

**PROVINCIA DI PAVIA
REGIONE LOMBARDIA**

COMUNE DI VILLANOVA D'ARDENGHI

**AGGIORNAMENTO COMPONENTE SISMICA STUDIO
GEOLOGICO A SUPPORTO DI VARIANTE A PIANO DI
GOVERNO DEL TERRITORIO**

(Novembre 2018)

Dott. Geol. Adriano Zorzoli

O. d. G. Lombardia n° 802

Strada Colombarola 1/17- 27020 TRAVACO' SICCOMARIO (PV)

Mobile 3356376821 Tel/fax 0382 1513167

Email adizorz@libero.it PEC adizorz@epap.sicurezzapostale.it



ALLEGATO 2 INDAGINI MASW

INDAGINI MASW

Nell'ambito dell'approfondimento sismico di II° livello si è proceduto all'esecuzione di n. 1 indagini sismiche superficiali tramite analisi spettrale delle onde di superficie con tecnica MASW eseguite presso:

- Capoluogo (via per Carbonara)

Si è inoltre recepita (presso Uffici comunali) altra indagine effettuata in zona industriale per realizzazione nuovi fabbricati produttivi.

La successione stratigrafica di riferimento è stata dedotta principalmente dalle diagrafie del Pozzo acquedottistico comunale, ubicato in centro paese (del quale è disponibile anche log stratigrafico dedotto da log elettrici in foro).

I dati raccolti confermano l'omogeneità dei depositi alluvionali, sia di superficie che in profondità, che caratterizzano il territorio comunale ed il suo intorno (pianura a nord del Po).

Come si vede le indagini sono ubicate in corrispondenza due aggregati urbani (centro abitato e zona industriale) ed anche valutando l'omogeneità litostratigrafica del territorio comunale e le possibili zone di espansione edilizia.

I risultati delle MASW sono riportati a seguire.

Modalità esecuzione indagini MASW

Per misurare le velocità delle onde di taglio si possono eseguire prospezioni sismiche mediante stendimenti superficiali, utilizzando geofoni verticali da 4,5 Hz ed acquisendo attivamente i segnali delle onde rifratte alla superficie mediante una sorgente artificialmente provocata; questa tecnica, nota con la sigla **MASW** (Multichannel Analysis of Surface Waves), permette di ricostruire il profilo verticale delle Vs con procedimenti di modellazione diretta delle velocità di fase delle onde, rifratte alla superficie.

Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga; questa proprietà si chiama dispersione.

Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali.

La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio (Vs), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali.

Questo tipo di analisi fornisce i parametri fondamentali comunemente utilizzati per valutare la rigidità superficiale, una proprietà critica per molti studi geotecnici.



L'intero processo comprende tre passi successivi: L'acquisizione delle onde superficiali (ground roll), la costruzione di una curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza) e l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs.

Per ottenere un profilo Vs bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore; una serie di tecniche diverse è stata utilizzata nel tempo per ricavare la curva di dispersione.

L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente, utilizzando la curva di dispersione misurata come riferimento sia per la modellazione

diretta che per la procedura ai minimi quadrati.

Dei valori approssimati per la densità sono necessari per ottenere il profilo verticale Vs dalla curva di dispersione e vengono solitamente stimati utilizzando misure prese in loco o valutando le tipologie dei materiali.

Quando si generano le onde piane della modalità fondamentale delle onde di Reyleigh, vengono generate anche una molteplicità di tipi diversi di onde.

Fra queste le onde di corpo, le onde superficiali non piane, le onde riverberate (back scattered) dalle disomogeneità superficiali, il rumore ambientale e quello imputabile alle attività umane.

Le onde di corpo sono in vario modo riconoscibili in un sismogramma multicanale.

Quelle rifratte e riflesse sono il risultato dell'interazione fra le onde e l'impedenza acustica (il contrasto di velocità) fra le superfici di discontinuità, mentre le onde di corpo dirette viaggiano, come è implicito nel nome, direttamente dalla sorgente ai ricevitori (geofoni).

Le onde che si propagano a breve distanza dalla sorgente sono sempre onde superficiali. Queste onde, in prossimità della sorgente, seguono un complicato comportamento non lineare e non possono essere trattate come onde piane.

Le onde superficiali riverberate (back scattered) possono essere prevalenti in un sismogramma multicanale se in prossimità delle misure sono presenti discontinuità orizzontali quali fondazioni e muri di contenimento e le ampiezze relative di ciascuna tipologia di rumore generalmente cambiano con la frequenza e la distanza dalla sorgente.

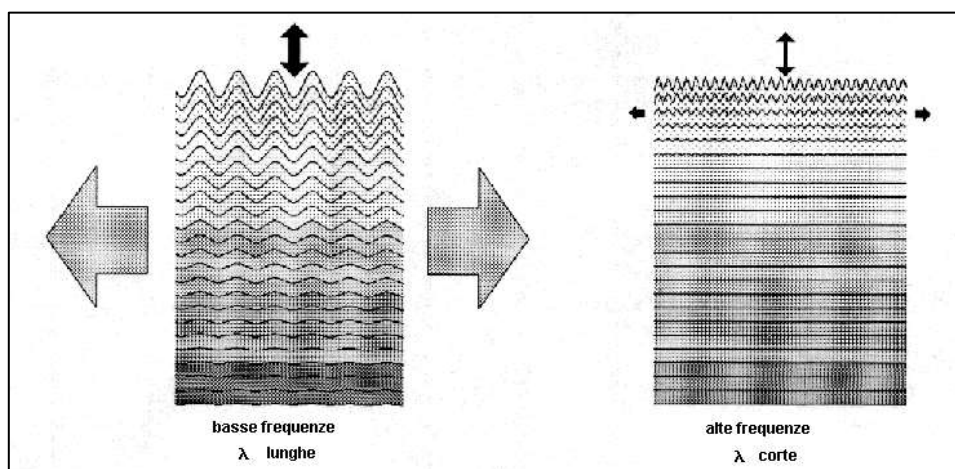
Ciascun rumore, inoltre, ha diverse velocità e proprietà di attenuazione che possono essere identificate sulla registrazione multicanale grazie all'utilizzo di modelli di coerenza e in base ai tempi di arrivo e all'ampiezza di ciascuno.

La scomposizione di un campo di onde registrate in un formato a frequenza variabile consente l'identificazione della maggior parte del rumore, analizzando la fase e la frequenza dipendentemente dalla distanza dalla sorgente. La scomposizione può essere quindi utilizzata in associazione con la registrazione multicanale per minimizzare il rumore durante l'acquisizione.

La scelta dei parametri di elaborazione così come del miglior intervallo di frequenza per il calcolo della velocità di fase, può essere fatto con maggior accuratezza utilizzando dei sismogrammi multicanale; una volta scomposto il sismogramma, una opportuna misura di coerenza applicata nel tempo e nel dominio della frequenza può essere utilizzata per calcolare la velocità di fase rispetto alla frequenza.

La velocità di fase e la frequenza sono le due variabili (x ; y), il cui legame costituisce la curva di dispersione. E' anche possibile determinare l'accuratezza del calcolo della curva di dispersione analizzando la pendenza lineare di ciascuna componente di frequenza delle onde superficiali in un singolo sismogramma. In questo caso MASW permette la miglior registrazione e separazione ad ampia banda ed elevati rapporti S/N. Un buon rapporto S/N assicura accuratezza nel calcolo della curva di dispersione, mentre l'ampiezza di banda migliora la risoluzione e la possibile profondità di indagine del profilo Vs di inversione.

Le onde di superficie sono facilmente generate da una sorgente sismica quale, ad esempio, una mazza battente. La configurazione base di campo e la routine di acquisizione per la procedura MASW sono generalmente le stesse utilizzate in una convenzionale indagine a riflessione (CMP). Questa similitudine permette di ottenere, con la procedura MASW, delle sezioni superficiali di velocità che possono essere utilizzate per accurate correzioni statiche dei profili a riflessione

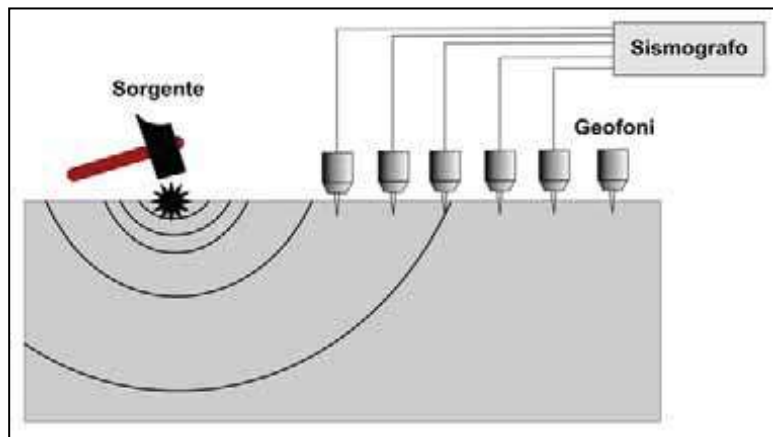


L'illustrazione mostra le proprietà di dispersione delle onde di superficie. Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione,

mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale.

Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. La velocità delle onde S (V_s) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

Partendo dal sismogramma registrato mediante sorgente energizzante in asse con lo stendimento, viene eseguita un'analisi spettrale che ha consentito di elaborare un'immagine della distribuzione del segnale di velocità sismica in funzione delle diverse frequenze che lo compongono.



Il calcolo del profilo delle velocità delle onde di Rayleigh, $V(fase)/freq.$, può essere convertito nel profilo $V_s/profondità$. Tale metodo non è univoco e quindi il modello che ne scaturisce è un modello teorico; per questo motivo è preferibile operare in presenza di dati di taratura (come nel caso specifico) onde ricavare il modello reale.

L'indagine eseguita ha permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle V_s fino a circa 35 / 40 m di

profondità.

Schema di Array lineare e punto energizzante

Tale valore, nell'area indagata, per la classificazione sismica dei terreni di fondazione seguendo le indicazioni del **D.M. 14/01/2008**, è risultata pari a:

MASW 1 (Capoluogo) V_{s30} & $V_s E = 242$ m/s

MASW 2 (Zona industriale) V_{s30} & $V_s E = 283$ m/s

Pertanto, secondo la classificazione del suolo, si definisce il terreno di fondazione dell'area studiata come **categoria 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 velocità equivalente compresi tra 180 e 360 m/s.**

A seguire si allega stralcio Tav Vincoli-Sintesi di Piano Vigente (e relativa Legenda) con ubicazione Indagini sismiche e stratigrafie pozzi presenti nell'intorno.

MASW 1 - Capoluogo



Ubicazione stendimento MASW



Vista stendimento MASW

Una volta acquisito il dato di campagna, si procede all'elaborazione dello stesso mediante il software winMASW® 3C 7.2 (ELIOSOFT geophysical software & services) con cui viene determinato lo spettro di velocità e relativa curva di dispersione.

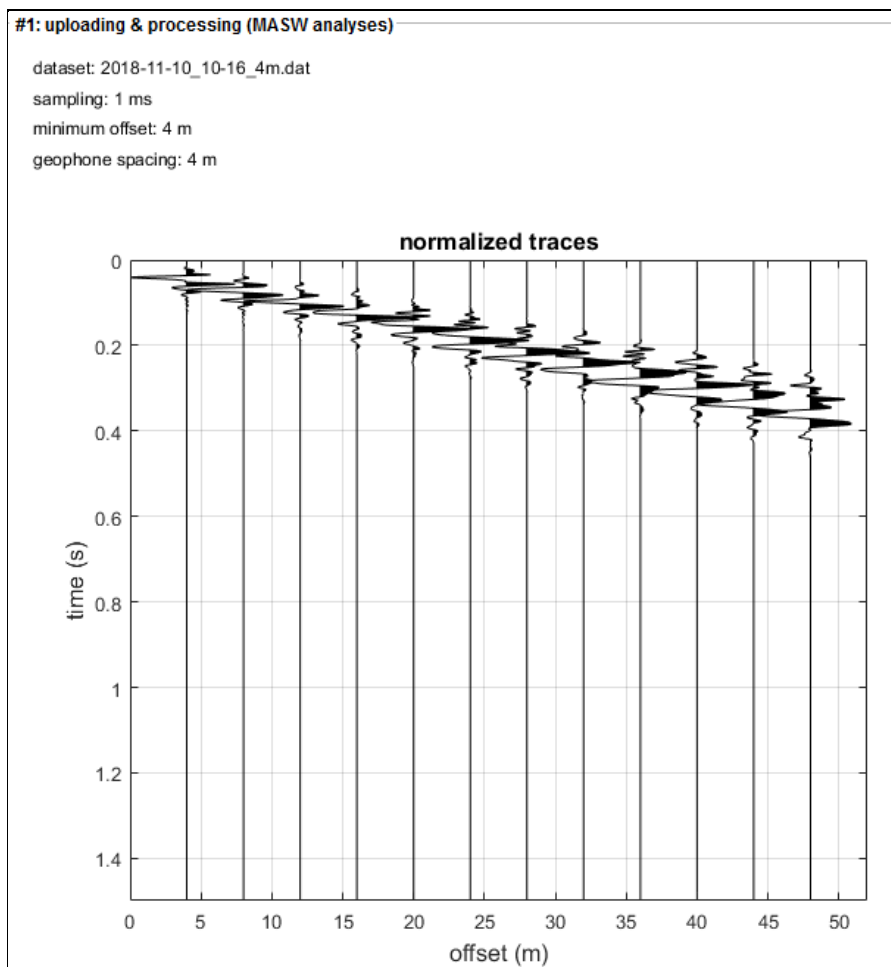
Successivamente, mediante l'inversione di quest'ultima, viene ricostruito il profilo verticale delle velocità delle onde di taglio ottenendo così il valore di V_{s30} .

Di seguito si riporta quanto ottenuto.

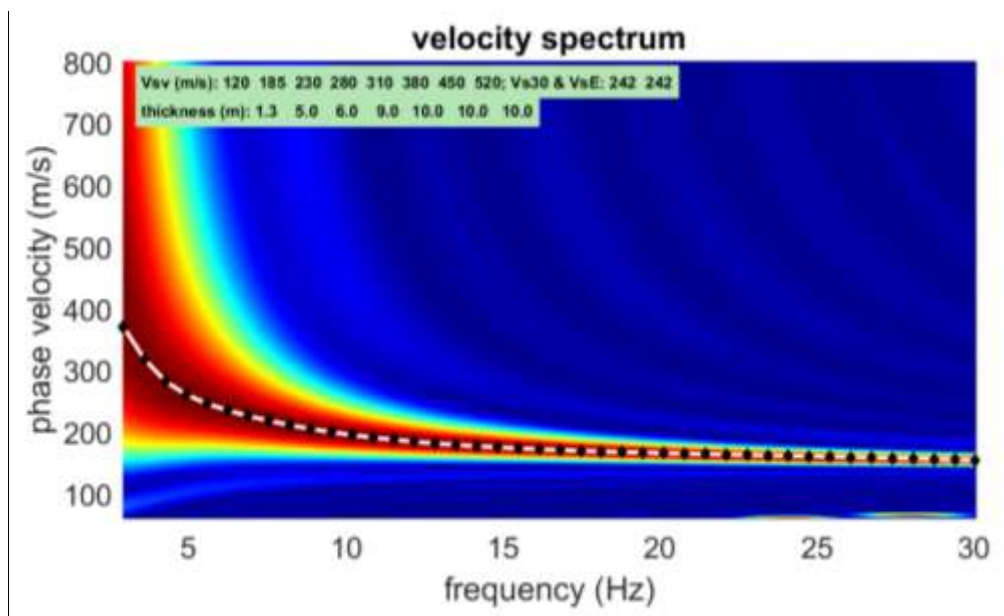
27020 - TRAVACO' SICCOMARIO (PV)
E mail adizorz@libero.it

Tel / Fax 0382 1513167
PEC: adizorz@epap.sicurezza postale.it

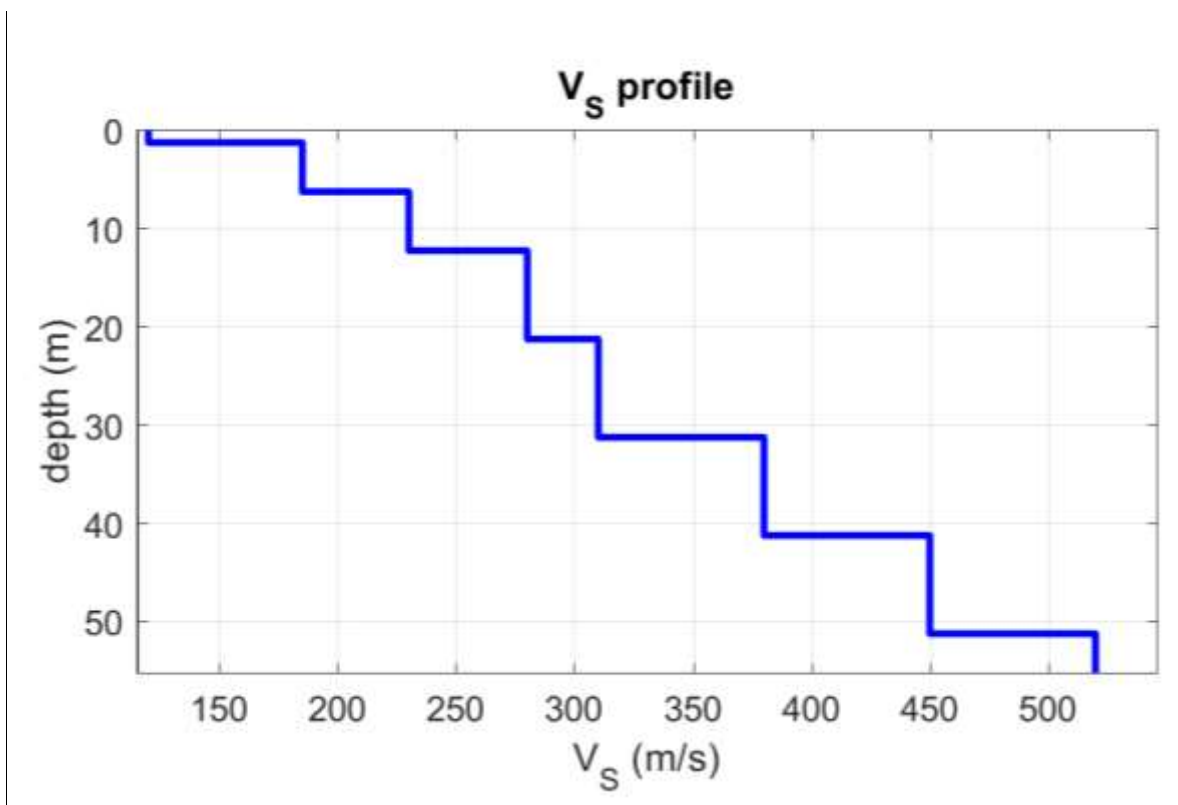
Strada Colombarola 1/17
Mobile 3356376821



Dato di campagna (sismogramma)



Spettro di velocità



Profilo verticale Vs

Spessore [m]	Vs [m/sec]	Moduli di taglio stimati (MPa)
1.3	120	25
5.0	185	62
6.0	230	99
9.0	280	151
10.0	310	187
10.0	380	288
10.0	450	413
semi-spazio	520	561

Modello medio individuato

L'elaborazione del dato di campagna ha fornito una V_{s30} pari a **242 m/s** che, così come riportato dalle NTC 2008, permette di classificare il suolo di fondazione come **"tipo C"**

- *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti*, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 e 360 m/s.

VALUTAZIONE DELLA SUSCETTIVITA' SISMICA DELL'AREA

Al fine di determinare i valori di F_a dal punto di vista degli effetti litologici, sono stati utilizzati i risultati emersi dall'esecuzione dello stendimento geofisico con metodo MASW.

Mediante tale elaborazione e con l'utilizzo di apposite schede messe a disposizione dalla Regione Lombardia, contenute nella D.G.R. 8/7374 del 28/05/2008, si è calcolato il valore di F_a (fattore di amplificazione) da confrontare con i limiti di riferimento indicati dalla Regione stessa.

Per ottenere il suddetto F_a è necessario ricavare il valore di V_s (onde sismiche di taglio o trasversali) utilizzando le velocità V_s degli strati intercettati mediante la formula precedentemente riportata.

In questo modo si risale al tipo di suolo, che come precedentemente indicato si tratta di **tipo C**.

Sulla base di parametri geotecnici, litologici e sismici a disposizione, si individua la litologia prevalente del sito e da questo dato si sceglie la relativa scheda di riferimento riportata nella D.G.R. 8/7374 del 28 Maggio 2008 e successivamente nella D.G.R. IX/2616 del 30 Novembre 2011.

Nello specifico la normativa regionale riporta 6 tipi di schede litologiche:

- scheda per le litologie prevalentemente ghiaiose;
- scheda per le litologie prevalentemente limoso-argillose (tipo 1 e tipo 2);
- scheda per le litologie prevalentemente limoso-sabbiose (tipo 1 e tipo 2);
- scheda per le litologie sabbiose (da utilizzarsi in zone di pianura).

Si riportano, in un apposito diagramma all'interno di queste schede, i valori delle V_s relative ad ogni strato.

Tale confronto permette di verificare se si rientra o meno nel campo di validità della scheda di riferimento.

I dati ottenuti in campagna vengono inseriti all'interno della scheda relativa al grafico per la litologia "sabbiosa".

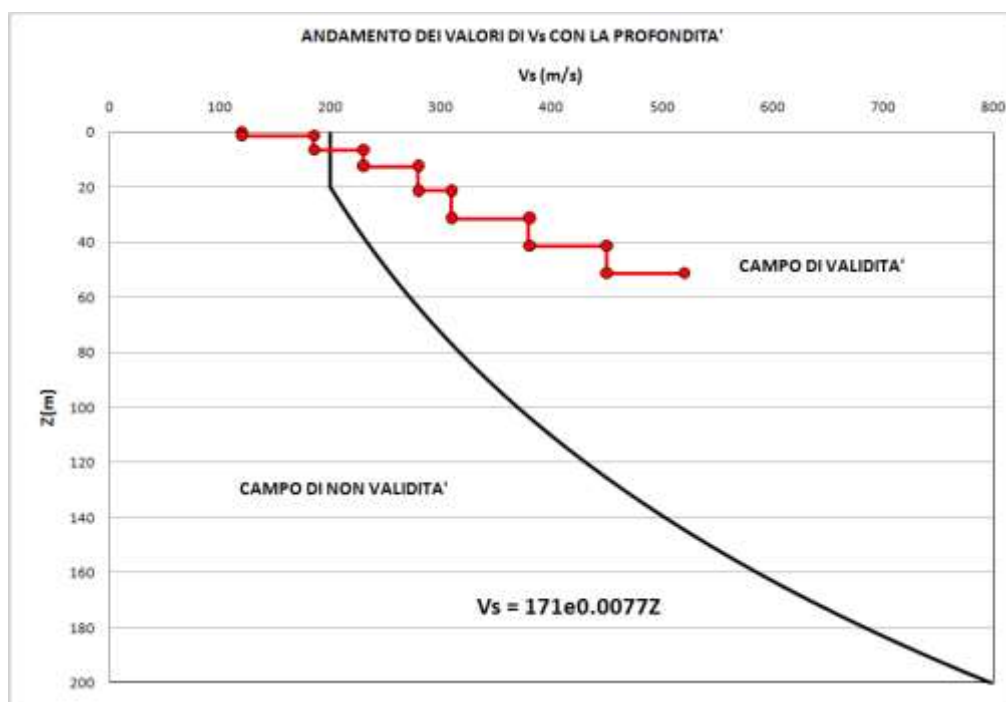


Grafico relativo al campo di validità della scheda litologica sabbiosa

Come è possibile osservare l'andamento delle V_s è posizionato al di "sopra" della linea che divide il campo di non validità dal campo di validità. Come specificato dalla normativa, si deve procedere a correlare i dati all'interno delle schede di riferimento finché non si individua quella idonea.

Ottenuti la velocità del primo strato ed il relativo spessore si riportano questi valori all'interno dell'abaco al fine di ricavare il colore della curva da utilizzare (figura seguente) per ottenere il valore di F_a . Tale parametro (F_a) verrà confrontato con quello riportato in bibliografia in funzione della struttura da realizzare: intervallo 0,1-0,5 s - riferito a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide e intervallo 0,5-1,5 s - riferito a strutture più alte e flessibili.

Per utilizzare correttamente l'abaco sotto riportato, come vincolo viene posto che il primo strato abbia almeno 4 m di spessore. Se tale condizione non fosse soddisfatta è necessario calcolare la media pesata almeno dei primi 4 metri di terreno tenendo in dovute considerazioni gli spessori parziali con le rispettive velocità delle onde di taglio.

Dall'analisi sismica condotta emerge come il "primo strato" abbia una velocità delle onde assimilabile a 200 m/s.

Profondità primo strato (m)

	1-3	4	5-12	13	14	15	16	17	18	20	25	30	40	50	60	70	90	110	130	140	160	180
200		2	1-2	2	3	3	3	3	3	3												
250		2	1-2	2	2	2	2	2	2	3	3	NA	NA	NA								
300		2	1-2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	NA	NA	NA	NA						
350		2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	NA	NA	NA					
400		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA				
450		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA				
500		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA			
600		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA	NA		
700		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Velocità primo strato (m/s)

Abaco che permette di individuare, in base al colore, la curva di riferimento per l'individuazione di F_a , grazie all'intersezione della profondità raggiunta dal primo strato e la sua velocità

Intersecando il valore di velocità riscontrata con la profondità sopra indicata, si ricade nel campo 2, che corrisponde alla curva 2 (vedi abachi seguenti).

Con i valori sopra ottenuti si calcola il periodo "T" relativo al sito. Nel caso la velocità ottenuta dall'indagine non raggiungesse gli 800 m/s, occorre incrementare la velocità e la profondità delle onde utilizzando un passo adeguato, fino all'intercettazione degli 800 m/s (bedrock sismico).

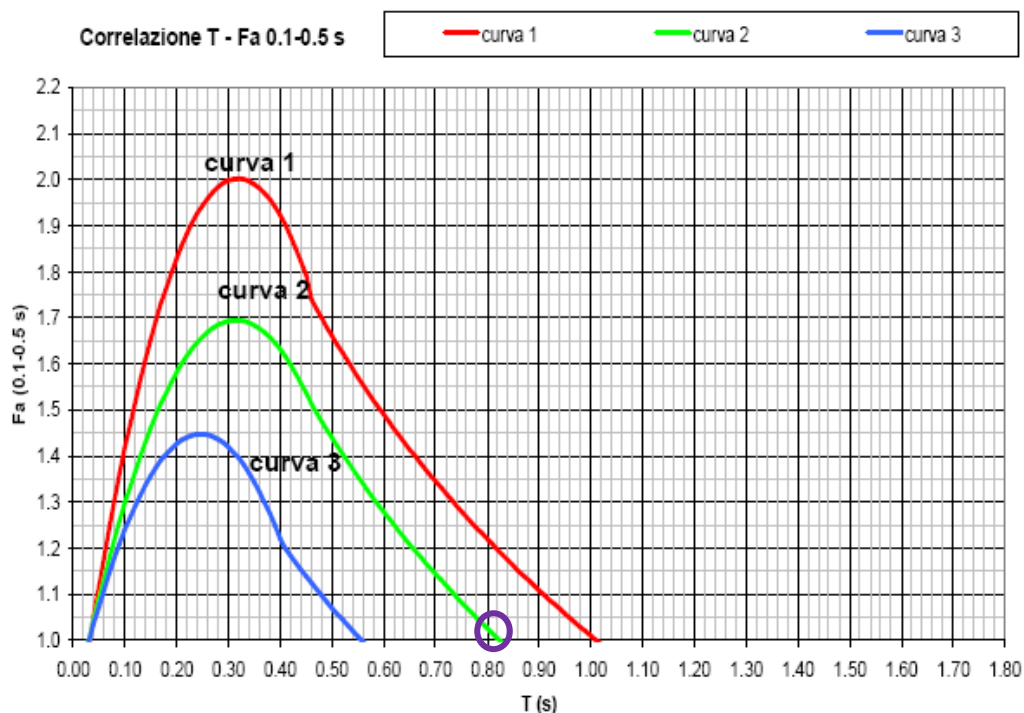
Per la determinazione del periodo si utilizza la seguente equazione:

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^n h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^n V_{s_i} \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)}$$

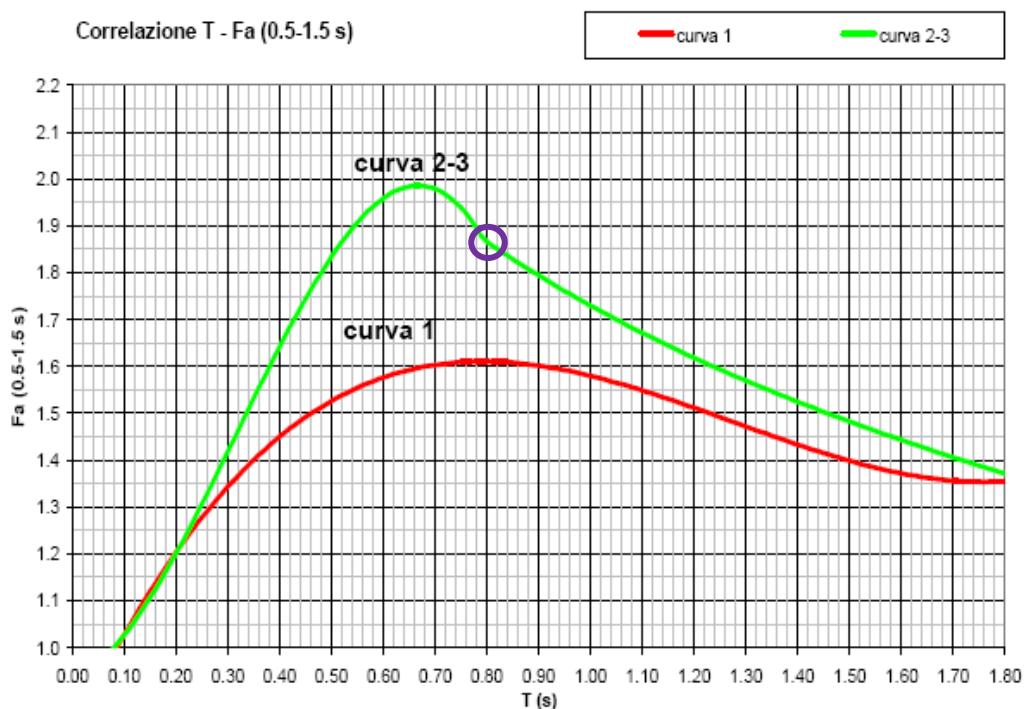
h_i = Spessore in metri dello strato i-esimo

Valore del periodo T calcolato
0,80 s

Conoscendo la velocità del primo strato, la curva di riferimento ed il valore del periodo T calcolato, si può risalire al valore di F_a utilizzando gli abachi di riferimento per la litologia sabbiosa e riferiti rispettivamente ad edifici bassi e a edifici alti.



Abaco di riferimento per la litologia sabbiosa per determinare F_a sulla base di T e della curva di riferimento (riferito a edifici bassi)



Abaco di riferimento per la litologia sabbiosa per determinare F_a sulla base di T e della curva di riferimento (riferito a edifici alti)

Dagli abachi emerge come il valore attribuito al periodo ($T=0,80$), identifichi sulla curva verde un valore di **Fa =1,0 per edifici bassi (Fa di riferimento per i terreni di tipo C =1,80) e Fa = 1,85 per edifici alti (Fa di riferimento per i terreni di tipo C = 2,40).**

Nel nostro caso il valore di Fa calcolato risulta essere inferiore al valore di soglia, sia per edifici alti che per edifici bassi, pertanto 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.

Di seguito vengono riportati i valori Fa di soglia per il comune di Villanova D'Ardenghi.

CATERGORIA DI SUOLO	FATTORE DI AMPLIFICAZIONE Intervallo di periodo 0.1-0.5 s	FATTORE DI AMPLIFICAZIONE Intervallo di periodo 0.5-1.5 s
B	1.4	1.7
C	1.8	2.4
D	2.2	4.2
E	2.0	3.1

MASW 2 - Zona Industriale (Esecutore: Geoser /Pavia)

Indagini MASW effettuate a corredo di Relazione geologica, geotecnica e sismica per realizzazione nuovo fabbricato industriale (documentazione disponibile presso Uffici comunali)

L'analisi delle onde superficiali nell'area di studio è stata eseguita utilizzando la strumentazione classica per prospezioni sismiche a rifrazione disposta sul terreno secondo un array lineare di 24 geofoni (interspazio 2 m.)



UBICAZIONE INDAGINE

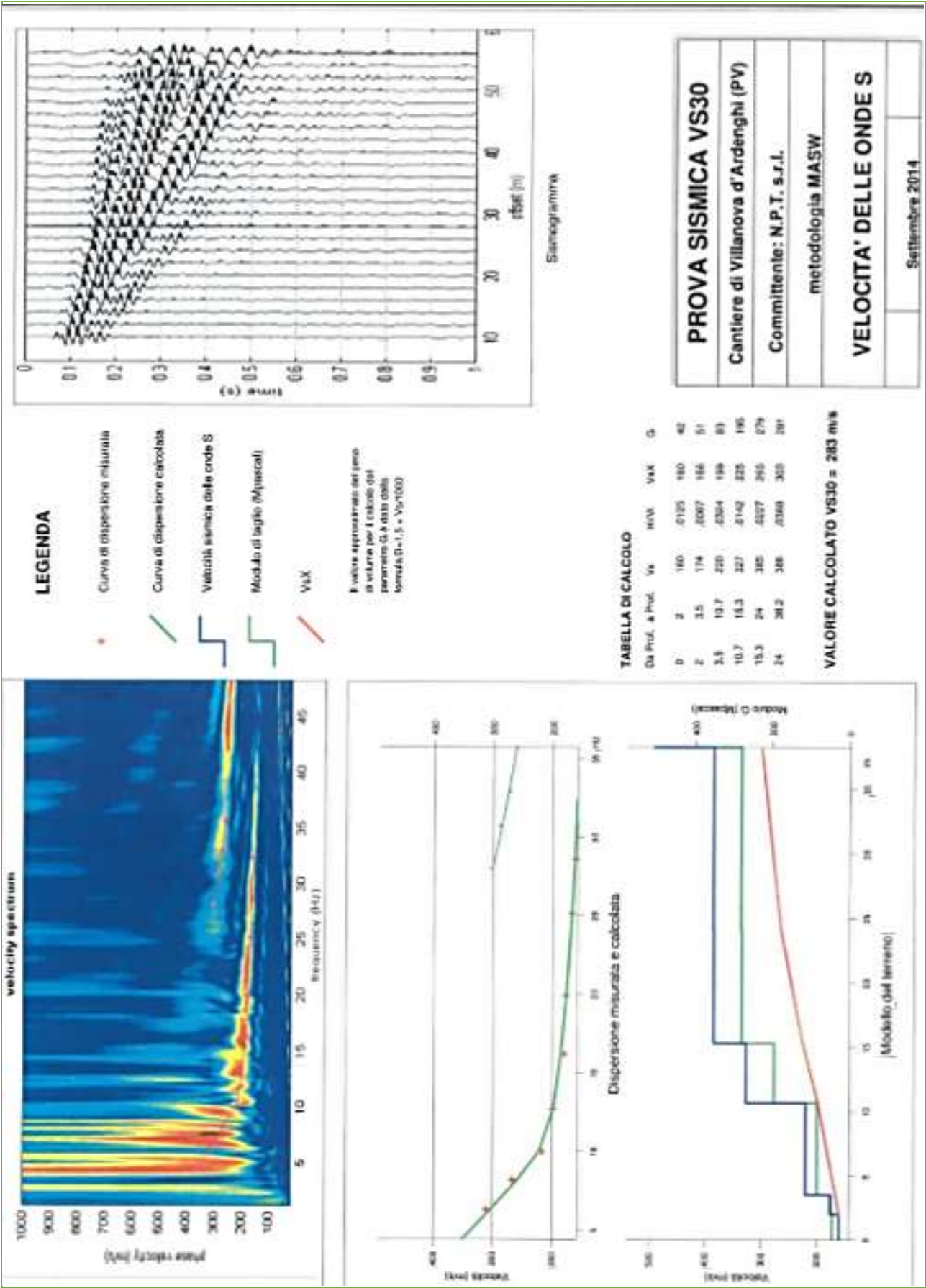
Il valore di V_{S30} ottenuto è:

$V_{S30} = 283 \text{ m/s}$

In linea con i valori riscontrati nella MASW 1

(valori di W_s > per maggiore addensamento degli strati, ma sempre abbondantemente all'interno dei suoli "C")

A seguire si allegano i grafici ottenuti ed utilizzati per l'elaborazione del profilo sismico del sito.



DIAGRAFIE POZZO ACQUEDOTTISTICO COMUNALE

Stratigrafia primi 50 m. dedotta da Log. Elettrici in foro (ASM)

POZZO COMUNALE VILLANOVA D'ARDENGHI – ASM / Aprile 2005

(Log stratigrafico da carotaggi elettrici in foro_ primi 50 m.)

scala	stratigrafia	DESCRIZIONE	profondità
		terreno coltivo	1.50
5		sabbia argillosa marrone	4.50
		sabbia media rossastra	7.00
10		sabbia media grigia	12.00
15		ghiaia con sabbia	18.00
20		sabbia media tracce ghiaietto	25.00
25		sabbia con ghiaia	36.00
30		ghiaia e ghiaietto con poca sabbia grigia	48.00
35			
40			
45			
50		sabbia con tracce ghiaietto	
55			

