

# Geotecnhibla s.r.l

Laboratorio autorizzato per esecuzione e certificazione di indagini geognostiche, prelievo di campioni e prove in sito di cui all'art. 59 del D.P.R. n. 380/2001" con Decreto n° 4538 del 13-04-2012 - Sede Operativa Via U.Foscolo, 161/A Int. 40 –

96012 Avola (SR)

Tel/fax 0931-833124

email:geotecnhiblasrl@libero.it

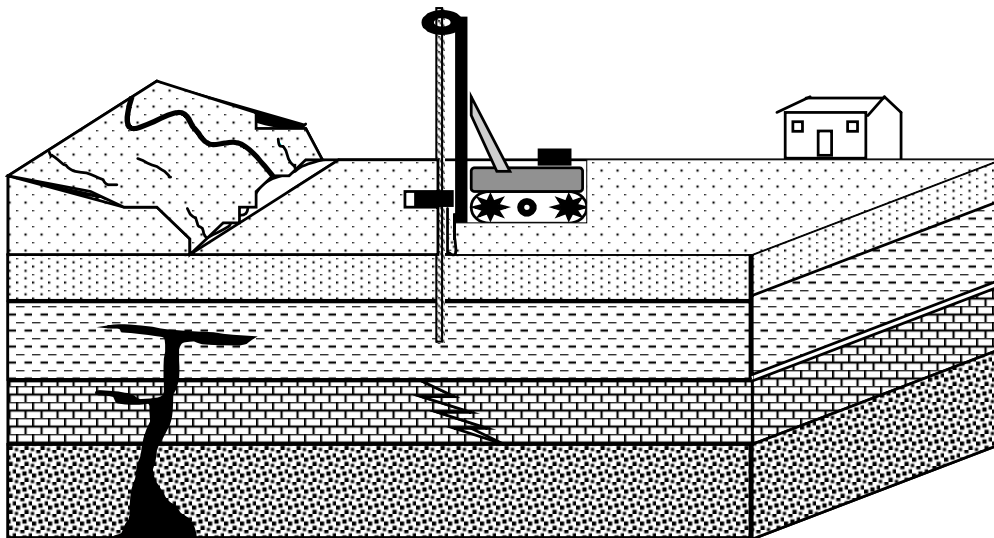


## PROGETTO:

INDAGINE GEOFISICA TIPO MASW ESEGUITA PER IL PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA REALIZZAZIONE DI UNA NUOVA COSTRUZIONE DA ADIBIRE AD ASILO NIDO IN CONTRADA CISTERNAZZI A RAGUSA

COMMITTENTE: Comune di Ragusa

## RELAZIONE TECNICA



**IL RESPONSABILE DI SITO**

INDAGINI GEOGNOSTICHE - GEOTECNICHE - AVOLA (SR)  
Sede Operativa: Via U. Foscolo, 161/A - 96012 Avola (SR)  
Tel/Fax: 0931-833124  
E-mail: geotecnhiblasrl@libero.it

**DR GEOL. RANIERI SANTAROSA**

**COMUNE DI RAGUSA  
PROVINCIA DI RAGUSA**

**INDAGINE GEOFISICA TIPO MASW ESEGUITA PER IL PROGETTO DI FATTIBILITA'  
TECNICO ECONOMICA REALIZZAZIONE DI UNA NUOVA COSTRUZIONE DA ADIBIRE  
AD ASILO NIDO IN CONTRADA CISTERNAZZI A RAGUSA**

**COMMITTENTE: Comune di Ragusa**

**RELAZIONE-TECNICA-SULLE-INDAGINI**

**INDAGINE GEOFISICA TIPO MASW ESEGUITA PER IL PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA REALIZZAZIONE DI UNA NUOVA COSTRUZIONE DA ADIBIRE AD ASILO NIDO IN CONTRADA CISTERNAZZI A RAGUSA**

**PREMESSA**

**PROSPEZIONI SISMICHE BASATE SULL'ANALISI DELLE ONDE SUPERFICIALI DI RAYLEIGH TECNICA MASW**

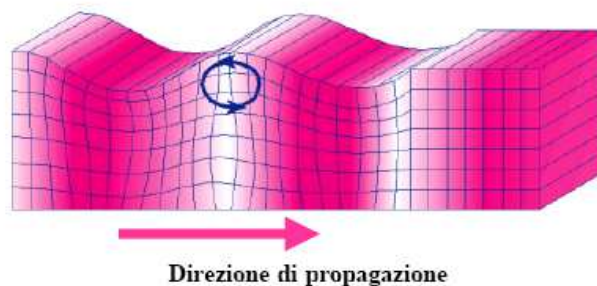
E' stato eseguito, nell'area in studio un' indagine sismica con metodologia M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves ovvero Analisi Multicanale delle onde superficiali di Rayleigh) al fine di individuare spessori e geometrie dei litotipi, le caratteristiche sismostratigrafiche degli stessi e per classificare sismicamente il suolo dell'area in studio.



**Indagine di sismica attiva metodologia M.A.S.W.**

Le onde di Rayleigh sono polarizzate in un piano verticale (Fig. A) e si generano in corrispondenza della superficie libera del mezzo quando viene sollecitato acusticamente. In questo tipo di onde le particelle descrivono un movimento di tipo ellittico la cui ampiezza decresce esponenzialmente con la distanza dalla superficie libera. L'asse maggiore delle ellissi è normale alla superficie libera del mezzo ed alla direzione di propagazione delle onde e le particelle compiono questo movimento ellittico in senso retrogrado alla direzione di propagazione delle onde che vengono così generate.

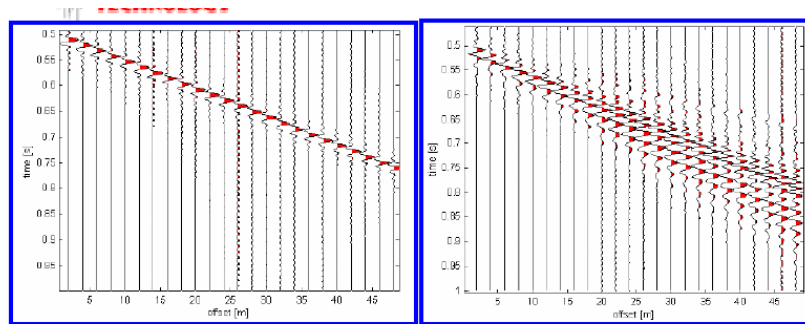
Le onde superficiali di Rayleigh, quando si propagano in un mezzo omogeneo, non presentano dispersione e la loro velocità è uguale a  $0.92 V_s$ . In un mezzo disomogeneo, quale la Terra, la loro velocità varia in funzione della lunghezza d'onda tra i limiti 0 e  $0.92 V_s$ . La teoria della propagazione delle onde superficiali è ben conosciuta ed è descritta dettagliatamente da Ewing et al. (1957).



**Fig. A - Rappresentazione grafica della propagazione delle onde superficiali di Rayleigh caratterizzata dall'oscillazione polarizzata in un piano verticale e con movimento delle particelle retrogrado rispetto al senso di propagazione dell'onda.**

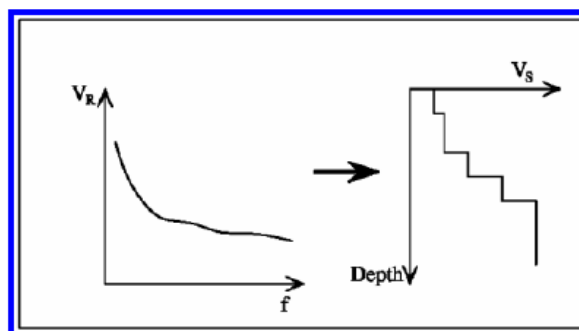
La determinazione della velocità delle onde di taglio  $V_S$  tramite le misure delle onde superficiali di Rayleigh risulta particolarmente indicata per suoli altamente attenuanti e ambienti rumorosi poiché la percentuale di energia convertita in onde di Rayleigh è di gran lunga predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde  $P$  (7%) ed  $S$  (26%). I metodi basati sull'analisi delle onde superficiali di Rayleigh forniscono una buona risoluzione e non sono limitati, a differenza del metodo a rifrazione, dalla presenza di inversioni di velocità in profondità. Inoltre la propagazione delle onde di Rayleigh, anche se influenzata dalla  $V_p$  e dalla densità, è funzione innanzitutto della  $V_s$ , parametro di fondamentale importanza per la caratterizzazione geotecnica di un sito secondo quanto previsto dall'O.P.C.M. Infatti, mentre la velocità delle onde  $P$  misurata in terreni saturi dipende in maniera sostanziale dalle vibrazioni trasmesse dal fluido interstiziale e non dallo

scheletro solido del materiale, la velocità delle onde  $S$  è caratteristica delle vibrazioni trasmesse dal solo scheletro solido e, pertanto, a differenza delle onde  $P$ , risulta rappresentativa delle reali proprietà meccaniche del terreno. La proprietà fondamentale delle onde superficiali di Rayleigh, sulla quale si basa l'analisi per la determinazione delle  $V_s$ , è costituita dal fenomeno della dispersione che si manifesta in mezzi stratificati (Fig. B).



**Fig. B – Segnali sismici che evidenziano (in rosso) le onde superficiali di Rayleigh in un mezzo non stratificato (a sinistra) e in un mezzo stratificato (a destra). Risulta evidente il fenomeno della dispersione delle onde superficiali di Rayleigh in un mezzo stratificato.**

Pertanto, analizzando la curva di dispersione, ossia la variazione delle velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della lunghezza d'onda (o della frequenza, che è l'inverso della lunghezza d'onda), è possibile determinare la variazione della velocità delle onde di taglio con la profondità tramite il processo d'inversione (Fig. C).



**Fig. C – Velocità delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza (a sinistra) e profilo di velocità delle onde di taglio in funzione della profondità (a destra) ricavato tramite processo d'inversione**

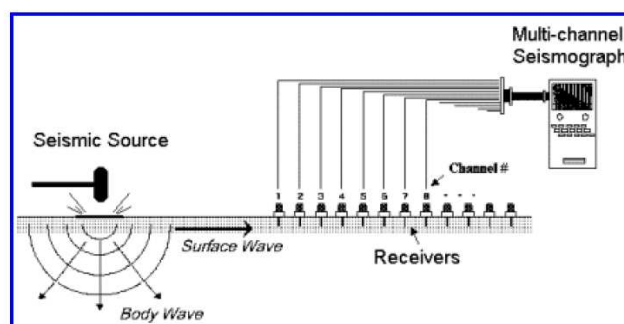
La velocità delle onde di Rayleigh ( $V_R$ ) è pari a circa il 90% delle onde di taglio ( $V_s$ ). Le tecniche di analisi delle onde di Rayleigh vengono realizzate con procedure operative più

onerose della comune sismica a rifrazione e delle prove in foro e hanno un grado di incertezza nella determinazione della  $V_s < 20\%$ .

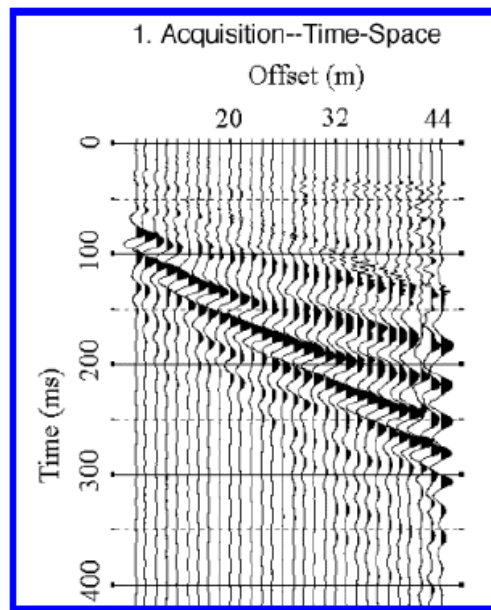
## PROSPEZIONI SISMICHE MASW

L'analisi multicanale delle onde superficiali di Rayleigh – MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) – è un efficiente metodologia sismica per la determinazione delle velocità delle onde di taglio  $V_s$ . Tale metodo utilizza le onde superficiali di Rayleigh registrate da una serie di geofoni lungo uno stendimento rettilineo e collegati ad un comune sismografo multicanale. Le onde di Rayleigh, durante la loro propagazione vengono registrate lungo lo stendimento di geofoni e vengono successivamente analizzate attraverso complesse tecniche computazionali, simili alla tecnica SASW, basate su un approccio di riconoscimento di modelli multistrato di terreno. L'intera procedura per una MASW consiste di 4 passi fondamentali:

A) Ripetute acquisizioni multicanale dei segnali sismici (Fig. 2), generati da una sorgente energizzante artificiale (mazza battente su piastra), lungo uno stendimento rettilineo di sorgente geofoni (Fig. 1) che viene spostato lungo la linea dello stendimento stesso dopo ogni acquisizione;

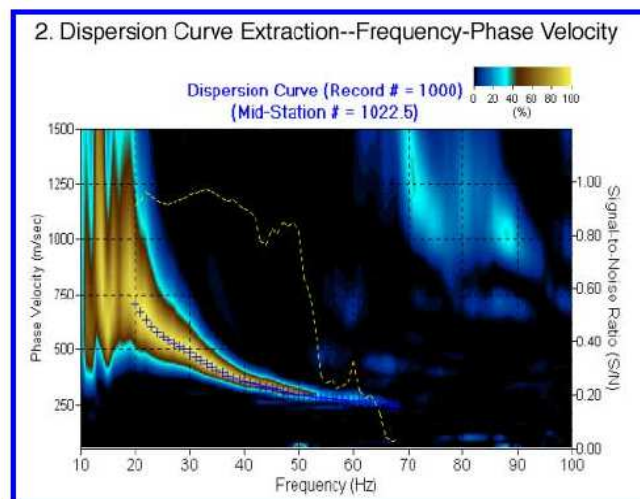


**Fig. 1 – Schema di acquisizione dei segnali sismici con metodo MASW.**



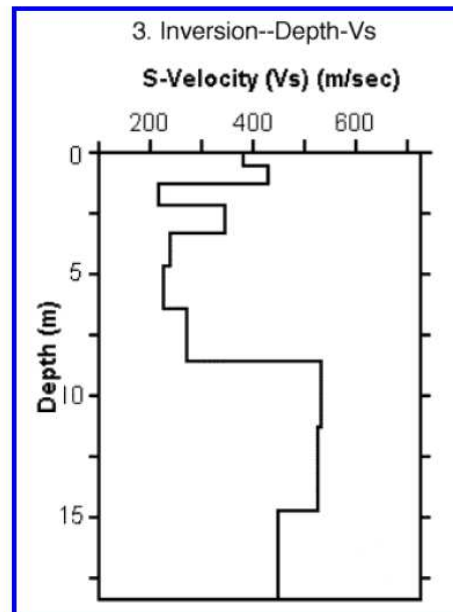
**Fig. 2 – Segnali sismici acquisiti dai geofoni lungo uno stendimento.**

B) Estrazione del modo fondamentale dalle curve di dispersione delle velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh (una curva per ogni acquisizione) (Fig. 3);



**Fig. 3 – Curva di dispersione delle velocità di fase in funzione della frequenza delle onde superficiali di Rayleigh.**

C) Inversione delle curve di dispersione per ottenere profili verticali 1D delle  $V_s$  (Fig. 4) (un profilo verticale per ogni curva di dispersione, posizionato nel punto medio di ogni stendimento geofonico);



**Fig. 4 – Modello di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) ottenuto dalla curva di dispersione della velocità di fase delle onde di Rayleigh attraverso l'inversione di un modello multistrato di terreno. La velocità delle onde di taglio è approssimativamente pari a  $1.1VR$  ( $VR$ =velocità delle onde di Rayleigh) e la profondità è pari a circa  $0.4 \cdot \lambda$  (=lunghezza d'onda).**

D) Ricostruzione di una sezione (modello 2D) delle  $V_s$  dei terreni con approccio multicanale (con almeno due acquisizioni dei segnali, ovvero due spostamenti lungo la linea dello stendimento). Quando vengono generate onde sismiche usando una sorgente impattante come un martello su una piastra vengono generate sia onde di volume ( $P$  e  $S$ ), sia onde di superficie (Rayleigh e Love), che si propagano in tutte le direzioni. Alcune di queste onde vengono riflesse e disperse quando incontrano oggetti superficiali o poco profondi (ad esempio, fondazioni di edifici, canali sotterranei, trovanti lapidei, ecc.) e diventano rumore. Inoltre, vengono quasi sempre rilevate vibrazioni da rumore ambientale proveniente dal traffico veicolare, dall'attività industriale e, in generale, dall'attività umana. Il vantaggio principale dell'approccio multicanale della tecnica MASW sta nella sua intrinseca capacità di distinguere tutte queste onde dovute al rumore e di isolarle dalle onde superficiali di Rayleigh evidenziando solo il modo fondamentale di oscillazione dei terreni. L'isolamento del modo fondamentale di oscillazione si basa su molteplici caratteristiche sismiche dei segnali.



Le proprietà della dispersione di tutti i tipi di onde (di volume e superficiali) sono visualizzate attraverso un metodo di trasformazione (basato sull'analisi spettrale dei segnali sismici) del campo d'onda che converte direttamente i segnali sismici acquisiti in una immagine dove un modello di dispersione è riconosciuto nella distribuzione dell'energia trasformata in oscillazioni. Successivamente, il modo fondamentale (proprietà fondamentale della dispersione della velocità di fase delle onde di Rayleigh) viene estratto da un modello specifico. Tutte le altre onde (riflesse, disperse, modi superiori delle onde superficiali, noise ambientale) vengono quindi rimosse durante il processo di elaborazione. Ai fini della caratterizzazione del tipo di suolo dell'area investigata è stata eseguita una prospezione sismica MASW con uno stendimento geofonico all'interno dell'area in esame. L'indagine è stata condotta mediante l'utilizzo di sismografo M.A.E. A6000S/E 24 bit 24 canali. L'elevata dinamica (24 bit di risoluzione) unita alla notevole memoria per l'acquisizione, ne consente l'utilizzo per tecniche di indagine di tipo non convenzionale. La sorgente sismica è costituita da una massa battente (mazza dal peso di circa 10 kg) che batte su una piastra di alluminio. Il colpo del martello funge contemporaneamente da starter poichè collegato a mezzo di trigger al sismografo. Le oscillazioni del suolo sono state rilevate da 24 geofoni (Geospace – 4.5Hz) posizionati lungo il profilo di indagine con offset di 1.5m (totale lunghezza stendimento= 40 m. La lunghezza dello stendimento è stato sufficiente a determinare la sismostratigrafia dei terreni fino alla profondità di oltre 30.00 m nell' area di progetto. I segnali sismici acquisiti sono stati successivamente elaborati con apposito programma (SWAN versione 1.4 della Geostudi Astier) per la determinazione della sismostratigrafia del sottosuolo.

## ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI

Le acquisizioni dei segnali, di lunghezza temporale  $T=1.4s$ , sono state effettuate con passo di campionamento  $dt=0.5ms$ . La frequenza di campionamento è data da:  $f_{campionamento}=1/dt=2000Hz$ . La frequenza massima dei segnali, ovvero la frequenza di Nyquist, è data da:  $f_{Nyquist} = 1/2dt=1000Hz$ . La frequenza minima dei segnali è data da:  $f_{min}=1/T=0.714Hz$ . L'elaborazione dei dati e l'inversione delle curve di dispersione delle velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh sono state effettuate con il programma SWAN versione 1.4 della Geostudi Astier che ha permesso di eseguire l'intero processo di elaborazione delle sezioni sismostratigrafiche delle  $V_s$ .

Dalla disamina della prospezione geofisica eseguita si è definito inoltre il valore di  $V_{s,eq}$  cioè la velocità media di propagazione entro 30,00 metri di profondità delle onde di taglio calcolata con la seguente espressione:

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

Dove

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

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

$h_i$  = Spessore in metri dello strato  $i$ -esimo

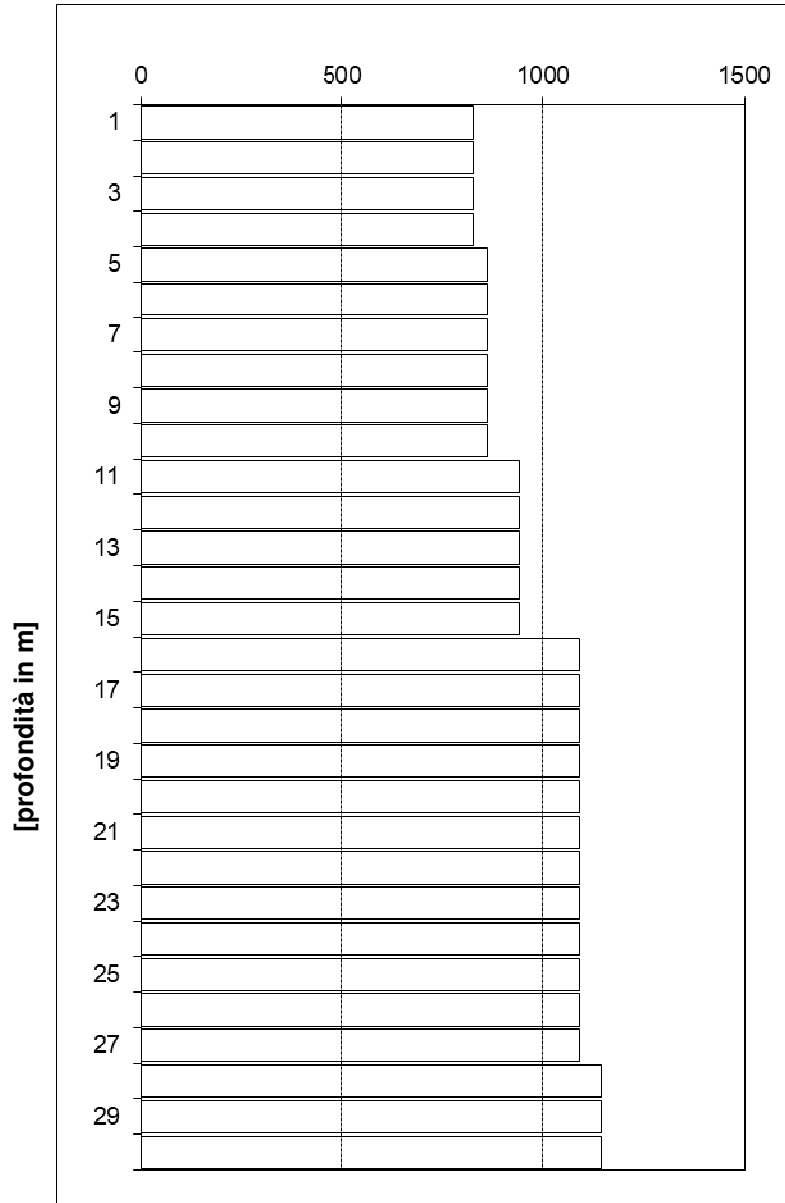
$V_i$  = Velocità dell'onda di taglio  $i$ -esima

$N$  = Numero di strati

Masw1

Vs in m/s

Vs m/s	m dal p.c.	Sismostrati
827	1	1
827	2	1
827	3	1
827	4	1
863	5	2
863	6	2
863	7	2
863	8	2
863	9	2
863	10	2
941	11	3
941	12	3
941	13	3
941	14	3
941	15	3
1092	16	4
1092	17	4
1092	18	4
1092	19	4
1092	20	4
1092	21	4
1092	22	4
1092	23	4
1092	24	4
1092	25	4
1092	26	4
1092	27	4
1145	28	5
1145	29	5
1145	30	5



Vs,eq = 827 m/s

I principali parametri geodinamici sono i seguenti

Parametri fisici		I strato	II strato	III strato	IV strato	V strato
Velocita' onde longitudinali	$Vl=m/s$	1653	1725	1881	2182	2288
Velocita' onde trasversali	$Vs=m/s$	827	863	941	1092	1145
Peso di volume	$Y=gr/cc$	1,9	1,92	1,92	1,95	1,95
Caratteristiche elastiche						
Modulo di Poisson	$n$	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Modulo di Young	$Ed=$ $Kg/cmq$	34645,41	38124,80	45328,59	61989,16	68153,42
Modulo di Bulk	$K=$ $Kg/cmq$	34589,57	38065,91	45264,38	61837,85	67994,76
Modulo di rigidita'	$Gd=$ $Kg/cmq$	12994,65	14299,56	17001,24	23253,05	25564,99

## CLASSIFICAZIONE DEL SITO

Classificazione del D.M. 17/01/2018 "Norme tecniche per le costruzioni".

<i>Committente</i>	<b>Comune di Ragusa</b>
<i>Località</i>	<b>ASILO NIDO IN C.DA CISTERNAZZI - RAGUSA</b>
<i>Strumentazione utilizzata</i>	<b>Sismografo MAE A6000SE</b>
<i>Metodo di indagine</i>	<b>M.A.S.W.</b>
<i>Metodo di energizzazione</i>	<b>Mazza da 8 kg</b>
<i>Geometria dello stendimento</i>	<b>Lineare con 24 geofoni (4,5Hz) – interasse 1,5 m</b>

<b>VELOCITA' MEDIA DELLE ONDE SISMICHE DI TAGLIO <math>V_{s,eq}(m/s)</math></b>	<b>827</b>
<i>Dati i risultati, il sito in esame risulta classificato alla categoria di suolo di tipo</i>	<b>A</b>

<b>SUOLO</b>	<b>DESCRIZIONE LITOTECNICA</b>	<b><math>V_{s,eq}</math> (m/s)</b>
<b>A</b>	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s30} > 800$ m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m	<b>&gt;800</b>
<b>B</b>	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s	<b>360 ÷ 800</b>
<b>C</b>	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 metri, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalenti compresi tra 180 m/s e 360 m/s	<b>180 ÷ 360</b>
<b>D</b>	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 m/s e 180 m/s	<b>100 ÷ 180</b>
<b>E</b>	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m	

  
**GEOTECNIBLASRI s.r.l.**  
 INDAGINI GEOLOGICHE - GEOTECNICHE - STRUTTURALI  
 Sede Operativa: Via U. Foscolo, 16/A - 96012 Avola (SR)  
 Cod. Fisc. e P. IVA: 01351290893  
 Tel/Fax: 0931/833124  
 E-mail: geotecniblasri@libero.it

