



COMUNE DI VALGREGGHENTINO

PROVINCIA DI LECCO

COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO

D.G.R. 2616/2011 & D.G.R. 6738/2017

APPROFONDIMENTO SISMICO DI SECONDO LIVELLO

DOC. 3	COMUNE DI VALGREGGHENTINO Piazza Roma, n. 2 - 23857 Valgregghentino (LC) Tel: +39 0341 604507 - Fax. 0341 660063 e-mail: protocollo@comune.valgregghentino.lc.it pec: comune.valgregghentino@pec.regione.lombardia.it		DATA: GENNAIO 2023
	REVISIONE	STATO	DATA
01	DEFINITIVO	01/2023	PROFESSIONISTA INCARICATO: DOTT. GEOL. MATTEO LAMBRUGO via C. Alberto, n.10 - 23822 BELLANO (LC) tel: 3490565625 e.mail: matteo.lambrugo@geosgl.it pec: matteo.lambrugo@pec.geosgl.it <i>In collaborazione con:</i> DOTT. GEOL. PIETRO ALBORGHETTI via Magnodeno, n.11a - 23900 LECCO (LC) Cell: 348 7054778 e.mail: pietroalbo@virgilio.it pec: pietro.alborghetti@pec.epap.it



COMUNE DI VALGREGHENTINO
Piazza Roma n. 2 – 23857 Valgrehentino (LC)

COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO

APPROFONDIMENTO SISMICO DI II LIVELLO

Premessa

L'analisi sismica di II livello prevede una caratterizzazione semi quantitativa degli effetti di amplificazione attesi negli scenari individuati nel primo livello e fornisce la stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore del Fattore di Amplificazione (Fa).

Considerando, che il comune di Valgrehentino è classificato in Zona Sismica 3, di seguito si procede con l'approfondimento di secondo livello nelle aree suscettibili di amplificazioni sismiche litologiche (Z4) interferenti con l'urbanizzato e/o con le aree ad espansione urbanistica. Si evidenzia, che non vengono approfondite le aree che, per situazioni geologiche, geomorfologiche e ambientali o perché sottoposte a vincolo da particolari normative, siano considerate inedificabili.

L'approfondimento sismico di II livello è stato eseguito mediante indagini sismiche, appositamente effettuate e di archivio, mediante l'analisi delle onde sismiche superficiali con la tecnica MASW e con quella dei microtrempi con la tecnica HVSR.

Procedura semplificata di II livello per le amplificazione litologiche - PSL Z4

La valutazione dell'amplificazione sismica locale è stata definita con la metodologia prevista dalla Regione Lombardia nella delibera della giunta regionale n.IX/2616 del 30 novembre 2011, che prevede tre livelli di approfondimento in funzione della zona sismica di appartenenza e degli scenari di pericolosità sismica locale PSL definiti nell'All.5 della suddetta delibera regionale.

La procedura di approfondimento di 2° livello prevista dai criteri della Regione Lombardia, permette una valutazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione

sismica attesi. In particolare, attraverso la definizione del fattore di amplificazione F_a , viene valutato il grado di protezione raggiunto dalla normativa vigente (NTC 18) nel tenere in considerazione gli effetti sismici locale. Più precisamente si è proceduto a definire il fattore di amplificazione relativo agli effetti litologici mediante le Schede-Litologia, opportunamente predisposte dal Politecnico di Milano per conto della Regione Lombardia (Allegato 5 alla D.G.R. IX/2616).

La valutazione del grado di protezione viene effettuata in termini di contenuti energetici, confrontando il valore di F_a , ottenuto dalle schede di valutazione, con un parametro di analogo significato definito come “Valore di Soglia”, calcolato per ciascun comune della Lombardia. Tale valore soglia è stato calcolato per le diverse categorie di sottosuolo indicate nelle NTC, relativamente ai due intervalli del periodo proprio di oscillazione delle tipologie edilizie presenti con maggior frequenza in Lombardia, ossia per $0.1s < T < 0.5s$ (intervallo riferito a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide) e per $0.5s < T < 1.5s$ (intervallo riferito a strutture più alte e più flessibili). Tali parametri di riferimento, sono contenuti nel file “soglie_lomb.xls” della banca dati regionale e rappresentano i valori di soglia oltre i quali lo spettro proposto dalla normativa risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione locale. La procedura prevede pertanto di valutare il valore di F_a con le schede di valutazione e di confrontarlo con il corrispondente valore di soglia.

Si possono presentare quindi due situazioni:

1. Il valore di F_a calcolato tramite scheda è inferiore al valore di soglia corrispondente: la normativa è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla normativa;
2. Il valore di F_a calcolato è superiore al valore di soglia corrispondente: la normativa è insufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica e quindi è necessario in fase di progettazione edilizia, o effettuare analisi più approfondite (livello 3 di approfondimento) oppure utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore.

Nella tabella sottostante sono riportati i valori soglia relativi ai due intervalli sopra menzionati per il comune di Valgrehentino (soglie_lomb.xls - Regione Lombardia).

VALORI DI SOGLIA PER IL COMUNE DI VALGREGHENTINO. Zona sismica 3			
Valori di soglia Fa – intervallo 0,1 s < T < 0,5 s			
Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
1,4	1,8	2,2	2,0
Valori di soglia Fa – intervallo 0,5 s < T < 1,5 s			
Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
1,7	2,4	4,2	3,1

Tabella 1 - Valutazione analitica del Periodo di risonanza di sito T.

Pertanto, sulla base delle caratteristiche litologiche del sottosuolo e confrontando l'andamento con la profondità della velocità delle onde di taglio Vs (determinata con le prove sismiche) con quello riportato nelle schede litologiche fornite dalla Regione Lombardia. In particolare, si provvede a confrontare i valori delle Vs, relativi all'area indagata, con quelli nell'apposito diagramma per verificarne la congruità con il campo di validità della scheda di riferimento. Nel caso in cui esista la scheda per la litologia considerata ma il profilo non rientra nel campo di validità, si potrà usare una scheda prevista per litologia diverse, ma che presenti un andamento delle Vs simile a quelle riscontrate nell'indagine. Dai grafici e dalle matrici di valutazione, presente in ogni scheda, si potrà scegliere, in funzione della profondità e della velocità dello strato superficiale, la curva più appropriata (identificata da numero e colore) per la determinazione di Fa, quest'ultimo determinato in base all'andamento della curva e al valore del periodo proprio di vibrazione del sito T.

Il passo successivo prevede quindi di valutare il periodo proprio di vibrazione del sito T, calcolato fino alla profondità in cui il valore della velocità Vs è uguale o superiore a 800 m/s "bedrock", utilizzando la seguente relazione:

$$Tp = \frac{4 \sum_{i=1}^n h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^n V_{s,i} \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)}$$

dove: h_i e $V_{s,i}$ sono rispettivamente lo spessore e la velocità dello strato i -esimo del modello sismo-stratigrafico rilevato dall'indagini geofisiche.

I valori di F_a così determinati, per i periodi di 0,1-0,5 s e 0,5-1,5 s vengono quindi confrontati con i valori soglia predisposti da Regione Lombardia, considerando la categoria del sottosuolo corrispondente delle NTC 18. A tale proposito, si ricorda che per ogni area indagata per l'approfondimento di secondo livello, viene associata la categoria del sottosuolo corrispondente ai sensi del D.M. 17 gennaio 2018, in base ai valori della velocità equivalente " $V_{s,eq}$ " di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 metri di profondità, come definita dalla seguente espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{strato=1}^N \frac{h(strato)}{V_s(strato)}}$$

in cui:

h_i = spessore (in metri) dell' i -esimo strato;

$V_{s,i}$ = velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato;

N = numero di strati;

H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/sec.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro V_{s30} , ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

INDAGINE GEOFISICA MULTICANALE MASW

Premessa

L'indagine per la caratterizzazione del suolo è avvenuta con misura diretta dei parametri geofisici per la definizione del profilo delle onde di taglio orizzontali del sottosuolo. In particolare, è stata utilizzata la tecnica della misura "Analisi Multicanale di Onde di Superficie MASW – Multichannel Analysis of Surface Waves" con sismografo a 24 Canali. L'indagine è stata strutturata attraverso l'acquisizione dei dati di campagna in fasi di misura, al fine di esplorare il sottosuolo attraverso un insieme di misure statisticamente significative. In seguito i dati rilevati sono stati elaborati ed interpretati con il software Easymasw 2022 della Geostru Software.

Cenni Teorici

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche.

L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio $f-k$ è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

Modellizzazione

E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione: $v = \lambda \times \nu$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

Modi di Vibrazione

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

Profondità di Indagine

Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

INDAGINE GEOFISICA PASSIVA HVSR

Cenni Teorici

La tecnica della sismica passiva a stazione singola, comunemente nota con il termine HVSR o H/V (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è totalmente non invasiva e si può applicare ovunque senza nessun tipo di perforazione e senza energizzazioni esterne diverse dal rumore ambientale. La prova, fu applicata per la prima volta da Nogoshi e Igarashi (1970) e resa popolare da Nakamura (1989). Si tratta di una valutazione sperimentale dei rapporti di ampiezza spettrale fra le componenti orizzontali (H) e la

componente verticale (V) delle vibrazioni ambientali sulla superficie del terreno misurati in un punto con un apposito sismometro a tre direzioni.

Più nel dettaglio il microtremore ambientale (noise sismico) è un movimento minimo (nell'ordine di 10^{-2} - 10^{-6} mm) del terreno presente in qualsiasi punto della superficie terrestre e consiste per lo più nelle onde di superficie (Rayleigh e Love) prodotte dall'interferenza costruttiva delle onde P e S negli strati superficiali. Il microtremore, viene prodotto per esempio, dal vento, dalle onde del mare ed alle frequenze alte, da sorgenti di carattere antropico (attività industriale, traffico veicolare ecc.). Lo scopo della prova, è quella di ricavare una curva sperimentale che rappresenta il valore del rapporto fra le ampiezze spettrali medie delle vibrazioni ambientali in funzione della frequenza di vibrazione del sito. La frequenza alla quale curva H/V mostra un picco è legata alle frequenze di risonanza del sito al di sotto del punto di registrazione, determinata dalla presenza di un contrasto di impedenza nel sottosuolo. Pertanto, la prova ha lo scopo principale di individuare la presenza di fenomeni di risonanza sismica e consentire una stima delle frequenze alle quali il moto del terreno può risultare amplificato, permettendo quindi ai progettisti, il corretto dimensionamento degli edifici per evitare l'effetto della "doppia risonanza".

In generale, la stima della frequenza di risonanza f sarà tanto più precisa quanto maggiore è il contrasto di impedenza sismica responsabile del fenomeno, ovvero dove sono maggiori gli effetti di amplificazione. Per esempio, quando la misura è effettuata sul basamento roccioso (con velocità delle $V_s > 800$ m/s) la curva non mostra picchi significativi e si stabilizza intorno all'ampiezza 1, in quanto non sono presenti fenomeni di risonanza. Infine, se i risultati delle prove sono invertite mediante adeguate procedure numeriche, in associazione ad altre indicazioni sperimentali o geologiche del sito (es. velocità delle V_s degli strati della copertura, profondità del substrato sismico, ecc), si possono ottenere delle stime del profilo stratigrafico del sottosuolo. Tale procedura, detta di inversione, consente di definire il profilo del sottosuolo sostanzialmente in termini di spessore e velocità delle onde di taglio.

Metodologia di Indagine Vibrazionale H/V

Per le indagini sismiche H/V, è stato utilizzato un sistema composto da acquisitore Sysmatrack a 24 bit, corredato da un velocimetro a 3 componenti con frequenza propria pari 2,5 hz. E' stata quindi compiuta una registrazione continua della durata di 15-20 minuti, con una frequenza di campionatura di 250 hz. In sintesi, dall'analisi e dal successivo filtraggio del rumore ambientale, registrato lungo tre direzioni ortogonali tra di loro, viene valutato lo spettro di Fourier delle singole direzioni (E-O, N-S, Z) ed successivamente, confrontando gli spettri orizzontali con quelli verticali, viene individuato il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la stima della frequenza naturale di vibrazione del sito. La registrazione, le modalità di elaborazione ed interpretazione delle misure, vengono effettuate secondo le indicazioni del progetto SESAME, mediante l'utilizzo del software EasyHvsr o con Geopsy.

RISULTATI DELL'INDAGINE – MASW MW 1

Nelle seguenti tabelle e figure, viene illustrato il profilo di velocità delle onde S, associato alla curva sperimentale di dispersione energetica.

Numero di canali = 12
Interdistanza geofonica = 4 m
Superficie = prativa



Figura 1 - Misura in sito del profilo delle onde di taglio orizzontali superficiali "Vs".

VALGREGHENTINO – CAMPO SPORTIVO [Vs 30 m]		
Onde di taglio orizzontali Vs [m/s]	Profondità [m]	Spessore strati [m]
232.8	2.47	2.47
132.8	10.92	8.45
459.9	29.55	18.63
508.2	30	0.45

Tabella 2 - Velocità degli strati "sismici" presenti nei primi 30 metri di profondità.

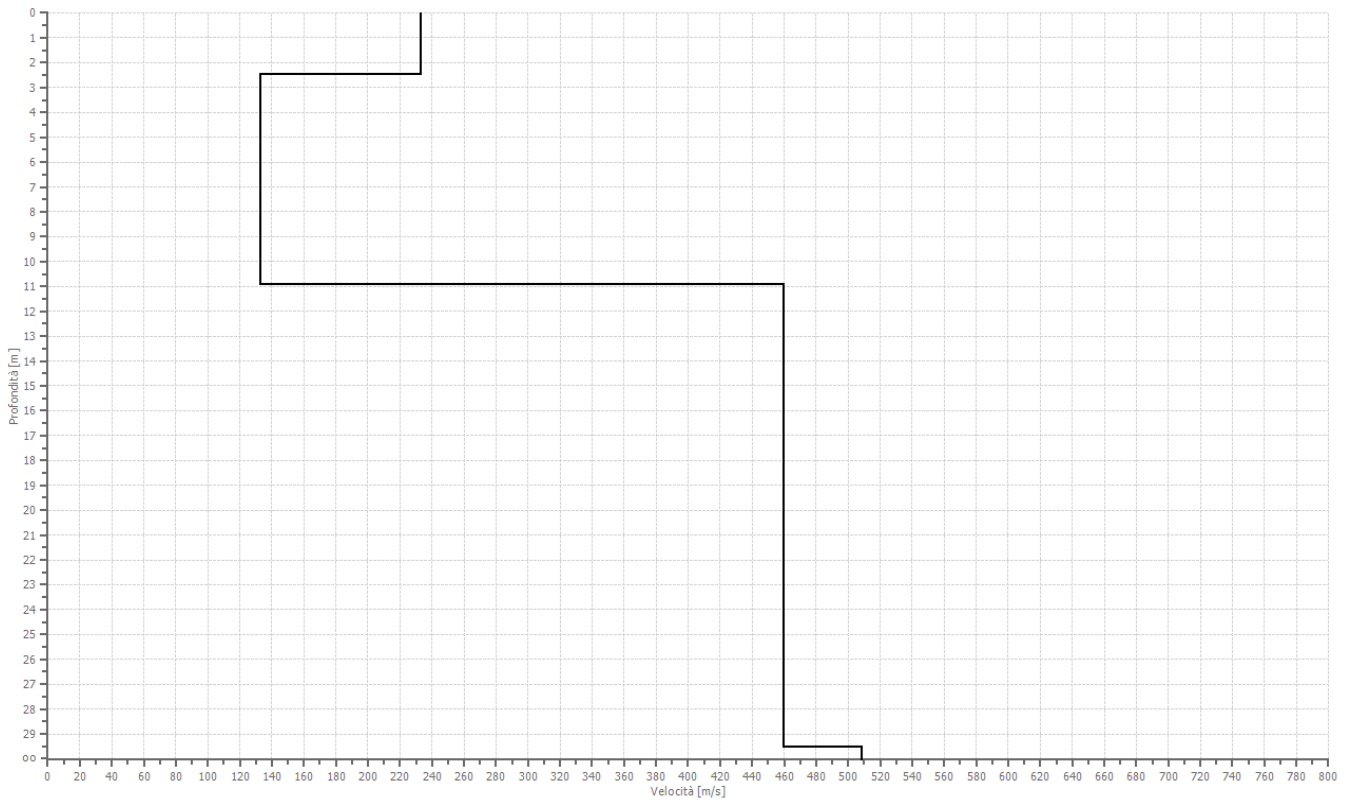
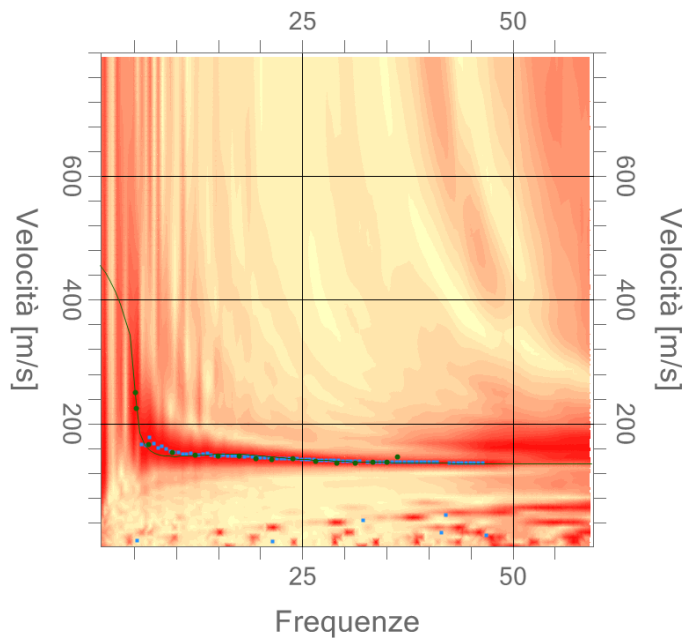


Figura 2 - Profilo delle velocità delle Onde di Taglio Vs. Frequenze



Percentuale di errore	0.504%
Fattore di disadattamento della soluzione	0.054

Figura 3 - Curva della dispersione della velocità di fase delle onde di Rayleigh.

CATEGORIA DEL SOTTOSUOLO:

$V_{s30} = 259,4$ [m/s];

Categoria di sottosuolo = C

RISULTATI DELL'INDAGINE – HV 1

Nelle seguenti tabelle e figure, viene illustrato il rapporto spettrale H/V e la frequenza del picco.



Figura 4 - Misura in sito del micro tremore ambientale.

Dati riepilogativi HVSR:

Frequenza di campionamento:	250.00 Hz
Frequenza massima:	20.00Hz
Frequenza minima:	0.50 Hz
Passo frequenze:	0.15 Hz
Dimensione temporale finestre:	20.0 s
Tipo lisciamento:	Konno & Ohmachi
Percentuale di lisciamento:	40%
Tipo di somma direzionale:	Media aritmetica
Frequenza del picco del rapporto H/V:	1.8-1.9 Hz

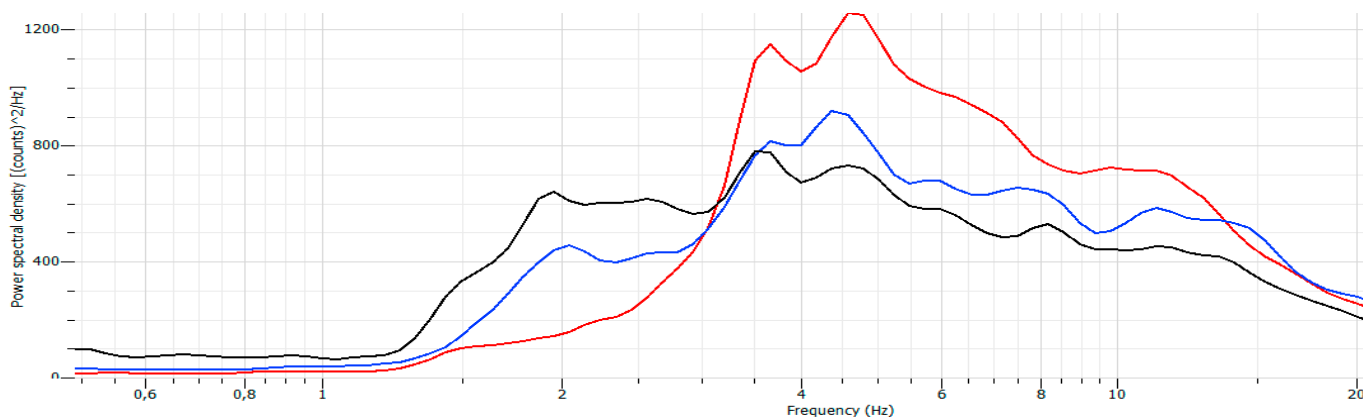


Figura 5 - Grafico degli spettri medi nelle tre direzioni.

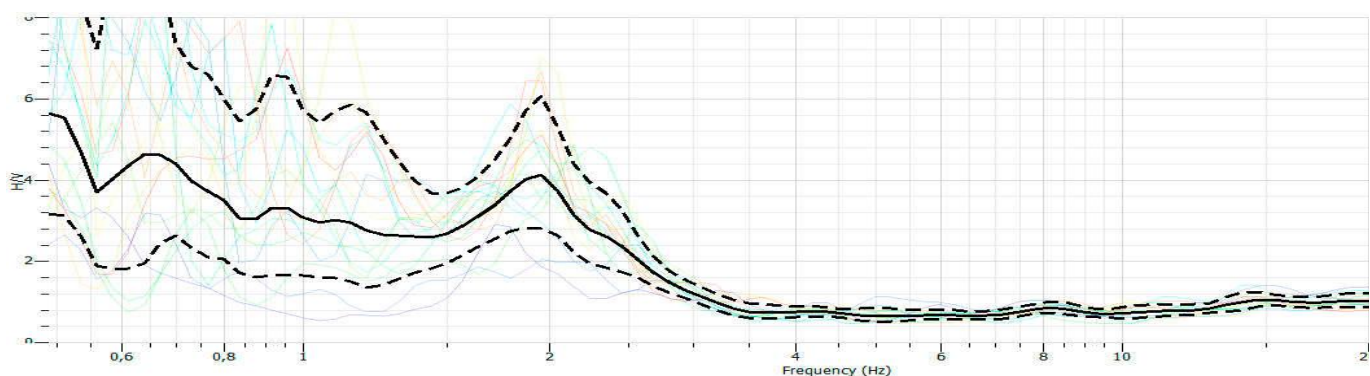


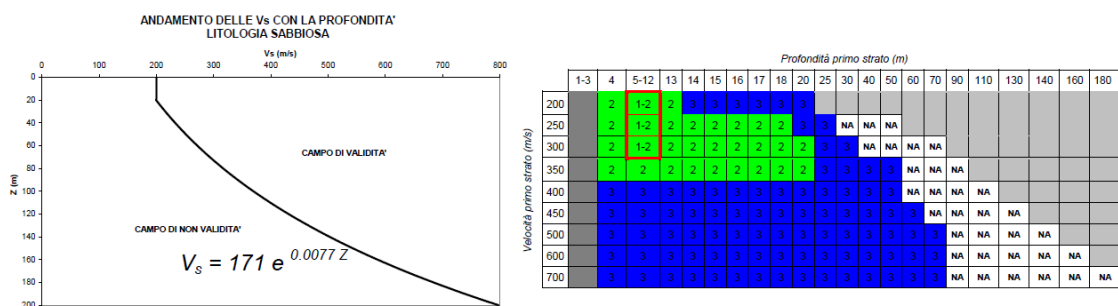
Figura 6 - Rapporto spettrale H/V con il suo intervallo di fiducia.

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

Figura 7 - Sintesi delle verifiche SESAME.

APPROFONDIMENTO DI II LIVELLO MW 1

Per il sito in esame, sulla base delle caratteristiche litologiche del sottosuolo e confrontando l'andamento con la profondità della velocità delle onde di taglio V_s con quello riportato nelle schede litologiche fornite dalla Regione Lombardia, viene scelta come scheda di riferimento quella a litologia sabbiosa (vedi figura sottostante).



ove
la sigla NA indica $F_a = 1$

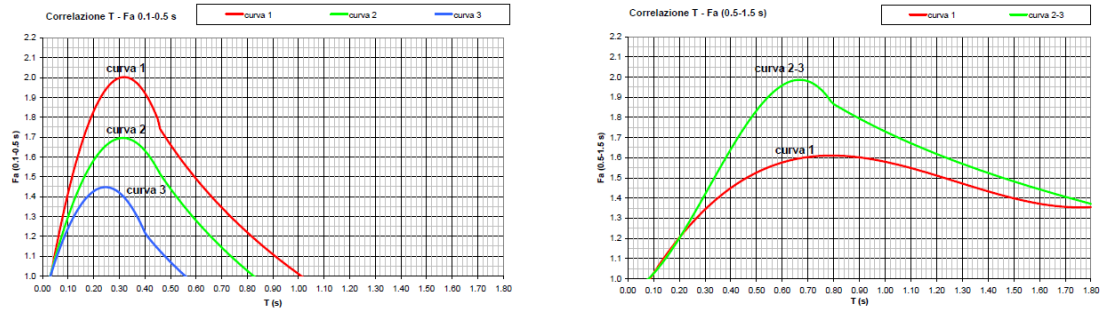
il riquadro rosso indica la condizione stratigrafica per cui è necessario utilizzare le curve 1
CONDIZIONE: strato con spessore compreso tra 5 e 12 m e velocità media V_s minore o uguale a 300 m/s
poggiate su strato con velocità maggiore di 500 m/s

$V_s < 300$ m/s

0

$V_s > 500$ m/s

5 - 12 m



Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico	Tratto rettilineo
1	$0.03 \leq T \leq 0.50$ $Fa_{0.1-0.5} = -12.21 T^2 + 7.79 T + 0.76$	$0.50 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.01 - 0.94 \ln T$	$T > 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$
2	$0.03 \leq T \leq 0.45$ $Fa_{0.1-0.5} = -8.65 T^2 + 5.44 T + 0.84$	$0.45 < T \leq 0.80$ $Fa_{0.1-0.5} = 0.83 - 0.88 \ln T$	$T > 0.80$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$
3	$0.03 \leq T \leq 0.40$ $Fa_{0.1-0.5} = -9.68 T^2 + 4.77 T + 0.86$	$0.50 < T \leq 0.55$ $Fa_{0.1-0.5} = 0.62 - 0.65 \ln T$	$T > 0.55$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$

Curva	
1	$0.08 \leq T \leq 1.80$ $Fa_{0.5-1.5} = 0.57 T^3 - 2.18 T^2 + 2.38 T + 0.81$
2	$0.08 \leq T < 0.80$ $Fa_{0.5-1.5} = -6.11 T^3 + 5.79 T^2 + 0.44 T + 0.93$
3	$0.80 \leq T \leq 1.80$ $Fa_{0.5-1.5} = 1.73 - 0.61 \ln T$

Figura 8 - Scheda litologia sabbiosa (All. 5 alla D.g.r. n.IX/2616 del 30 - 11 - 2011).

Dai grafici emerge che tutti i valori delle Vs calcolate, stanno al di sopra della linea nera che divide il campo di validità (sopra la linea) dal campo di non validità (sotto la linea). Successivamente, in funzione della velocità delle onde di taglio Vs dello strato superficiale e del suo spessore, è stata selezionata la curva più appropriata per la valutazione del fattore di amplificazione.

Nel caso specifico, lo strato superficiale equivalente con spessore di almeno 4 metri e $V_s > 200$ m/s, è stata assegnata una velocità Vs calcolata come media ponderata dei valori di Vs rilevata nei primi tre strati (vedi tabella della MASW M.1). Da cui deriva, uno Strato Superficiale Equivalente con $V_s = 204$ m/s per uno spessore di 13 m. Pertanto, viene scelta la curva 2 (verde) della scheda litologica sabbiosa (All. 5 alla D.g.r. n.IX/2616 del 30 - 11 - 2011).

Mentre, la profondità di intercetto del substrato sismico ($V_s > 800$ m/sec), viene stimata a circa 55 m dal p.c. dedotta dall'andamento del gradiente velocità-profondità degli ultimi sismostrati rilevati, in coerenza con il picco di frequenza rilevato dalla prova HVSR.

ONDE DI TAGLIO ORIZZONTALI Vs [M/S]	PROFONDITÀ [M]	SPESSORE STRATI [M]	AUMENTO VELOCITÀ	GRADIENTE M/SEC/M
232.8	2.47	2.47	232.8	94.25
132.8	10.92	8.45	-100	-11.83
459.9	29.55	18.63	327.1	17.56
508.2	55.55	26	48.3	1.86

Tabella 3 - Riepilogo delle velocità e profondità degli sismostrati utilizzati per ricavare il periodo T (in nero sono i valori rilevati dalla MASW e in blu quelli dedotti).

Pertanto, il periodo proprio di vibrazione del sito T, risulta stimato a 0,53 s.

I valori di F_a , relativi all'intervallo $0.1s < T < 0.5s$ e $0.5s < T < 1.5$, sono stati calcolati utilizzando gli abachi regionali (riportati nella scheda), a cui corrispondono le seguenti espressioni:

$$F_a 0,1s-0,5s = 0,83-0,88 \ln T = 1,40$$

$$F_a 0,1s-0,5s = 1,40 < 1,8$$

$$F_a 0,5s-1,5s = -6.11T^3 + 5,79T^2 + 0,44T + 0,93 = 1,87$$

$$F_a 0,5s-1,5s = 1,87 < 2,4$$

Entrambi i valori di F_a ottenuti per il sito in esame, per la categoria del sottosuolo C, risultano inferiori ai valori di soglia forniti dalla Regione Lombardia, pertanto la normativa nazionale, risulta sufficientemente cautelativa nei confronti dei fenomeni di amplificazione sismica locale individuati da Regione Lombardia.

RISULTATI DELL'INDAGINE – MASW MW 2

Nelle seguenti tabelle e figure, viene illustrato il profilo di velocità delle onde S, associato alla curva sperimentale di dispersione energetica.

Numero di canali = 12
Interdistanza geofonica = 3 m
Superficie = prativa



Figura 9 - Misura in sito del profilo delle onde di taglio orizzontali superficiali "Vs".

VALGREGHENTINO – VIA A. TOSCANINI [Vs 30 M]		
Onde di taglio orizzontali Vs [m/s]	Profondità [m]	Spessore strati [m]
164.3	3	3
164.5	4	1
266.1	5	1
407.4	8.87	3.87
409.8	16.78	7.91
859.6	30	13.22

Tabella 4 - Velocità degli strati "sismici" presenti nei primi 30 metri di profondità.

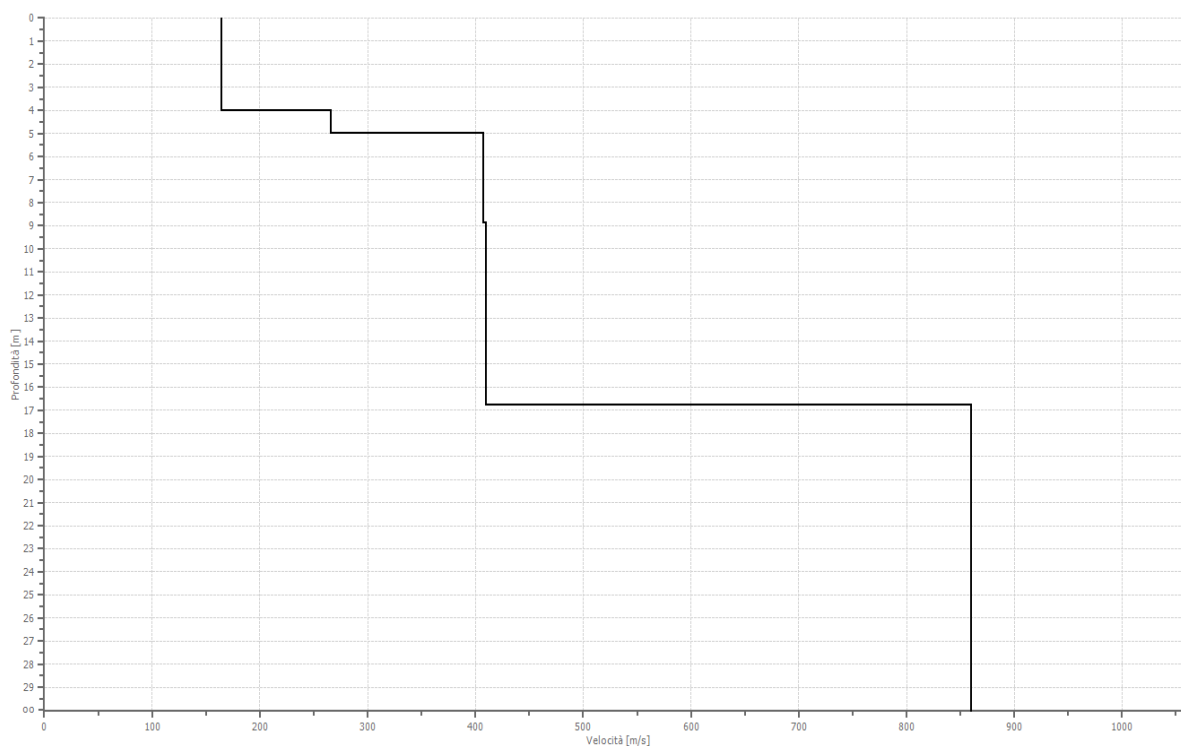
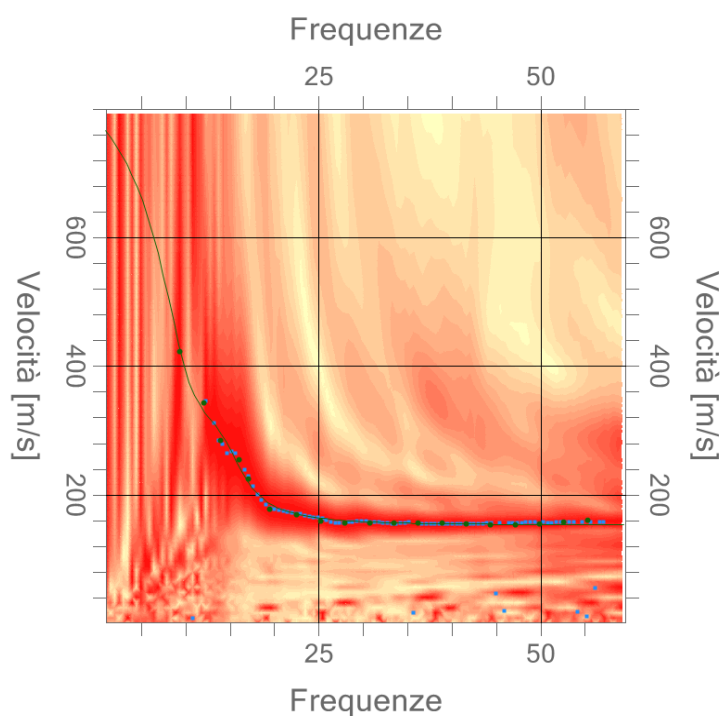


Figura 10 - Profilo delle velocità delle Onde di Taglio Vs.



Percentuale di errore 0.0078 %
 Fattore di disadattamento della soluzione 0.026

Figura 11 - Curva della dispersione della velocità di fase delle onde di Rayleigh.

CATEGORIA DEL SOTTOSUOLO:

$V_{s30} = 415,1$ [m/s];

$V_{eq} = 294.93$ [m/s] per uno spessore $H = 16,78$ m.

V_s bedrock = 859 [m/s];

Categoria di sottosuolo = E

RISULTATI DELL'INDAGINE – HV 2

Nelle seguenti tabelle e figure, viene illustrato il rapporto spettrale H/V e la frequenza del picco.



Figura 12 - Misura in sito del micro tremore ambientale.

Dati riepilogativi HVSR:

Frequenza di campionamento:	250.00 Hz
Frequenza massima:	15.00Hz
Frequenza minima:	0.50 Hz
Passo frequenze:	0.15 Hz
Dimensione temporale finestre:	20.0 s
Tipo lisciamento:	Triangolare proporzionale

Percentuale di lisciamento: 10.00%
 Tipo di somma direzionale: Media aritmetica
 Frequenza del picco del rapporto H/V: 9.80 Hz ±0.87 Hz

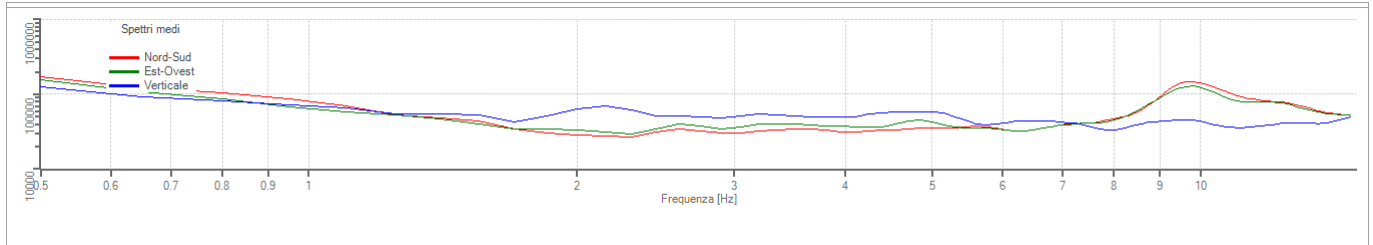


Figura 13 - Grafico degli spettri medi nelle tre direzioni.

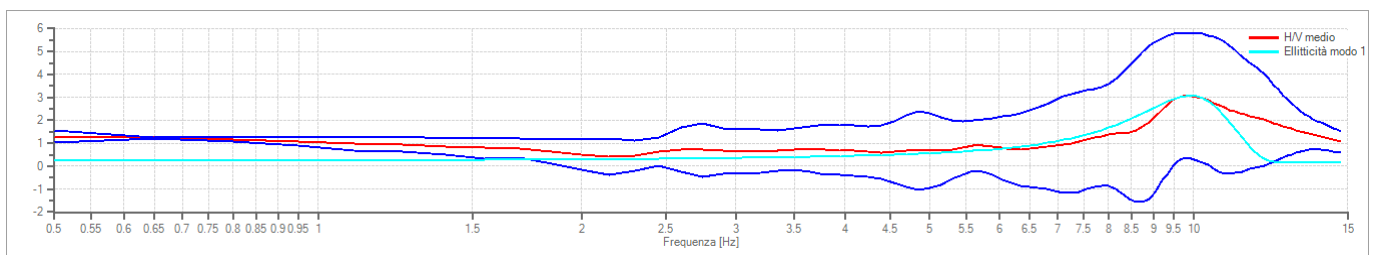


Figura 14 - Rapporto spettrale H/V con il suo intervallo di fiducia e andamento della curva di ellitticità del modello stratigrafico sperimentale.

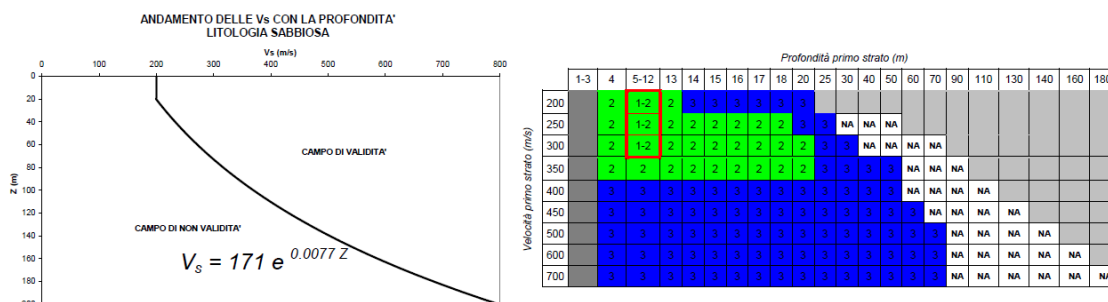
Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Non superato
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

Figura 15 - Sintesi delle verifiche SESAME.

APPROFONDIMENTO DI II LIVELLO MW 2

Per il sito in esame, sulla base delle caratteristiche litologiche del sottosuolo e confrontando l'andamento con la profondità della velocità

delle onde di taglio Vs con quello riportato nelle schede litologiche fornite dalla Regione Lombardia, viene scelta come scheda di riferimento quella a litologia sabbiosa (vedi figura sottostante).

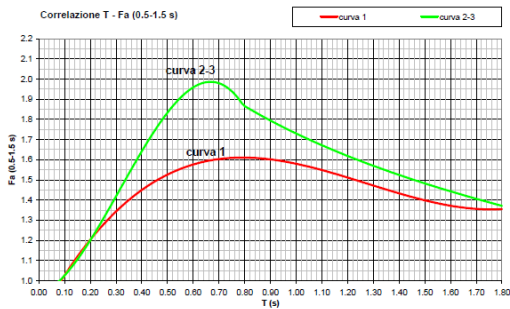
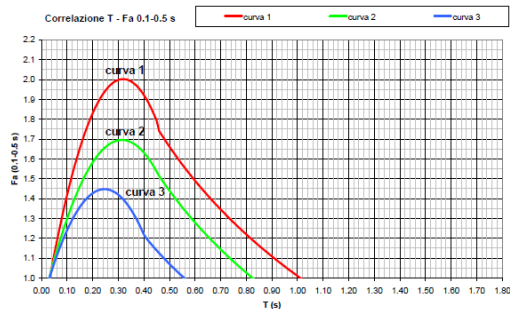


ove la sigla NA indica $Fa = 1$

il riquadro rosso indica la condizione stratigrafica per cui è necessario utilizzare le curve 1

CONDIZIONE: strato con spessore compreso tra 5 e 12 m e velocità media Vs minore o uguale a 300 m/s

poggiante su strato con velocità maggiore di 500 m/s



Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico	Tratto rettilineo
1	$0.03 \leq T \leq 0.50$ $Fa_{0.1-0.5} = -12.21 T^2 + 7.79 T + 0.76$	$0.50 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.01 - 0.94 \ln T$	$T > 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$
2	$0.03 \leq T \leq 0.45$ $Fa_{0.1-0.5} = -8.65 T^2 + 5.44 T + 0.84$	$0.45 < T \leq 0.80$ $Fa_{0.1-0.5} = 0.83 - 0.88 \ln T$	$T > 0.80$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$
3	$0.03 \leq T \leq 0.40$ $Fa_{0.1-0.5} = -9.68 T^2 + 4.77 T + 0.86$	$0.50 < T \leq 0.55$ $Fa_{0.1-0.5} = 0.62 - 0.65 \ln T$	$T > 0.55$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$

Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico
1	$0.08 \leq T \leq 1.80$ $Fa_{0.5-1.5} = 0.57 T^3 - 2.18 T^2 + 2.38 T + 0.81$	$0.80 \leq T \leq 1.80$ $Fa_{0.5-1.5} = 1.73 - 0.61 \ln T$
2	$0.08 \leq T < 0.80$ $Fa_{0.5-1.5} = -6.11 T^3 + 5.79 T^2 + 0.44 T + 0.93$	
3		

Figura 16 - Scheda litologia sabbiosa (All. 5 alla D.g.r. n.IX/2616 del 30 - 11 - 2011).

Dai grafici emerge che tutti i valori delle Vs calcolate, stanno al di sopra della linea nera che divide il campo di validità (sopra la linea) dal campo di non validità (sotto la linea). Successivamente, in funzione della velocità delle onde di taglio Vs dello strato superficiale e del suo spessore, è stata

selezionata la curva più appropriata per la valutazione del fattore di amplificazione.

Nel caso specifico, lo strato superficiale equivalente con spessore di almeno 4 metri e una $V_s > 200$ m/s, è stata assegnata una velocità V_s calcolata come media ponderata dei valori di V_s rilevata nei primi quattro strati (vedi tabella della MASW MW 2). Da cui deriva, uno Strato Superficiale Equivalente con $V_s = 221$ m/s per uno spessore di 6 m. Pertanto, viene scelta la curva 2 (verde) della scheda litologica sabbiosa (All. 5 alla D.g.r. n.IX/2616 del 30 - 11 - 2011).

Mentre, la profondità di intercetto del substrato sismico ($V_s > 800$ m/sec), è stata rilevata a circa 16-17 m dal p.c., in coerenza con il picco di frequenza rilevato dalla prova HVSR. Pertanto, il periodo proprio di vibrazione del sito T, risulta stimato a 0,16 s.

I valori di F_a , relativi all'intervallo $0.1s < T < 0.5s$ e $0.5s < T < 1.5$, sono stati calcolati utilizzando gli abachi regionali (riportati nella scheda), a cui corrispondono le seguenti espressioni:

$$\begin{aligned} F_a 0,1s-0,5s &= -8,65T^2+5,44T+0,84= 1,57 & \mathbf{F_a 0,1s-0,5s} &= \mathbf{1,57} < 2,0 \\ F_a 0,5s-1,5s &= -6.11T^3+5,79T^2+0,44T+0,93 = 1,19 & \mathbf{F_a 0,5s-1,5s} &= \mathbf{1,19} < 3,1 \end{aligned}$$

Entrambi i valori di F_a ottenuti per il sito in esame, per la categoria del sottosuolo E, risultano inferiori ai valori di soglia forniti dalla Regione Lombardia, pertanto la normativa nazionale, risulta sufficientemente cautelativa nei confronti dei fenomeni di amplificazione sismica locale individuati da Regione Lombardia.

RISULTATI DELL'INDAGINE – MASW MW 3

Nelle seguenti tabelle e figure, viene illustrato il profilo di velocità delle onde S, associato alla curva sperimentale di dispersione energetica.

Numero di canali = 12
Interdistanza geofonica = 3 m
Superficie = prativa

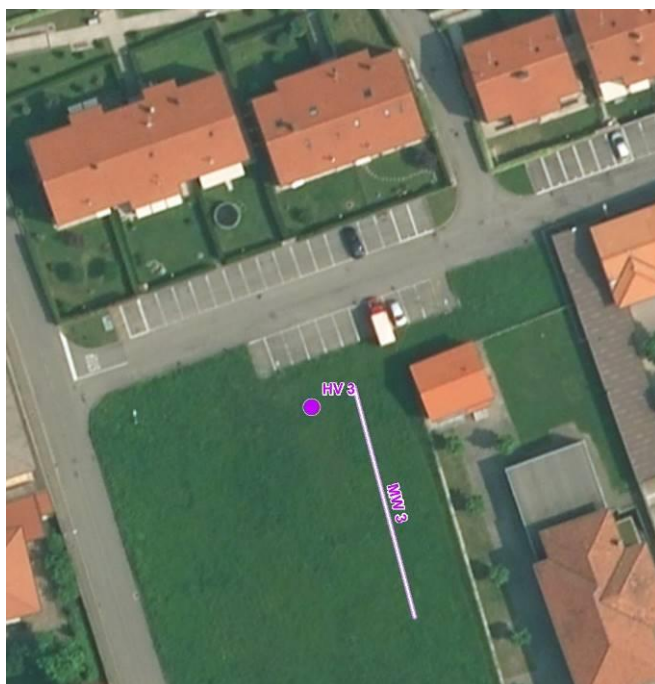


Figura 17 - Misura in sito del profilo delle onde di taglio orizzontali superficiali “Vs”.

VALGREGHENTINO – BIBLIOTECA [Vs 30 M]		
Onde di taglio orizzontali Vs [m/s]	Profondità [m]	Spessore strati [m]
203.3	2.62	2.62
314.9	7.00	4.38
413.2	8.36	1.37
494.8	11.39	3.03
612.0	30	18.6

Tabella 5 - Velocità degli strati “sismici” presenti nei primi 30 metri di profondità.

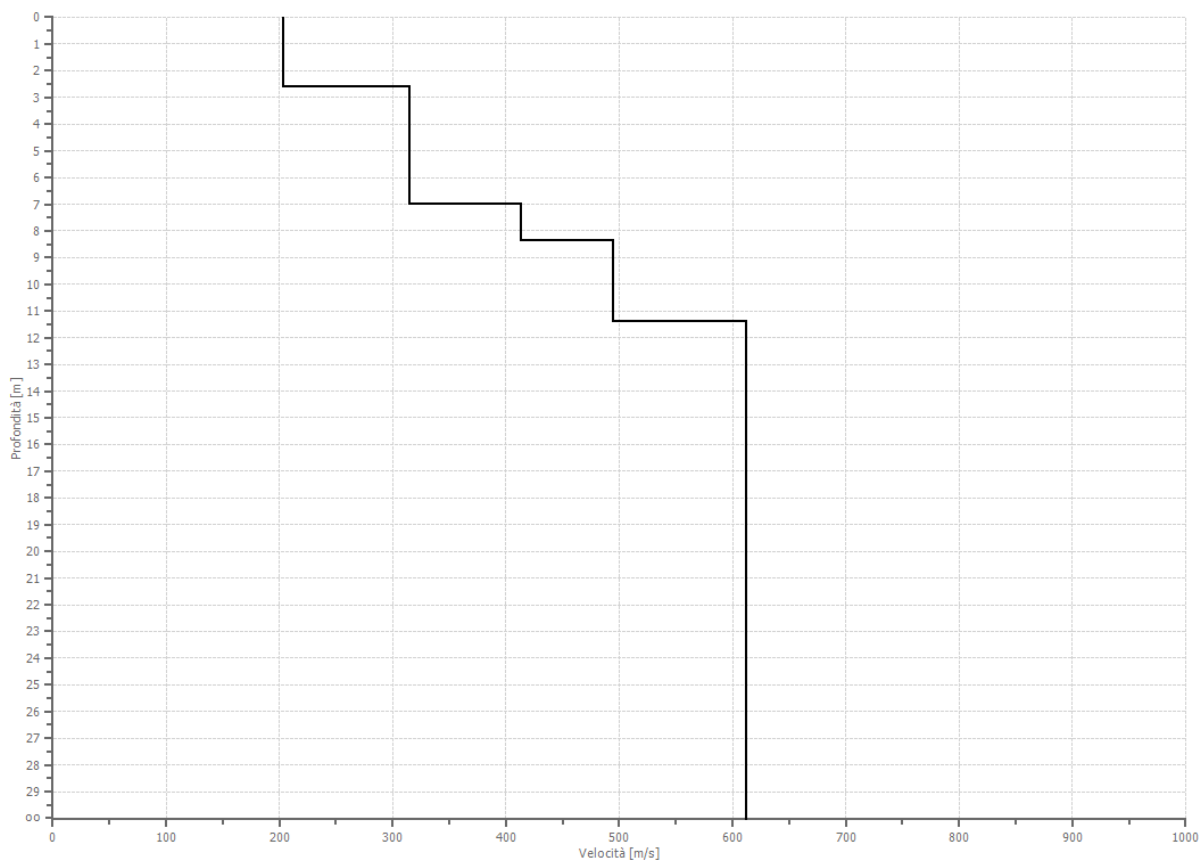
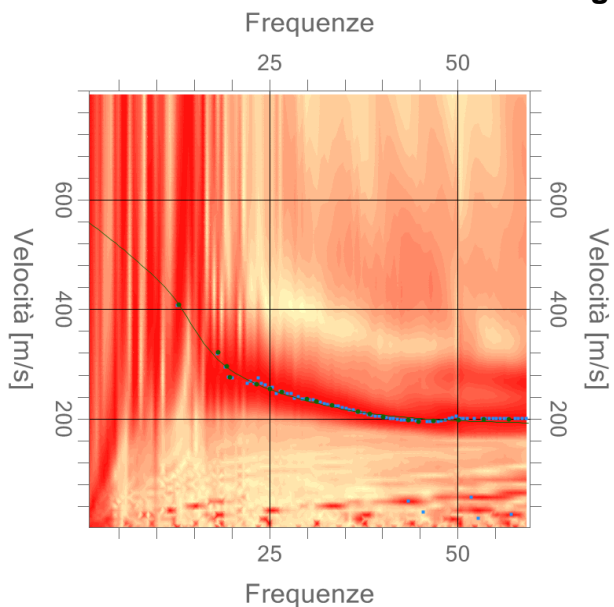


Figura 18 - Profilo delle velocità delle Onde di Taglio Vs.



Percentuale di errore	0.047%
Fattore di disadattamento della soluzione	0.021

Figura 19 - Curva della dispersione della velocità di fase delle onde di Rayleigh.

CATEGORIA DEL SOTTOSUOLO:

$V_{s30} = 450,3$ [m/s];

Categoria di sottosuolo = B

RISULTATI DELL'INDAGINE – HV 3

Nelle seguenti tabelle e figure, viene illustrato il rapporto spettrale H/V e la frequenza del picco.



Figura 20 - Misura in sito del micro tremore ambientale.

Dati riepilogativi HVSR:

Frequenza di campionamento:	250.00 Hz
Frequenza massima:	15.00Hz
Frequenza minima:	0.50 Hz
Passo frequenze:	0.15 Hz
Dimensione temporale finestre:	20.0 s
Tipo lisciamento:	Konno & Ohmachi
Percentuale di lisciamento:	10.00%
Tipo di somma direzionale:	Media aritmetica
Frequenza del picco del rapporto H/V:	2.75 Hz ± 0.65 Hz

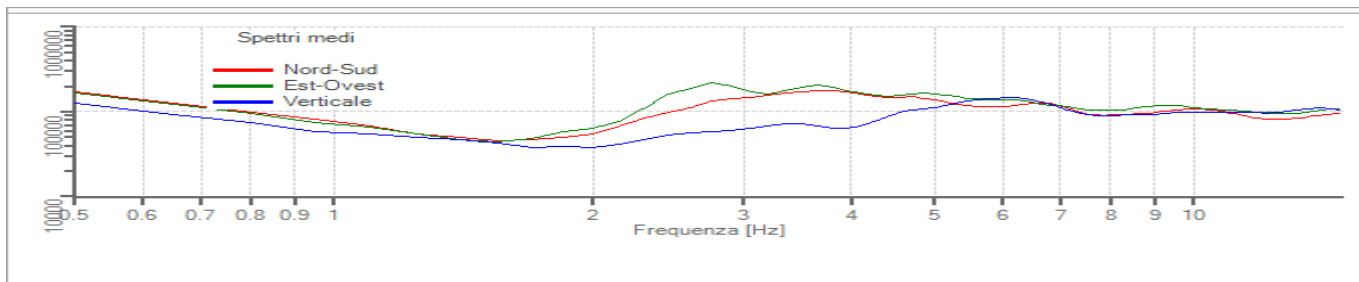


Figura 21 - Grafico degli spettri medi nelle tre direzioni.

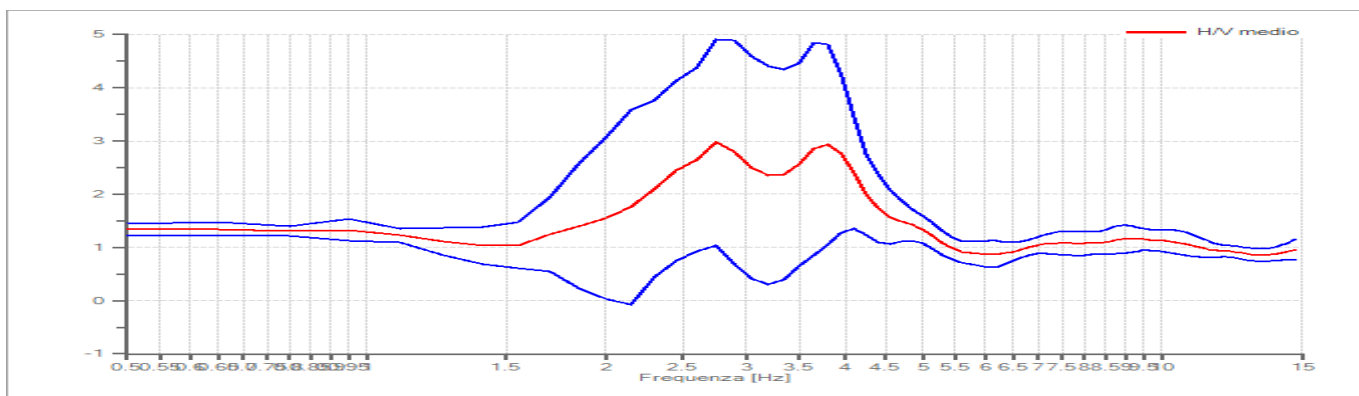


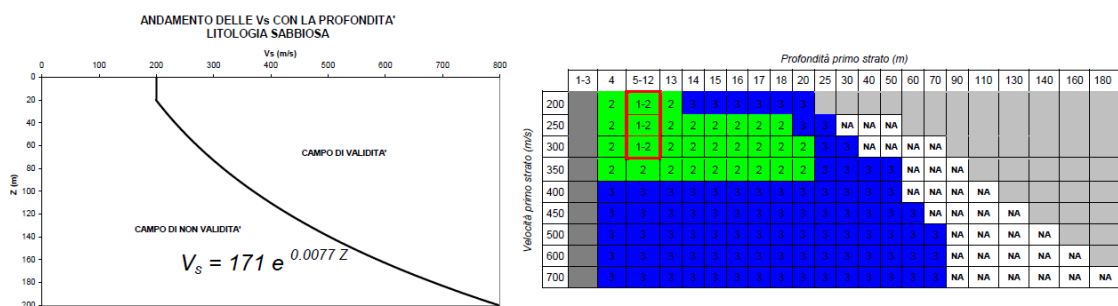
Figura 22 - Rapporto spettrale H/V con il suo intervallo di fiducia.

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

Figura 23 - Sintesi delle verifiche SESAME.

APPROFONDIMENTO DI II LIVELLO MW 3

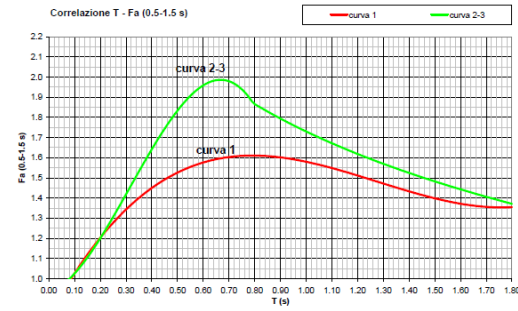
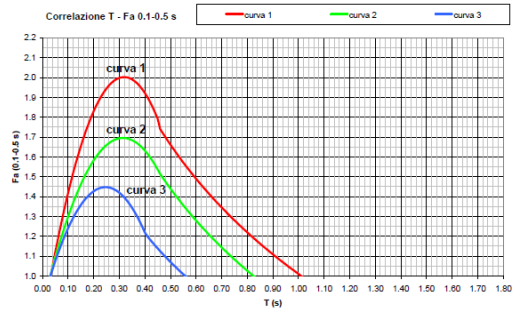
Per il sito in esame, sulla base delle caratteristiche litologiche del sottosuolo e confrontando l'andamento con la profondità della velocità delle onde di taglio V_s con quello riportato nelle schede litologiche fornite dalla Regione Lombardia, viene scelta come scheda di riferimento quella a litologia sabbiosa (vedi figura sottostante).



ove
la sigla NA indica $F_a = 1$

il riquadro rosso indica la condizione stratigrafica per cui è necessario utilizzare le curve 1
CONDIZIONE: strato con spessore compreso tra 5 e 12 m e velocità media V_s minore o uguale a 300 m/s
poggiate su strato con velocità maggiore di 500 m/s

$V_s < 300$ m/s	0
$V_s > 500$ m/s	5 - 12 m



Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico	Tratto rettilineo
1	$0.03 \leq T \leq 0.50$ $Fa_{0.1-0.5} = -12.21 T^2 + 7.79 T + 0.76$	$0.50 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.01 - 0.94 \ln T$	$T > 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$
2	$0.03 \leq T \leq 0.45$ $Fa_{0.1-0.5} = -8.65 T^2 + 5.44 T + 0.84$	$0.45 < T \leq 0.80$ $Fa_{0.1-0.5} = 0.83 - 0.88 \ln T$	$T > 0.80$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$
3	$0.03 \leq T \leq 0.40$ $Fa_{0.1-0.5} = -9.68 T^2 + 4.77 T + 0.86$	$0.50 < T \leq 0.55$ $Fa_{0.1-0.5} = 0.62 - 0.65 \ln T$	$T > 0.55$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$

Curva	
1	$0.08 \leq T \leq 1.80$ $Fa_{0.5-1.5} = 0.57 T^3 - 2.18 T^2 + 2.38 T + 0.81$
2	$0.08 \leq T < 0.80$ $Fa_{0.5-1.5} = -6.11 T^3 + 5.79 T^2 + 0.44 T + 0.93$
3	$0.80 \leq T \leq 1.80$ $Fa_{0.5-1.5} = 1.73 - 0.61 \ln T$

Figura 24 - Scheda litologia sabbiosa (All. 5 alla D.g.r. n.IX/2616 del 30 - 11 - 2011).

Dai grafici emerge che tutti i valori delle Vs calcolate, stanno al di sopra della linea nera che divide il campo di validità (sopra la linea) dal campo di non validità (sotto la linea). Successivamente, in funzione della velocità delle onde di taglio Vs dello strato superficiale e del suo spessore, è stata selezionata la curva più appropriata per la valutazione del fattore di amplificazione.

Nel caso specifico, lo strato superficiale equivalente con spessore di almeno 4 metri e $V_s > 200$ m/s, è stata assegnata una velocità Vs calcolata come media ponderata dei valori di Vs rilevata nei primi due strati (vedi tabella della MASW MW 3). Da cui deriva, uno Strato Superficiale Equivalente con $V_s = 241$ m/s per uno spessore di 4 m. Pertanto, viene scelta la curva 2 (verde) della scheda litologica sabbiosa (All. 5 alla D.g.r. n.IX/2616 del 30 - 11 - 2011).

Mentre, la profondità di intercetto del substrato sismico ($V_s > 800$ m/sec), viene stimata a circa 50 m dal p.c. dedotta dall'andamento del gradiente velocità-profondità degli ultimi sismostrati rilevati, in coerenza con il picco di frequenza rilevato dalla prova HVSr.

ONDE DI TAGLIO ORIZZONTALI Vs [M/S]	PROFONDITÀ [M]	SPESSORE STRATI [M]	AUMENTO VELOCITÀ	GRADIENTE M/SEC/M
203.3	2.62	2.62	203.3	77.60
314.9	7	4.38	111.6	25.48
413.2	8.37	1.37	98.3	71.75
494.8	11.4	3.03	81.6	26.93
612	50	38.6	117.2	3.04

Tabella 6 - Riepilogo delle velocità e profondità degli sismostrati utilizzati per ricavare il periodo T (in nero sono i valori rilevati dalla MASW e in blu quelli dedotti).

Pertanto, il periodo proprio di vibrazione del sito T, risulta stimato a 0,36 s.

I valori di F_a , relativi all'intervallo $0.1s < T < 0.5s$ e $0.5s < T < 1.5$, sono stati calcolati utilizzando gli abachi regionali (riportati nella scheda), a cui corrispondono le seguenti espressioni:

$$F_a 0,1s-0,5s = -8,65T^2 + 5,44T + 0,84 = 1,68$$

$$F_a 0,1s-0,5s = 1,68 > 1,4$$

$$F_a 0,5s-1,5s = -6,11T^3 + 5,79T^2 + 0,44T + 0,93 = 1,56$$

$$F_a 0,5s-1,5s = 1,56 < 1,7$$

I valori di F_a ottenuti per il sito in esame risultano, per la categoria del sottosuolo B:

- Il periodo di oscillazione $F_a = 0,1s-0,5s$, risulta superiore al valore di soglia fornito dalla Regione Lombardia, pertanto la normativa nazionale, risulta insufficientemente nei confronti dei fenomeni di amplificazione sismica locale individuati da Regione Lombardia;
- Il periodo di oscillazione $F_a 0,5s-1,5s$, risulta inferiore al valore di soglia fornito dalla Regione Lombardia, pertanto la normativa nazionale, risulta sufficientemente cautelativa nei confronti dei fenomeni di amplificazione sismica locale individuati da Regione Lombardia.

RISULTATI DELL'INDAGINE – MASW MW 4

Nelle seguenti tabelle e figure, viene illustrato il profilo di velocità delle onde S, associato alla curva sperimentale di dispersione energetica.

Numero di canali = 12
Interdistanza geofonica = 3 m
Superficie = prativa



Figura 25 - Misura in sito del profilo delle onde di taglio orizzontali superficiali “Vs”.

VALGREGHENTINO – VIA C. COLOMBO [Vs 30 M]		
Onde di taglio orizzontali Vs [m/s]	Profondità [m]	Spessore strati [m]
191.8	1.77	1.77
276.2	9.77	8
329.3	17.91	8.14
406.6	30	12.09

Tabella 7 - Velocità degli strati “sismici” presenti nei primi 30 metri di profondità.

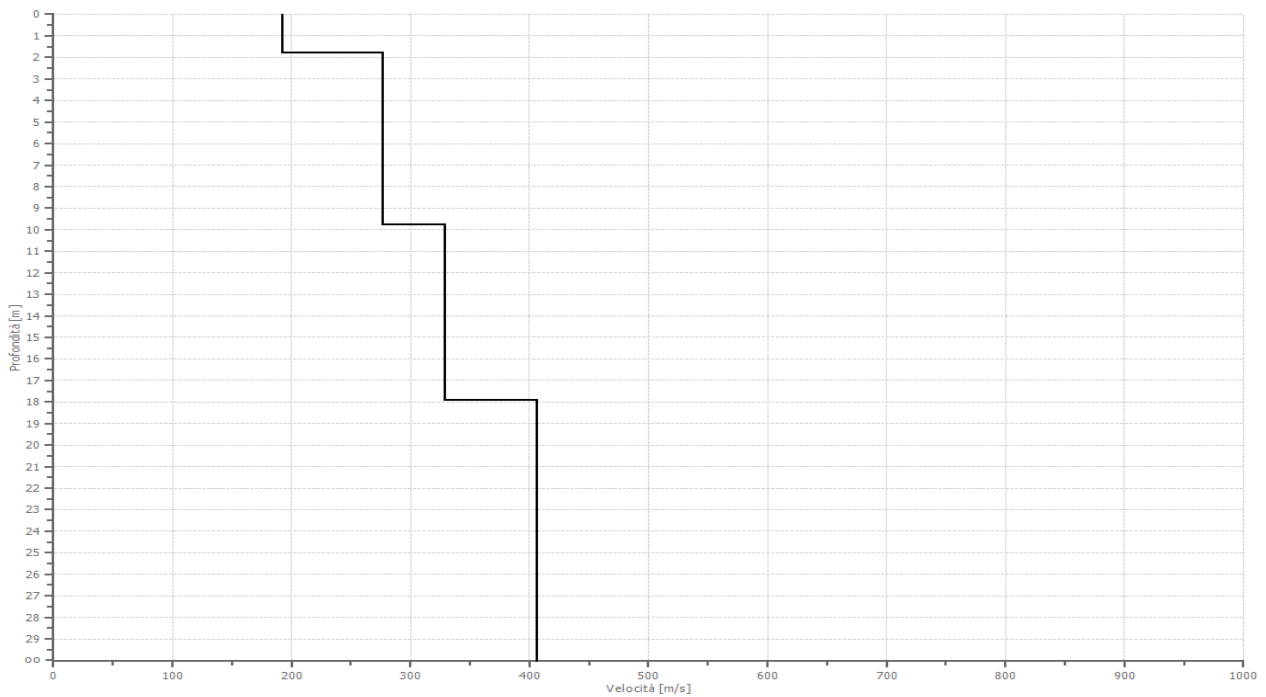
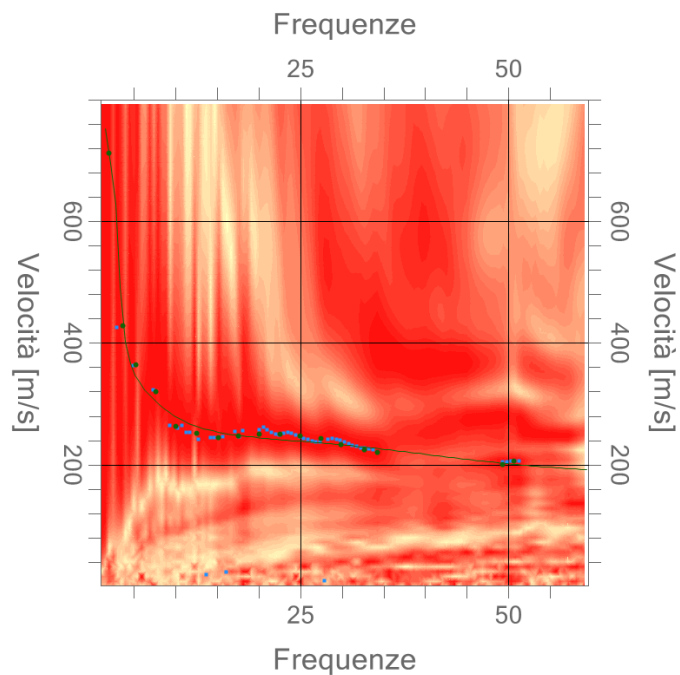


Figura 26 - Profilo delle velocità delle Onde di Taglio Vs.



Percentuale di errore	0.099%
Fattore di disadattamento della soluzione	0.034

Figura 27 - Curva della dispersione della velocità di fase delle onde di Rayleigh.

CATEGORIA DEL SOTTOSUOLO:

$V_{s30} = 323.8$ [m/s];

Categoria di sottosuolo = C

RISULTATI DELL'INDAGINE – HV 4

Nelle seguenti tabelle e figure, viene illustrato il rapporto spettrale H/V e la frequenza del picco.



Figura 28 - Misura in sito del micro tremore ambientale.

Dati riepilogativi HVSR:

Frequenza di campionamento:	250.00 Hz
Frequenza massima:	15.00Hz
Frequenza minima:	0.50 Hz
Passo frequenze:	0.15 Hz
Dimensione temporale finestre:	20.0 s
Tipo lisciamento:	Konno & Ohmachi
Percentuale di lisciamento:	12.00%
Tipo di somma direzionale:	Media aritmetica
Frequenza del picco del rapporto H/V:	3.95 Hz ± 0.19 Hz

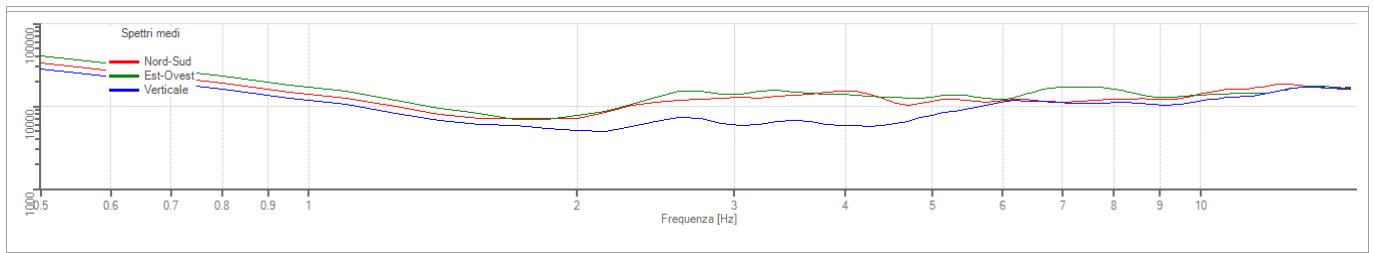


Figura 29 - Grafico degli spettri medi nelle tre direzioni.

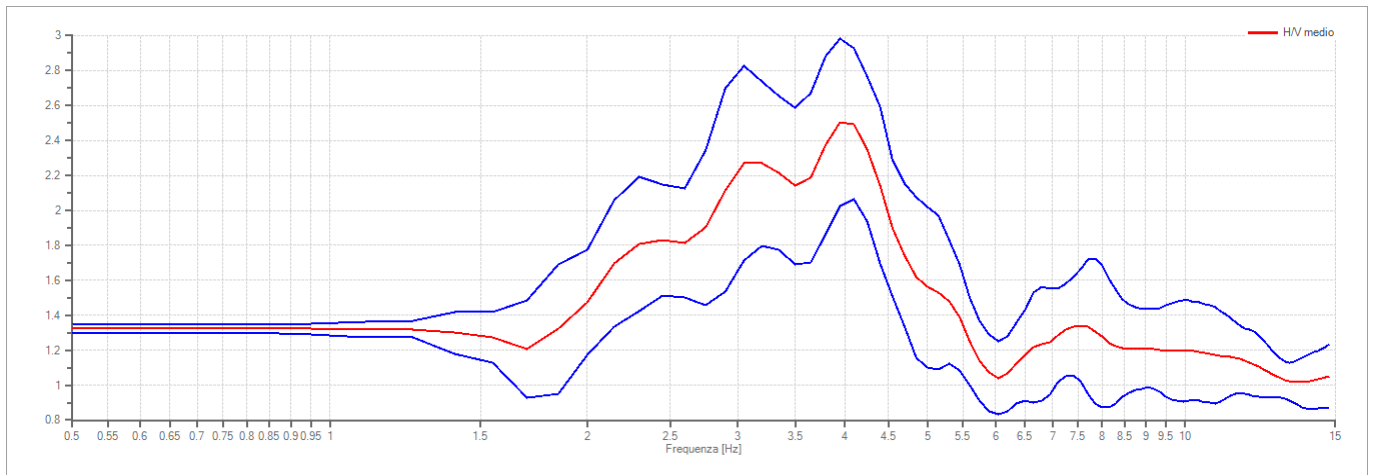


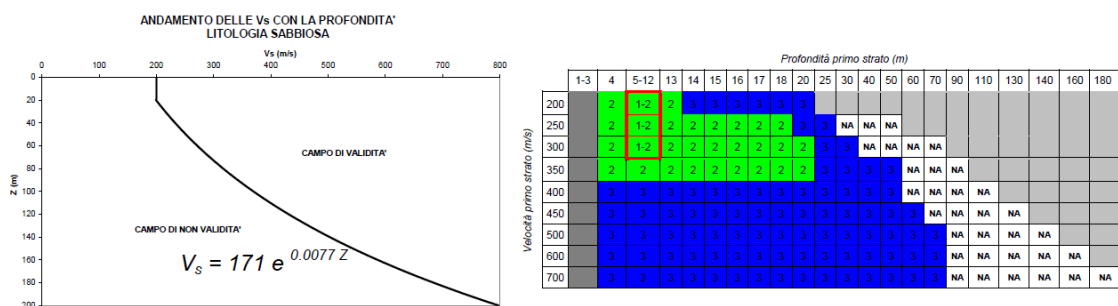
Figura 30 - Rapporto spettrale H/V con il suo intervallo di fiducia e andamento della curva di ellitticità del modello stratigrafico sperimentale.

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Non superato
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

Figura 31 - Sintesi delle verifiche SESAME.

APPROFONDIMENTO DI II LIVELLO MW 4

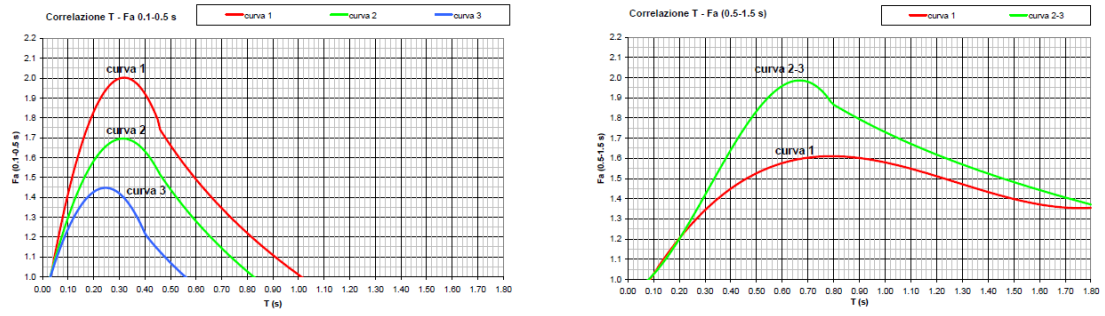
Per il sito in esame, sulla base delle caratteristiche litologiche del sottosuolo e confrontando l'andamento con la profondità della velocità delle onde di taglio V_s con quello riportato nelle schede litologiche fornite dalla Regione Lombardia, viene scelta come scheda di riferimento quella a litologia sabbiosa (vedi figura sottostante).



ove
la sigla NA indica $F_a = 1$

il riquadro rosso indica la condizione stratigrafica per cui è necessario utilizzare le curve 1
CONDIZIONE: strato con spessore compreso tra 5 e 12 m e velocità media V_s minore o uguale a 300 m/s
poggiate su strato con velocità maggiore di 500 m/s

$V_s < 300$ m/s	0
$V_s > 500$ m/s	5 - 12 m



Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico	Tratto rettilineo
1	$0.03 \leq T \leq 0.50$ $Fa_{0.1-0.5} = -12.21 T^2 + 7.79 T + 0.76$	$0.50 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.01 - 0.94 \ln T$	$T > 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$
2	$0.03 \leq T \leq 0.45$ $Fa_{0.1-0.5} = -8.65 T^2 + 5.44 T + 0.84$	$0.45 < T \leq 0.80$ $Fa_{0.1-0.5} = 0.83 - 0.88 \ln T$	$T > 0.80$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$
3	$0.03 \leq T \leq 0.40$ $Fa_{0.1-0.5} = -9.68 T^2 + 4.77 T + 0.86$	$0.50 < T \leq 0.55$ $Fa_{0.1-0.5} = 0.62 - 0.65 \ln T$	$T > 0.55$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$

Curva	
1	$0.08 \leq T \leq 1.80$ $Fa_{0.5-1.5} = 0.57 T^3 - 2.18 T^2 + 2.38 T + 0.81$
2	$0.08 \leq T < 0.80$ $Fa_{0.5-1.5} = -6.11 T^3 + 5.79 T^2 + 0.44 T + 0.93$
3	$0.80 \leq T \leq 1.80$ $Fa_{0.5-1.5} = 1.73 - 0.61 \ln T$

Figura 32 - Scheda litologia sabbiosa (All. 5 alla D.g.r. n.IX/2616 del 30 - 11 - 2011).

Dai grafici emerge che tutti i valori delle Vs calcolate, stanno al di sopra della linea nera che divide il campo di validità (sopra la linea) dal campo di non validità (sotto la linea). Successivamente, in funzione della velocità delle onde di taglio Vs dello strato superficiale e del suo spessore, è stata selezionata la curva più appropriata per la valutazione del fattore di amplificazione.

Nel caso specifico, lo strato superficiale equivalente con spessore di almeno 4 metri e una Vs > 200 m/s, è stata assegnata una velocità Vs calcolata come media ponderata dei valori di Vs rilevata nei primi due strati (vedi tabella della MASW MW 4). Da cui deriva, uno Strato Superficiale Equivalente con Vs = 238 m/s per uno spessore di 4 m. Pertanto, viene scelta la curva 2 (verde) della scheda litologica sabbiosa (All. 5 alla D.g.r. n.IX/2616 del 30 - 11 - 2011).

Mentre, la profondità di intercetto del substrato sismico (Vs > 800 m/sec), viene stimata a circa 38 m dal p.c. dedotta dall'andamento del gradiente velocità-profondità degli ultimi sismostrati rilevati, in coerenza con il picco di frequenza rilevato dalla prova HVSR.

ONDE DI TAGLIO ORIZZONTALI Vs [M/S]	PROFONDITÀ [M]	SPESSORE STRATI [M]	AUMENTO VELOCITÀ	GRADIENTE M/SEC/M
191.8	1.77	1.77	191.8	108.36
276.2	9.77	8	84.4	10.55
329.3	17.91	8.14	53.1	6.52
406.6	38	20.09	77.3	3.85

Tabella 8 - Riepilogo delle velocità e profondità degli sismostrati utilizzati per ricavare il periodo T (in nero sono i valori rilevati dalla MASW e in blu quelli dedotti).

Pertanto, il periodo proprio di vibrazione del sito T, risulta stimato a 0,43 s.

I valori di F_a , relativi all'intervallo $0.1s < T < 0.5s$ e $0.5s < T < 1.5$, sono stati calcolati utilizzando gli abachi regionali (riportati nella scheda), a cui corrispondono le seguenti espressioni:

$$F_a 0,1s-0,5s = -8,65T^2 + 5,44T + 0,84 = 1,69$$

$$F_a 0,1s-0,5s = 1,69 < 1,8$$

$$F_a 0,5s-1,5s = -6,11T^3 + 5,79T^2 + 0,44T + 0,93 = 1,52$$

$$F_a 0,5s-1,5s = 1,52 < 2,4$$

Entrambi i valori di F_a ottenuti per il sito in esame, per la categoria del sottosuolo C, risultano inferiori ai valori di soglia forniti dalla Regione Lombardia, pertanto la normativa nazionale, risulta sufficientemente cautelativa nei confronti dei fenomeni di amplificazione sismica locale individuati da Regione Lombardia.

RISULTATI DELL'INDAGINE – MASW MW 5

Nelle seguenti tabelle e figure, viene illustrato il profilo di velocità delle onde S, associato alla curva sperimentale di dispersione energetica.

Numero di canali = 12
Interdistanza geofonica = 3 m
Superficie = prativa



Figura 33 - Misura in sito del profilo delle onde di taglio orizzontali superficiali “Vs”.

VALGREGHENTINO – VIA BELVEDERE [Vs 30 M]		
Onde di taglio orizzontali Vs [m/s]	Profondità [m]	Spessore strati [m]
150.0	1.53	1.53
191.8	4.07	2.55
321.7	12.77	8.70
660.5	15.64	2.86
984.2	30	14.36

Tabella 9 - Velocità degli strati “sismici” presenti nei primi 30 metri di profondità.

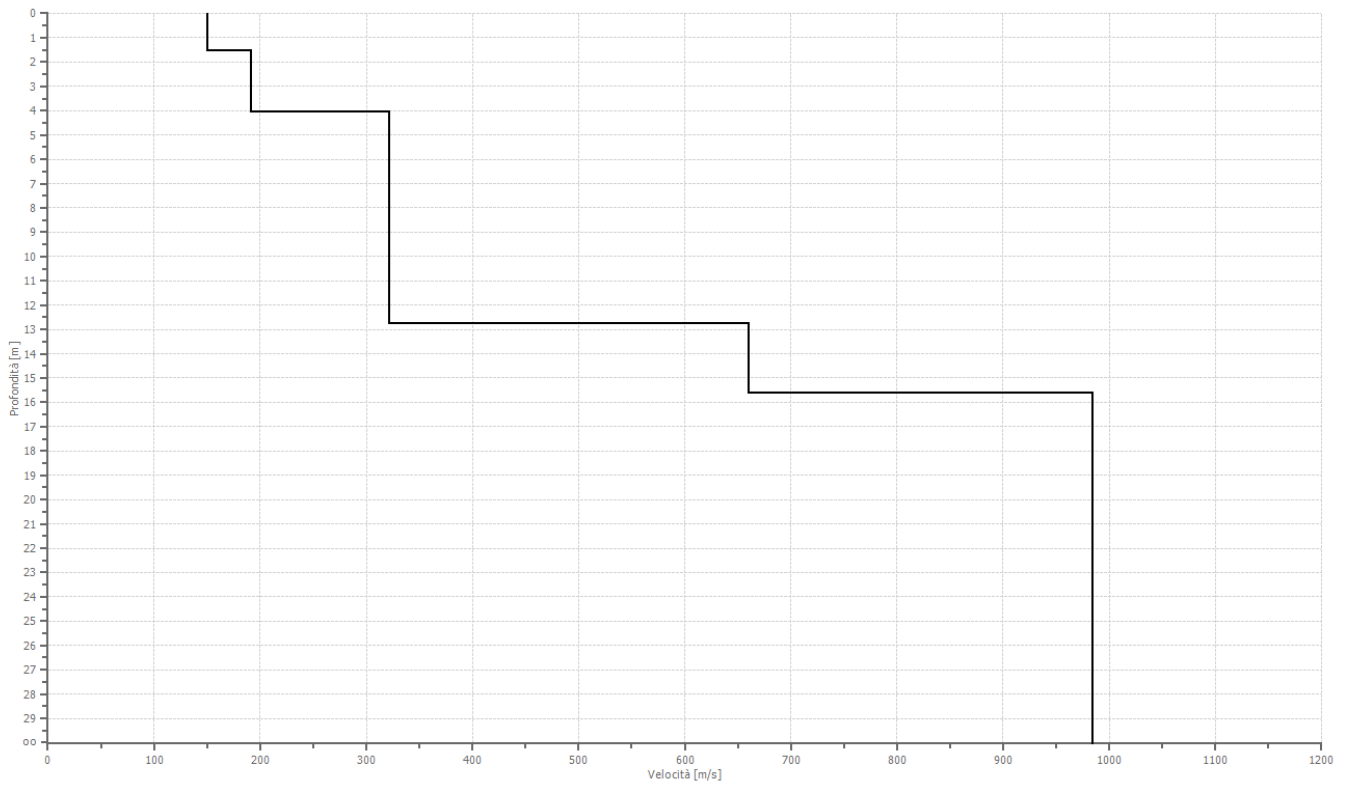
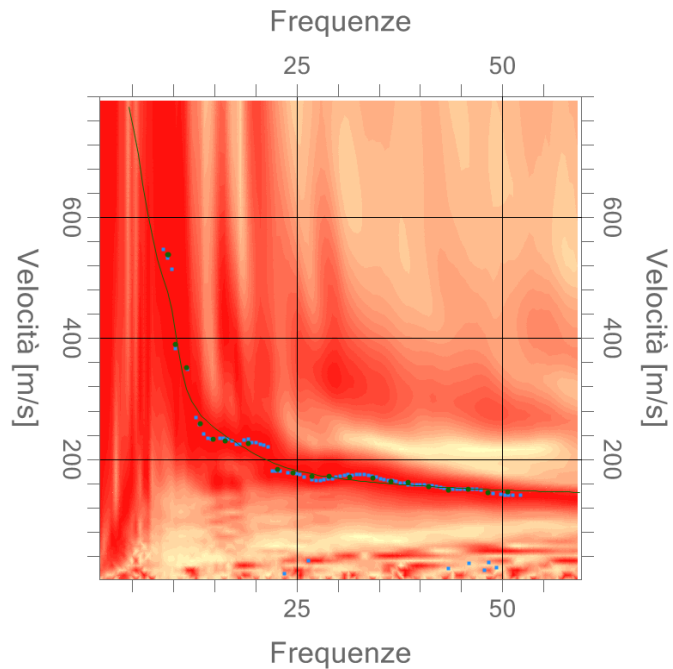


Figura 34 - Profilo delle velocità delle Onde di Taglio Vs.



Percentuale di errore	0.764%
Fattore di disadattamento della soluzione	0.05

Figura 35 - Curva della dispersione della velocità di fase delle onde di Rayleigh.

CATEGORIA DEL SOTTOSUOLO:

$V_{s30} = 431,9$ [m/s];

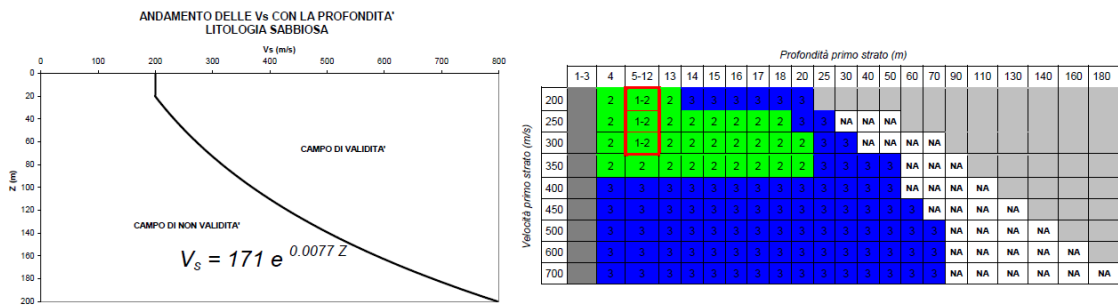
$V_{eq} = 285$ [m/s] per uno spessore $H = 15,64$ m.

V_s bedrock = 984,2 [m/s];

Categoria di sottosuolo = E

APPROFONDIMENTO DI II LIVELLO MW 5

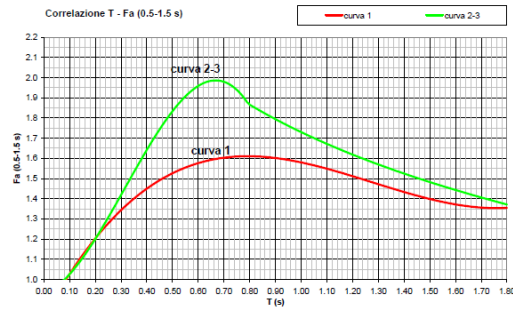
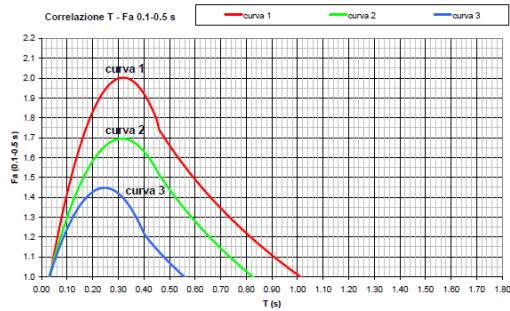
Per il sito in esame, sulla base delle caratteristiche litologiche del sottosuolo e confrontando l'andamento con la profondità della velocità delle onde di taglio V_s con quello riportato nelle schede litologiche fornite dalla Regione Lombardia, viene scelta come scheda di riferimento quella a litologia sabbiosa (vedi figura sottostante).



ove
la sigla NA indica $F_a = 1$

il riquadro rosso indica la condizione stratigrafica per cui è necessario utilizzare le curve 1
CONDIZIONE: strato con spessore compreso tra 5 e 12 m e velocità media V_s minore o uguale a 300 m/s poggiate su strato con velocità maggiore di 500 m/s

$V_s < 300$ m/s	0
$V_s > 500$ m/s	5 - 12 m



Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico	Tratto rettilineo
1	$0.03 \leq T \leq 0.50$ $F_{a_{0.1-0.5}} = -12.21 T^2 + 7.79 T + 0.76$	$0.50 < T \leq 1.00$ $F_{a_{0.1-0.5}} = 1.01 - 0.94 \ln T$	$T > 1.00$ $F_{a_{0.1-0.5}} = 1.00$
2	$0.03 \leq T \leq 0.45$ $F_{a_{0.1-0.5}} = -8.65 T^2 + 5.44 T + 0.84$	$0.45 < T \leq 0.80$ $F_{a_{0.1-0.5}} = 0.83 - 0.88 \ln T$	$T > 0.80$ $F_{a_{0.1-0.5}} = 1.00$
3	$0.03 \leq T \leq 0.40$ $F_{a_{0.1-0.5}} = -9.68 T^2 + 4.77 T + 0.86$	$0.50 < T \leq 0.55$ $F_{a_{0.1-0.5}} = 0.62 - 0.65 \ln T$	$T > 0.55$ $F_{a_{0.1-0.5}} = 1.00$

Curva	
1	$0.08 \leq T \leq 1.80$ $F_{a_{0.5-1.5}} = 0.57 T^3 - 2.18 T^2 + 2.38 T + 0.81$
2 3	$0.08 \leq T < 0.80$ $F_{a_{0.5-1.5}} = -6.11 T^3 + 5.79 T^2 + 0.44 T + 0.93$
	$0.80 \leq T \leq 1.80$ $F_{a_{0.5-1.5}} = 1.73 - 0.61 \ln T$

Figura 36 - Scheda litologia sabbiosa (All. 5 alla D.g.r. n.IX/2616 del 30 - 11 - 2011).

Dai grafici emerge che tutti i valori delle V_s calcolate, stanno al di sopra della linea nera che divide il campo di validità (sopra la linea) dal campo di non validità (sotto la linea). Successivamente, in funzione della velocità delle onde di taglio V_s dello strato superficiale e del suo spessore, è stata selezionata la curva più appropriata per la valutazione del fattore di amplificazione.

Nel caso specifico, lo strato superficiale equivalente con spessore di almeno 4 metri e una $V_s > 200$ m/s, è stata assegnata una velocità V_s

calcolata come media ponderata dei valori di V_s rilevata nei primi tre strati (vedi tabella della MASW MW 5). Da cui deriva, uno Strato Superficiale Equivalente con $V_s = 202$ m/s per uno spessore di 5 m. Pertanto, viene scelta la curva 2 (verde) della scheda litologica sabbiosa (All. 5 alla D.g.r. n.IX/2616 del 30 - 11 - 2011).

Mentre, la profondità di intercetto del substrato sismico ($V_s > 800$ m/sec), è stata rilevata a circa 15-16 m dal p.c. Pertanto, il periodo proprio di vibrazione del sito T, risulta stimato a 0,18 s.

I valori di F_a , relativi all'intervallo $0.1s < T < 0.5s$ e $0.5s < T < 1.5$, sono stati calcolati utilizzando gli abachi regionali (riportati nella scheda), a cui corrispondono le seguenti espressioni:

$$\begin{aligned} F_a 0,1s-0,5s &= -8,65T^2+5,44T+0,84= 1,54 & \mathbf{F_a 0,1s-0,5s} &= \mathbf{1,54} < 2,0 \\ F_a 0,5s-1,5s &= -6.11T^3+5,79T^2+0,44T+0,93 = 1,16 & \mathbf{F_a 0,5s-1,5s} &= \mathbf{1,16} < 3,1 \end{aligned}$$

Entrambi i valori di F_a ottenuti per il sito in esame, per la categoria del sottosuolo E, risultano inferiori ai valori di soglia forniti dalla Regione Lombardia, pertanto la normativa nazionale, risulta sufficientemente cautelativa nei confronti dei fenomeni di amplificazione sismica locale individuati da Regione Lombardia.

RISULTATI DELL'INDAGINE – MASW MW 6

Nelle seguenti tabelle e figure, viene illustrato il profilo di velocità delle onde S, associato alla curva sperimentale di dispersione energetica.

Numero di canali = 12
Interdistanza geofonica = 2 m
Superficie = asfalto



Figura 37 - Misura in sito del profilo delle onde di taglio orizzontali superficiali “Vs”.

VALGREGHENTINO – CANOVA [Vs 30 M]		
Onde di taglio orizzontali Vs [m/s]	Profondità [m]	Spessore strati [m]
216.3	2.80	2.80
232.0	3.95	1.15
664.3	5.05	1.10
755.7	6.13	1.08
1000.0	30	23.87

Tabella 10 - Velocità degli strati “sismici” presenti nei primi 30 metri di profondità.

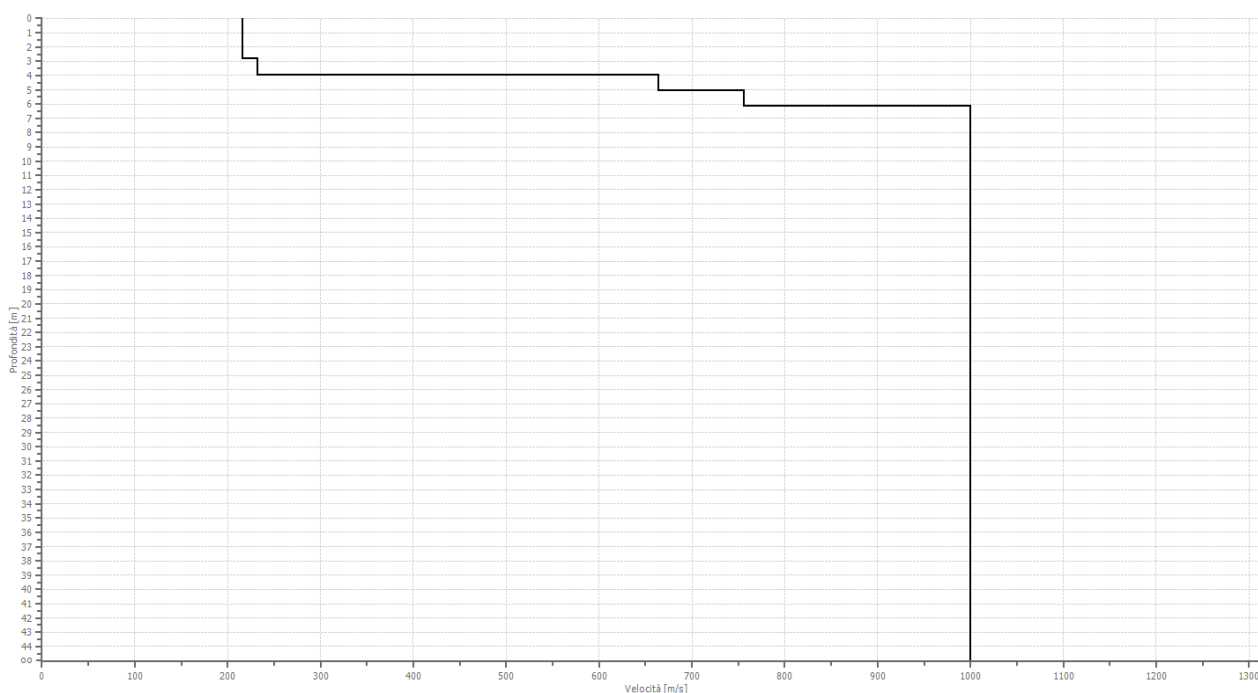
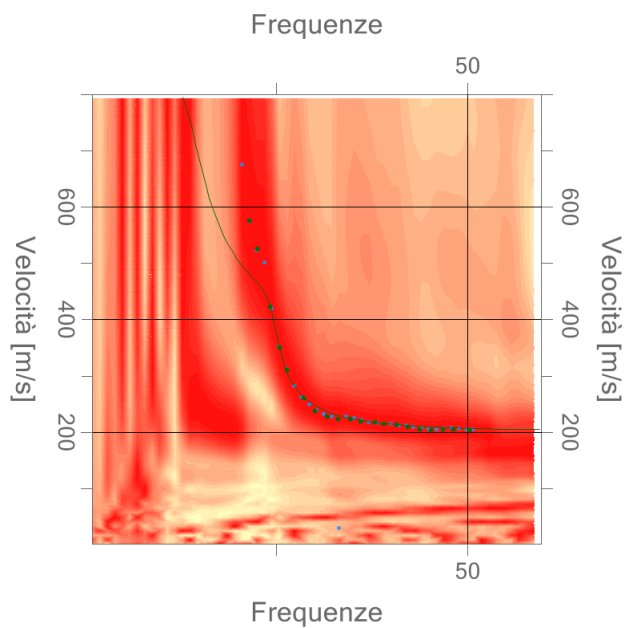


Figura 38 - Profilo delle velocità delle Onde di Taglio Vs.



Percentuale di errore	0.766%
Fattore di disadattamento della soluzione	0.049

Figura 39 - Curva della dispersione della velocità di fase delle onde di Rayleigh.

CATEGORIA DEL SOTTOSUOLO:

$V_{s30} = 387,7$ [m/s];

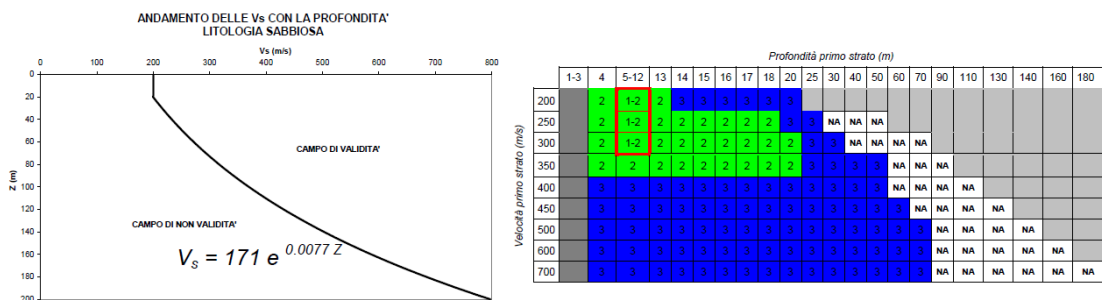
$V_{eq} = 292$ [m/s] per uno spessore $H = 6,1$ m.

V_s bedrock = 1000 [m/s];

Categoria di sottosuolo = E

APPROFONDIMENTO DI II LIVELLO MW 6

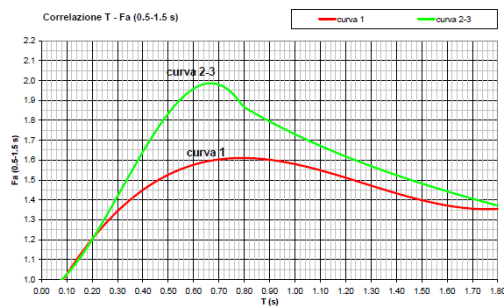
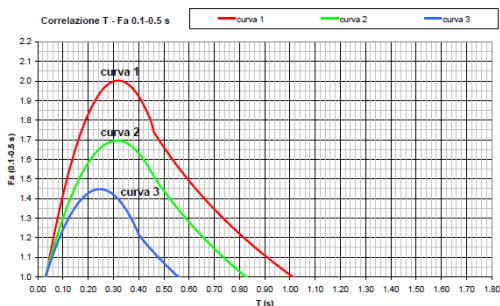
Per il sito in esame, sulla base delle caratteristiche litologiche del sottosuolo e confrontando l'andamento con la profondità della velocità delle onde di taglio V_s con quello riportato nelle schede litologiche fornite dalla Regione Lombardia, viene scelta come scheda di riferimento quella a litologia sabbiosa (vedi figura sottostante).



ove
la sigla NA indica $Fa = 1$

il riquadro rosso indica la condizione stratigrafica per cui è necessario utilizzare le curve 1
CONDIZIONE: strato con spessore compreso tra 5 e 12 m e velocità media V_s minore o uguale a 300 m/s poggiate su strato con velocità maggiore di 500 m/s

$V_s < 300$ m/s	0
$V_s > 500$ m/s	5 - 12 m



Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico	Tratto rettilineo
1	$0.03 \leq T \leq 0.50$ $Fa_{0.1-0.5} = -12.21 T^2 + 7.79 T + 0.76$	$0.50 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.01 - 0.94 \ln T$	$T > 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$
2	$0.03 \leq T \leq 0.45$ $Fa_{0.1-0.5} = -8.65 T^2 + 5.44 T + 0.84$	$0.45 < T \leq 0.80$ $Fa_{0.1-0.5} = 0.83 - 0.88 \ln T$	$T > 0.80$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$
3	$0.03 \leq T \leq 0.40$ $Fa_{0.1-0.5} = -9.68 T^2 + 4.77 T + 0.86$	$0.50 < T \leq 0.55$ $Fa_{0.1-0.5} = 0.62 - 0.65 \ln T$	$T > 0.55$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$

Curva	
1	$0.08 \leq T \leq 1.80$ $Fa_{0.5-1.5} = 0.57 T^3 - 2.18 T^2 + 2.38 T + 0.81$
2	$0.08 \leq T < 0.80$ $Fa_{0.5-1.5} = -6.11 T^3 + 5.79 T^2 + 0.44 T + 0.93$
3	$0.80 \leq T \leq 1.80$ $Fa_{0.5-1.5} = 1.73 - 0.61 \ln T$

Figura 40 - Scheda litologia sabbiosa (All. 5 alla D.g.r. n.IX/2616 del 30 - 11 - 2011).

Dai grafici emerge che tutti i valori delle V_s calcolate, stanno al di sopra della linea nera che divide il campo di validità (sopra la linea) dal campo di non validità (sotto la linea). Successivamente, in funzione della velocità delle onde di taglio V_s dello strato superficiale e del suo spessore, è stata selezionata la curva più appropriata per la valutazione del fattore di amplificazione.

Nel caso specifico, lo strato superficiale equivalente con spessore di almeno 4 metri e una $V_s > 200$ m/s, è stata assegnata una velocità V_s

calcolata come media ponderata dei valori di V_s rilevata nei primi tre strati (vedi tabella della MASW MW 6). Da cui deriva, uno Strato Superficiale Equivalente con $V_s = 226$ m/s per uno spessore di 4 m. Pertanto, viene scelta la curva 2 (verde) della scheda litologica sabbiosa (All. 5 alla D.g.r. n.IX/2616 del 30 - 11 - 2011).

Mentre, la profondità di intercetto del substrato sismico ($V_s > 800$ m/sec), è stata rilevata a circa 6 m dal p.c., pertanto, il periodo proprio di vibrazione del sito T, risulta stimato a 0,06 s.

I valori di F_a , relativi all'intervallo $0.1s < T < 0.5s$ e $0.5s < T < 1.5$, sono stati calcolati utilizzando gli abachi regionali (riportati nella scheda), a cui corrispondono le seguenti espressioni:

$$F_a 0,1s-0,5s = -8,65T^2 + 5,44T + 0,84 = 1,14$$

$$F_a 0,1s-0,5s = 1,14 < 2$$

$$F_a 0,5s-1,5s = -6,11T^3 + 5,79T^2 + 0,44T + 0,93 = 0,98$$

$$F_a 0,5s-1,5s = 0,98 < 3,1$$

Entrambi i valori di F_a ottenuti per il sito in esame, per la categoria del sottosuolo E, risultano inferiori ai valori di soglia forniti dalla Regione Lombardia, pertanto la normativa nazionale, risulta sufficientemente cautelativa nei confronti dei fenomeni di amplificazione sismica locale individuati da Regione Lombardia.

RISULTATI DELL'INDAGINE – MASW MW 7

Nelle seguenti tabelle e figure, viene illustrato il profilo di velocità delle onde S, associato alla curva sperimentale di dispersione energetica.

Numero di canali = 12

Interdistanza geofonica = 3 m

Superficie = asfalto

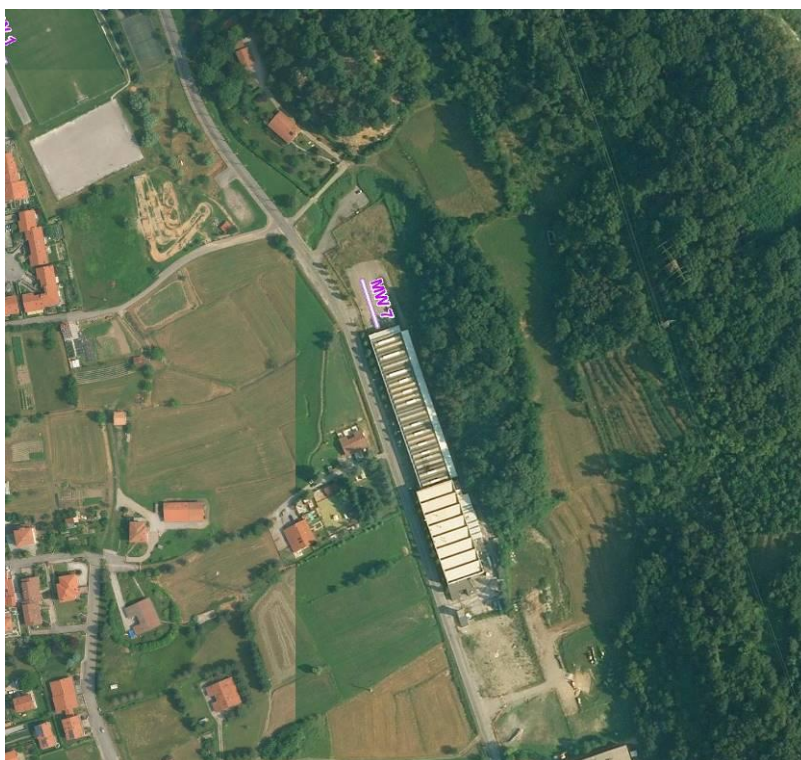


Figura 41 – Ubicazione della prova MASW (indagine di archivio).

VALGREGHENTINO – VIA A. MORO [Vs 30 M]		
Onde di taglio orizzontali Vs [m/s]	Profondità [m]	Spessore strati [m]
236	1	1
168	9	8
253	17	8
289	30	13

Tabella 11 - Velocità degli strati “sismici” presenti nei primi 30 metri di profondità.

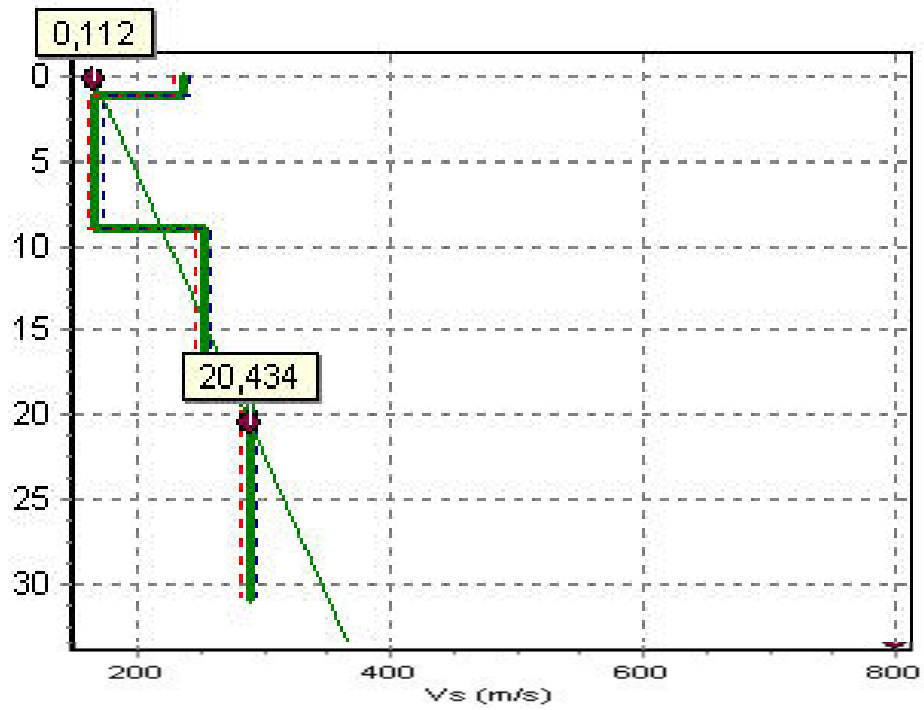


Figura 42 - Profilo delle velocità delle Onde di Taglio Vs.

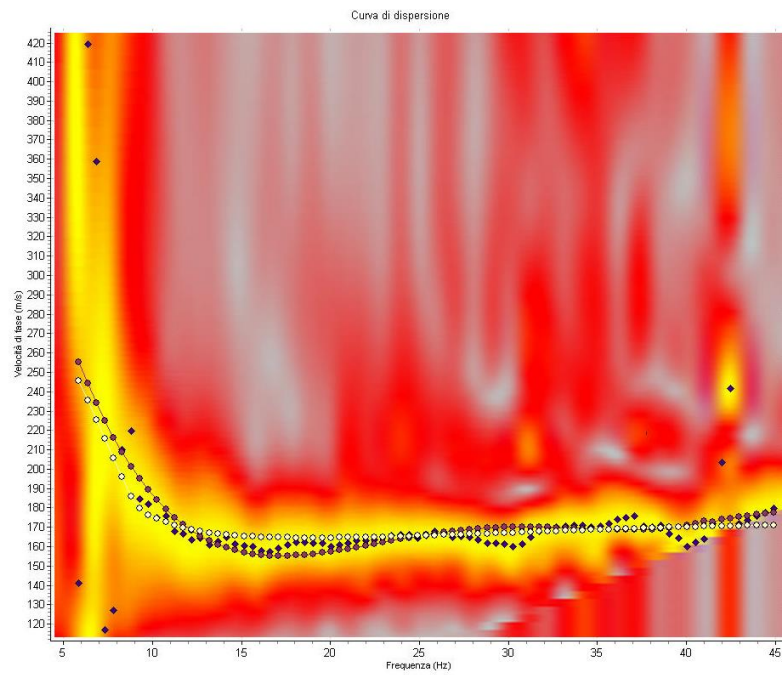


Figura 43 - Curva della dispersione della velocità di fase delle onde di Rayleigh.

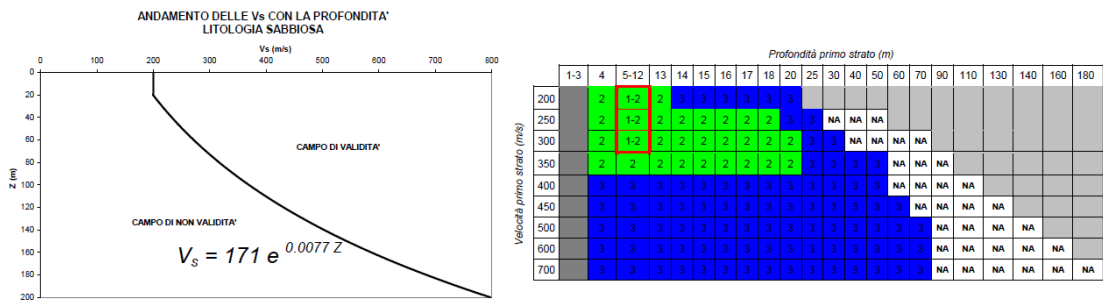
CATEGORIA DEL SOTTOSUOLO:

$V_{s30} = 233,5$ [m/s];

Categoria di sottosuolo = C

APPROFONDIMENTO DI II LIVELLO MW 7

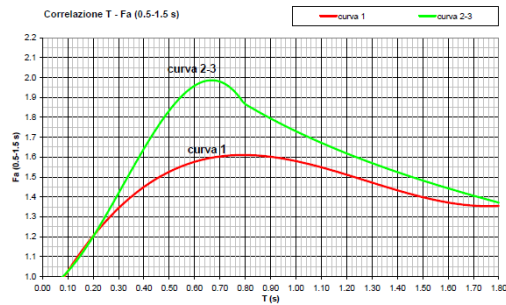
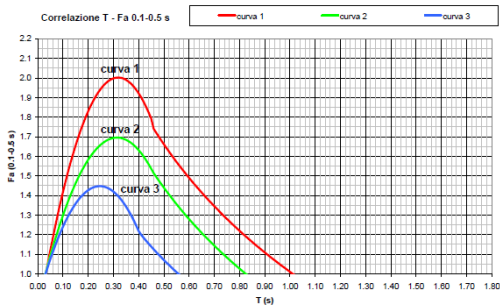
Per il sito in esame, sulla base delle caratteristiche litologiche del sottosuolo e confrontando l'andamento con la profondità della velocità delle onde di taglio V_s con quello riportato nelle schede litologiche fornite dalla Regione Lombardia, viene scelta come scheda di riferimento quella a litologia sabbiosa (vedi figura sottostante).



ove
la sigla NA indica $Fa = 1$

il riquadro rosso indica la condizione stratigrafica per cui è necessario utilizzare le curve 1
CONDIZIONE: strato con spessore compreso tra 5 e 12 m e velocità media V_s minore o uguale a 300 m/s poggiate su strato con velocità maggiore di 500 m/s

$V_s < 300$ m/s	0
$V_s > 500$ m/s	5 - 12 m



Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico	Tratto rettilineo
1	$0.03 \leq T \leq 0.50$ $Fa_{0.1-0.5} = -12.21 T^2 + 7.79 T + 0.76$	$0.50 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.01 - 0.94 \ln T$	$T > 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$
2	$0.03 \leq T \leq 0.45$ $Fa_{0.1-0.5} = -8.65 T^2 + 5.44 T + 0.84$	$0.45 < T \leq 0.80$ $Fa_{0.1-0.5} = 0.83 - 0.88 \ln T$	$T > 0.80$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$
3	$0.03 \leq T \leq 0.40$ $Fa_{0.1-0.5} = -9.68 T^2 + 4.77 T + 0.86$	$0.50 < T \leq 0.55$ $Fa_{0.1-0.5} = 0.62 - 0.65 \ln T$	$T > 0.55$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$

Curva	
1	$0.08 \leq T \leq 1.80$ $Fa_{0.5-1.5} = 0.57 T^3 - 2.18 T^2 + 2.38 T + 0.81$
2	$0.08 \leq T < 0.80$ $Fa_{0.5-1.5} = -6.11 T^3 + 5.79 T^2 + 0.44 T + 0.93$
3	$0.80 \leq T \leq 1.80$ $Fa_{0.5-1.5} = 1.73 - 0.61 \ln T$

Figura 44 - Scheda litologia sabbiosa (All. 5 alla D.g.r. n.IX/2616 del 30 - 11 - 2011).

Dai grafici emerge che tutti i valori delle V_s calcolate, stanno al di sopra della linea nera che divide il campo di validità (sopra la linea) dal campo di non validità (sotto la linea). Successivamente, in funzione della velocità delle onde di taglio V_s dello strato superficiale e del suo spessore, è stata selezionata la curva più appropriata per la valutazione del fattore di amplificazione.

Nel caso specifico, lo strato superficiale equivalente con spessore di almeno 4 metri e una $V_s > 200$ m/s, è stata assegnata una velocità V_s

calcolata come media ponderata dei valori di Vs rilevata nei primi tre strati (vedi tabella della MASW MW 7). Da cui deriva, uno Strato Superficiale Equivalente con Vs = 200 m/s per uno spessore di 13 m. Pertanto, viene scelta la curva 2 (verde) della scheda litologica sabbiosa (All. 5 alla D.g.r. n.IX/2616 del 30 - 11 - 2011).

Mentre, la profondità di intercetto del substrato sismico (Vs > 800 m/sec), è stata rilevata a circa 35 m dal p.c., in coerenza con il picco di frequenza rilevato dalla prova HVSR eseguita nelle vicinanze (HV 1). Pertanto, il periodo proprio di vibrazione del sito T, risulta stimato a 0,56 s.

ONDE DI TAGLIO ORIZZONTALI Vs [M/S]	PROFONDITÀ [M]	SPESORE STRATI [M]	AUMENTO VELOCITÀ	GRADIENTE M/SEC/M
236	1	1	236	236.00
168	9	8	-68	-8.50
253	17	8	85	10.63
289	35	18	36	2.00

Tabella 12 - Riepilogo delle velocità e profondità degli sismostrati utilizzati per ricavare il periodo T (in nero sono i valori rilevati dalla MASW e in blu quelli dedotti).

I valori di Fa, relativi all'intervallo 0.1s<T<0.5s e 0.5s<T<1.5, sono stati calcolati utilizzando gli abachi regionali (riportati nella scheda), a cui corrispondono le seguenti espressioni:

$$\begin{aligned}
 \text{Fa } 0,1\text{s}-0,5\text{s} &= 0,83-0,88 \ln T = 1,35 & \text{Fa } 0,1\text{s}-0,5\text{s} &= 1,35 < 1,8 \\
 \text{Fa } 0,5\text{s}-1,5\text{s} &= -6,11T^3+5,79T^2+0,44T+0,93 = 1,91 & \text{Fa } 0,5\text{s}-1,5\text{s} &= 1,91 < 2,4
 \end{aligned}$$

Entrambi i valori di Fa ottenuti per il sito in esame, per la categoria del sottosuolo C, risultano inferiori ai valori di soglia forniti dalla Regione Lombardia, pertanto la normativa nazionale, risulta sufficientemente cautelativa nei confronti dei fenomeni di amplificazione sismica locale individuati da Regione Lombardia.

RISULTATI DELL'INDAGINE – HV 5

Nelle seguenti tabelle e figure, viene illustrato il rapporto spettrale H/V e la frequenza del picco.



Figura 45 – Ubicazione della prova.

Dati riepilogativi HVSR:

Frequenza di campionamento:	250.00 Hz
Frequenza massima:	20.00Hz
Frequenza minima:	0.50 Hz
Dimensione temporale finestre:	20.0 s
Tipo lisciamento:	Konno & Ohmachi
Percentuale di lisciamento:	15.00%
Tipo di somma direzionale:	Media aritmetica
Frequenza del picco del rapporto H/V:	6.2-6,3 Hz
Stima indicativa della prof. del substrato:	20-25 m

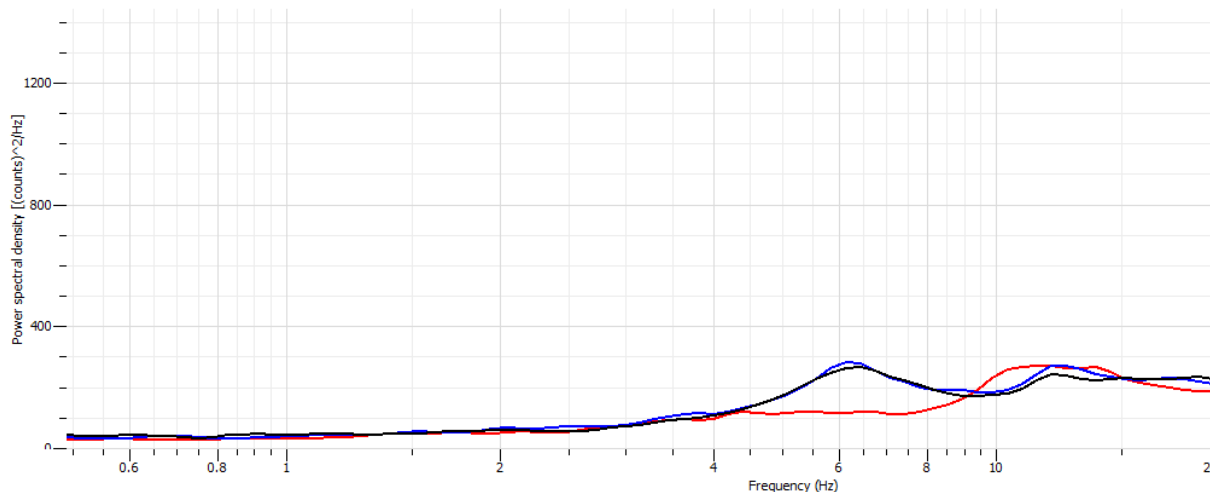


Figura 46 - grafico degli spettri medi nelle tre direzioni.

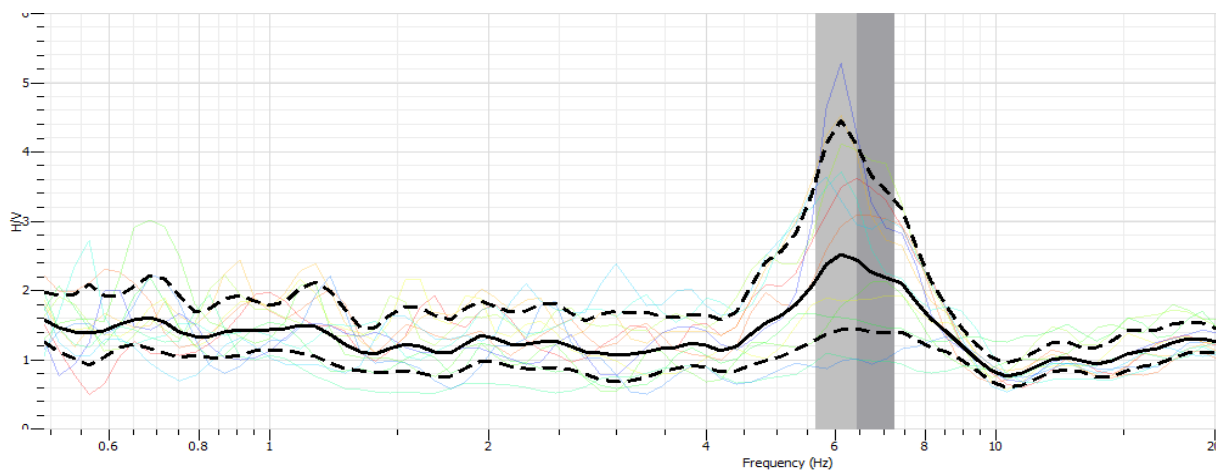


Figura 47 - Rapporto spettrale H/V con il suo intervallo di fiducia.

RISULTATI DELL'INDAGINE – HV 6

Nelle seguenti tabelle e figure, viene illustrato il rapporto spettrale H/V e la frequenza del picco.



Figura 48 – Ubicazione della prova.

Dati riepilogativi HVSR:

Frequenza di campionamento:	250.00 Hz
Frequenza massima:	20.00Hz
Frequenza minima:	0.50 Hz
Dimensione temporale finestre:	20.0 s
Tipo lisciamento:	Konno & Ohmachi
Percentuale di lisciamento:	15.00%
Tipo di somma direzionale:	Media aritmetica
Frequenza del picco del rapporto H/V:	1.8-1,9 Hz
Stima indicativa della prof. del substrato:	40-50 m

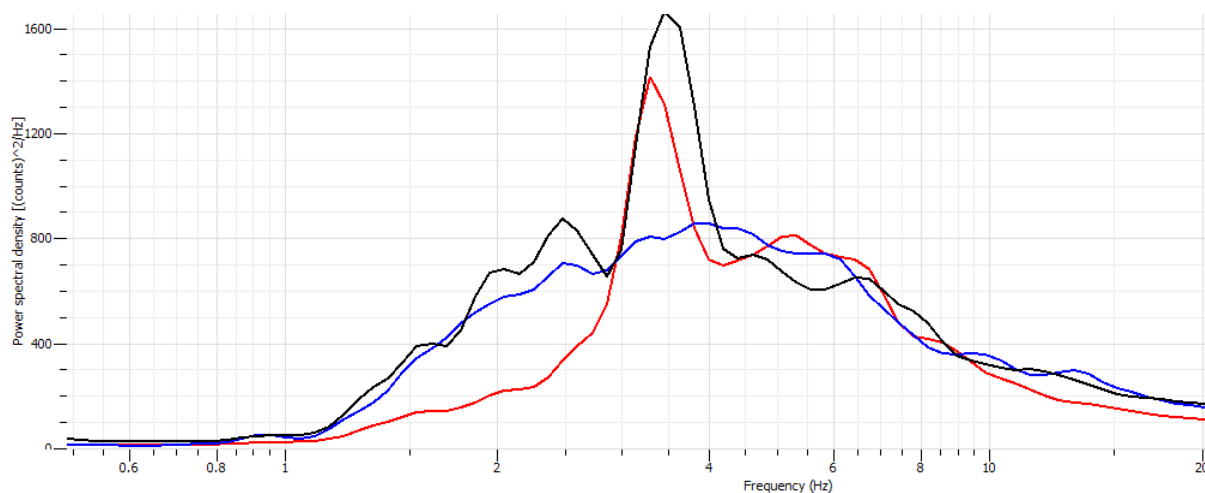


Figura 49 - grafico degli spettri medi nelle tre direzioni.

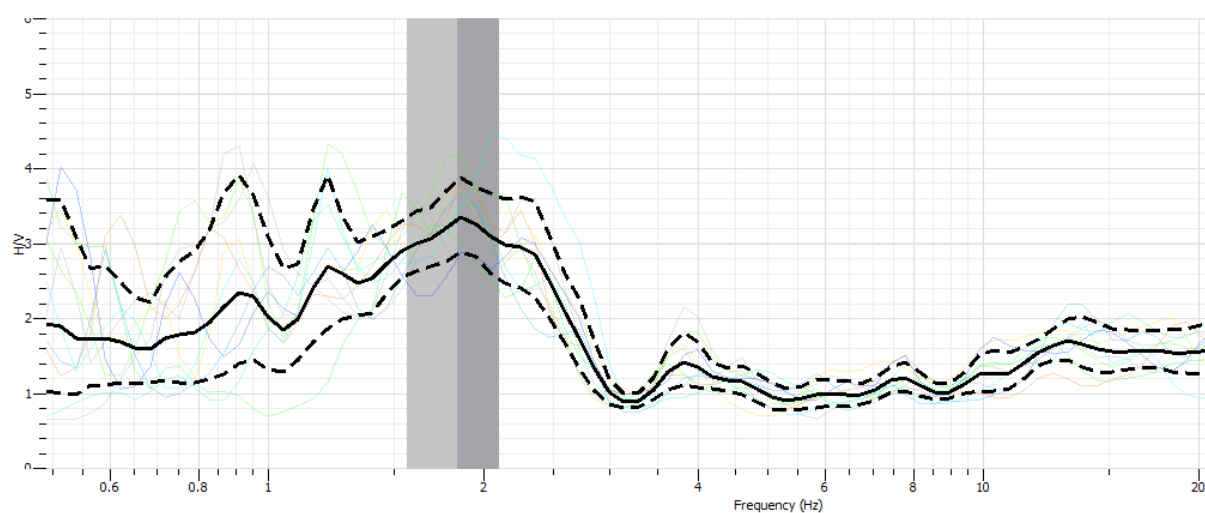


Figura 50 - Rapporto spettrale H/V con il suo intervallo di fiducia.

RISULTATI DELL'INDAGINE – HV 7

Nelle seguenti tabelle e figure, viene illustrato il rapporto spettrale H/V e la frequenza del picco.



Figura 51 – Ubicazione della prova.

Dati riepilogativi HVSR:

Frequenza di campionamento:	250.00 Hz
Frequenza massima:	20.00Hz
Frequenza minima:	0.50 Hz
Dimensione temporale finestre:	20.0 s
Tipo lisciamento:	Konno & Ohmachi
Percentuale di lisciamento:	15.00%
Tipo di somma direzionale:	Media aritmetica
Frequenza del picco del rapporto H/V:	13,4 Hz
Stima indicativa della prof. del substrato:	10-15 m

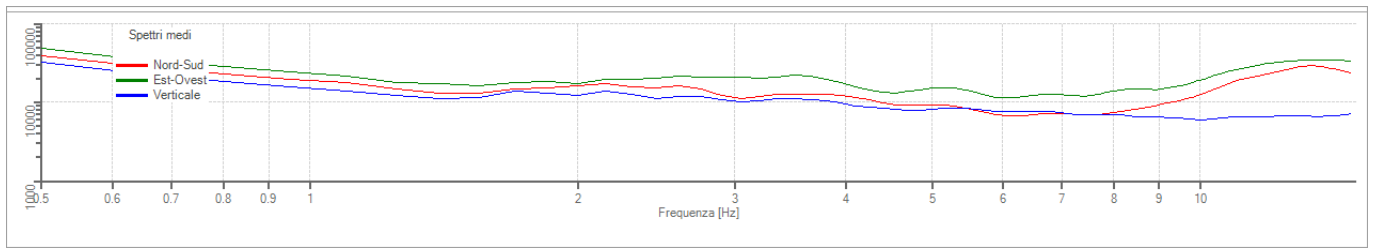


Figura 52 - grafico degli spettri medi nelle tre direzioni.

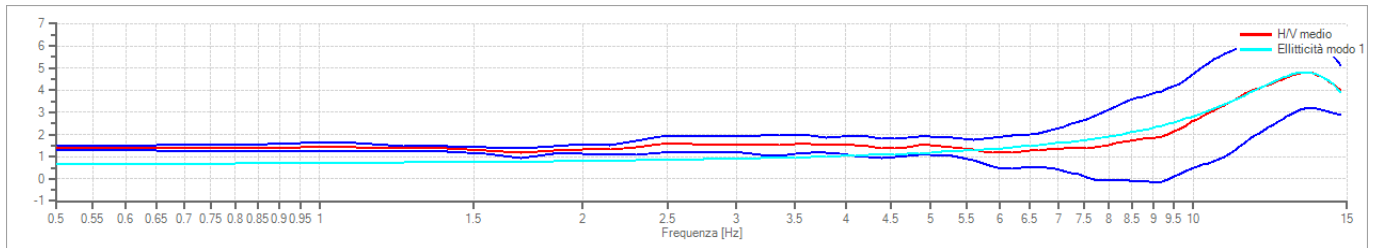


Figura 53 - Rapporto spettrale H/V con il suo intervallo di fiducia.

ANALISI DEI RISULTATI

La valutazione del grado di protezione è stata effettuata confrontando i valori dei fattori di amplificazione F_a ottenuti, con quelli indicati dalla Regione Lombardia per le diverse categorie del sottosuolo (NTC) soggette ad amplificazioni litologiche (B, C, D ed E) e per i due intervalli di periodo 0,1-0,5 s e 0,5-1,5 s. In particolare, nella seguente tabella vengono riepilogati i F_a valutati con l'analisi sismica di secondo livello e i rispettivi valori di soglia per la verifica del grado di protezione.

CODICE PROVA	Vseq Rilevata	Categoria Sottosuolo NTC corrispondente	Fa II Livello Periodo 0,1-0,5	Fa II Livello Periodo 0,5-1,5	Categoria Sottosuolo NTC da II Livello
MW 1	259 m/s	C	1,40 < 1,8	1,87 < 2,4	C
MW 2	294 m/s	E	1,57 < 2,0	1,19 < 3,1	E
MW 3	450 m/s	B	1,68 > 1,4	1,56 < 1,7	C
MW 4	323 m/s	C	1,69 < 1,8	1,52 < 2,4	C
MW 5	285 m/s	E	1,54 < 2,0	1,16 < 3,1	E
MW 6	292 m/s	E	1,14 < 2,0	0,98 < 3,1	E
MW 7	233 m/s	C	1,35 < 1,8	1,91 < 2,4	C

Tabella 13 – Riepilogo dei valori dei fattori di amplificazione F_a valutati con l'approfondimento di secondo livello. I valori in rosso sono superiori a quelli della normativa nazionale, mentre quelli in verde sono inferiori.

Come risulta dalla tabella riepilogativa, per il periodo di oscillazione compreso tra 0,5-1,5 s, riferibile alle strutture più alte e flessibili, i valori F_a calcolati risultano sempre inferiori ai valori di soglia forniti dalla Regione Lombardia, pertanto la normativa nazionale è sufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti litologici di amplificazione locale.

Mentre, per il periodo di oscillazione compreso tra 0,1-0,5 s, i valori di F_a riferiti alle categorie sottosuolo B, risultano superiori ai valori di soglia

indicati dalla Regione Lombardia, pertanto la normativa nazionale è insufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti litologici di amplificazione locale per gli edifici bassi e rigidi. Dall'analisi dei risultati e dalla distribuzione delle prove sismiche, si evidenzia che il F_a è inferiore a 1,5 nella fascia orientale dell'abitato, mentre è compreso tra 1,5-1,7 lungo la piana alluvionale o di pendio terrazzata. Nella tavola di dettaglio della PSL (TAV 7) è stata quindi suddivisa l'area urbana, con le due fasce di intervallo dei F_a (per il periodo 0,1-0,5 s), tenendo conto sia della litostratigrafia del sottosuolo che della locale morfologia.

Occorre inoltre ricordare, che i valori dei fattori di amplificazione F_a calcolati, sono sempre correlati agli spettri delle categorie del sottosuolo delle NTC corrispondenti. Pertanto in fase di progettazione, occorrerà comunque verificare ed attribuire correttamente la categoria del sottosuolo, nel rispetto delle NTC. In particolare, nel caso in cui l'approfondimento di secondo livello mostri un valore di soglia superiore a quello nazionale, durante la fase di progettazione si potrà effettuare un'analisi più approfondita (III livello), oppure utilizzare uno spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore. Nel caso in esame, nelle aree in cui è stata rilevata la Categoria B dalle prove sismiche, si dovrà utilizzare la Categoria C con valore di soglia 1,8, per il periodo compreso tra 0,1-0,5 s.

Inoltre, considerando il territorio urbano, occorrerà porre attenzione nella fascia ai piedi dei versanti, in quanto lo spessore della copertura soprastante al basamento roccioso, può risultare inferiore ai 30 metri, con possibile attribuzione alla categoria del sottosuolo E.

Gennaio 2023

dott.  

In collaborazione con dott. geol. Pietro Alborghetti -