



Provincia di Parma
COMUNE DI MEDESANO

Committente

COMUNE DI MEDESANO

p.zza Marconi, 6 - 43014 Medesano

RUP

ing. Claudia Miceli

Titolo

**RISANAMENTO CONSERVATIVO -
MIGLIORAMENTO SISMICO DELLA SCUOLA
PRIMARIA DI VARANO MARCHESI**

Fase

**PROGETTO UNICO
(DEFINITIVO-ESECUTIVO)**

Elaborato

INDAGINE GEOFISICA

Elaborato n.

G12^{rev n.}.0

File ST87_140809_ELEM VARANO_Indagine geofisica.pdf

Data Descrizione

30 giugno 2019 emissione

Progettista

Ing. Matteo Lazzaretti

via Braglia n. 5 - 43123 Parma (Pr)

tel. +39 349 1667705

mail: matteolazzaretti.ingegnere@gmail.com

PEC: matteo.lazzaretti.ingpec.eu



timbro

firma

Ci riserviamo a termini di legge, la proprietà di questo disegno, con divieto di riprodurlo e di renderlo comunque noto a terzi e Ditte concorrenti senza nostra autorizzazione.

COMMITTENTE:

dott. geol. Paolo Panicieri
Via Matteotti, 9
43035 Felino (Pr)

COMMESSA:

Indagini geofisiche
Indagine Masw con misura V_{s30}
Misura HVSR

LOCALITA':

Scuola Elementare
Varano Marchesi
Comune di Medesano (PR)

TITOLO:

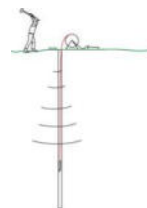
Relazione Tecnica

DATA:

Agosto 2014

Via S. Cattania, 1/a
41012 Carpi (MO)

info@tecnogeofisica.com
www.tecnogeofisica.com



Firmato digitalmente da

Paolo Panicieri

CN = Panicieri Paolo
O = Ordine dei Geologi
dell'Emilia
Romagna/92029270375
T = Geologo
C = IT

INDAGINE GEOFISICA

Committente: dott. geol. Paolo Panicieri
Via Matteotti, 9
43035 Felino (PR)

Intervento: Indagine sismica
Indagine MASW
Misura parametro HVSR

Località: Scuola Elementare
Varano Melegari
Comune di Medesano (PR)

INDICE

Premessa.....	pag. 3
Caratteristiche attrezzatura	pag. 4
Metodologia d'indagine MASW	pag. 5
Interpretazione dati acquisiti	pag. 5
Scheda indagine MASW	pag. 9
Indagine sismica Microtremori	pag. 11
Scheda Rilievo Microtremori.....	pag. 15

Premessa

Nel mese di Agosto 2014, su commissione di:

dott. geol. Paolo Panicieri
Via Matteotti, 9 - 43035 Felino (PR)

Sono state effettuate una prova sismica tipo MASW (Multichannel Spectral Analysis of Waves) sul terreno, e tre misure HVSR, di cui una sul terreno e due all'interno della struttura, in merito allo studio di vulnerabilità sismica della Scuola Elementare di Varano Marchesi, in comune di Medesano (PR).

Le indagini sono state ubicate come indicato dalla committenza ed indicato nelle schede allegate a fine testo.

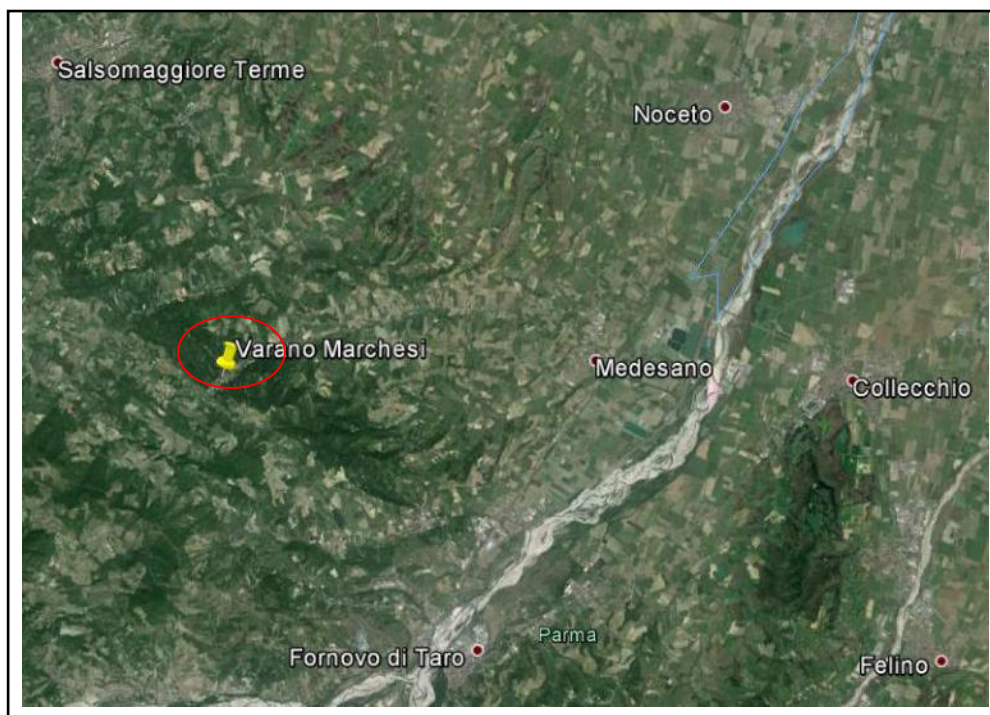


Fig.1 Ubicazione area di indagine

l'indagine MASW è indirizzata a misurare le velocità delle onde sismiche (V_s) del sottosuolo e la valutazione del parametro V_{s30} come prescritto da:

- *Ordinanza del P.C.M. n° 3274 del 20 marzo 2003*
- *D.M. 14 gennaio 2008 "Norme tecniche per le Costruzioni".*

mentre la misura del parametro HVSR, è di valutare la frequenza fondamentale del sottosuolo, e il primo modo di vibrare dell'edificio in studio.

Si ricorda che la normativa richiede l'azione sismica di progetto sulla base della zona sismica di appartenenza del sito e la categoria sismica di suolo su cui sarà realizzata l'opera. All'interno del territorio nazionale sono state individuate 4 zone sismiche, contraddistinte dal valore a_g dell'accelerazione di picco al suolo, normalizzata rispetto all'accelerazione di gravità (v. Allegato 1 ord. 3274 del 2003 e succ. modifiche). La classificazione del suolo (tabella 1) è invece convenzionalmente eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio entro 30 m di profondità

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

dove V_{s_i} e h_i sono la velocità delle onde di taglio e lo spessore dello stato i -esimo.

Suolo	Descrizione geotecnica	Vs30 (m/sec)
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3m	>800
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{spt} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_u > 250$ kPa nei terreni a grana fina)	360-800 ($N_{spt} > 50$) ($C_u > 250$ KPa)
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{spt} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_u < 250$ kPa nei terreni a grana fina)	180-360 ($15 < N_{spt} < 50$) $70 < C_u < 250$ KPa)
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{spt} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_u < 70$ kPa nei terreni a grana fina)	<180 ($N_{spt} < 15$) ($C_u < 70$ KPa)
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_{s30} > 800$ m/s)	
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di V_{s30} inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < C_{u30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.	<100 ($10 < C_u < 20$ KPa)
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti	

Tabella1: classificazione del tipo di suolo secondo le "Nuove norme tecniche per le costruzioni" D.M. 14/01/2008
Tabelle 3.2.II (categorie di suolo) e 3.2.III (categorie di suolo aggiuntive) mod.

Caratteristiche attrezzatura

Le indagini in sito sono state eseguite utilizzando un sismografo multicanale ad incrementi di segnale, della P.A.S.I. mod. 16SG24 a 24 canali. Le specifiche tecniche dello strumento sono:

-processore:	Pentium 200 MMx Intel,
-Trattamento dati:	Floating Point 32-Bit,
-Ambiente operativo:	Windows 3.11,
-Canali:	24
-Display:	VGA colori LCD_TFT 10,4"
-Supporto memorizz.:	Hard Disk 2,1 Gb
-Risoluzione acquisizione:	6/24 bit
-Sonde ambiente interne:	temperatura, umidità relativa
-Formato dati:	Pasi (.osv) e SEG-2 (.dat),
-Durata acquisizioni:	Rifrazione, 32÷2048 ms Riflessione, 32÷16384 ms,
-Tempi campionamento:	da 16 µs a 2 ms
-Filtri digitali:	Passa alto (25÷400 Hz) Passa Basso (100÷250 Hz) Notch (50÷180 Hz)
-Attivazione filtri:	in acquisizione o manualmente
-Trigger:	inibizione impulsi dovuti a rimbalzi

- 24 geofoni da 4,5 Hz collegati in serie da due cavi con lunghezza 33 m l'uno per la prova MASW
- Sorgente impulsiva: mazza battente da 10 Kg con piastra metallica 15x15 cm su cui battere, da disporre sul terreno.
- Bindella metrica per posizionare i ricevitori.
- "TROMINO"®, per l'acquisizione HVSR

Metodologia d'indagine MASW

L'indagine sismica di tipo MASW, consente la determinazione diretta della velocità delle onde trasversali (Onde di taglio - onde Sh/Sv) dei terreni del sottosuolo in esame in modo da ottenere una corretta caratterizzazione della categoria sismica del sottosuolo dell'area in oggetto (V_{s30}). L'indagine sismica adottata, Masw (in sismica attiva) è stata scelta in funzione delle limitazioni che affliggono in genere misure di onde Sh in metodi a rifrazione tradizionali (come ad es. difficoltà di generazione di onde polarizzate Sh o inversioni di velocità identificabili con difficoltà e/o valutabili con costosi lunghi ed impegnativi metodi sismici in foro es. Cross-Hole e Down-Hole).

La tecnica sismica Masw, è stata ampiamente testata (perfezionata già dal 1999) ed è contemplata fra le indagini per la definizione rigorosa del profilo di Vs per caratterizzazione sismica del sito (NTC-08 e ad es. Lai, Foti e Rota "Input sismico e stabilità geotecnica dei siti di costruzione - IUSS Press Eucentre 2009) e risulta migliore per la caratterizzazione del primo sottosuolo; le tecniche basate su utilizzo di registrazioni di microtremori di origine naturale e/o antropica (tecniche passive) possono caratterizzare infatti il sottosuolo più in profondità, da diverse decine, sino alle volte, anche a centinaia di metri (Lai et alii - IUSS Press Eucentre 2009) ma con minor risoluzione per la zona prossima alla superficie che invece più ci interessa.

Inoltre diversi autori (Lachet e Bard 94, Bard 99, De Ferrari et alii - Università studi di Genova 2008), segnalano che sistemi d'acquisizione in sismica passiva sono poco idonei per terreni alluvionali, in quanto l'utilizzo di tecniche passive, è possibile o consigliabile nel caso di:

- intenso "rumore antropico" (che impedisce o maschera l'acquisizione dei dati in sismica attiva)
- discreto contrasto di impedenza sismica ($>2,5-3$) fra il substrato (sismico) ed il materasso alluvionale sovrastante
- è importante l'interramento del sensore sismico passivo (per migliorare l'accoppiamento sensore-terreno), quindi altri autori (Konno e Ohmachi 98, Bard 99, Bindi et alii 2000, Parolai et alii 2002) consigliano di evitare terreni caratterizzati da: erba, fango, terreno saturo, neve, ghiaccio, materiali incoerenti in superficie (ghiaia, ciottoli, quindi piazzali rilevati ecc.), coperture artificiali con piastrelle, superfici sintetiche, ecc.

Valutando le sopracitate motivazioni per caratterizzare il sottosuolo dal punto di vista del profilo Vs/profondità è stata realizzata una prospezione Masw, (rilevazione onde di Rayleigh - tecnica in sismica attiva).

Dal punto di vista operativo l'indagine è stata eseguita stendendo lungo una linea 24 ricevitori (geofoni), ad una distanza intergeofonica costante ed energizzando ad una estremità dello stendimento con una mazza su una piastra di alluminio. La distanza tra il punto di energizzazione e il primo geofono è denominata "offset".



Fig.2 Schema illustrativo prova Masw

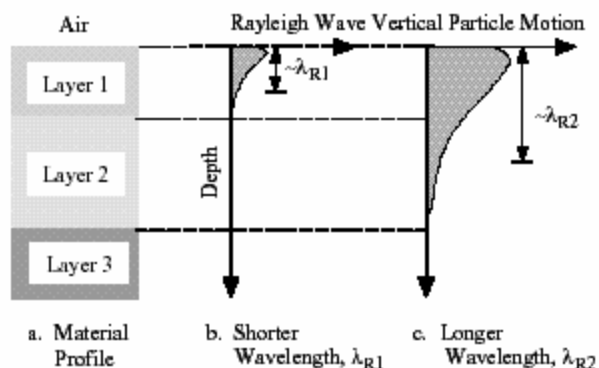
La Base Masw eseguita, per le possibilità operative presenti in corrispondenza del sito di intervento, presenta (Compreso il punto di shot) la con geometria come sotto indicato:

➤ Numero geofoni	24
➤ Distanza Intergeofonica	1,0 m
➤ Lunghezza stendimento geofonico	23 m
➤ Distanza punto di shot da ultimo geofono "offset"	8 m
➤ Lunghezza complessiva	31 m

Si ricorda che data la necessità di analizzare con elevato dettaglio le basse frequenze (tipicamente anche al di sotto dei 20 Hz), la tecnica di acquisizione per onde di superficie necessita di geofoni (ad asse verticale) con frequenza di taglio non superiore a 4,5 Hz. Quindi le basi teoriche della tecnica di Acquisizione delle Masw, (analisi ed elaborazione delle onde di superficie di Rayleigh) sono completamente diverse dalle onde P od S degli stendimenti di sismica a riflessione o rifrazione). Perciò nell'acquisizione con tecnica Masw, non è possibile caratterizzare la tecnica con un classico coefficiente geometrico che esprime la profondità di investigazione in funzione della lunghezza della stesa sismica, (come nella riflessione o nella rifrazione), ove infatti le metodiche di interpretazione si basano sui tempi di arrivo ai geofoni delle onde riflesse o rifratte (quindi si misurano dei tempi). Nella tecnica Masw non si misurano dei tempi, ma viene eseguita una trattazione spettrale dei sismogrammi e mediante trasformata di Fourier si restituisce lo spettro del segnale sismico nel dominio frequenza (f) n° d'onda (k) detto anche dominio $f-k$. La lunghezza dello stendimento dipende sia dal numero di ricevitori utilizzabili, sia dallo spazio disponibile.

Normalmente si dispongono i ricevitori ad interasse costante compreso tra 0,5 m e 3,0 m. (con array a parità di numero di ricevitori un interasse di 3,0 m consente di avere uno stendimento di ricevitori più lungo e quindi una maggiore risoluzione della curva di dispersione lungo la coordinata numero d'onda k ; tuttavia si riduce il numero d'onda di Nyquist oltre cui non si ha certezza sull'affidabilità del segnale misurato).

Viceversa un interasse piccolo può essere necessario in piccoli spazi e consente un intervallo più ampio di numeri d'onda, ma comporta una minore risoluzione della curva di dispersione lungo i numeri d'onda.



La profondità investigata dalle onde di Rayleigh dipende più propriamente dalla lunghezza d'onda, dalla velocità delle onde di taglio V_s e dalla frequenza. (Stokoe II and Santamarina, 2000).

La relazione quindi che meglio consente di valutare la profondità di indagine di un indagine masw, è legata più che alla dimensione dello stendimento, al valore della V_s assegnata ad una determinata profondità z dal piano campagna, calcolata in funzione della lunghezza d'onda, cioè :

$$z = \frac{\lambda}{(1,5 / 2,0)}$$

Inoltre si evidenzia che:

Con la tecnica Masw (indagine sismica non invasiva di superficie) si ottiene una modellazione del sottosuolo, basandosi sulla propagazione delle onde di Rayleigh, oggi realizzata mediante approcci multi stazioni, che risultano robusti ed efficienti (Foti, 2000; Lai e Wilmanski, 2005) rispetto ai primi approcci del metodo, che si basavano essenzialmente su 2 ricevitori (Prova Sasw - Stoke et al., 1994).

Queste prove (masw-sasw) sfruttano la proprietà della dispersione geometrica, che rende la velocità di propagazione delle onde di Rayleigh (V_R) dipendente dalla frequenza di eccitazione in mezzi verticalmente eterogenei.

L'onda di Rayleigh, costituisce un particolare tipo d'onda sismica ed è facilmente individuabile in quanto ha una velocità differente dai treni d'onda delle onde P ed S risultando più lenta anche di queste ultime, con una velocità di propagazione $V_R \approx 0,9 \div 0,96 V_s$ (da V. Socco Lab. Geofisica Appl. Dip. Ing Territorio Politecnico di TORINO)

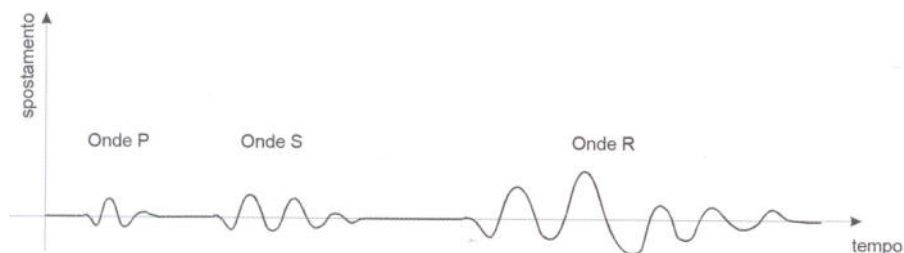


Fig. 3: sismogramma che evidenzia l'arrivo distinto di onde P, S e di Rayleigh (da Crespellani e Facciorusso "Dinamica dei terreni")

L'onda di Rayleigh si trasmette infatti sulla superficie libera di un mezzo isotropo e omogeneo ed è il risultato dell'interferenza e della combinazione d'onde sismiche di pressione (P-waves) e onde di taglio polarizzate verticalmente (Sv-waves).

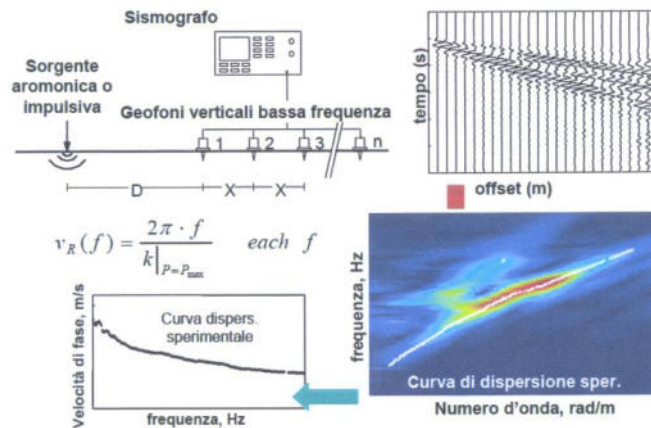
La prova consiste nel produrre sulla superficie del terreno, in corrispondenza del sito da investigare, una sollecitazione (piccolo sisma) e nel registrare le vibrazioni prodotte sempre in corrispondenza della superficie, a distanze note e prefissate.

Il profilo di V_s viene determinato attraverso la soluzione di un problema matematico di inversione della curva di dispersione (V_R in funzione della frequenza).

In un mezzo reale stratificato avviene una dispersione delle onde prodotte; in altre parole, una deformazione del treno d'onda, dovuto alla variazione della velocità di propagazione, con la frequenza, che varia in relazione alle caratteristiche di "rigidezza" di ogni singolo strato.

Nella figura sotto esposta (da V. Socco Lab. Geofisica Appl. Dip. Ing Territorio Politecnico di TORINO) è ben riassunto il processo di acquisizione ed il passaggio alla curva di dispersione:

tecniche attive - Metodi multistazione



Gli elementi a bassa frequenza penetrano quindi più in profondità, con velocità di fase in genere più alta, rispetto alle componenti ad alta frequenza.

Il calcolo del profilo delle velocità delle onde di Rayleigh, visualizzato dai grafici $V(\text{fase})/f(\text{frequenza})$, tramite elaborazioni e programmi dedicati, è convertito in profili V_s / profondità.

Interpretazione dati acquisiti

L'interpretazione delle tecniche di rilievo sismico MASW traggono spunto come sopra accennato dalle prime tecniche studiate da Nazarian e Stokoe (1984-94) che per primi hanno presentato il metodo SASW che utilizzava una sorgente d'impulso e 2 soli sismometri di rilevazione (1 Hz).

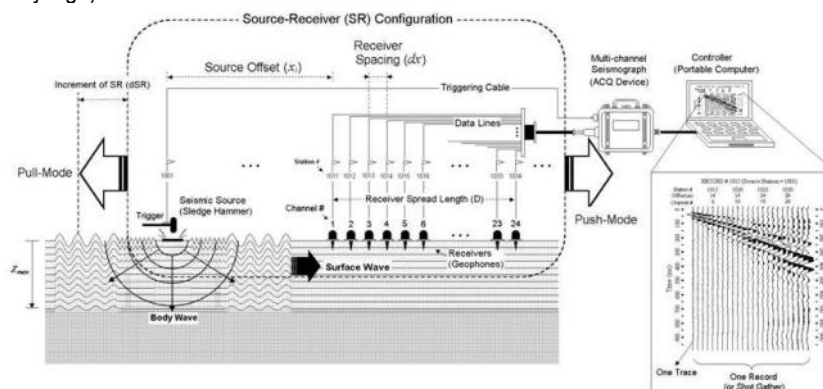
Tale tecnica come d'altronde anche la Masw, è basata sul fatto che osservando il segnale che si propaga nel suolo a seguito di una energizzazione, è notorio che la quasi totalità dell'energia (circa 2/3 o più) si propaga tramite onde superficiali (onde di Rayleigh).

A tale scopo Park et Alii (1999) hanno studiato e sviluppato il metodo MASW, per sopperire alle difficoltà d'applicazione, della tecnica Sasw in diverse situazioni.

La differenza principale è l'utilizzo simultaneo di 24 (o più) geofoni (sismometri polarizzati verticalmente - frequenza massima 4,5 Hz) per consentire di ricavare numerosi profili di velocità V_s , ricavati dallo studio delle velocità di fase, dei numerosi treni d'onda di Rayleigh che sono registrati ai sismometri.

I geofoni possono essere spazati da 0,5 sino ad un massimo di circa 2-3 m e forniscono una ridondanza statistica delle misure delle velocità di fase, avvalorandone quindi la veridicità (rispetto al metodo Sasw che si basava solo su di un'unica misura).

Le tracce dei sismogrammi, possono essere salvate nel dominio temporale, permettendo quindi di distinguere ed evidenziare (nel record di registrazione) le onde di Rayleigh, caratterizzate da elevata ampiezza di segnale (la quasi totalità dell'energia prodotta si ripartisce nelle onde di Rayleigh).



Dal sismogramma tramite una trasformata nel dominio, **frequenza (f) – numero d'onda (k)**, le tracce cui corrispondono i massimi spettrali (senza trascurare i modi superiori se presenti) si può così risalire alla curva di dispersione (cioè un grafico ampiezza/frequenza) mediante la relazione:

$$V_R(f) = f/k.$$

che consente di individuare il segnale proprio, relativo alle onde superficiali che interessano tale metodologia.

Il processo iniziale di individuazione della curva di dispersione caratteristica del sito in esame, è ottenuto tramite il software (**SWAN®** vers. 2008) seguito poi da una fase di elaborazione-interpretazione, eseguendo una “analisi spettrale” si procede sostanzialmente nella risoluzione del cosiddetto problema inverso: a partire dalla curva di dispersione misurata in situ, si arriva al modello di stratificazione del terreno con i relativi parametri sismici, secondo il seguente schema:

- Concatenazione dei file contenenti i record di registrazione in situ.
- fase di pre-processing per "ottimizzare" i record stessi in modo da migliorare la qualità dell'interpretazione cioè eventuale filtraggio o "pulizia" dei dati grezzi.
- Passaggio dal sismogramma al dominio spettrale mediante trasformata FK.
- Picking dei punti dello spettro per ottenere la curva di dispersione sperimentale; la procedura consiste nel trovare per ogni frequenza dei massimi assoluti/relativi dello spettro FK, finalizzata alla individuazione del modo fondamentale di propagazione dell'onda (ovvero quello a velocità minore), senza trascurare (analisi multimodale) di ricercare anche eventuali modi superiori.
- Estrazione curva di dispersione sperimentale mediante la procedura sopra indicata dallo spettro FK.
- Inversione: tale procedura è avviata allo scopo di ottimizzare un modello stratigrafico che sia relativo e sovrapponibile alla curva di dispersione sperimentale propria del sito; in tale procedura il programma **SWAN®** utilizza una tecnica di inversione lineare tipo OCCAM che presenta il vantaggio di minimizzare l'errore quadratico medio tra dati sperimentali e dati teorici. In linea generale come in gran parte dei processi di inversione (definiti "try and error") l'inversione viene fermata quando un determinato parametro, definito ϵ (cioè la differenza fra dato osservato e dato calcolato) è in genere $< 2-3\%$. L'inversione OCCAM, utilizzando differenze quadratiche medie, da risultati ancora migliori, di un'inversione lineare classica, dato che quando si raggiunge lo stop dell'inversione (ϵ_{MIN}) cioè un valore percentualmente molto piccolo, la sovrapposizione delle curve è davvero buona.
- Fase di ottimizzazione e di taratura della curva teorica, realizzata contestualmente alla procedura d'inversione, con inserimento (eventuale) di strati sino ad un massimo di 30, assegnazione di moduli di Poisson e taratura dello spessore degli strati mediante confronto con prove dirette (prove penetrometriche, stratigrafie di sondaggio, colonne di perforazioni di pozzi ecc.) ed eseguendo ulteriori processi di inversione allo scopo di raffinare il risultato ottenuto, cioè una curva di dispersione teorica finale molto ben sovrapposta a quella sperimentale.

L'obiettivo finale cioè l'ottenimento di un profilo verticale delle Vs, minimizzando le imprecisioni (risultati random), ottenendo quindi un modello ad elevata attendibilità e fortemente rappresentativo, mediante le tarature, del reale profilo Vs/profondità del sito in analisi, come d'altronde suggerito anche da ricercatori in ambito geofisico (es. Dal Moro et alii Gruppo Esplor. Geofisica - Dip. Geol e Scienze Marine Univ. Trieste "cosa migliore è confrontare lo spettro di velocità osservato, con le curve teoriche di dispersione di un modello che riteniamo plausibile per l'area sotto esame.").

Considerazioni sulle tecniche di inversione:

- Le tecniche d'inversione possono fornire soluzioni non univoche, ma proprio ovviare a questa possibilità, si eseguono TARATURE, con dati reali del sito (prove cpt, stratigrafie ecc.) utilizzando anche parametri che esprimono la "rigidezza" degli strati individuati (es. coeff. Poisson), proprio per indirizzare l'inversione verso un modello molto vicino a quello reale.
- La funzione obiettivo (il misfit tra dato osservato e dato calcolato) è prossima a zero, solo in caso ideale in assenza di rumore; per questo motivo il sismogramma può essere trattato o filtrato per ridurre al minimo od eliminare eventuali rumori o disturbi esterni, che non hanno nulla a che fare con l'onda sismica che stiamo analizzando.
- E' fuorviante e sbagliato attribuire una percentuale di errore eseguendo una operazione di alterazione delle velocità sismiche, ottenute dall'esecuzione dei dettagliati processi di inversione sopra esposti (esempio attribuendo un errore globale del $\pm 10\%$, quindi alterando ad es. le velocità sismiche ottenute moltiplicando $\cdot 0,9$ le Vs dei singoli strati), perché in tal modo si **vanificherebbe** completamente l'elaborazione Masw, che è stata fatta con cura ed esperienza secondo principi codificati e consolidati. Infatti ipotizzando possa esistere un modello Vs/profondità analogo a quello definito con l'interpretazione corretta della prova Masw, ma con velocità alterate (cioè diminuite/aumentate del 10%) si otterrebbe un Macth fra curva sperimentale e teorica **completamente non attendibile**. A titolo di esempio si allegano alcune figure che illustrano tale erronea operazione di alterazione delle Vs calcolate.

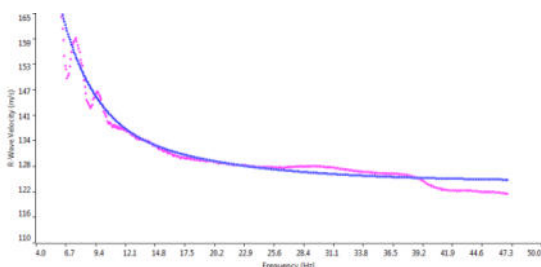


Grafico con sovrapposizione fra curva dispersione sperimentale (magenta) e curva teorica (blu) ottenuta dal processo inversione Masw dominio frequenza/velocità.
Si noti la quasi perfetta corrispondenza del fitting fra le due curve

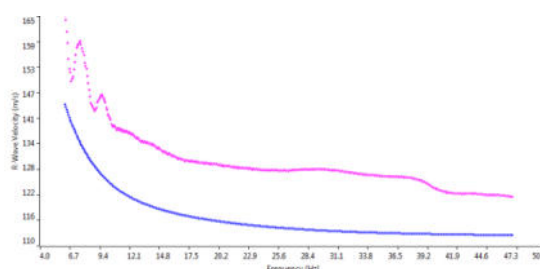


Grafico con sovrapposizione fra curva dispersione sperimentale (magenta) e curva teorica "alterata" modificando le Vs diminuendole erroneamente del 10% (blu) dominio frequenza/velocità.
Si noti la completa "sfasatura" della curva teorica sinonimo di un allontanamento dalla reale stratigrafia sismica che caratterizza il sito quindi un modello NON ACCETTABILE

Le curve di dispersione sopra esposte sono da considerare indicative e non riferite alla indagine Masw della presente relazione; sono riferite ad un generico sito con una stratificazione di 5 strati, mantenuti identici nelle 2 simulazioni, con analoghi coefficienti di Poisson assegnati (variabili fra 0.45-0.48) e $V_{S30} \approx 190$ m/sec (grafico a sinistra) e $V_{S30} \approx 170$ m/sec (grafico a destra).

Scheda Indagine Masw



Intervento: Scuola
Elementare di Varano
Marchesi

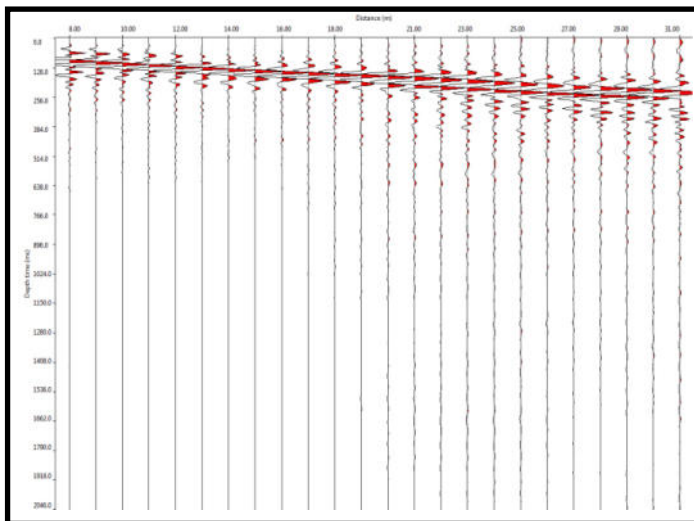
Ubicazione
Masw_MW_VM_EL

0 Punto di Shot
31 ubicazione geofono 24

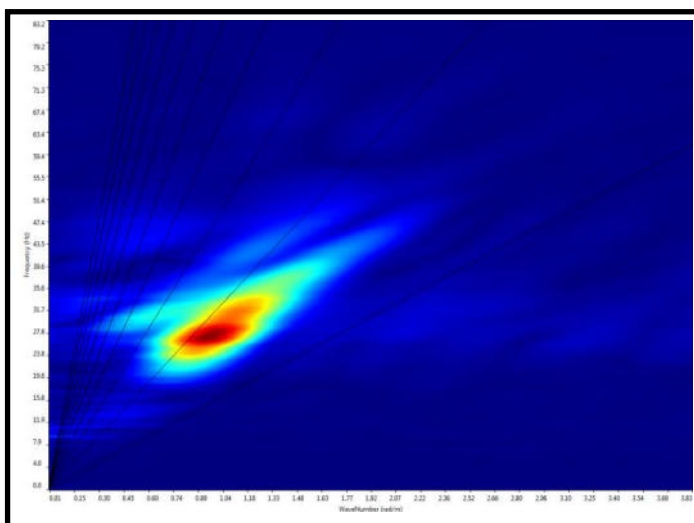
Nome file	Num Geofoni	Spaziatura geofoni	Lunghezza stesa	Distanza shot	Lunghezza totale	Vs ₃₀ m/sec	Categoria suolo
MW_VM_EL	24	1,0	23	8	31	320	C



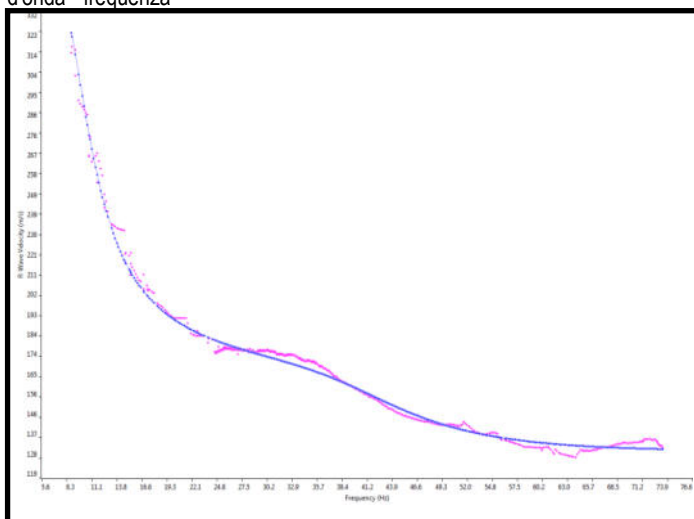
Piazzamento Masw



Sismogramma nel dominio spazio/tempo



Spettro FK - Rappresentazione del sismogramma nel dominio numero d'onda - frequenza



Sovrapposizione curva di dispersione calcolata /curva teorica rappresentata nel dominio Frequenza/Velocità

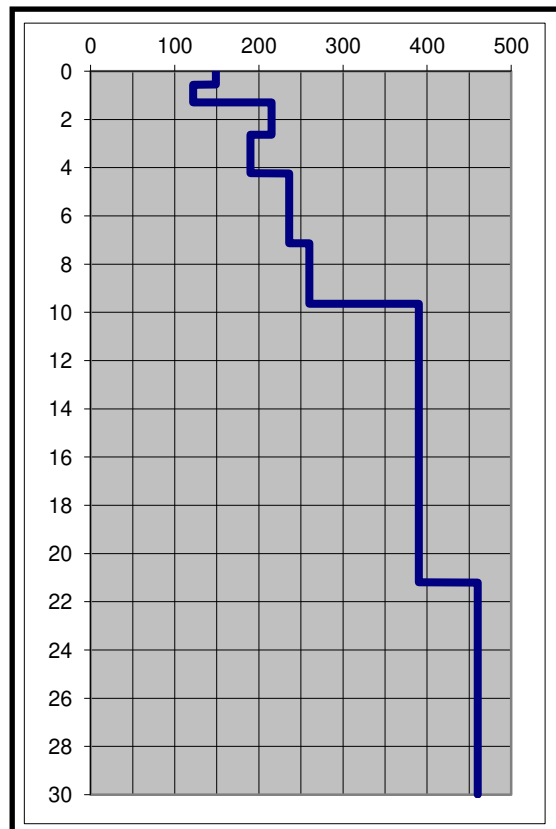


Grafico velocità/profondità onde di taglio Vs

Risultati Elaborazione MW_VM_EL

Strato	profondità		Spessore m	Vel. m/sec
	da	a		
Strato1	0.00	0.55	0.55	149
Strato2	0.55	1.29	0.74	122
Strato3	1.29	2.63	1.34	215
Strato4	2.63	4.23	1.60	190
Strato5	4.23	7.13	2.90	236
Strato6	7.13	9.64	2.51	270
Strato7	9.64	21.20	11.56	400
Strato8	21.20	30.00	8.80	470

$$V_{s30} = 320 \text{ m/sec}$$

Che corrisponde alla categoria del suolo di
fondazione di tipo **C** (*Depositi di terreni a grana grossa
mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente
consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da
un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con
la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e
360 m/s)

Indagine sismica Microtremori

In base alla necessità di valutare il confronto fra la frequenza fondamentale del sottosuolo e possibili interferenze con il 1° modo di vibrare della scuola elementare di località Varano Marchesi in comune di Medesano (PR) sono stati eseguiti n 1 punto di stazione per l'acquisizione dei microtremori sismici sul terreno naturale e 2 rilievi di microtremore sulla struttura, come di seguito descritto:

Rilievo microtremore sismico su terreno naturale:

- Tromino sc El. Varano M - (ground)

Rilievo microtremore sismico strutturale:

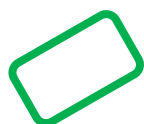
- Tromino sc El. Varano M PT
- Tromino sc El. Varano M P1



Fig. 3:ubicazione indagini microtremori

 rilievo microtremori terreno naturale

 rilievo microtremori strutture



scuola elementare Varano Marchesi

Per l'acquisizione dei dati di microtremore sismico, è stato utilizzato uno degli strumenti più diffusi per l'acquisizione di dati in sismica passiva a stazione singola, denominato "TROMINO"®, certificato e coperto da brevetto internazionale.

Il "tromografo digitale" utilizzato è stato progettato e sviluppato da Micromed spa, rappresenta la nuova generazione di strumenti digitali per la misura ad alta risoluzione del rumore sismico ambientale ed anche per la misura di vibrazioni antropiche, indotte su strutture (norma Din4150 e UNI 9916).

Tecnicamente è un sismografo appositamente studiato per il rilievo del microtremore sismico, nell'intervallo di frequenze fra 0,1 e 512 Hz, mediante l'impiego di masse strumentali molto ridotte, con una struttura rigida non risonante e costruita con materiali non diffrangenti.

I sensori sono costituiti da una terna di velocimetri smorzati che trasmettono il segnale ad un sistema di acquisizione digitale a basso rumore e dinamica ≥ 23 bit.

Queste caratteristiche strumentali consentono una elevata accuratezza nella misura dei dati, maggiore di 10^{-4} , sulle componenti

spettrali maggiori/uguali a 0,1 Hz.

Nella pratica si tratta di installare solidalmente il 'Tromino' al suolo (nel caso di misure per la frequenza del sottosuolo) o di appoggiarlo, eventualmente mediante l'uso di piedini regolabili (nel caso di misure di frequenza su strutture con pavimentazioni non perfettamente orizzontali) e di misurare il tremore sismico, con durata di registrazione variabile in funzione della frequenza minima di interesse per il sito e/o della tipologia d'indagine in corso.

Per le misure sul terreno naturale, si ipotizza di misurare la frequenza della coltre sedimentaria, di copertura del bedrock sismico (rocce che presentano $V_s > 700-800$ m/sec), quindi nel nostro caso delle strutture geologiche sepolte dalla coltre dei depositi quaternari più superficiali, (quindi ipotizzando anche spessore max di copertura sedimentaria di 200/300 m); ne deriva che la stima (in prima approssimazione) della frequenza dell'ordine di circa 0.5 Hz, equivale ad un periodo $T = 2$ sec.

Pertanto per poter "osservare" e registrare con Tromino® queste frequenze, si tratta di mantenere in acquisizione lo strumento per una durata minima teorica di almeno 2 sec. Poiché poi il metodo si basa su tecniche di risoluzione spettrale elevata, il segnale viene acquisito su finestre temporali di almeno 10 volte più lunghe.

E' opportuna, ed indispensabile, anche una ridondanza statistica (30-40 ripetizioni), che consente di mediare opportunamente le registrazioni, per evitare di interpretare rumori "locali" random.

In sintesi, per ottenere un'acquisizione di rumore sismico (microtremore) a scopi stratigrafici anche profondi, si devono quindi analizzare dati con durata di acquisizione minime di:

- >15 minuti per il terreno naturale

- >5-6 min. per le misure da eseguire su strutture.

Il risultato della acquisizione eseguita nel sito in esame è quindi analizzato mediante il codice di calcolo '*Grilla*' (appositamente sviluppato da Micromed), che consente di archiviare, analizzare e permettere la revisione del segnale misurato in sito.

Tale software consente di realizzare approfondite analisi spettrali di base e procedure per analisi HVSR secondo procedure codificate dal progetto di ricerca SESAME (2005).

I passi principali sono:

- 1) uso di strumentazione certificata e/o verificata da opportune commissioni (tecnico - scientifiche).
- 2) analisi dettagliata dello spettro di Fourier delle componenti verticali del segnale per individuare ed eliminare componenti "monocromatiche" (possibile rumore antropico)
- 3) eliminare (in genere la sequenza completa è di suddividere l'acquisizione in sottofinestre di 20 sec) le sottofinestre con contenuti TRANSIENTI, cioè le porzioni di segnale contenenti transienti legati a sorgenti vicine al sensore (cioè passi o passaggi di autoveicoli).
- 4) calcolo H/V per ogni sottofinestra selezionata mediante:
 - eliminazione segnale di eventuali offset
 - calcolo spettri di Fourier
 - Smoothing degli spettri Fourier per minimizzare effetti d'instabilità numerica del computo dei rapporti, ottimizzando caso x caso la % di smoothing, per evitare di alterare le caratteristiche dello spettro intrinseco e quindi della curva H/V che ne deriva
 - Calcolo delle curve H/V in componente N-S - E-O - verticale
- 5) Stima del valore medio dei rapporti spettrali per ciascuna sottofinestra e definizione deviazione standard
- 6) Identificazione curve H/V dei picchi statisticamente più significativi e stima indice di affidabilità da opportuni test statistici che permettono di definire l'affidabilità della curva H/V ed identificare il picco più significativo su criteri quantitativi.
- 7) Se l'acquisizione viene eseguita in diverse condizioni d'acquisizione: es. esecuzione in diverse ore del giorno, diverso processing dei dati, diverse condizioni atmosferiche ecc., i risultati della curva H/V devono risultare paragonabili.

Il risultato dell'elaborazione è il grafico del "Rapporto spettrale orizzontale su verticale" che mette in evidenza (se presenti) picchi di amplificazione del segnale ($HVSR \gg 1/2$) dovuti alla presenza nel sottosuolo di contrasti di impedenza sismica fra gli strati che inneschino amplificazioni del segnale sismico.

Il valore finale del HVSR in funzione della frequenza espresso nel grafico è indicato da una linea rossa che indica la media RMS delle componenti orizzontali rispetto alle verticali, mentre l'intervallo di confidenza (95%) relativo all'ampiezza HVSR è dato dalle linee nere sottili.

Per mettere in luce i modi di vibrare di una struttura è invece necessario rimuovere dalle registrazioni l'effetto del sottosuolo, mediante la tecnica SSR (Standard Spectral Ratio) che si esplica in fase interpretativa mediante programma *'Grilla'*, grosso modo deselectando la traccia dei microtremori eseguita a livello della fondazione (o fra quelle eseguite sulla struttura quella il più vicino possibile al piano di fonazione), cui sarà assegnata il valore ("zero") cioè il valore di riferimento del sito, rispetto a tale traccia "zero" le altre rilevazioni di microtremore eseguite ai piani superiori sulla stessa verticale, saranno deconvolte (interpretate e restituite in base al valore "zero" di riferimento di ciascuna struttura).
Le curve che evidenziano i modi di vibrare della struttura in analisi sono riassunte nel grafico "AmplitudeSpectral ratio".

Osservazioni sui risultati ottenuti

Dall'interpretazione ed elaborazione dei dati ottenuti dai rilievi di microtremore sismico eseguito su terreno naturale, ed in particolare dal grafico RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE (H/V) che evidenzia la presenza di eventuali picchi del rapporto H/V, che rappresentano il moto di "vibrazione" del sottosuolo e la sua frequenza fondamentale, si è ottenuto:

sito analizzato (terreno naturale)	Picco di frequenza (grafico Rapporto spettrale H/V)
Scuola elementare Varano Marchesi	5,25 ± 0,81 Hz

Dall'analisi della tabella per il terreno naturale, la prima frequenza fondamentale di vibrazione (Frequenza Fondamentale) a circa 5 Hz, indicherebbe un possibile bed rock "sismico" (o uno strato assimilabile definibile come bedrock-like cioè con elevata impedenza sismica rispetto agli strati soprastanti di copertura) a profondità maggiore 9/12 m.

La forma delle cuspidi del grafico 'Rapporto spettrale orizzontale su verticale (H/V)', con picco molto evidente lasciano inoltre presupporre che il passaggio fra i terreni di copertura ed il bed rock-like avviene con incremento sufficientemente "brusco" delle velocità sismiche, quindi con contrasti di impedenza sismica elevati (HVSr >> 2).

Una volta nota la "frequenza fondamentale del sottosuolo" quest'ultima può essere paragonata, a quella propria della struttura da analizzare, mediante il rilievo dei microtremore strutturale, che consente di determinare il 1° modo di vibrare del singolo edificio.

Durante i rilievi il Tromino è stato orientato con asse strumentale parallelo ad un asse strutturale principale, quindi con il N dello strumento circa secondo il nord-est geografico come sotto indicato:

Rilievo microtremore sismico strutturale:	orientazione secondo asse strutturale	Direzione N strumento
Tromino scuola Elementare Varano Marchesi	// muro di spina SW-NE	Verso NE

Dal grafico "AmplitudeSpectral ratio", (rilievi su strutture), è possibile desumere per ogni edificio analizzato la frequenza principale delle componenti orizzontali riferite agli assi N-S, E-W ed Up-Down strumentali (ubicati come sopra indicato sopra in tabella rispetto al N geografico), i cui risultati, sono esposti in tabella, scartando le frequenze >20/30 Hz poiché di scarso interesse ingegneristico:

struttura analizzata:	N-S component (orizzontale)	E-W component (orizzontale)	Up-Down component (verticale)
scuola Elementare Varano Marchesi	7 Hz+ picco secondario 16/18 Hz	7.5 Hz + picco secondario 12/15 Hz	12/18 Hz

Dal confronto tra i dati sopra esposti relativi al rilievo microtremori della struttura, con il grafico del rapporto spettrale H/V del terreno naturale, si nota che il terreno presenta prima frequenza fondamentale di vibrazione (Frequenza Fondamentale) a circa 5.25 Hz, mentre le componenti orizzontali N-S ed E-W del rilievo su struttura (1° modo di vibrare edificio) indicano valori variabili fra 7-8 Hz e con presenza di picco secondari o della componente verticale fra 12-18 Hz.

Da tale disamina è possibile dedurre, che il 1° modo dell'edificio, non è coincidente con la frequenza fondamentale del sottosuolo. In tale contesto di analisi sismica strutturale preliminare, poiché quest'ultima è però inferiore, è possibile segnalare una soglia di "ATTENZIONE" in base alle considerazioni sotto esposte.

Considerazioni:

- L'unico caso in cui fenomeni di risonanza possono essere esclusi con certezza, è quando la frequenza del edificio è inferiore o di molto superiore a quella fondamentale del sottosuolo.
- Tale considerazione deriva dal fatto che durante il verificarsi di un evento sismico, le frequenze della struttura possono subire decrementi, circa correlabili con l'incremento del danneggiamento strutturale.
- le frequenze dei modi di vibrare delle strutture dipendono grosso modo dalla loro altezza ed in particolare anche da struttura/morfologia. Quindi strutture complesse, costruite in periodi diversi od a sviluppo strutturale articolato, necessitano di

indagini di microtremore strutturale ad hoc (possibilmente sincrone) al fine di valutare la frequenza complessiva attribuibile alla struttura.

- Le frequenze del 1° modo di vibrare di un edificio **durante un sisma possono quindi diminuire**, nel caso quindi siano poco superiori a quella fondamentale del terreno, è possibile o consigliabile eseguire dettagliate analisi modali strutturali, per verificare e/o escludere la possibilità che si avvicinino/sovrappongano a quella propria del sottosuolo (cioè escludere effetto risonanza).

In linea di massima per edifici standard in c.a. ad un piano, è possibile osservare in generale frequenze inferiori o paragonabili a 10-12 Hz, per edifici alti a stessa tipologia (es. circa 10/15 piani) è possibile rilevare frequenze prossime a 1 Hz.

A seguire sono le schede delle singole registrazioni sul terreno naturale e su struttura:

TECNOGEOFISICA SNC

Scheda Rilievo Microtremori: sc. elementare Varano Marchesi, Medesano terreno nat. (ground)

Instrument: TRZ-0171/01-12

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: n.a.

Start recording: 04/08/14 10:59:55 End recording: 04/08/14 11:19:55

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analysis performed on the entire trace.

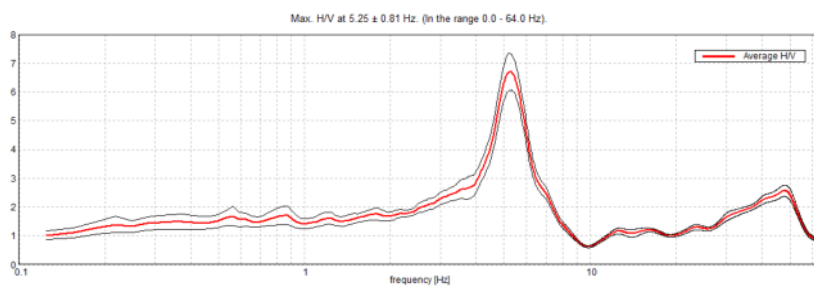
Sampling rate: 128 Hz

Window size: 20 s

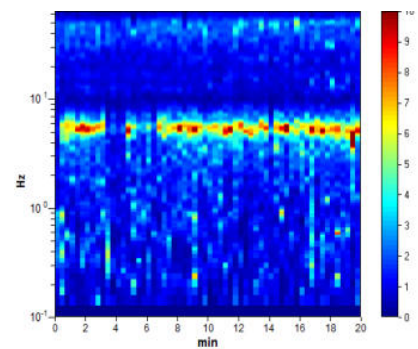
Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

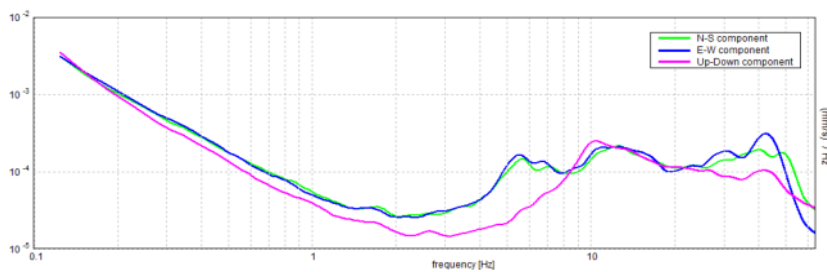
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



SERIE TEMPORALE H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Ubicazione posizionamento punto HVSr terreno naturale:



[Secondo le linee guida SESAME, 2005:

- ✓ Voce 1) definiscono se la registrazione è stata condotta a un tempo sufficientemente lungo rispetto alla frequenza del picco, tutti e 3 in genere devono risultare soddisfatti
- ✓ Voce 2) dovrebbero stabilire se il picco è significativo dal punto statistico; è consigliato che ne siano soddisfatti il più possibile ma non necessariamente lo devono essere tutti, infatti una registrazione eseguita correttamente su roccia darebbe NO su tutti questi 6 criteri]

Tabella Criteri progetto SESAME

Max. H/V at 5.25 ± 0.81 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).
--

1) Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	$5.25 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$6300.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 253 times	OK	
2) Criteri per un picco H/V chiaro [dovrebbero essere soddisfatti il maggior numero possibile]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	4.188 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	6.344 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$6.70 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.15354 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.80608 < 0.2625$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.6348 < 1.58$	OK	

L_w n_w $n_c = L_w n_w f_0$ f f_0 σ_f $\varepsilon(f_0)$ A_0 $A_{H/V}(f)$ f^- f^+ $\sigma_A(f)$ $\sigma_{\log H/V}(f)$ $\theta(f_0)$	lunghezza della finestra numero di finestre usate nell'analisi numero di cicli significativi frequenza attuale frequenza del picco H/V deviazione standard della frequenza del picco H/V valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0 ampiezza della curva H/V alla frequenza f frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$ frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$ deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$ valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$
--	---

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Rilievo Microtremori su struttura: scuola elementare Varano Marchesi Medesano PR

Durata registrazione: 0h10'00". Analizzato 100% tracciato

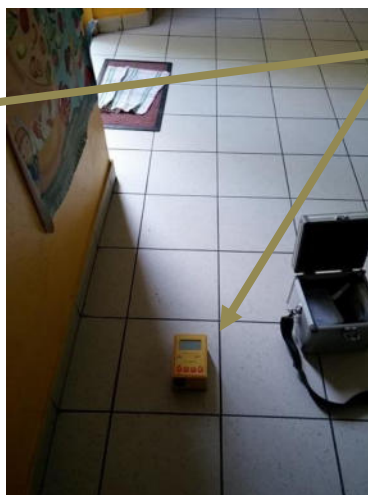
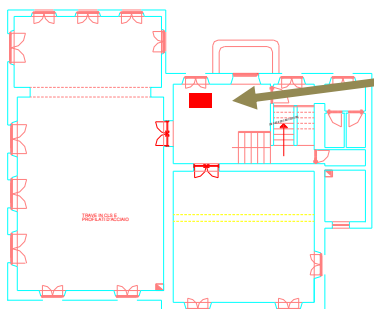
Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

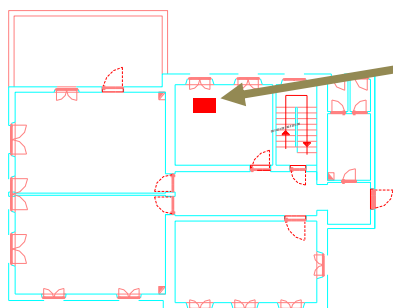
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 3%

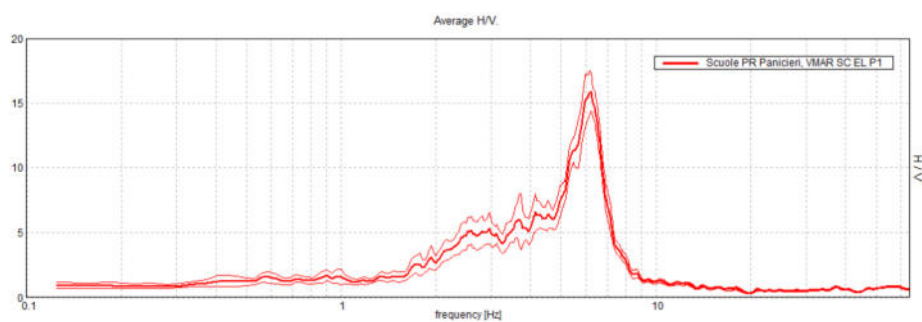
Posizionamenti rilievo PT e P1:



Rilievo "TROMINO"® struttura – PT(p. terra)



Rilievo "TROMINO"® struttura – P1(p. primo)



AmplitudeSpectral ratio

A seguire i 3 grafici dei modi strutturali delle singole componenti N-S, E-W e V (verticali)

