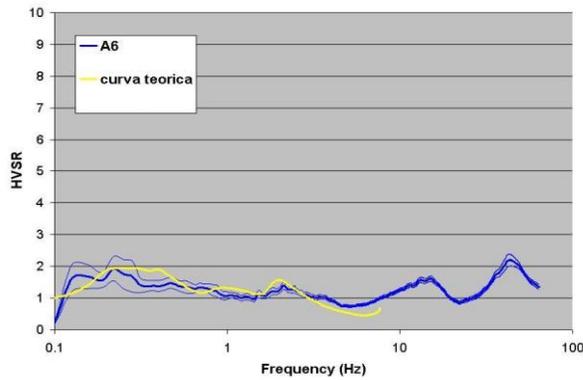
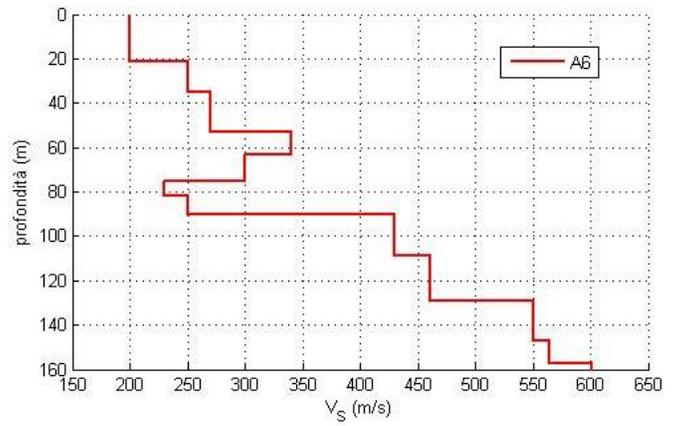
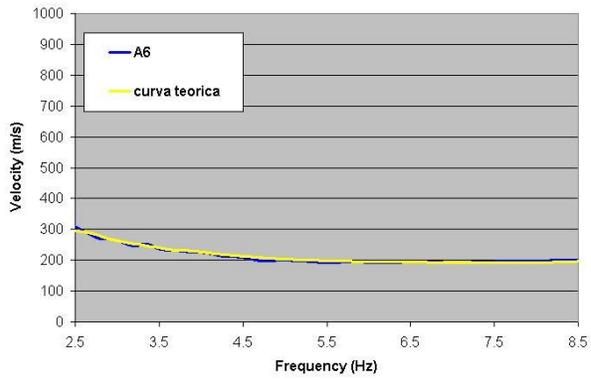


Figura 17: I pannelli di destra mostrano la correlazione tra le curve teoriche e sperimentali riferite al sito A6. Nel pannello di sinistra è possibile osservare il profilo V_s .

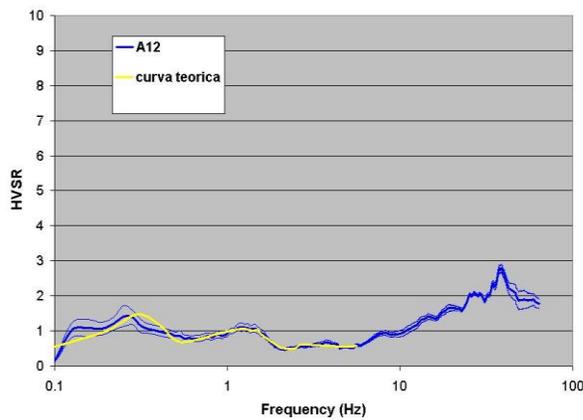
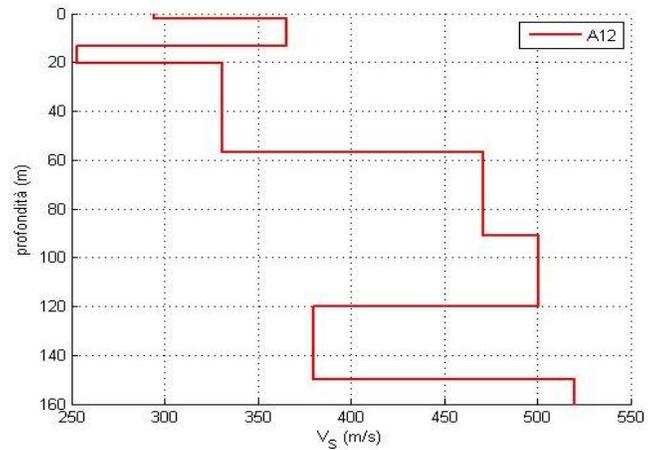
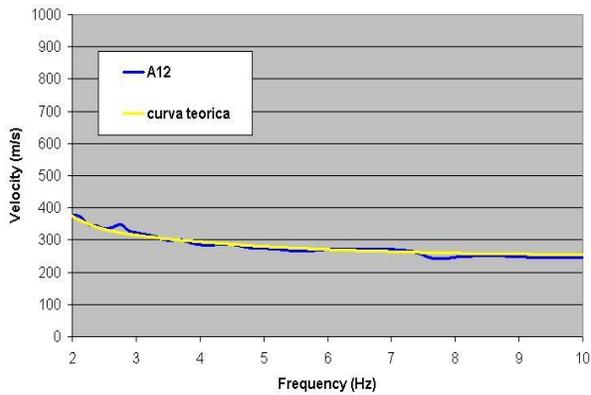


Figura 18: I pannelli di destra mostrano la correlazione tra le curve teoriche e sperimentali riferite al sito A12. Nel pannello di sinistra è possibile osservare il profilo V_s .

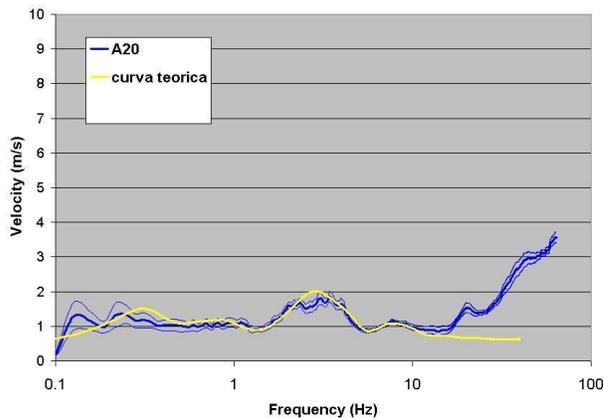
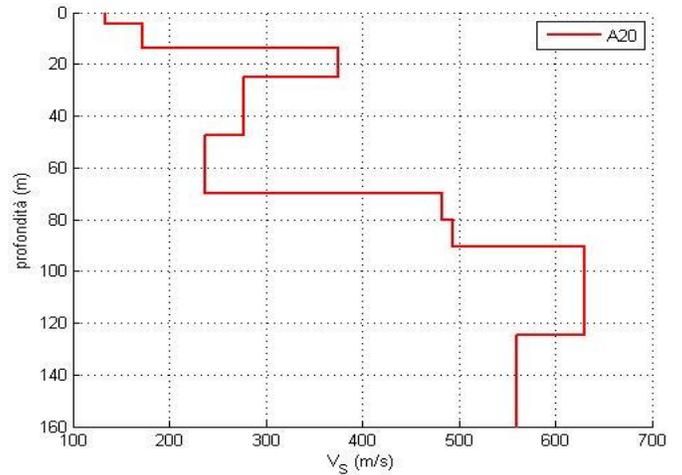
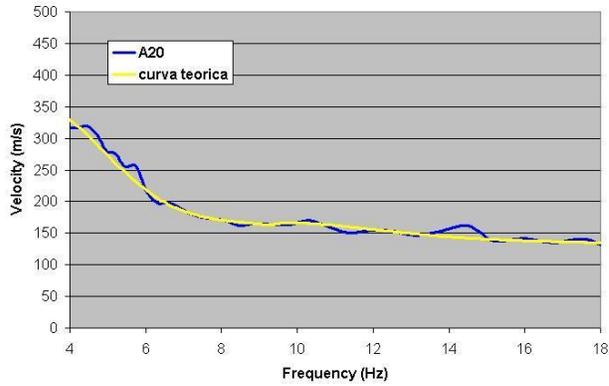


Figura 19: I pannelli di destra mostrano la correlazione tra le curve teoriche e sperimentali riferite al sito A20. Nel pannello di sinistra è possibile osservare il profilo V_s .

Covignano

Per concludere, vista l'ubicazione geografica ed il contesto geologico differente, riportiamo i risultati ottenuti per il sito A13, ubicato a Covignano. Nei due pannelli di figura 20 vengono mostrate le correlazioni tra le curve sperimentali e quelle teoriche, ricavate dai procedimenti d'inversione. In figura 21, invece, è mostrato il profilo V_s del sito.

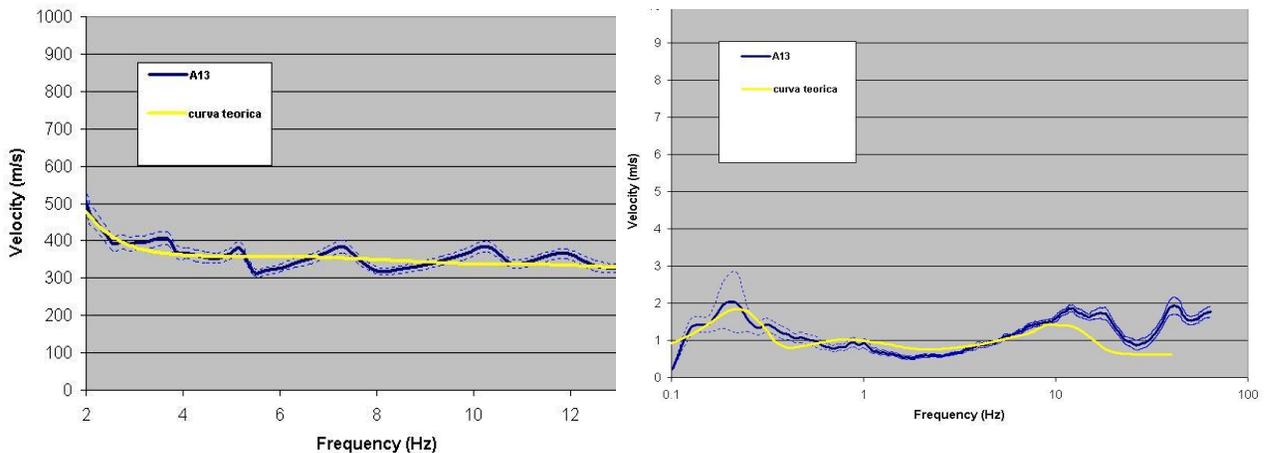


Figura 20: Correlazioni tra curve sperimentali e teoriche riferite al punto di misura A13 (curve di dispersione nel pannello di sinistra; curve dei rapporti spettrali nel pannello di destra).

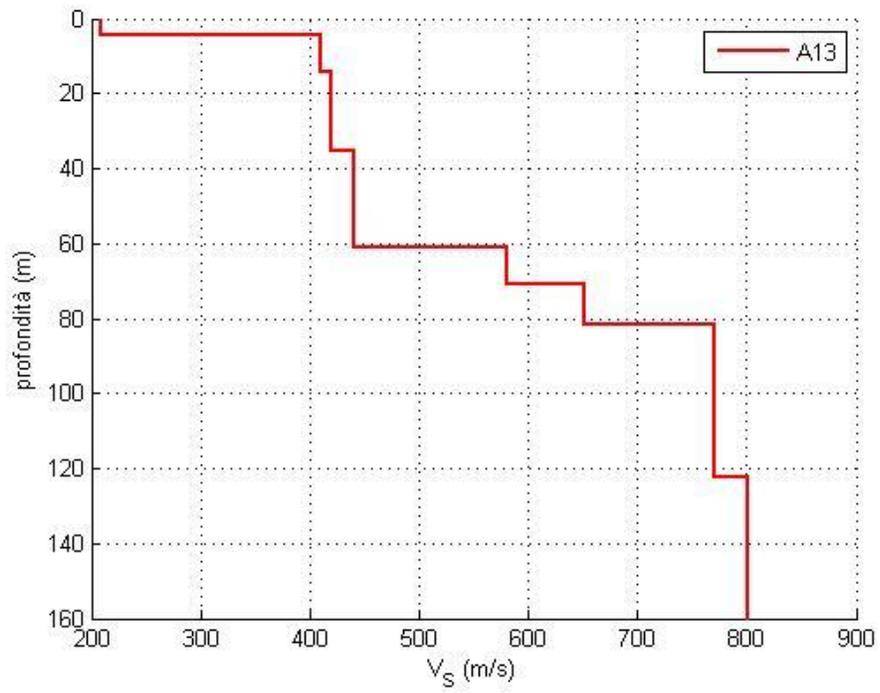


Figura 21: Profili V_s del sito A13 ubicato nei pressi di Covignano.

CONCLUSIONI

Il territorio comunale di Rimini, che si estende con andamento pianeggiante in direzione Nord-Ovest Sud-Est da Torre Pedrera a Miramare, è essenzialmente caratterizzato da una alternanza ciclica tra corpi sedimentari a granulometria prevalentemente fine con corpi sedimentari a granulometria prevalentemente grossolana. La presenza di tali litologie è dovuta alle fasi ad alta e bassa energia del fiume Marecchia che, durante il corso degli anni, ha costruito un esteso sistema deltizio, essenzialmente composto da un'alternanza tra sabbie, argille e ghiaie con matrice sia argillosa che sabbiosa. I differenti cicli deposizionali Pleistocenici sono organizzati in 3 Sub-Sintemi sovrapposti che dal più superficiale al più profondo sono: Sub-Sintema di Ravenna, Sub-Sintema di Villa Verucchio e Sub-Sintema di Bazzano.

Una tale situazione geologica può, al verificarsi di un terremoto, dare origine a pericolosi effetti di risonanza dovuti alla presenza in profondità di corpi sedimentari ghiaioso-conglomeratici che, con caratteristiche meccaniche meno scadenti rispetto agli strati sovrastanti, fungerebbero da sub-strato sismico.

Attraverso le tecniche di sismica passiva si è cercato di individuare, all'interno di tutto il territorio comunale di Rimini, aree con caratteristiche simili alla situazione descritta e dunque soggette a probabili fenomeni di amplificazione locale.

In generale, i risultati da noi ottenuti sembrano accordarsi con la situazione geologica precedentemente descritta. In figura 21 è possibile visualizzare il confronto tra 4 profili V_s ritenuti significativi nel descrivere le caratteristiche del sottosuolo per diverse aree comunali. Il profilo V_s in rosso, per esempio, è rappresentativo della zona che si estende da Torre Pedrera a Viserba, mentre quello in giallo mostra le caratteristiche dell'area centro-sud che va da Marina Centro a Miramare.

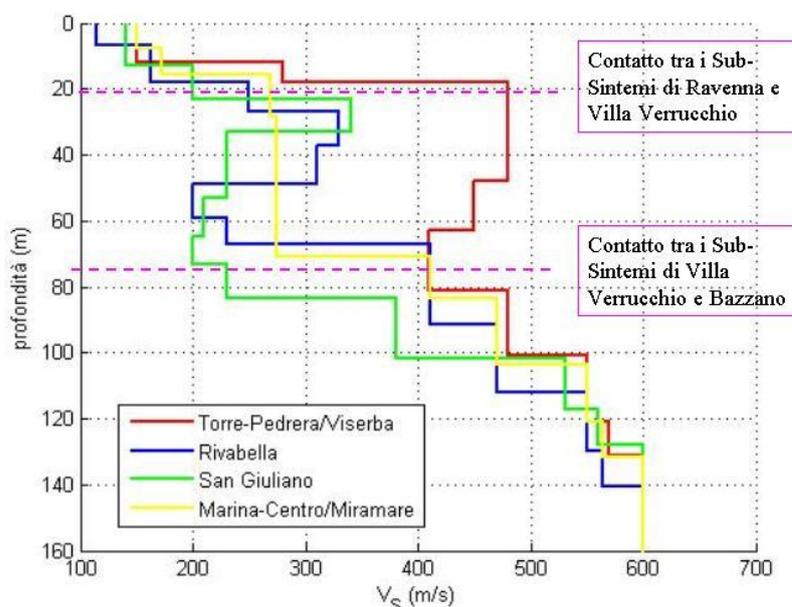


Figura 21: Confronto tra profili di velocità

Come si osserva, i modelli rappresentati mostrano due significativi incrementi delle velocità V_s all'incirca alle medesime profondità. La prima interfaccia, posta tra 18 e 28 metri, potrebbe rappresentare il passaggio tra il Sub-Sistema di Ravenna (rappresentato da una velocità media di 150 m/s) e il Sub-Sistema di Villa Verucchio. Mentre la seconda interfaccia, posta all'incirca tra 70 e 90 metri, potrebbe rappresentare il passaggio dal Sub-Sistema di Villa Verucchio a quello di Bazzano (caratterizzato da velocità medie di circa 500 m/s).

L'andamento dei modelli realizzati è simile nella parte superficiale (fino a 20 m) e nella parte profonda (da 90 m in poi), mentre si discosta nella parte centrale. Molto probabilmente le differenze di velocità, che si manifestano tra i 20 ed i 90 metri circa, sono dovute alla presenza o meno di una coltre di ghiaia con caratteristiche meccaniche differenti dal resto del contesto.

Le misure HVSR realizzate nell'area che va da Torre Pedrera a Viserba mostrano, infatti, tutte un massimo compreso tra 2 e 3 Hz, con ampiezze dei rapporti spettrali all'incirca comprese tra 2 e 3.5. Questo picco potrebbe rappresentare una variazione delle caratteristiche fisico meccaniche dei materiali dovuta alla presenza di una spessa coltre ghiaiosa in profondità, che spiegherebbe il salto di velocità da 150 m/s ad oltre 450 m/s, mostrato dal modello in rosso. Inoltre, si osserva come le velocità si mantengano costanti tra 20 e 50 metri, evidenziando il probabile spessore delle ghiaie in quest'area.

In base a quanto esposto, dunque, il territorio comunale di Nord-Ovest potrebbe essere soggetto a possibili effetti di sito.

Esaminando le curve riferite alle zone di San Giuliano e Rivabella, si nota come lo strato ghiaioso tenda probabilmente ad assottigliarsi spostandosi da nord verso sud. Le variazioni di velocità meno marcate rispetto alla curva in rosso potrebbero essere dovute al fatto che lo spessore dello strato di ghiaie, immerso in sedimenti argilloso-limosi e probabilmente esso stesso condizionato da una forte matrice a granulometria fine, non contribuisca ad un deciso incremento delle velocità.

Per quanto riguarda il profilo in giallo in figura 21, riferito all'area centro-sud del Comune Rimini, si osserva un progressivo incremento delle velocità con le profondità. In generale, non sembrano esservi in quest'area, composta essenzialmente da sedimenti argilloso-sabbiosi, particolari tracce di materiali a componente grossolana, che avrebbero dovuto dare origine, come per i casi precedenti, a vistose inversioni di velocità. Alla luce delle considerazioni fatte e delle misure HVSR realizzate (piatte nell'intervallo ingegneristico per tutta l'area) l'intera zona non sembra essere soggetta ad effetti di risonanza sismica.

Un'ultima precisazione riguarda la presenza, in tutte le misure HVSR realizzate sulla piana costiera di Rimini, di un massimo a 0.2-0.3 Hz. Tale picco, dai risultati delle inversioni realizzate, sembra essere correlato ad una variazione delle velocità V_s che oltre i 300-400 metri di profondità raggiungono valori di circa 800 m/s.

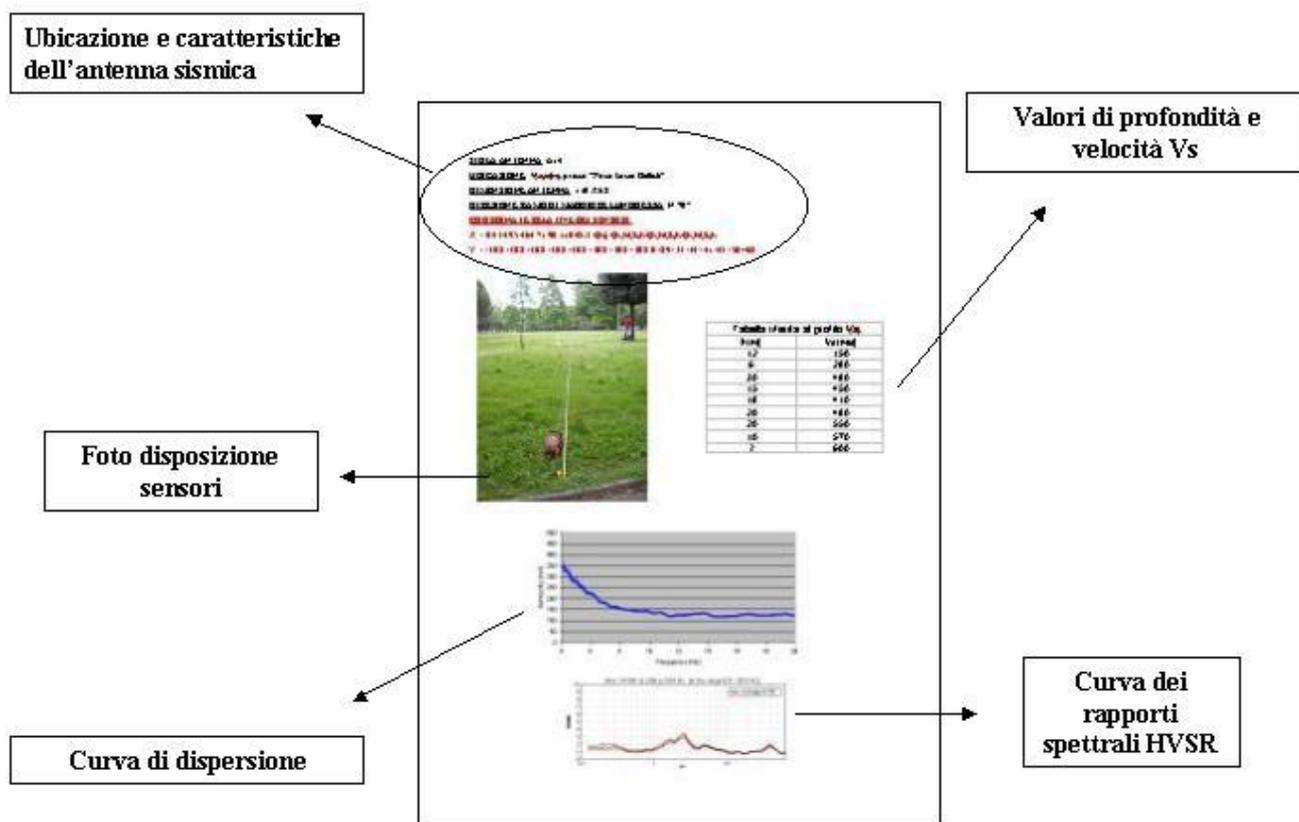
Infine, considerando le colline alle spalle della piana alluvionale-costiera, troviamo in affioramento, nella parte sommitale di Covignano, sabbie gialle debolmente cementate appartenenti alla formazione delle Sabbie di Imola (Pleistocene medio). I risultati delle misure HVSR realizzate in quest'area (sito A13) non mostrano alcun massimo nell'intervallo di frequenze ingegneristico, e dunque anche questa zona non dovrebbe essere soggetta a particolari fenomeni di risonanza. Il profilo V_s realizzato (figura 21) mostra un notevole incremento delle velocità con la profondità che a circa 80 metri raggiungono quasi gli 800 m/s.

Appendice

- *Ubicazione dei punti di misura*
- *Schede di sintesi relative alle misure svolte nell'area Rimini Nord*
- *Schede di sintesi relative alle misure svolte nell'area Rimini Centro-Sud*
- *Schede di sintesi relative alle misure svolte nell'area Rimini Centro + Covignano*



Struttura delle schede di sintesi realizzate per ogni singola misura



Rimini Nord

SIGLA ANTENNA: A2

UBICAZIONE : Torre Pedrera nei pressi del casello autostradale Rimini-Nord

DIMENSIONE ANTENNA: 110 X 50

DIREZIONE RAMO DI MAGGIORE LUNGHEZZA: N 290°

COORDINATE RELATIVE DEI SENSORI:

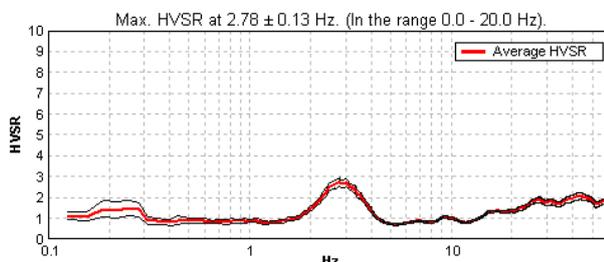
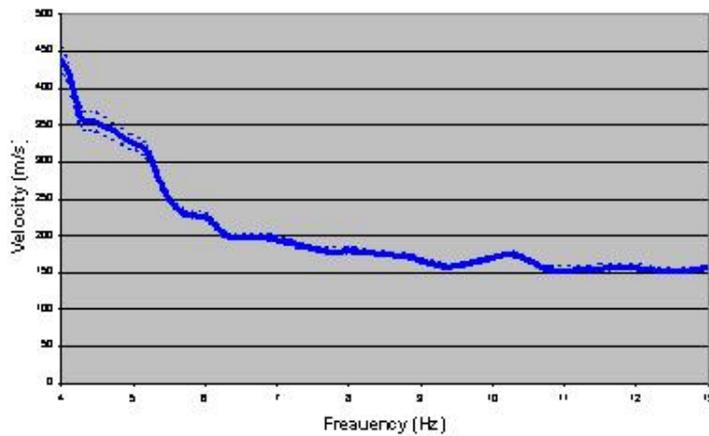
X = 0 7 10 25 38 55 90 110 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1

Y = 0.3 0.3 0.3 0.3 0.3 0.3 0.3 0.3 0 2 7 17 18 27 39 50



Tabella riferita al profilo Vs

h(m)	Vs(m/s)
12	150
6	280
30	480
15	450
18	410
20	480
20	550
10	570
?	600



SIGLA ANTENNA: A3

UBICAZIONE : Viserba presso “Pesca sportiva lago Riviera”

DIMENSIONE ANTENNA: 110 X 98

DIREZIONE RAMO DI MAGGIORE LUNGHEZZA: N 160°

COORDINATE RELATIVE DEI SENSORI:

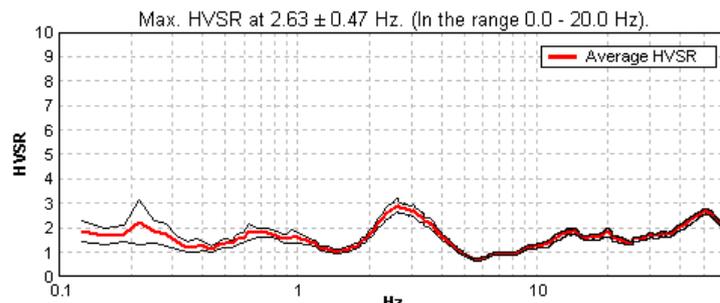
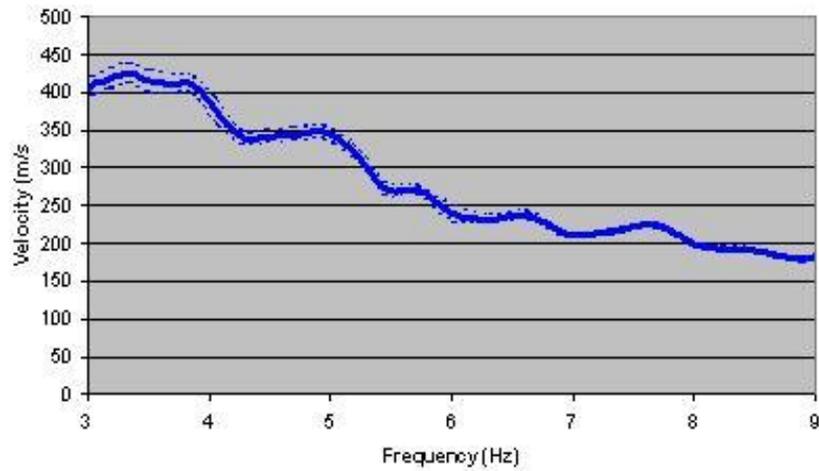
X = 110 95 89 84 81 51 37 0 105.5 105.5 105.5 105.5 105.5 105.5 105.5 105.5

Y = 2.2 2.2 2.2 2.2 2.2 2.2 2.2 2.2 0 11 18 23.5 30.5 70 88 98



Tabella riferita al profilo Vs

h(m)	Vs(m/s)
12	150
6	280
30	480
15	450
18	410
20	480
20	550
10	570
?	600



SIGLA ANTENNA: A14

UBICAZIONE : Viserba presso "Parco Lucio Battisti"

DIMENSIONE ANTENNA: 110 X 68

DIREZIONE RAMO DI MAGGIORE LUNGHEZZA: N 70°

COORDINATE RELATIVE DEI SENSORI:

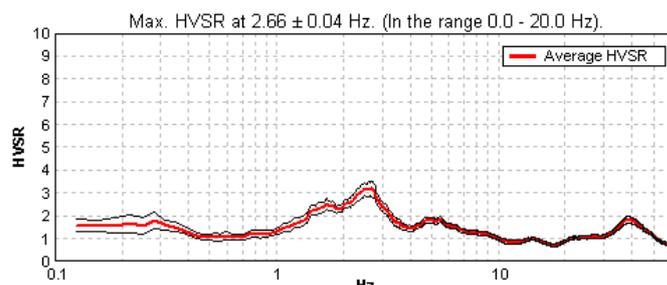
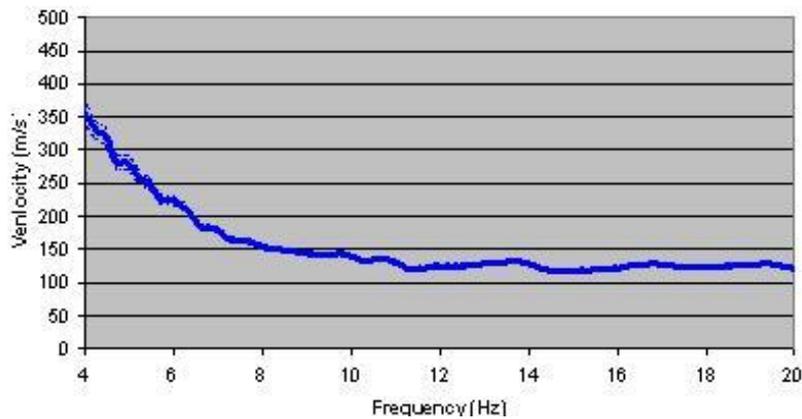
X = 0 43 49 54 64 71 90 110 48.3 48.3 48.3 48.3 48.3 48.3 48.3 48.3

Y = -30.8 -30.8 -30.8 -30.8 -30.8 -30.8 -30.8 -30.8 0 -29 -33 -34 -41 -43 -50 -68



Tabella riferita al profilo Vs

h(m)	Vs(m/s)
12	150
6	280
30	480
15	450
18	410
20	480
20	550
10	570
?	600



SIGLA ANTENNA: A19

UBICAZIONE : Viserba presso “Parco via Orsoleto”

DIMENSIONE ANTENNA: 100 X 90

DIREZIONE RAMO DI MAGGIORE LUNGHEZZA: N 0°

COORDINATE RELATIVE DEI SENSORI:

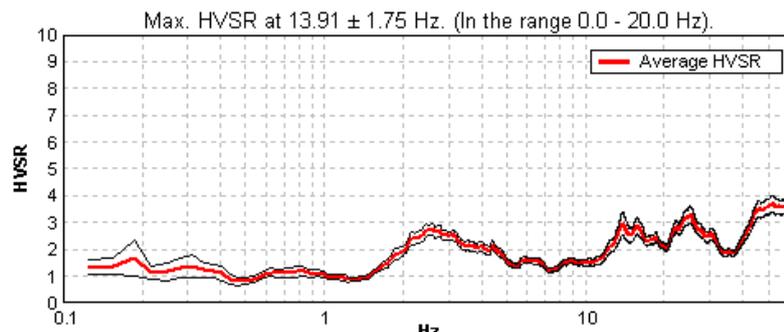
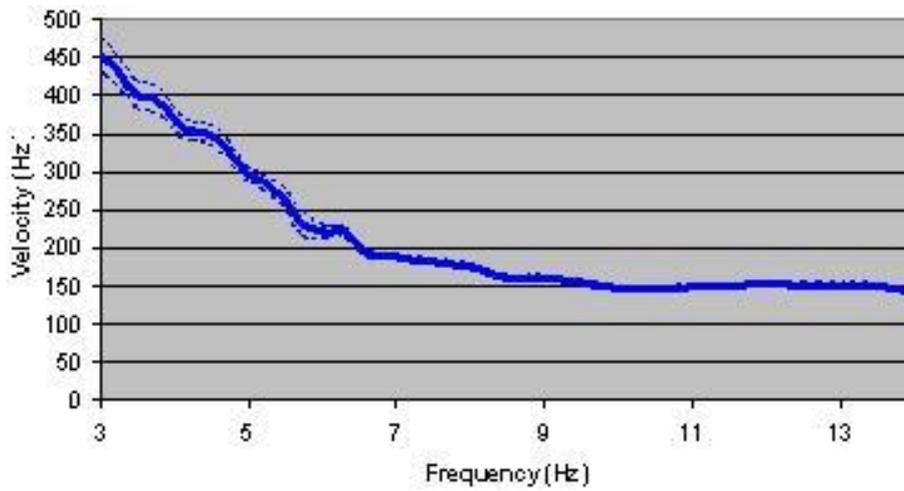
X = 0 11 29 36 40 52 69 100 18.2 18.2 18.2 18.2 18.2 18.2 18.2 18.2

Y = -24.3 -24.3 -24.3 -24.3 -24.3 -24.3 -24.3 -24.3 0 -15 -18 -23 -25-35 -61 -90



Tabella riferita al profilo Vs

h(m)	Vs(m/s)
12	150
6	280
30	480
15	450
18	410
20	480
20	550
10	570
?	600



SIGLA ANTENNA: A18

UBICAZIONE : Torre Pedrera via Tolemaide

DIMENSIONE ANTENNA: 90X70

DIREZIONE RAMO DI MAGGIORE LUNGHEZZA: N 255°

COORDINATE RELATIVE DEI SENSORI:

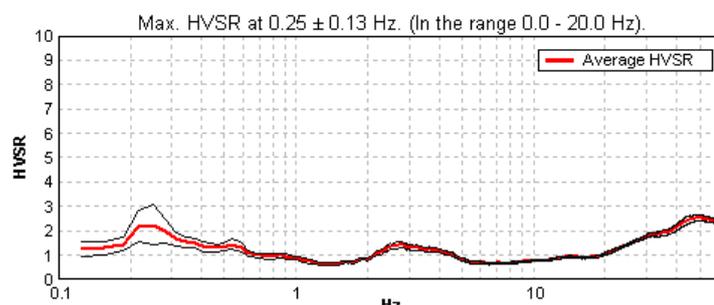
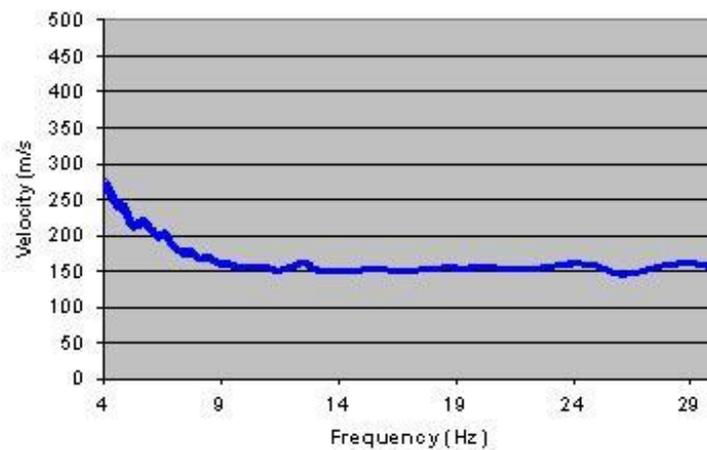
X = 0 21 24 29 35 45 57 90 30 30 30 30 30 30 30 30

Y = 0 0 0 0 0 0 0 0 -1 -8 -12 -23 -32 -50 -70



Tabella riferita al profilo Vs

h(m)	Vs(m/s)
9	154
7	273
15	256
45	271
40	288
15	337
39	343
18	345
44	680
?	550



Rimini Centro-Sud

SIGLA ANTENNA: A5

UBICAZIONE : Maina Centro presso "Parco Fabbri"

DIMENSIONE ANTENNA: 110 X 90

DIREZIONE RAMO DI MAGGIORE LUNGHEZZA: N 70°

COORDINATE RELATIVE DEI SENSORI:

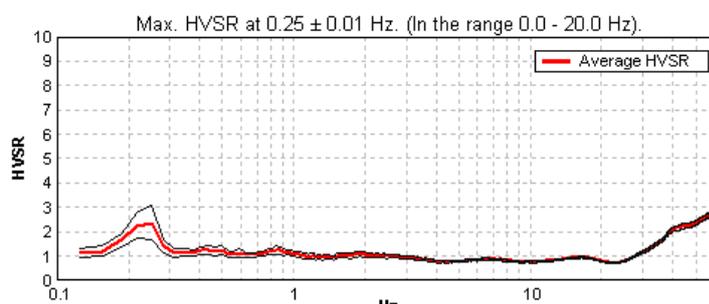
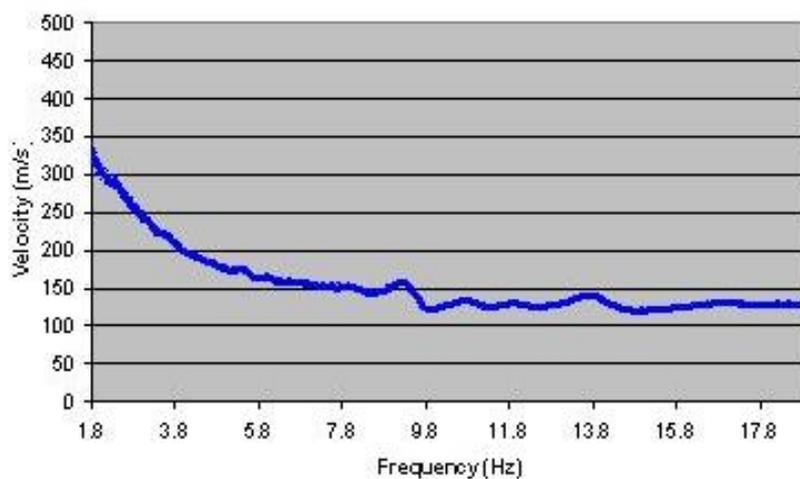
X = 0 29 34 37 52 80 93 110 30.7 30.7 30.7 30.7 30.7 30.7 30.7 30.7

Y = -36.5 -36.5 -36.5 -36.5 -36.5 -36.5 -36.5 -36.5 0 -25 -26 -33.5 -36 -60 -79 -90



Tabella riferita al profilo Vs

h(m)	Vs(m/s)
8	150
8	170
13	270
43	275
13	410
20	470
18	550
11	566
?	600



SIGLA ANTENNA: A8

UBICAZIONE : Marina Centro presso “Parco Renzi”

DIMENSIONE ANTENNA: 130 X 90

DIREZIONE RAMO DI MAGGIORE LUNGHEZZA: N 0°

COORDINATE RELATIVE DEI SENSORI:

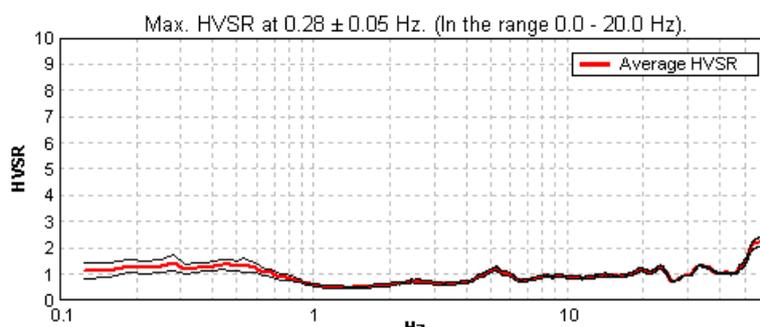
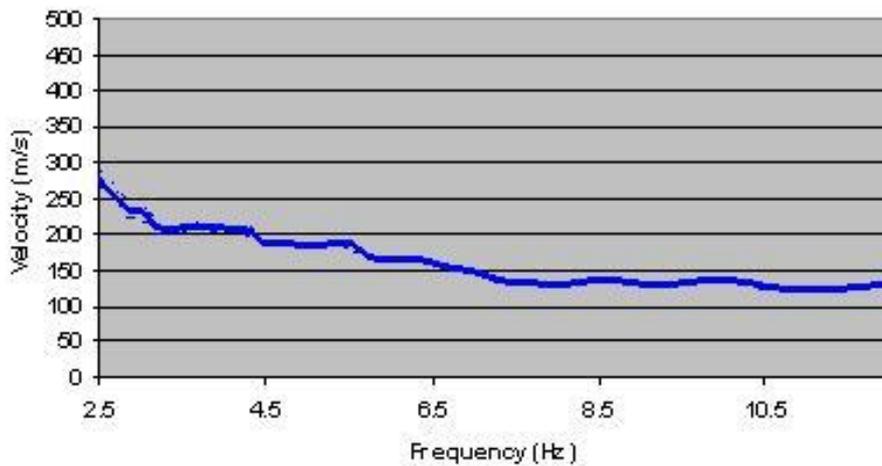
X = 0 5 9 40 57 102 115 130 13 13 13 13 13 13 13 13

Y = -1.2 -1.2 -1.2 -1.2 -1.2 -1.2 -1.2 -1.2 0 -6 -7 -12.5 47 70 73 90



Tabella riferita al profilo Vs

h(m)	Vs(m/s)
8	150
8	170
13	270
43	275
13	410
20	470
18	550
11	566
?	600



SIGLA ANTENNA: A11

UBICAZIONE : Marebello presso “Parco Sandro Pertini”

DIMENSIONE ANTENNA: 112 X 110

DIREZIONE RAMO DI MAGGIORE LUNGHEZZA: N 37°

COORDINATE RELATIVE DEI SENSORI:

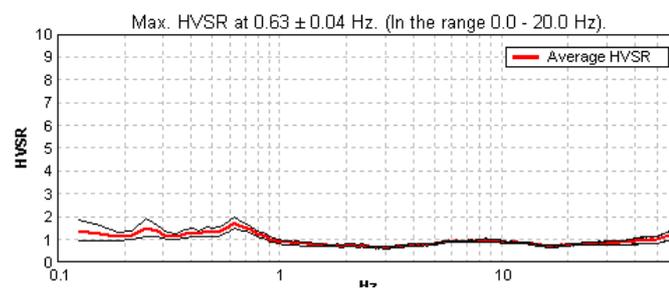
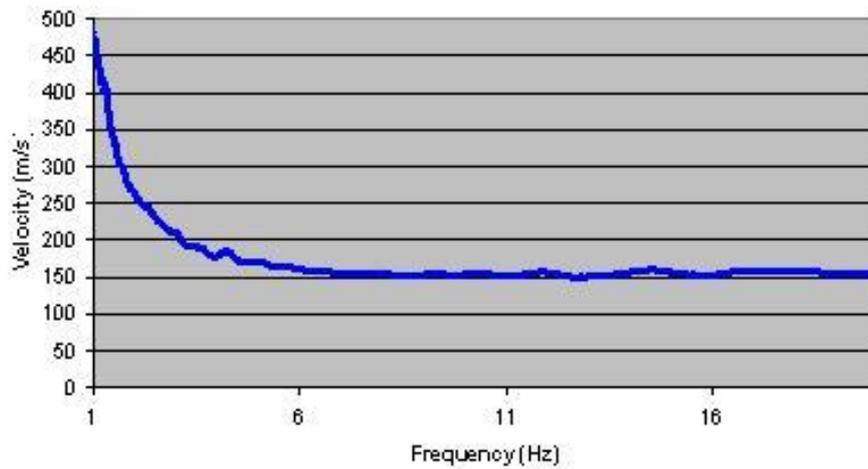
X = 0 5 9 15 32 44 76 112 6.4 6.4 6.4 6.4 6.4 6.4 6.4 6.4

Y = -3.4 -3.4 -3.4 -3.4 -3.4 -3.4 -3.4 -3.4 0 -7 -10 -12 -27 -50 -83 -110



Tabella riferita al profilo Vs

h(m)	Vs(m/s)
8	150
8	170
13	270
43	275
13	410
20	470
18	550
11	566
?	600



SIGLA ANTENNA: A10

UBICAZIONE : Miramare presso “Parco Piazza Migani, via Mosca”

DIMENSIONE ANTENNA: 110 X 90

DIREZIONE RAMO DI MAGGIORE LUNGHEZZA: N 260°

COORDINATE RELATIVE DEI SENSORI:

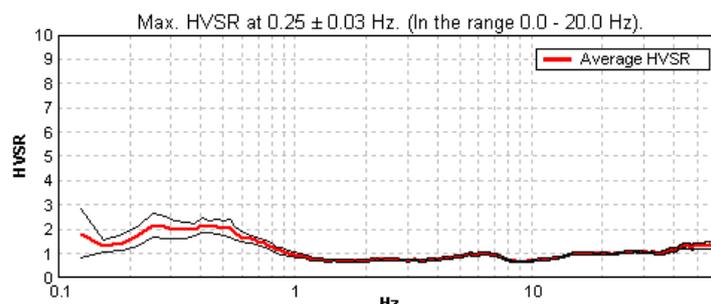
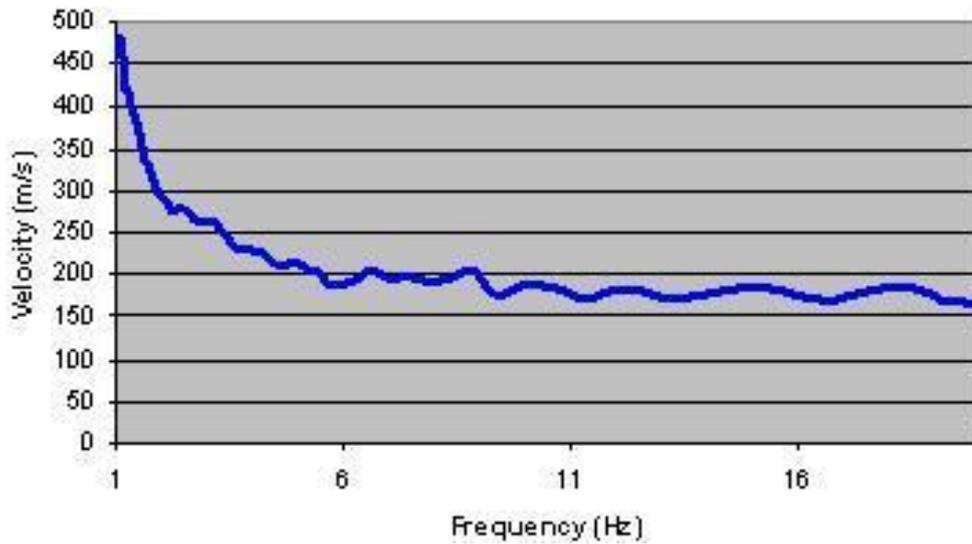
X = 0 29 34 37 55 80 93 110 29.6 29.6 29.6 29.6 29.6 29.6 29.6 29.6

Y = -37.1 -37.1 -37.1 -37.1 -37.1 -37.1 -37.1 -37.1 0 -25 -26 -33 -36 -60 -79 -90



Tabella riferita al profilo Vs

h(m)	Vs(m/s)
6	200
10	240
8	250
46	310
12	410
21	470
18	550
11	566
?	600



SIGLA ANTENNA: A16

UBICAZIONE : Bellariva ,Via Settembrini vicino Ospedale

DIMENSIONE ANTENNA: 100 X 70

DIREZIONE RAMO DI MAGGIORE LUNGHEZZA: N 10°

COORDINATE RELATIVE DEI SENSORI:

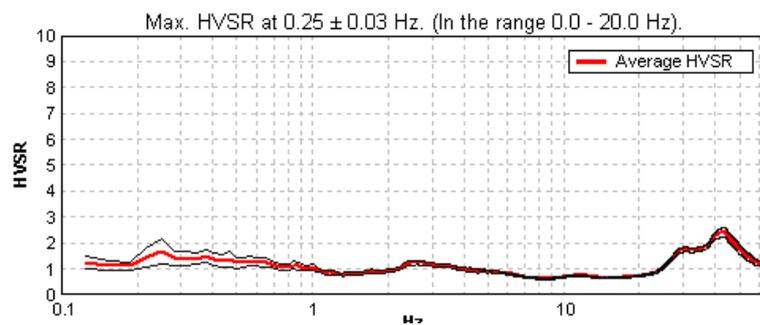
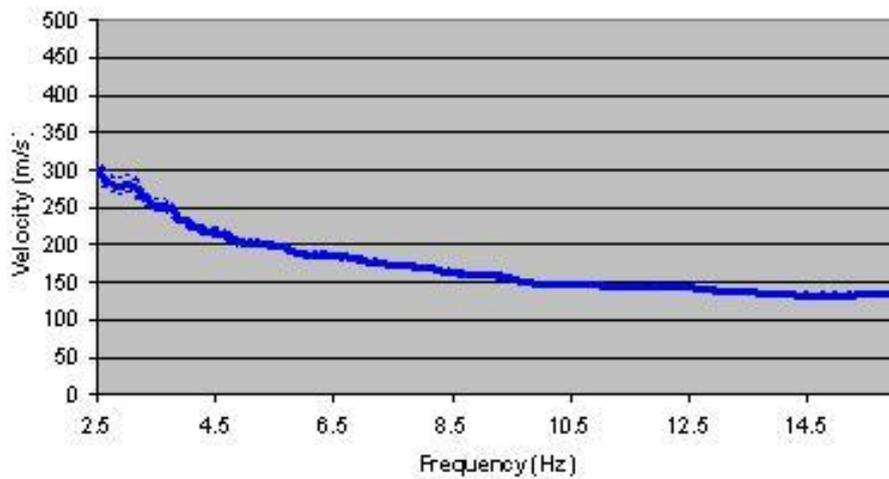
X = 0 20 25 28 32 47 73 100 34.1 34.1 34.1 34.1 34.1 34.1 34.1 34.1

Y = 29.2 29.2 29.2 29.2 29.2 29.2 29.2 29.2 0 17 18 24 26 49 61 70



Tabella riferita al profilo Vs

h(m)	Vs(m/s)
7	140
8	238
6	236
7	255
43	301
13	440
20	470
18	551
11	564
?	600



SIGLA ANTENNA: A17

UBICAZIONE : Parco di via Alessandrini

DIMENSIONE ANTENNA: 100 X 69

DIREZIONE RAMO DI MAGGIORE LUNGHEZZA: N 70°

COORDINATE RELATIVE DEI SENSORI:

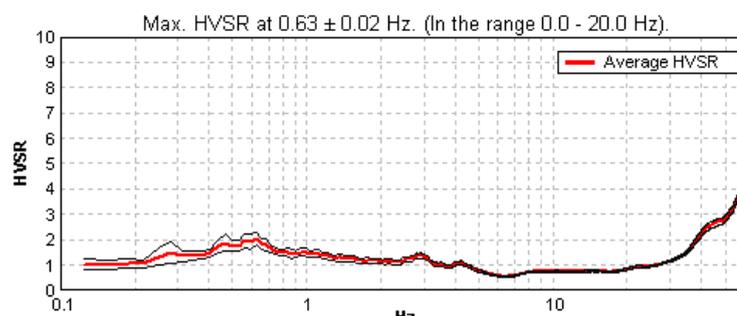
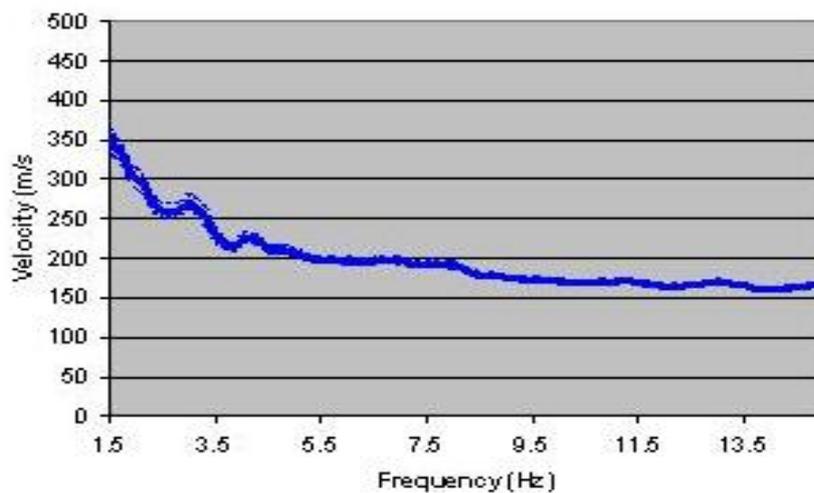
X = 0 21 26 29 35 45 73 110 22.9 22.9 22.9 22.9 22.9 22.9 22.9 22.9

Y = -31.3 -31.3 -31.3 -31.3 -31.3 -31.3 -31.3 -31.3 0 -20 -23 -30 -31 -44 -60 -69



Tabella riferita al profilo Vs

h(m)	Vs(m/s)
6	160
8	238
8	250
49	300
13	410
20	470
18	551
11	564
?	600



Rimini Centro + Covignano

SIGLA ANTENNA: A6

UBICAZIONE : Maina Centro presso "Parco XXV Aprile"

DIMENSIONE ANTENNA: 110 X 90

DIREZIONE RAMO DI MAGGIORE LUNGHEZZA: N 340°

COORDINATE RELATIVE DEI SENSORI:

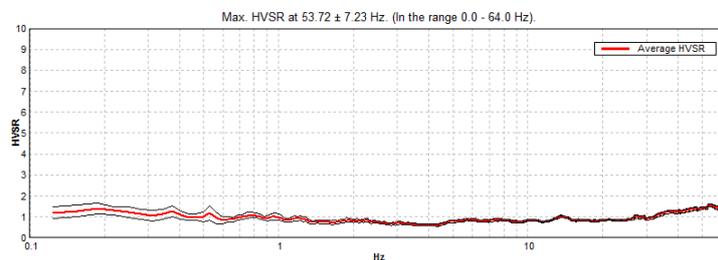
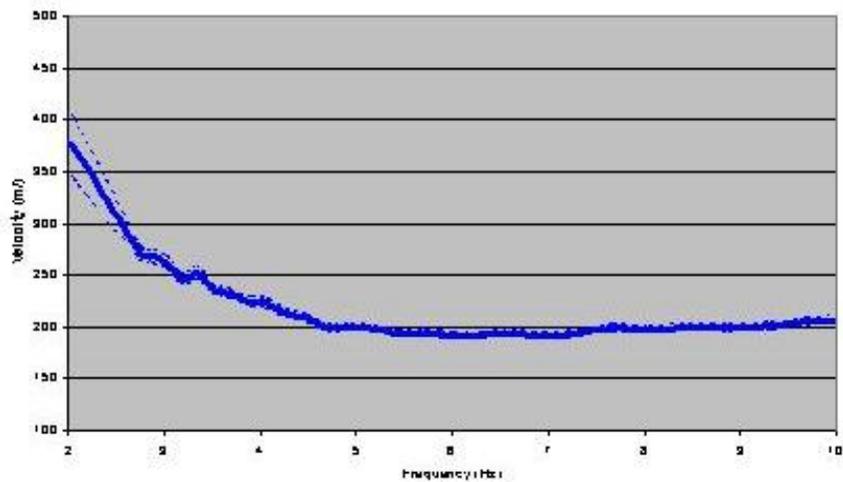
X = 0 13 17 23 43 94 101 110 17.8 17.8 17.8 17.8 17.8 17.8 17.8

Y = 0 50 50 50 50 50 50 0 45 46 48 54 66 81 90



Tabella riferita al profilo Vs

h(m)	Vs(m/s)
21	200
14	250
18	270
10	340
12	300
7	230
8	250
18	430
20	460
18	550
10.5	564
?	600



SIGLA ANTENNA: A12

UBICAZIONE : Stadio di Baseball, Via Monaco

DIMENSIONE ANTENNA: 90 X 65

DIREZIONE RAMO DI MAGGIORE LUNGHEZZA: N 300°

COORDINATE RELATIVE DEI SENSORI:

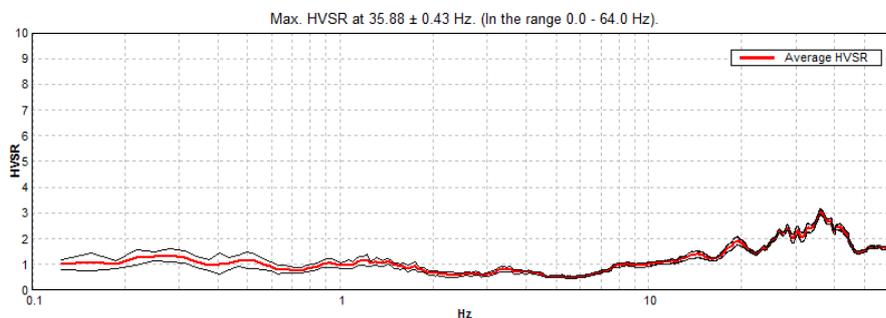
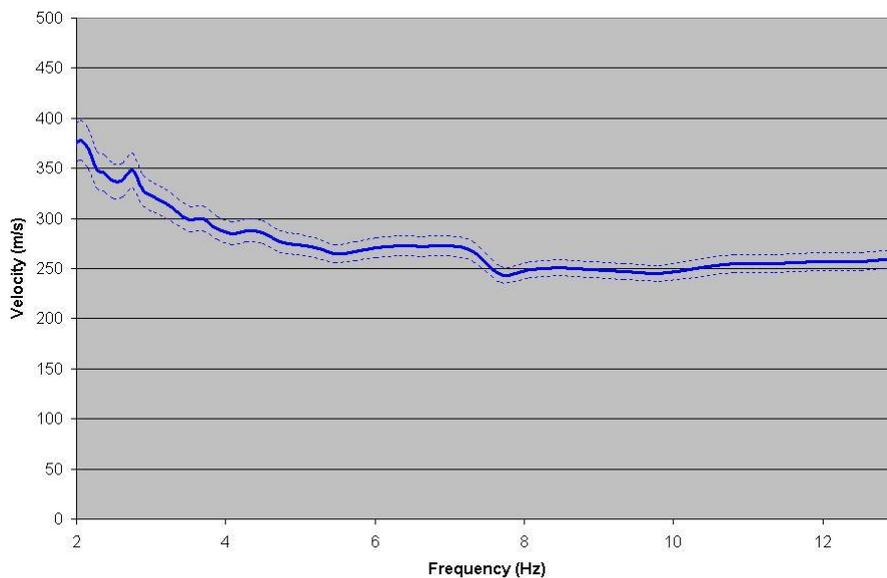
X = 0 30 32 36 39 53 70 90 33.7 33.7 33.7 33.7 33.7 33.7 33.7

Y = -16.9 -16.9 -16.9 -16.9 -16.9 -16.9 -16.9 -16.9 0 -8 -9 -11 -20 -33 -43 -65



Tabella riferita al profilo Vs

h(m)	Vs(m/s)
2	295
11	365
7	253
37	331
34	471
29	501
30	380
13	520
13	621
33	531
?	650



SIGLA ANTENNA: A7

UBICAZIONE : San Giuliano Mare, presso “Parco di via Briolini”

DIMENSIONE ANTENNA: 110 x 90

DIREZIONE RAMO DI MAGGIORE LUNGHEZZA: N 90°

COORDINATE RELATIVE DEI SENSORI:

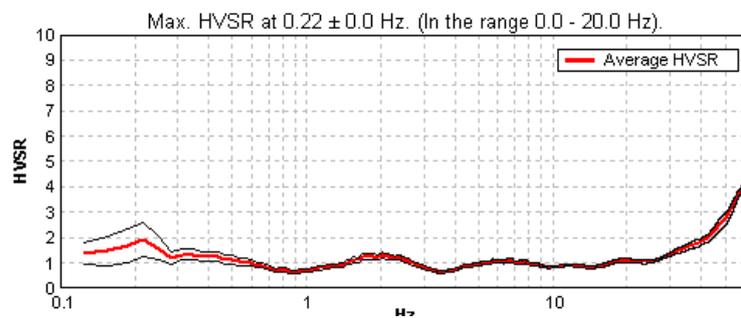
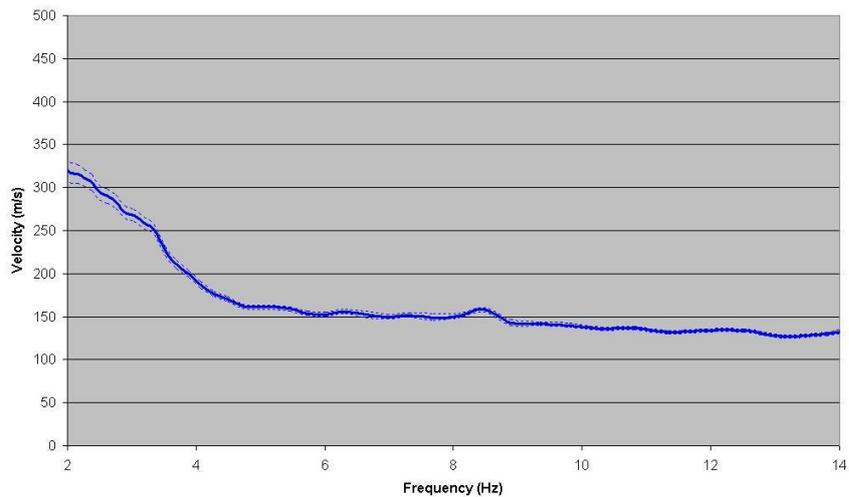
X = 0 25 30 37 61 74 98 110 41 41 41 41 41 41 41

Y = 44.8 44.8 44.8 44.8 44.8 44.8 44.8 44.8 0 27 28 31 37 43 75 90



Tabella riferita al profilo Vs

h(m)	Vs(m/s)
13	140
10	200
10	340
20	230
12	210
8	200
11	230
18	380
16	530
11	560
?	600



SIGLA ANTENNA: A15

UBICAZIONE : Rivabella, presso "Parco Lucio Battisti"

DIMENSIONE ANTENNA: 110 x 68

DIREZIONE RAMO DI MAGGIORE LUNGHEZZA: N 72°

COORDINATE RELATIVE DEI SENSORI:

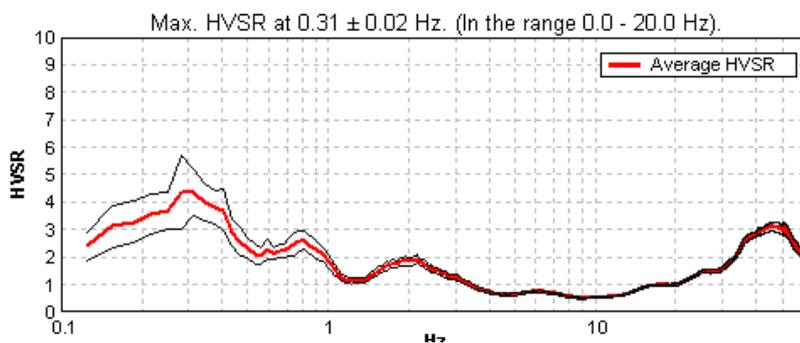
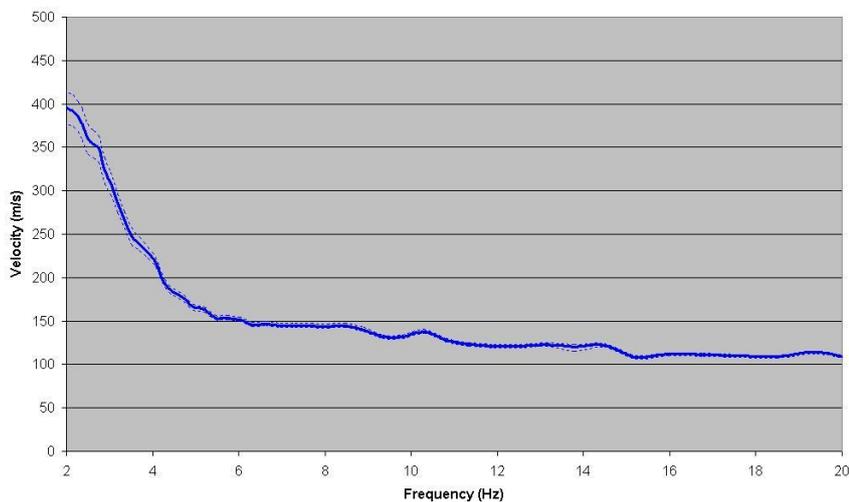
X = 0 16 20 25 35 42 73 90 15 15 15 15 15 15 15

Y = -51.8 -51.8 -51.8 -51.8 -51.8 -51.8 -51.8 -51.8 0 -32 -40 -43 -44 -50 -61 -78

FOTO MANCANTE

Tabella riferita al profilo Vs

h(m)	Vs(m/s)
7	115
11	163
9	250
10	330
12	310
10	200
8	230
25	410
21	470
18	551
11	564
?	600



SIGLA ANTENNA: A20

UBICAZIONE : Parco di via Quagliati traversa via Fontemaggi

DIMENSIONE ANTENNA: 110 x 90

DIREZIONE RAMO DI MAGGIORE LUNGHEZZA: N 310°

COORDINATE RELATIVE DEI SENSORI:

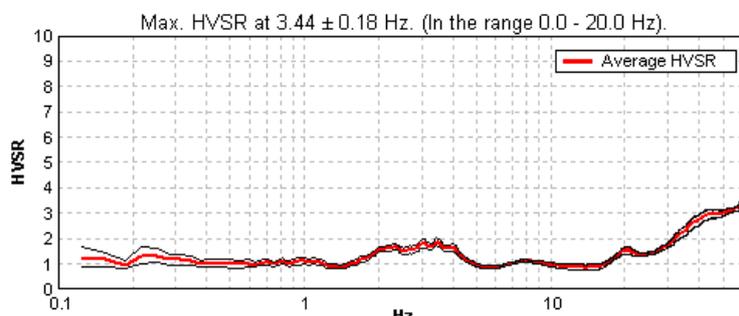
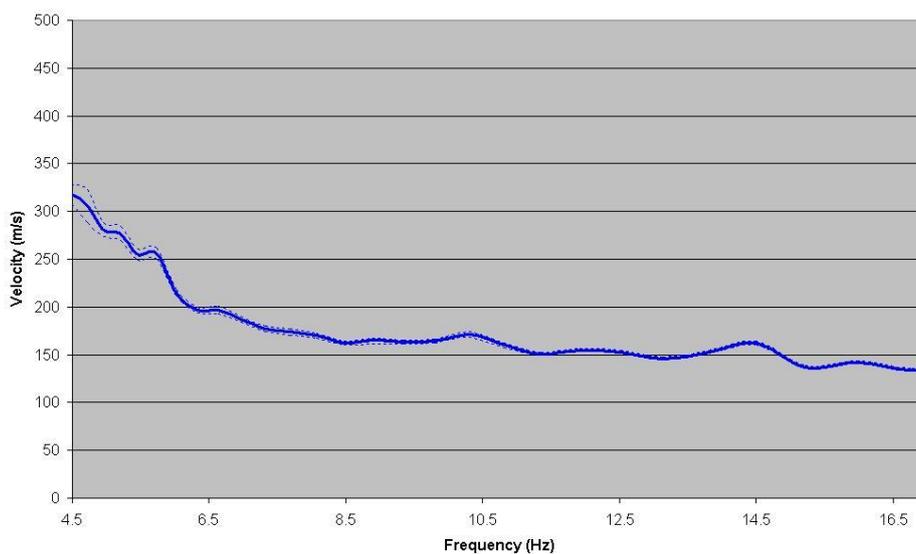
X = 0 2 6 16 38 50 72 110 7.5 7.5 7.5 7.5 7.5 7.5 7.5 7.5

Y = -7.2 -7.2 -7.2 -7.2 -7.2 -7.2 -7.2 -7.2 0 -1 -3 -8 -19 -39 -73 -90



Tabella riferita al profilo Vs

h(m)	Vs(m/s)
4.5	133
9	172
11	375
22	277
22	238
10	480
10	495
34	630
?	560



SIGLA ANTENNA: A13

UBICAZIONE : Covignano, Seminario Vescovile

DIMENSIONE ANTENNA: 130 x 50

DIREZIONE RAMO DI MAGGIORE LUNGHEZZA: 127°

COORDINATE RELATIVE DEI SENSORI:

X = 0 21 27 30 55 73 96 130 24.5 24.5 24.5 24.5 24.5 24.5 24.5 24.5

Y = -30.3 -30.3 -30.3 -30.3 -30.3 -30.3 -30.3 -30.3 0 -15 -19 -20 -25 -36 -43 -50



Tabella riferita al profilo Vs

h(m)	Vs(m/s)
4	208
10	410
21	420
26	440
10	580
11	651
41	770
?	800

