

**COMUNE DI VILLARICCA  
(PROVINCIA DI NAPOLI)**

**RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE  
SISMICA DI SITO**

VARIANTE URBANISTICA PER LA REALIZZAZIONE DI UN' AREA  
PARCHEGGIO PUBBLICO E COMPLETAMENTO IMPIANTO  
SPORTIVO



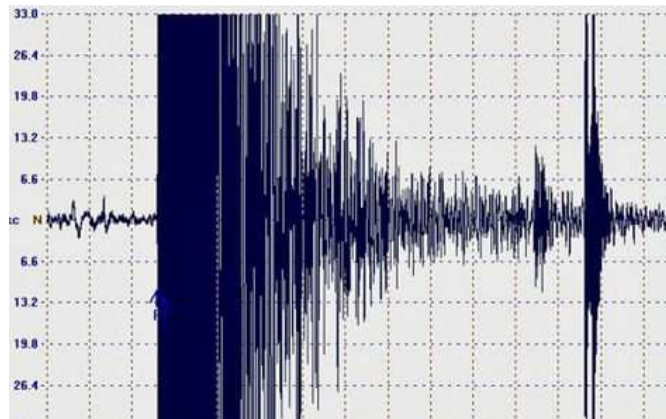
PROSPEZIONE DELLE ONDE SUPERFICIALI  
MEDIANTE LA PROVA M.A.S.W.

**COMMITTENTE:**

**DOTT. GEOL. PIANESE LUIGI**

## INDICE GENERALE

1. INTRODUZIONE E PROSPETTIVE DELL'ANALISI	PAG. 3
2. PROPAGAZIONE ONDULATORIA: TEORIA ED INDAGINI	PAG. 4
3. INDAGINE ESEGUITA ED ELABORAZIONE DEI DATI	PAG. 7
4. CONCLUSIONI E RISULTATI	PAG.11



## 1 – INTRODUZIONE E PROSPETTIVE DELL'ANALISI

La presente relazione viene redatta su commissione del Dott. Geol Pianese Luigi per conto dell'Amministrazione Comunale di Villaricca (NA) ed ha per oggetto la modellazione sismica di sito, mediante l'esecuzione di una prospezione sismica di tipo M.A.S.W. (Multichannel Analysis Surface Waves), inerente al progetto tecnico finalizzato alla variante urbanistica per la realizzazione di un'area parcheggio pubblico e completamento impianto sportivo al Corso Italia nel Comune di Villaricca (NA). La prova eseguita in campagna (Foto 1) ha consentito di individuare sia la categoria di suolo di fondazione (D.M. 14/01/2008), mediante la misura delle  $V_{s30}$ , che la sismo-stratigrafia del sito. Dopo aver eseguito un'analisi cinematica, con la valutazione delle velocità delle onde P ed S, ed ottenuto il coefficiente di Poisson, saranno calcolati i moduli dinamici.



**Foto 1:** fase di esecuzione della prospezione sismica M.A.S.W., elemento portante dell'analisi sismica eseguita.

Secondo le N.T.C. 2008 (D.M. 14/01/2008), le prospezioni sismiche non sono soggette a certificazione, in quanto non contemplate dalla circolare 349 STC del 16 dicembre 1999.

## 2 – PROPAGAZIONE ONDULATORIA: TEORIA ED INDAGINI

Quando in un punto generico del suolo, o di un qualunque mezzo elastico, viene provocata una vibrazione artificiale, causata da una qualunque sollecitazione di intensità elevata, quello che si viene a creare è una propagazione energetica di alta frequenza, che si diffonde nel mezzo stesso in tutte le direzioni sotto forma di onde. Le siffatte onde si distinguono in:

- ✚ Onde di love o di Rayleigh, onde di tipo  $r$  o superficiali.
- ✚ Onde trasversali o di distorsione, onde di tipo  $s$ .
- ✚ Onde longitudinali o di compressione e dilatazione, onde di tipo  $p$ .

Le onde di volume (onde  $p$  e onde  $s$ ) sono quelle onde che si propagano dalla sorgente sismica attraverso il volume del mezzo interessato, in tutte le direzioni; le onde  $p$  sono onde compressionali o longitudinali, mentre le onde  $s$  o onde trasversali, sono tali da provocare, nel materiale attraversato, oscillazioni ortogonali alla direzione di propagazione dell'onda stessa.

La relazione che lega la velocità delle onde longitudinali a quella delle onde trasversali è:  $V_p = \sqrt{3}V_s$

Quando un'onda  $s$  insieme ad un'onda  $p$  incidono su una superficie libera vengono in parte riflesse ed in parte generano un'ulteriore onda, data dalla composizione vettoriale delle due, che si propaga sulla superficie stessa, chiamata onda di Rayleigh.

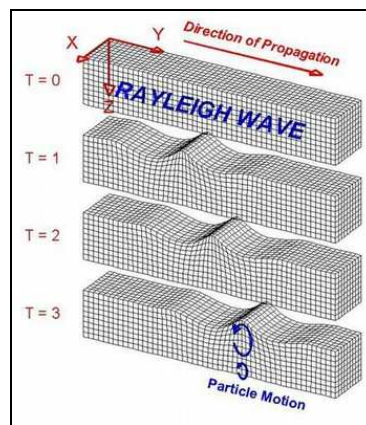
Le onde di Rayleigh sono più lente delle onde di taglio:  $V_R = 0.9V_s$ ,

e la loro propagazione dipende da esse.

Le onde di Rayleigh (Figura 1) si differenziano dalle onde di Love, in quanto sono polarizzate in un piano verticale. La velocità delle onde sismiche risulta pertanto estremamente variabile a seconda delle proprietà fisiche del terreno stesso: è minima nei terreni sciolti e massima nelle rocce compatte, per cui risulta direttamente proporzionale alla consistenza litologica. Di regola la velocità di propagazione delle onde sismiche tende ad aumentare con la profondità per effetto della compattazione dovuta alle pressioni litostatiche.

E' interessante notare che a seguito di una sollecitazione la propagazione ondulatoria in un mezzo elastico omogeneo ed isotropo, avviene in tutte le direzioni pertanto la rappresentazione ondulatoria può essere schematizzata

attraverso delle superfici sferiche che, man mano che ci si allontana dalla sorgente, tendono a divenire dei piani. Nei mezzi elastici reali le onde in questione disperdono energia seguendo leggi molto complesse ma empiricamente definibili, a causa di vari parametri, quali la densità, la profondità, la sedimentazione ed altri, che caratterizzano le condizioni stratigrafiche del sito. In base al teorema di Huygens ciascun punto del fronte d'onda è a sua volta sorgente dell'onda ed è per questo motivo che l'analisi di un'onda è particolarmente indicata per modellare ciascuna proprietà intrinseca del terreno.

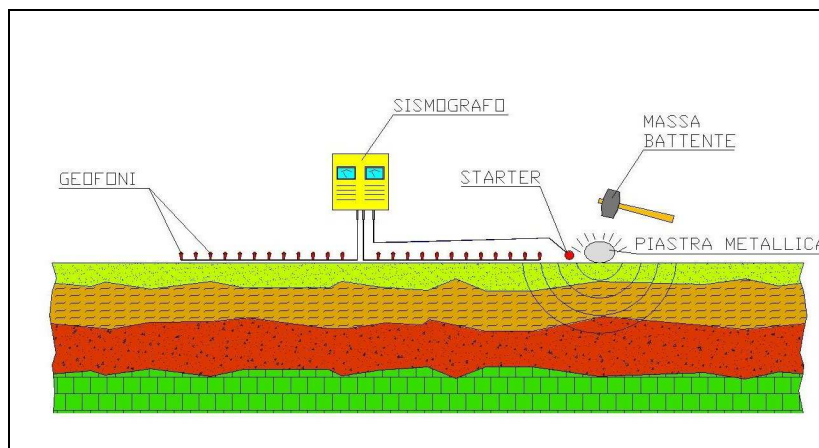


**Figura 1:** rappresentazione grafica della propagazione delle onde di Rayleigh.

Per la determinazione delle velocità delle onde di taglio  $V_s$  la procedura utilizzata è una speciale metodologia sismica denominata M.A.S.W. (Multichannel Analysis Of Surface Waves), per la cui esecuzione è necessario effettuare i seguenti passaggi:

- utilizzo di una sorgente attiva per l'energizzazione durante l'acquisizione dei dati di campo,
- acquisizione dei dati con geofoni a componente verticale particolarmente sensibili alle basse frequenze: geofoni da 4,5 Hz, registrazione simultanea di 24 canali,
- valutazione dello spettro di velocità,
- determinazione della curva di dispersione,
- inversione della siffatta curva per ottenere l'andamento della velocità di taglio nel terreno.

In seguito ad una energizzazione del terreno, ovvero ad un forte colpo di martello su di una piastra di alluminio, vengono propagate le onde superficiali di Rayleigh che vengono registrate da una serie di geofoni, con spacing definito, lungo uno stendimento rettilineo, collegati ad un sismografo multicanale (Figura 2).



**Figura 2:** schema semplificato della fase di esecuzione della prova.

I dati raccolti, che rappresentano le varie velocità nel mezzo, vengono successivamente analizzati attraverso analisi matematiche e computazionali, estremamente complicate. Ogni geofono deve essere capace di acquisire dati aventi frequenze molto basse e la registrazione deve prevedere la misurazione dello smorzamento delle onde man mano che queste si allontanano dalla sorgente. Fatto ciò è necessario considerare tutte le frequenze dello spettro di risposta, che si basa sull'analisi diretta, nello spazio di Fourier, delle frequenze delle onde prodotte. Lo spazio di Fourier è particolarmente utile a caratterizzare oggetti misurabili e soprattutto le quantità fisiche che presentano un carattere ondulatorio. Esso permette una rappresentazione spettrale, in termini della frequenza, che diventa variabile fondamentale e non derivata come nel caso di uno spazio di Argand-Gauss generico. L'esplorazione geofisica con le onde di superficie è particolarmente indicata nell'ambito degli studi di micro-zonazione sismica perché permette di ottenere con semplicità ed economicità le velocità di propagazione delle onde  $s$  nel sottosuolo in ottemperanza alla normativa vigente.

### 3. INDAGINE ESEGUITA ED ELABORAZIONE DEI DATI

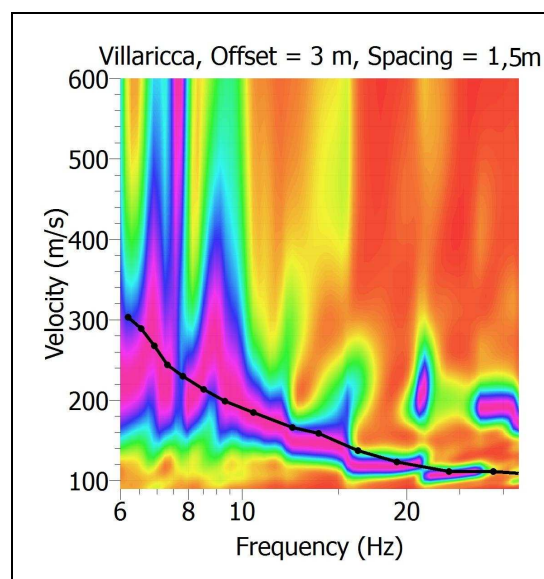
Nell'area di interesse progettuale è stata eseguita una prospezione sismica M.A.S.W. mediante l'utilizzo di un sismografo M.A.E. A6000 S 24 bit 24 canali. con uno stendimento dalle seguenti caratteristiche:

- l'energizzazione è stata indotta da una battitura, con un maglio da 8 kg, su di una piastra di alluminio, con diametro di 20 cm, ed è stato utilizzato come starter un geofono verticale geospace a 14Hz.
- Lo stendimento geofonico è stato realizzato con 24 geofoni verticali da 4,5 Hz.
- L'offset usato è di 3 m e con spacing tra i vari geofoni pari a 1,50 m.

In particolare :

- la valutazione dello spettro di velocità, la determinazione della curva di dispersione e l'inversione della stessa curva per ottenere l'andamento della velocità delle onde di taglio nel terreno sono state effettuate con una serie di programmi di elaborazione numerica.
- Ciascuna analisi eseguita è stata valutata nello spazio delle frequenze, detto anche dominio di Fourier, per la semplicità di analisi e la riduzione consequenziale del rumore di fondo.

La figura 3 mostra lo spettro di frequenza complessivo dell'analisi effettuata, che è l'osservabile che analizzeremo per ricavare le  $V_{s30}$  e, individuata con pallini neri, la frequenza fondamentale.



**Figura 3:** spettro di frequenza complessivo dell'analisi effettuata e, in nero, frequenza fondamentale.

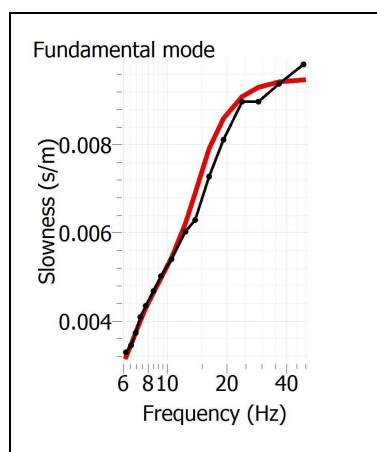
E' possibile riconoscere i sismostrati riportati in tabella 1.

	Spessore (m)	Velocità (onda S) (m/s)	Velocità (onda P) (m/s)
Strato 1	0.78	114.19	323.54
Strato 2	0.63	127.41	333.34
Strato 3	0.31	133.92	360.94
Strato 4	0.56	161.77	372.77
Strato 5	0.18	209.53	476.93
Strato 6	6.35	213.74	486.65
Strato 7	0.29	236.16	800.15
Strato 8	0.33	255.67	957.09
Strato 9	0.94	271.39	996.11
Strato 10	3.08	282.42	1179.51
Strato 11	2.87	290.97	1369.37
Strato 12	2.35	318.23	1672.75
Strato 13	2.06	400.07	1873.05
Strato 14	4.14	424.68	1977.23
Strato 15	3.97	437.55	2002.07
Strato 16	1.16	539.24	2033.55

**Tabella 1:** sismo stratigrafia del sito di interesse progettuale.

La figura 4 mostra in nero l'andamento dei punti sperimentali corrispondenti ai reciproci delle velocità delle onde in esame. La curva in rosso rappresenta la curva teorica che meglio fitta i suddetti dati sperimentali. In particolar modo il misfit corrispondente oscilla intorno al 3 ed il 10 per cento.





**Figura 4:** in nero l'andamento dei punti sperimentali corrispondenti ai reciproci delle velocità delle onde in esame. In rosso è rappresentata la curva teorica che meglio fitta i suddetti dati sperimentali.

Per risolvere il problema della determinazione della categoria di suolo, considerando la tecnica M.A.S.W., è necessario rapportare i dati ottenuti dall'analisi precedente con la relazione standard, che rispetta la normativa vigente. In particolar modo si attuerà una sorta di media armonica delle velocità ( $v_i$ ), con pesi dati dagli spessori degli strati analizzati ( $h_i$ ) attraverso il programma di analisi. Tale media è rapportata allo spessore standard di 30 metri e si può riferire alla relazione da usare nel modo seguente:

$$V_{s30} = \frac{30m}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_i}}$$

Secondo la normativa vigente (DM 14 gennaio 2008), ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto si può utilizzare un approccio semplificato che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento. La categoria di suolo di fondazione dipende dai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità ( $V_{s30}$ ).

Nella fattispecie i valori delle  $V_{s30}$  ottenuti fanno sì che al sito investigato possa essere attribuita la categoria di sottosuolo "C", dal momento che le  $V_{s30}$  sono pari a 277 m/s, corrispondente a:

*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < NSPT_{,30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < cu_{,30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina).*

Dopo aver eseguito un'analisi cinematica, con la valutazione delle velocità delle onde P e S, ed ottenuto il coefficiente di Poisson, è possibile calcolare i moduli dinamici (Tabella 2) con le seguenti formule:

$$\begin{aligned} \mu &= V_s^2 \gamma, \\ K &= \gamma \left( V_p^2 - \frac{4}{3} V_s^2 \right) \\ E &= \frac{\mu}{\gamma} \frac{3K}{V_p^2 - V_s^2} \end{aligned} \quad \begin{aligned} \nu &= \frac{y^2 - 2}{2(y^2 - 1)} \\ y &\equiv \frac{V_p^2}{V_s^2} \end{aligned}$$

Il modulo di Young è indicato con la lettera "E", il modulo di Taglio è indicato con la lettera "μ" mentre il il modulo Bulk è indicato con la lettera "K".

	Coeff. di Young	Modulo di Bulk	Coeff. di incompr.	Coeff. di Poisson
Strato 1	455.81	1067.8	159.503	0.428
Strato 2	608.556	1185.65	215.12	0.414
Strato 3	675.054	1409.53	237.665	0.42
Strato 4	959.915	1379.04	346.793	0.383
Strato 5	1606.22	2238.56	581.791	0.38
Strato 6	1671.52	2331.19	605.405	0.38
Strato 7	2146.69	7498.89	739.072	0.452
Strato 8	2532.13	10983.9	866.231	0.461
Strato 9	3069.04	12758.9	1051.11	0.459
Strato 10	3345.62	18336.9	1138.28	0.469
Strato 11	3567.61	25149.9	1208.25	0.476
Strato 12	4281.46	38005.	1445.24	0.481
Strato 13	6743.36	47022.1	2284.18	0.476
Strato 14	7597.06	52360.4	2573.85	0.475
Strato 15	8059.59	53559.9	2732.21	0.474
Strato 16	13002.2	57303.	4446.17	0.462

**Tabella 2:** coefficiente di Poisson (Adimensionale) e moduli dinamici (Kg/cm<sup>2</sup>).

#### 4. CONCLUSIONI E RISULTATI

Su commissione del Dott. Geol Pianese Luigi per conto dell'Amministrazione Comunale di Villaricca (NA) è stata eseguita una prospezione sismica di tipo M.A.S.W. (Multichannel Analysis Surface Waves), al Corso Italia nel Comune di Villaricca (NA). La prova eseguita in campagna ha consentito di individuare sia la categoria di suolo di fondazione (D.M. 14/01/2008), mediante la misura delle  $V_{S30}$ , che la sismo-stratigrafia del sito. Nella fattispecie i valori delle  $V_{S30}$  ottenuti fanno sì che al sito investigato possa essere attribuita la categoria di sottosuolo "C", dal momento che le  $V_{S30}$  sono pari a 277 m/s.

Dopo aver eseguito un'analisi cinematica, con la valutazione delle velocità delle onde P ed S, ed ottenuto il coefficiente di Poisson, sono stati calcolati i moduli dinamici