

DOTT. MASSIMO NEBBIAI GEOLOGO - V. Terracini, 1 loc. Troghi 50067 Rignano S.A.

☎ 055/8307691 - 📞 349/4938613 e-mail: massimo@massimonebbiai.com

C.F. NBB MSM 65L28 C745I - P.IVA 02350050544

COMUNE DI TAVARNELLE VAL DI PESA

VARIANTE AL PIANO ATTUATIVO

"AREE DI NUOVO IMPIANTO NI N° 7 - VIA SPICCIANO"

ART. 99 N.TA.

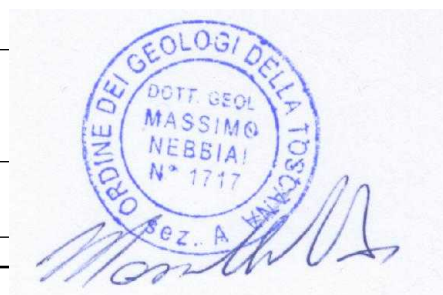
COMMITTENTE:

COCCHINI COSTRUZIONI SRL

RELAZIONE SULLE INDAGINI SISMICHE

Dott. Geol. Massimo Nebbiai

Data: Novembre 2018



Sommario

1.PREMESSA.....	3
2.INDAGINE SISMICA MULTI-CANALE PER ACQUISIZIONE ONDE SUPERFICIALI.....	3
2.1 – STRUMENTAZIONE UTILIZZATA.....	3
2.2 – METODOLOGIA DI INDAGINE.....	4
3.RISULTATI ANALISI MULTICANALE ONDE DI SUPERFICIE.....	4
4.UNITÀ SISMO-STRATIGRAFICHE E PARAMETRI ELASTO MECCANICI.....	8
5.CATEGORIA SUOLO DI FONDAZIONE.....	9
6.RIGIDITÀ SISMICA E FREQUENZA NATURALE DI VIBRAZIONE DEL TERRENO.....	10
7.BIBLIOGRAFIA.....	11

APPENDICE

- ✓ Sismogrammi

1. Premessa

Nel rapporto sono descritte le modalità di esecuzione ed i risultati di un'indagine sismica eseguita per la caratterizzazione del sottosuolo del sito ubicato in Via di Spicciano, nel Comune di Tavarnelle Val di Pesa oggetto di variante a Piano Attuativo. La zona di indagine è ubicata su un pianoro subpianeggiante, ad una quota altimetrica di circa 370 m s.l.m.

Allo scopo di valutare per via semplificata la risposta sismica locale, così come contenuto nel D.M. 17/01/2018 Aggiornamento delle «Norme Tecniche per le Costruzioni», il giorno 2 giugno 2018 è stato eseguito n°1 stendimento multicanale per la registrazione di onde superficiali con metodo attivo (MASW).

2. Indagine sismica multi-canale per acquisizione onde superficiali

2.1 - Strumentazione utilizzata

L'acquisizione dei dati è stata eseguita utilizzando un sistema costituito dalle seguenti parti

- Sismografo multicanale DoReMi a 24 canali
- Sorgente energizzante
- Trigger
- Strumentazione ricevente
- Software di analisi e elaborazione

Il sistema DoReMi incorpora e distribuisce lungo il cavo sismico un sismografo modulare, canale per canale, riducendo notevolmente i rumori indesiderati che sono acquisiti quando la digitalizzazione avviene nell'unità centrale e il segnale viene trasferito su canali analogici per decine di metri. Ogni elemento possiede 64Kb di memoria ed è indipendente, pertanto può essere aggiunto o tolto poiché dispone di connettori maschio-femmina prima e dopo il digitalizzatore, configurando una installazione "a catena". Le principali caratteristiche dello strumento sono le seguenti:

2 cavi sismici da 60 m cadauno

Impedenza d'ingresso: >100 kΩ

Convertitore A/D, Tipologia: SAR Risoluzione: 16 bit Dinamica: 96 dB

Dinamica totale senza postprocessing: > 127dB (a qualsiasi frequenza di campionamento)

Memoria: 64 kByte (>30000 campioni)

Frequenze di registrazione selezionabili variabili tra 200 e 20000 Hz

Durata di campionamento variabile da 0.1s a 150s in funzione della frequenza di campionamento selezionata.

Filtri programmabili passa basso e passa alto sia digitali che a fase zero

Gain variabile da 27dB a 80dB

Possibilità di registrazione in autostack, inversione della polarità, workaway concatenata e d interlaccia; start da pc

Conversione dei file di acquisizione da formato proprietario a SEG -2, SEG - Y e CSV.

Il sistema energizzante adottato è costituito da una mazza di ferro dal peso di 8 Kg battente verticalmente su una piastra in duralluminio del diametro di 18 cm, spessore 4 cm e peso di 2 Kg, posta a diretto contatto con il terreno e dotata di cordicella di ancoraggio. Il trigger consiste in un circuito elettrico che viene chiuso mediante geofono starter (posto adiacente alla piastra di battuta), nel momento in cui la mazza colpisce la piastra di battuta consentendo al sistema di individuare l'esatto istante di attivazione della sorgente e quindi di fissare l'inizio della registrazione. Per quanto riguarda la strumentazione ricevente sono stati utilizzati 23 geofoni verticali con frequenza propria di 4.5 Hz.

2.2 - Metodologia di indagine

Per valutare l'andamento verticale delle velocità delle onde di taglio (S), sono state analizzate le onde di superficie (Rayleigh, componente verticale) tramite metodo attivo (MASW).

Nella metodologia "attiva" le onde di superficie sono generate dall'interferenza costruttiva delle onde di volume (P ed Sv), ottenute da energizzazioni artificiali, incidenti sulla superficie libera del terreno. Utilizzando una stesa di geofoni verticali a bassa frequenza (4.5 Hz) si registrano le onde di Rayleigh, onde che si propagano lungo la superficie, interessando strati di spessore pari a circa la lunghezza d'onda; in mezzi stratificati verticalmente, le diverse lunghezze d'onda, di armoniche a diversa frequenza, si propagano con velocità di fase che dipende dalle proprietà dei materiali interessati. Ciò fa sì che la velocità di fase sia funzione della frequenza dell'onda stessa.

Tale relazione viene rappresentata tramite la curva di dispersione. Ricorrendo a tecniche di analisi spettrale (analisi F/K) si individua la curva di dispersione sperimentale ricercando i punti di massima potenza spettrale. Sfruttando la relazione, $V_s \cong 1.1V_R$, si può risalire al profilo verticale della velocità delle onde di taglio. La massima profondità alla quale può essere ragionevolmente calcolata la V_s è circa metà della massima lunghezza d'onda misurata (Rix and Leipski, 1991). Successivamente si esegue il processo d'inversione; si costruisce un modello del sottosuolo a n strati con date proprietà fisiche (V_s , V_p , ρ e ν) con il quale si generano un gran numero di modelli sismostratigrafici del sottosuolo. A ciascuno dei modelli è associata una curva di dispersione teorica e lo scopo è quello di approssimare al meglio la curva di dispersione sperimentale. Il modello con migliore misfit definisce il profilo verticale della velocità delle onde di taglio del sito ed è utilizzato per la stima del parametro V_{s30} (categoria di sottosuolo NTC 2008). I software usati (GNU Public License) per questo tipo di analisi sono il GEOPSY per l'analisi ed il processamento dei segnali ed il Dinver per l'inversione dei dati. Quest'ultimo impiega come metodo di ricerca della curva di dispersione teorica, il Neighbourhood Algorithm, appartenente alla famiglia degli algoritmi genetici che permette di gestire i parametri fisici del terreno.

3. Risultati analisi multicanale onde di superficie

La configurazione geometrica dello stendimento è caratterizzata da 24 geofoni posti a distanza intergeofonica di 2,00 m, per una lunghezza complessiva di 46,00 m. Le coordinate geografiche in gradi decimali (formato WGS84), del punto di inizio indagine, canale 1 e fine indagine, canale 24 sono le seguenti:

Estremi profilo	X	Lat. (ϕ)	Long. (λ)
geofono 1	0,0 m	43,5574°	11,1822°
geofono 24	46,00 m	43,5570°	11,1825°

Sono state eseguite 4 energizzazioni con la seguente disposizione della piastra di battuta rispetto agli estremi dello stendimento:

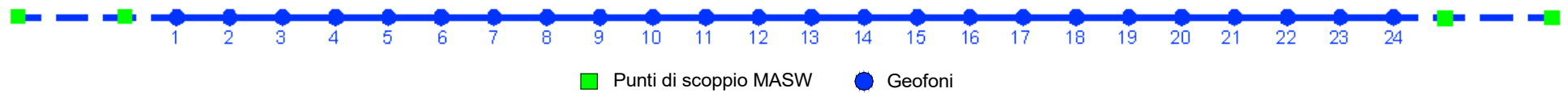
- battuta estrema al geofono 1 ($x = - 6,00$ m)
- battuta esterna al geofono 1 ($x = - 2,00$ m)
- battuta esterna al geofono 24 ($x = 48,00$ m)
- battuta estrema al geofono 24 ($x = 52,00$ m)

In tav. A sono riportati l'ubicazione del profilo sismico, lo schema di acquisizione adottato ed una ripresa fotografica.



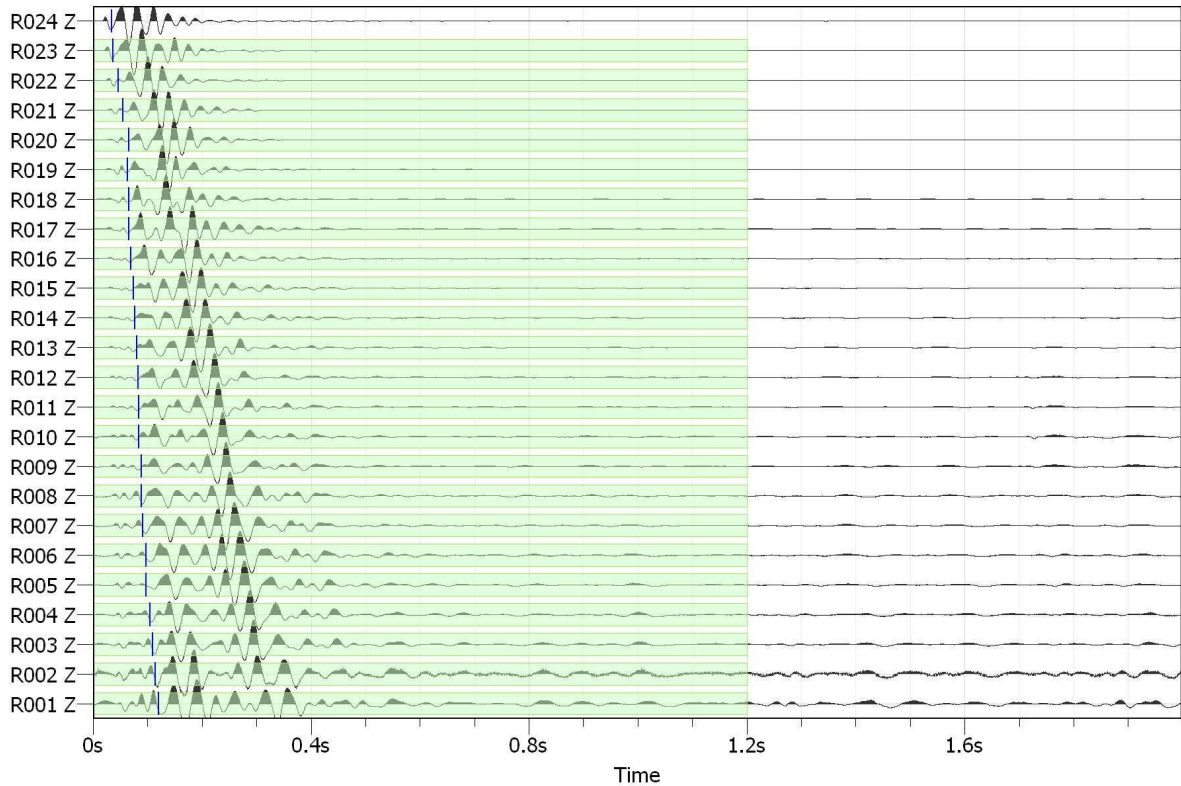
Ripresa fotografica stendimento

ubicazione indagine MASW su raster/IGM_25000 (mapwms.pcn.minambiente.it)
 e su foto aerea- Fonte dei dati: Regione Toscana - "rt_ofc.10k13"



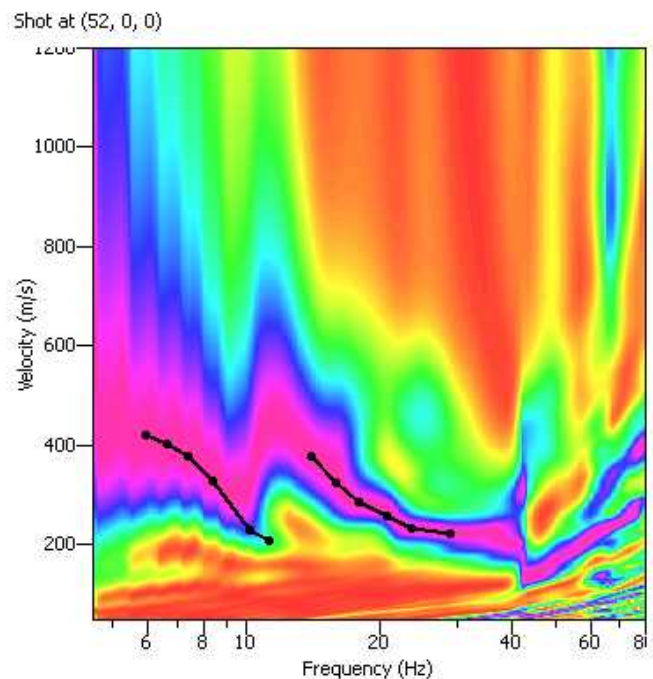
Tav. A - Ubicazione indagine e configurazione geometrica dello stendimento

La lunghezza delle registrazioni è stata fissata in 2,00 sec con frequenza di campionamento pari a 3000 Hz. Con tale configurazione si ottiene una frequenza di Nyquist pari a circa 1500 Hz e una risoluzione in frequenza di 0,50 Hz. Per ogni shot sono state eseguite almeno quattro energizzazioni al fine di migliorare il rapporto segnale/rumore, inoltre per eliminare gli effetti disturbo delle onde di volume è stato fatto il picking di ogni segnale per definire la parte di sismogramma da elaborare (vedi figura seguente).

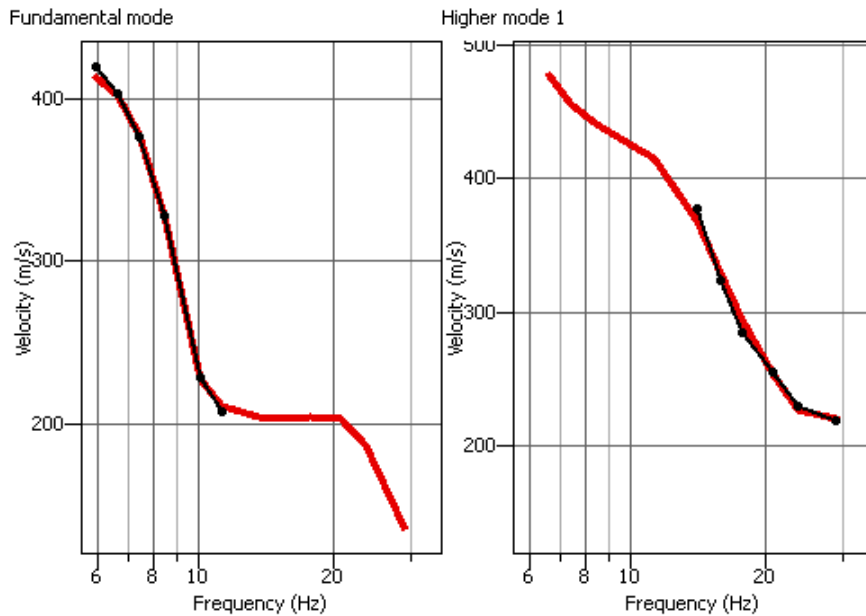


Dall'elaborazione dei dati sono state ricavate per ogni shot le densità spettrali nel piano frequenza-velocità di fase delle onde superficiali e per il picking della curva di dispersione è stato usato lo shot che meglio ne permetteva la definizione.

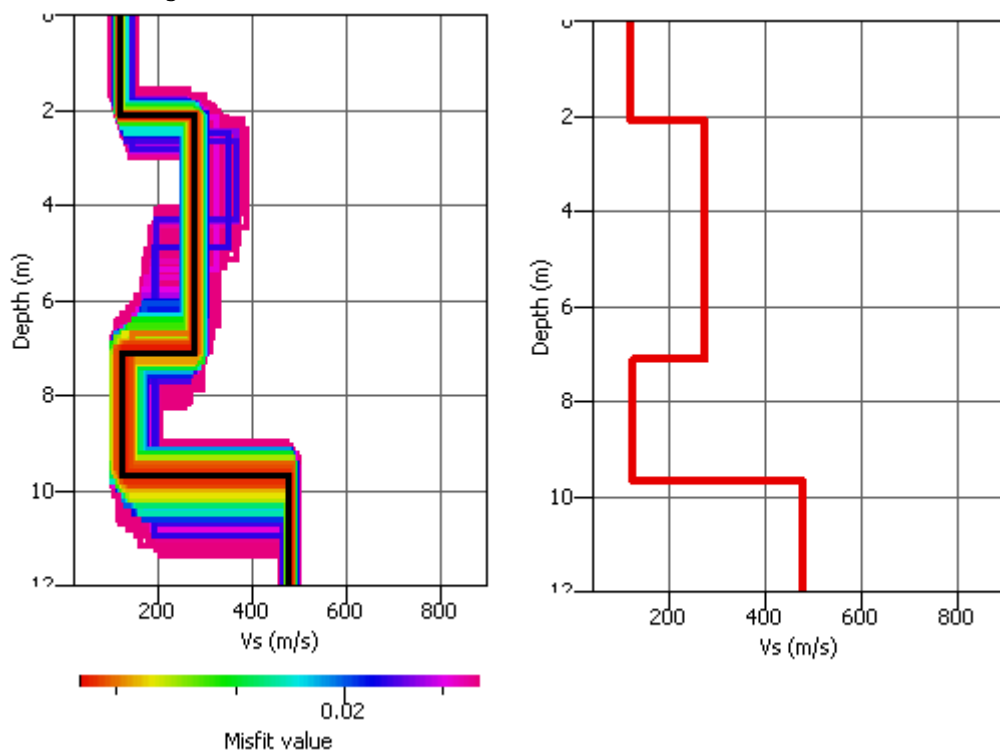
Nella figura accanto, si riporta il grafico della densità spettrale delle onde superficiali relativa allo shot eseguito a 6,00 m dal geofono 24, con la definizione alle medio-basse frequenze della curva di dispersione (massimi dello spettro) attribuita al modo fondamentale mentre alle medie-alte frequenze si definisce un tratto della curva di dispersione, attribuita al primo modo superiore.



Sui dati acquisiti è stata verificata la coerenza di fase del segnale per determinare la frequenza minima affidabile. Escludendo dall'analisi il geofono 24 la frequenza è risultata di 6,00 Hz, pari ad una lunghezza d'onda di circa 70,00 m, pertanto l'indagine ha permesso di investigare il sottosuolo fino ad una profondità stimabile in circa 35,00 m dal p.c ($\lambda/2$). Il processo d'inversione è iniziato ipotizzando due strati con variazioni molto ampie dei parametri di rigidezza. Successivamente il modello è stato affinato ricavando la curva di dispersione teorica del modello che meglio approssima quella sperimentale. Nella figura seguente si riportano i grafici per confrontare le curve di dispersione sperimentali (linee nere) attribuite al modo fondamentale ed al primo modo superiore con quelle teoriche relative al modello con miglior misfit, circa $\approx 1,54\%$ (linee rosse).



Il profilo verticale del parametro velocità delle onde di taglio (V_s) relativo a tale modello è graficato nella figura sottostante a sinistra (linea nera); le linee variamente colorate rappresentano modelli con scarti maggiori rispetto al modello sperimentale. Il profilo con valore minimo di misfit è riportato per maggiore chiarezza nel grafico a destra.



Il profilo verticale delle velocità delle onde di taglio, ubicato indicativamente tra i geofoni 12 e 13 è riassunto nello schema seguente:

- un primo sismostrato caratterizzato da modeste oscillazioni della velocità delle onde S (102 m/s - 132 m/s) e della profondità della base (1,80 m - 2,30 m), rispetto ai valori di riferimento del modello a migliore misfit, pari rispettivamente a **115 m/s** e **2,10 m** dal p.c..
- un secondo sismostrato caratterizzato da discrete oscillazioni della velocità delle onde S (256 m/s - 294 m/s) e maggiore incertezza della profondità della base (6,50 m - 7,40 m), rispetto ai valori di riferimento del modello a migliore misfit, pari rispettivamente a **275 m/s** e **7,10 m** dal p.c.
- un terzo sismostrato caratterizzato da modeste oscillazioni della velocità delle onde S (97 m/s - 148 m/s) e della profondità della base (9,30 m - 10,00 m), rispetto ai valori di riferimento del modello a migliore misfit, pari rispettivamente a **120 m/s** e **9,70 m** dal p.c.
- un quarto sismostrato identificabile, dati i limiti e le risultanze della presente indagine, come semispazio omogeneo con modeste oscillazioni del valore della velocità di onde di taglio (469 m/s - 495 m/s), rispetto al valore del modello con miglior misfit pari a circa **477 m/s**

Per quanto riguarda il grado d'incertezza del risultato osserviamo che in un ampio intervallo di profondità la variabilità del dato sperimentale si mantiene entro limiti più che accettabili, con buona convergenza verso il modello migliore.

4. Unità sismo-stratigrafiche e parametri elasto meccanici

L'indagine ha permesso di definire quattro unità sismostratigrafiche con differenti caratteristiche di rigidità sismica. I valori di velocità delle onde sismiche stimate nel paragrafo precedente, consentono di determinare alcuni parametri che descrivono il comportamento dei terreni sotto condizioni dinamiche.

Sismostrato	V _s (m/s)	Go (MPa)	ρ (gr/cm ³)
A	115	24	≈ 1,85
B	275	152	≈ 2,01
C	120	23	≈ 1,64
D	477	488	≈ 2,15

Tabella I - V_s = Velocità delle onde di taglio, Go = modulo di deformazione di taglio, ρ = densità geofisica;

Il modulo di taglio mette in relazione la deformazione allo sforzo tangenziale applicato; in condizioni dinamiche (basse deformazioni) si ricava con la seguente espressione :

$$G_o = \rho (V_s)^2$$

La densità geofisica è stata stimata con la seguente relazione, valida per mezzi saturi (Burns e Mayne, 1996):

$$\rho \approx 1 + \frac{1}{0.614 + 58.7(\log z + 1.095)/V_s}$$

I valori dei parametri elastici dinamici, calcolati da misure sismiche forniscono un limite superiore della rigidità dei terreni e sono da considerare adeguati a descrivere il comportamento del terreno per livelli deformativi modesti, inferiori ad una soglia di linearità γ_l che assume valori compresi tra 10^{-2} % e 10^{-4} % in funzione delle caratteristiche granulometriche e microstrutturali del terreno.

5. Categoria suolo di fondazione

La stima degli effetti amplificativi di un sisma collegati alla stratigrafia locale può essere fatta utilizzando un approccio semplificato che si basa sulla individuazione della categoria di sottosuolo del sito di studio (Tab. 3.2.II, NTC 2018). Le categorie di sottosuolo sono distinte dalla normativa in base alla profondità del bedrock sismico (substrato con $V_s > 800$ m/s) ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$, (in m/s) definita con la seguente espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

con

h_i , spessore dell'i-esimo strato;

V_s , 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/s

La profondità H del substrato è riferita al piano di posa per le fondazioni superficiali, alla testa dei pali per fondazioni profonde, mentre per opere di sostegno di terreni naturali è riferita alla testa dell'opera. In riferimento alle opere di sostegno di terrapieni la profondità è riferita al piano di posa dell'opera di fondazione. 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 $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

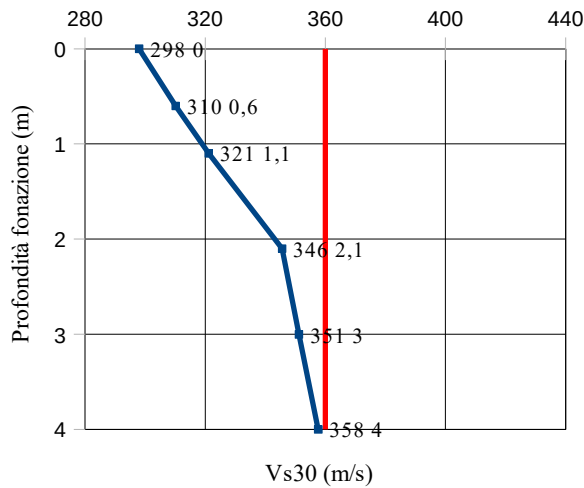
L'indagine ha consentito di esplorare il sottosuolo fino ad una profondità massima di circa 35,0 m dal p.c., profondità entro la quale non è stato individuato il bedrock sismico ($V_s > 800$ m/s).

In base al profilo verticale delle onde S elaborato nel capitolo 3, si rileva che i terreni di copertura presentano, rispetto al p.c., una velocità equivalente $V_{seq} = V_{s30} = 298$ m/s.

In riferimento alla tabella 3.2.II delle NTC2018 si attribuisce il sito in esame alla categoria di sottosuolo **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 m/s e 360 m/s.

Poiché l'assegnazione della categoria di sottosuolo dovrà essere fatta calcolando la V_{s30} a partire dalla profondità del piano di posa della fondazione e/o dalla testa di pali o micropali, si riporta di seguito un grafico in cui è rappresentato l'andamento di tale parametro in funzione di eventuali scavi di fondazione (linea blu) e il valore di $V_s = 360$ m/s che separa le categorie di sottosuolo B e C (linea rossa), in modo da poter valutare correttamente la categoria di sottosuolo.



Valori della Vs30 in funzione della profondità del piano di posa delle fondazioni (le etichette indicano il valore della Vs30 e la profondità dal p.c., a cui è riferita)

6. Rigidità sismica e frequenza naturale di vibrazione del terreno

In caso di evento sismico possono verificarsi fenomeni di amplificazioni del moto del terreno sia in durata che in ampiezza per determinate frequenze, legate al profilo verticale della rigidezza del terreno. L'amplificazione sarà tanto maggiore quanto più è forte il contrasto di impedenza sismica (R) tra due strati, grandezza definita come il prodotto della velocità delle onde di taglio (espresse in Km/s) per la densità (espressa in t/m^3) del mezzo in cui l'onda si propaga, secondo la seguente relazione:

$$R = \rho * Vs$$

Nella tabella seguente si riportano i valori della rigidità sismica stimata per i sismostrati individuati; si nota un discreto contrasto di rigidità tra i primi tre sismostrati ed il semispazio sottostante.

Sismostrati	R ($t/m^3 \times Km/s$)
A	0,21
B	0,55
C	0,20
D	1,02

Un parametro da considerare nella progettazione delle strutture è rappresentato dalla frequenza naturale di vibrazione del terreno, in corrispondenza della quale si ha la massima amplificazione per effetti stratigrafici a causa di riflessioni multiple delle onde di taglio sh generate da un sisma alla superficie libera del terreno.

La situazione maggiormente gravosa nella progettazione si avrà qualora la frequenza propria di un edificio in progetto coincide con quella di vibrazione naturale del terreno (fenomeno della doppia risonanza). Da tener presente inoltre, che danni strutturali originati nelle fasi iniziali del sisma comportano una riduzione delle frequenze proprie dell'edificio, pertanto si dovrebbe fare attenzione a frequenze naturali del terreno fino a valori pari a circa 30%-40% della frequenza del primo modo di un edificio (Clinton et al., 2006).

In modelli di sottosuolo semplici, monodimensionali, schematizzati da coperture detritiche soprastanti strati con maggiore rigidità sismica è possibile stimare tale frequenza facendo il rapporto tra la media delle velocità delle onde di taglio delle coperture e quattro volte lo spessore H, secondo la seguente relazione: $f_n = V_s/4H (2n-1)$ con $n = 1,2,... \infty$

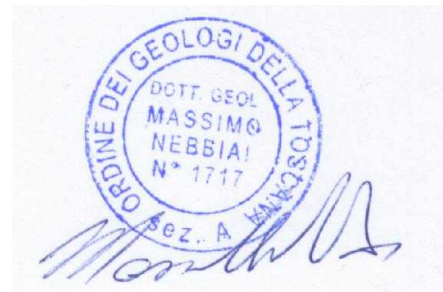
Nella tabella seguente è riportata la stima della frequenza fondamentale di vibrazione naturale del sito calcolata in base al profilo verticale delle Vs definito dall'indagine MASW.

Vs equivalente sismostrato A + B + C	m/s	167
Vs sismostrato D	m/s	477
H base sismostrati A + B + C	m	9,70
Frequenza di risonanza terreno	Hz	≈ 4,30

La frequenza riportata in tabella è indicativa, si ricorda infatti che nella letteratura scientifica internazionale la metodologia di indagine sperimentale riconosciuta per la misura delle frequenze di risonanza dei terreni è quella dei rapporti spettrali H/V o sismica passiva a stazione singola (Nogoshi e Igarashi, 1979; Nakamura, 1989).

Novembre 2018

Geol. Massimo Nebbiai



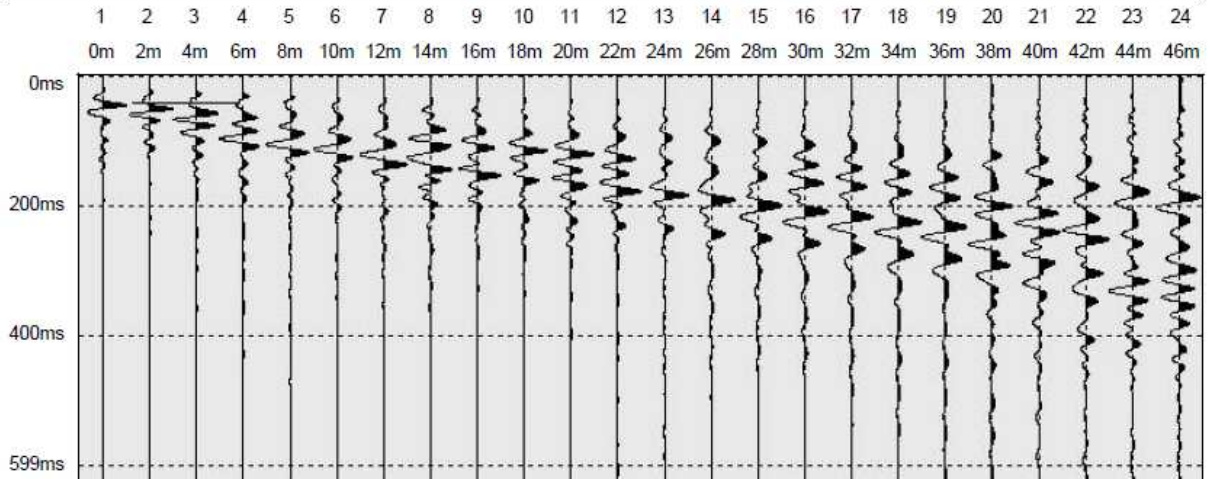
7. Bibliografia

- Burns S.E., and P.W. Mayne (1996) - Small- and high-strain soil properties using the seismic piezocone. Transportation Research Record 1548, National Acad. Press, Wash. DC, 81-88.
- Clinton J.F., Bradford S.C., Heaton T.H., Favela J., (2006) - The observed wander of the natural frequencies in a structure, Bull. Seismol. Soc. Am., 96, 237-257.
- Nakamura, Y., (1989) - A method for dynamic characteristics estimates of subsurface using microtremor on the round surface: Quarterly Report of the Railway Technical Research Institute, **30**, 25-33.
- Nogoshi M., Igarashi T. (1970) - On the propagation characteristics of microtremors., J. Seism. Soc. Japan, 23, 264-280.
- Rix, G. J., and Leipski, A. E., 1991, Accuracy and resolution of surface wave inversion: Recent Advances in Instrumentation, Data Acquisition and Testing in Soil Dynamics, Geotechnical Special Publication No. 29, ASCE, 17-23.

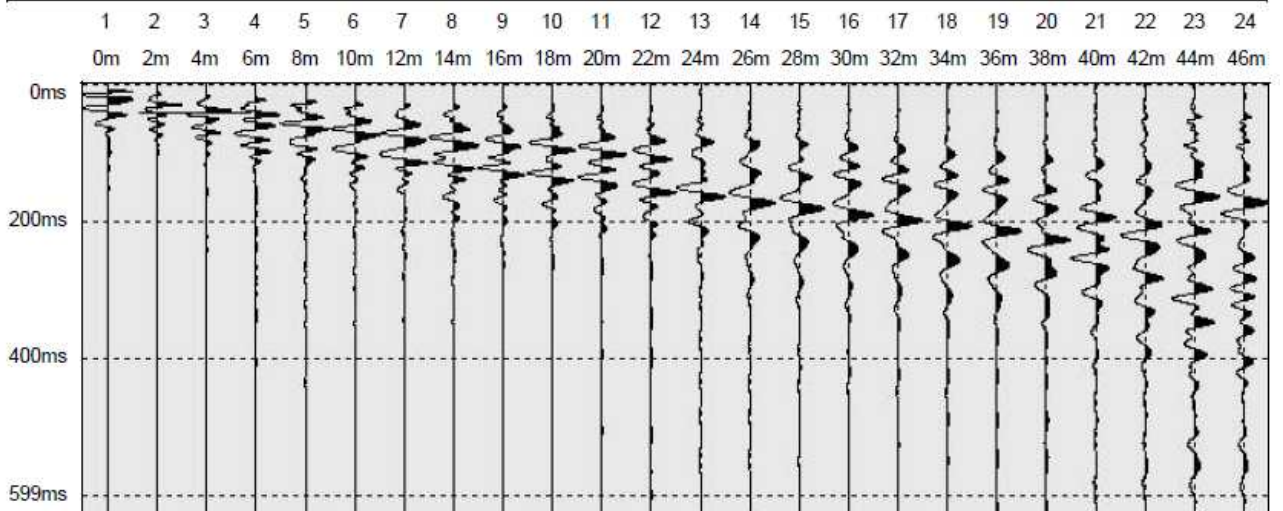
APPENDICE

✓ *Sismogrammi*

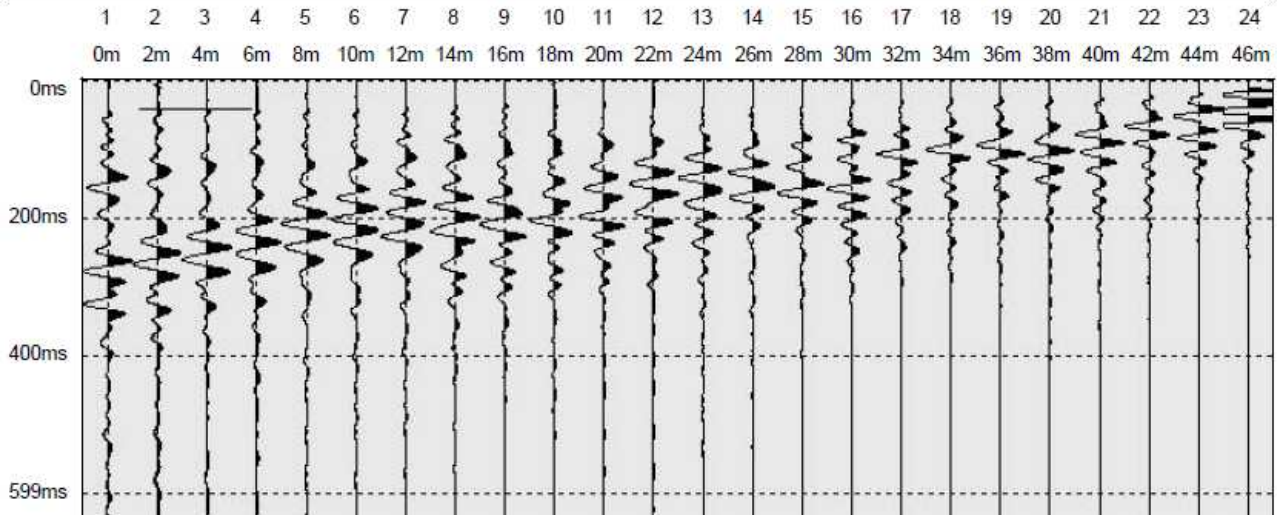
Nome ditta:	Nome operatore: Geol. massimo Nebbiai	Nome cliente: Cocchini Costruzioni srl	
Strumento:	Data: 02/06/2018	Ora: 10:39:52	Luogo: Via di Spicciano (Tavarnelle VP)
Nome del file: 2018-06-03_18-57-15_03000_00200_024_StckSm.drm			
Coordinate del sito:	Periodo di campionamento: 333.333333333333uS (3000 SPS)	Durata: 2s	Offset: -6 m
Note:			



Nome ditta:	Nome operatore: Geol. massimo Nebbiai	Nome cliente: Cocchini Costruzioni srl	
Strumento:	Data: 02/06/2018	Ora: 10:24:38	Luogo: Via di Spicciano (Tavarnelle VP)
Nome del file: 2018-06-04_16-54-34_03000_00200_024_StckSm.drm			
Coordinate del sito:	Periodo di campionamento: 333.333333333333uS (3000 SPS)	Durata: 2s	Offset: -2 m
Note:			



Nome ditta:	Nome operatore: Geol. massimo Nebbiai	Nome cliente: Cocchini Costruzioni srl
Strumento:	Data: 02/06/2018	Ora: 10:12:56
Luogo: Via di Spicciano (Tavarnelle VP)		
Nome del file: 2018-06-04_16-56-42_03000_00200_024_StckSm.drm		
Coordinate del sito:	Periodo di campionamento: 333.333333333333uS (3000 SPS)	Durata: 2s
		Offset: + 2 m
Note:		



Nome ditta:	Nome operatore: Geol. massimo Nebbiai	Nome cliente: Cocchini Costruzioni srl
Strumento:	Data: 02/06/2018	Ora: 10:07:42
Luogo: Via di Spicciano (Tavarnelle VP)		
Nome del file: 2018-06-04_16-56-08_03000_00200_024_StckSm.drm		
Coordinate del sito:	Periodo di campionamento: 333.333333333333uS (3000 SPS)	Durata: 2s
		Offset: + 6 m
Note:		

