

**PIANO DI LOTTIZZAZIONE RESIDENZIALE  
VIA SAN ZENONE**



Comune di  
Rossano Veneto



Provincia di  
Vicenza

Proponenti

EDILMARCO S.r.l.  
P.Iva 05211690267

**RELAZIONE  
GEOLOGICA**

Dicembre 2022

Collaboratori

Geom. Tonietto Erika

Progettista

Arch. Tonietto F. Antonio

Allegato

**D**

Comune di  
**ROSSANO V.TO**

# RELAZIONE GEOLOGICA GEOTECNICA E SISMICA



## Il relatore

Geol. Lilia Viero



## Progetto:

**PIANO DI LOTTIZZAZIONE  
RESIDENZIALE**

## Ubicazione :

*Via San Zenone*

## Committente:

**Edilmarco Srl**

Luglio 2022

Studio : Via Pecori Giraldi, 18 – 36061 Bassano del Grappa  
Tel 338 4840070 – mail: [liliaviero@gmail.com](mailto:liliaviero@gmail.com)

## INDICE

<b>PREMESSA.....</b>	<b>3</b>
<i>UBICAZIONE AREA D'INTERVENTO.....</i>	<i>4</i>
<b>RELAZIONE GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA</b>	
<b>1. CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE E MORFOLOGICHE.....</b>	<b>5</b>
<i>PLANIMETRIA GENERALE DEL PDL IN PROGETTO.....</i>	<i>6</i>
<i>ESTRATTO TAVOLA DELLA FRAGILITA' DEL TERRITORIO COMUNALE.....</i>	<i>7</i>
<b>2. CARATTERISTICHE STRATIGRAFICHE DELL'AREA IN ESAME.....</b>	<b>8</b>
<b>3. CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE DEL SOTTOSUOLO.....</b>	<b>8</b>
<i>ESTRATTO TAVOLA IDROGEOLOGICA DEL PAT.....</i>	<i>9</i>
<b>4. PERICOLOSITA' IDRAULICA NELL'AREA D'INTERVENTO.....</b>	<b>10</b>
<i>ESTRATTO CARTOGRAFIA CONSORZIO BRENTA CANALIZZAZIONI SUPERFICIALI.....</i>	<i>10</i>
<b>RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA</b>	
<b>1. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI DI FONDAZIONE ....</b>	<b>12</b>
<i>ALLEGATI : RISULTATI ED INTERPRETAZIONI PROVE PENETROMETRICHE DPSH.....</i>	<i>13</i>
<b>2. VERIFICHE AGLI STATI LIMITE (NTC 2018).....</b>	<b>17</b>
- <i>VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO.....</i>	<i>17</i>
- <i>VERIFICA ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO.....</i>	<i>20</i>
<b>3. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO.....</b>	<b>22</b>
- <i>INTERPRETAZIONE DELLE MISURE ESEGUITE.....</i>	<i>24</i>
- <i>IL MODELLO SISMICO LOCALE.....</i>	<i>28</i>
<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>30</b>
<i>DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA AMBITO D'INTERVENTO.....</i>	<i>31</i>
<b>ALLEGATO : INDAGINE SISMICA COMPLETA</b>	

## PREMESSA

La presente indagine geologica e caratterizzazione geotecnica del sottosuolo è stata eseguita per conto delle Edilmarco Srl in relazione al *nuovo piano di lottizzazione residenziale* da realizzare in Via San Zenone nel territorio comunale di Rossano Veneto.

Lo scopo principale dello studio è quello di determinare l'andamento delle caratteristiche geologiche e geotecniche dei terreni di fondazione, in osservanza alle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, emanate con D.M. 17.01.18 e alla Circolare esplicativa del 21.01.19 che riporta le relative istruzioni e applicazioni tecniche. La presente indagine riassume quindi la caratterizzazione sia geologica che geotecnica del sottosuolo dell'area d'intervento in quanto intrinsecamente correlate fra loro e documentate da indagini in sito oltre che dall'esperienza maturata dalla sottoscritta in zona.

Inoltre in materia di **rischio sismico**", si è provveduto a classificare il terreno di fondazione in base alle categorie di sottosuolo previste dal D.M. 2018, utilizzando i dati di una prospezione sismica condotta nelle vicinanze, mediante la tecnica HVSR (tromino), per conoscere la *frequenza* propria di risonanza di sito.

Pertanto, dopo aver consultato gli allegati progettuali, sono state dapprima individuate le caratteristiche morfologiche del territorio in esame, procedendo poi attraverso un'analisi stratigrafica dei terreni che andranno a costituire il substrato di fondazione dei futuri edifici residenziali in progetto; quindi sulla base dei risultati di alcune *Prove Penetrometriche Dinamiche* e di un paio di *prospezioni sismiche* condotte all'interno dell'ambito d'intervento, sono stati valutati i parametri geotecnici più significativi del substrato di fondazione dei futuri fabbricati residenziali in progetto.



# RELAZIONE GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA

## 1. CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE E MORFOLOGICHE

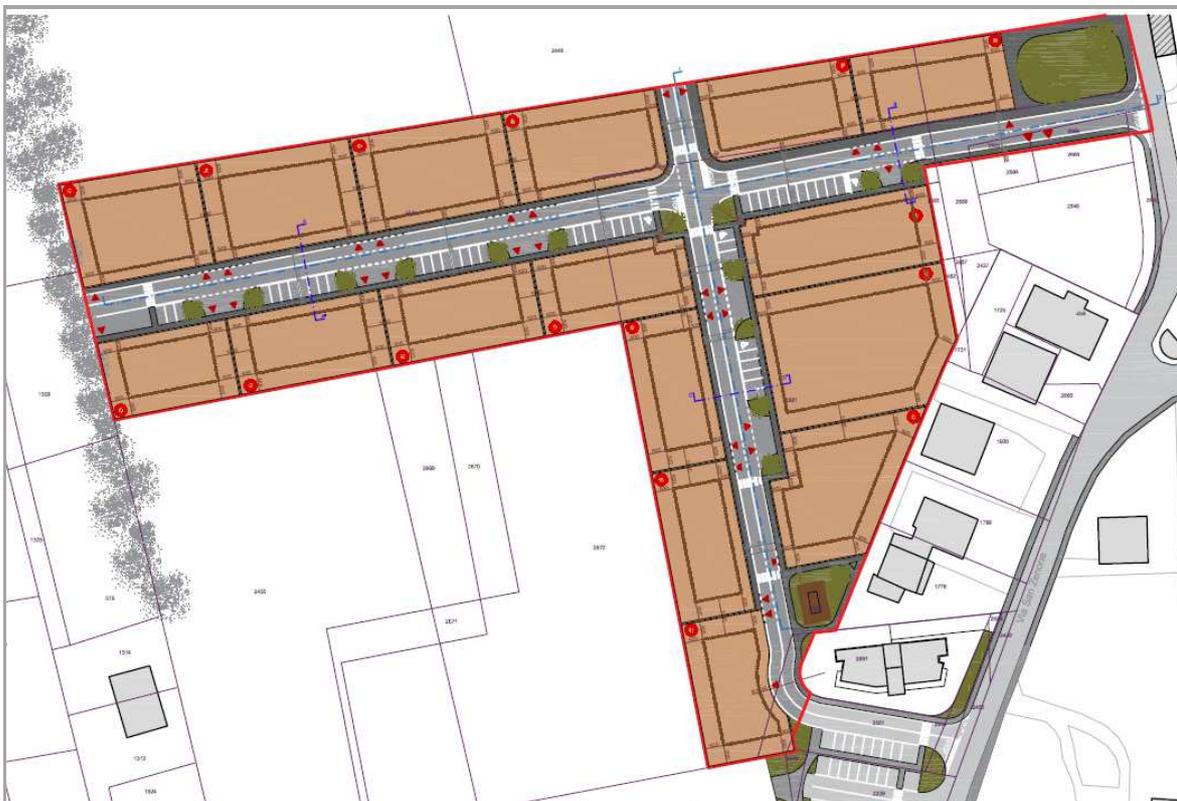
L'area in esame è ubicata a nord rispetto il centro abitato di Rossano, in località San Zenone, che si sviluppa sia ad est che ad ovest delle strada comunale per Loria, nell'ampia pianura alluvionale del fiume Brenta.

In tale zona il fiume ha più volte modificato il suo asse fluviale divagando ora in destra ora in sinistra ed incidendo così i suoi stessi depositi alluvionali, tanto che attualmente l'alveo si trova in posizione ribassata di 4 -5 m dalla quota del piano campagna circostante. Nella zona d'intervento sono infatti riconoscibili antichi tratti d'alveo abbandonati e successivamente riempiti da materiali alluvionali sciolti a granulometria sabbiosa fine.

Il territorio anche se pianeggiante presenta una pur lieve e graduale inclinazione verso S-SO secondo il deflusso idrico superficiale, ed è attraversato da numerose canalizzazione di scolo di proprietà consortile. La rete idrica è infatti piuttosto ramificata e vi sono diversi canali, rogge e fossi di proprietà consortile che garantiscono l'irrigazione dei campi coltivati oltre che lo smaltimento delle acque superficiali.

Il piano di lottizzazione in esame riguarda un ambito territoriale di 21.652 mq che comprende **17 ampi lotti edificabili** da 14.925 mq complessivi, **due strade centrali di penetrazione disposte in modo ortogonale** fra loro che occupano una superficie asfaltata di 4923 mq inclusi i marciapiedi e la futura pista ciclabile. I restanti 769 mq circa saranno mantenuti a verde ad uso pubblico, mentre per le aree private è stato considerato un'occupazione a verde pari al 58% circa in quanto le coperture e le pavimentazioni esterne si estenderanno per circa 6.275 mq all'interno dell'area edificabile del pdl.

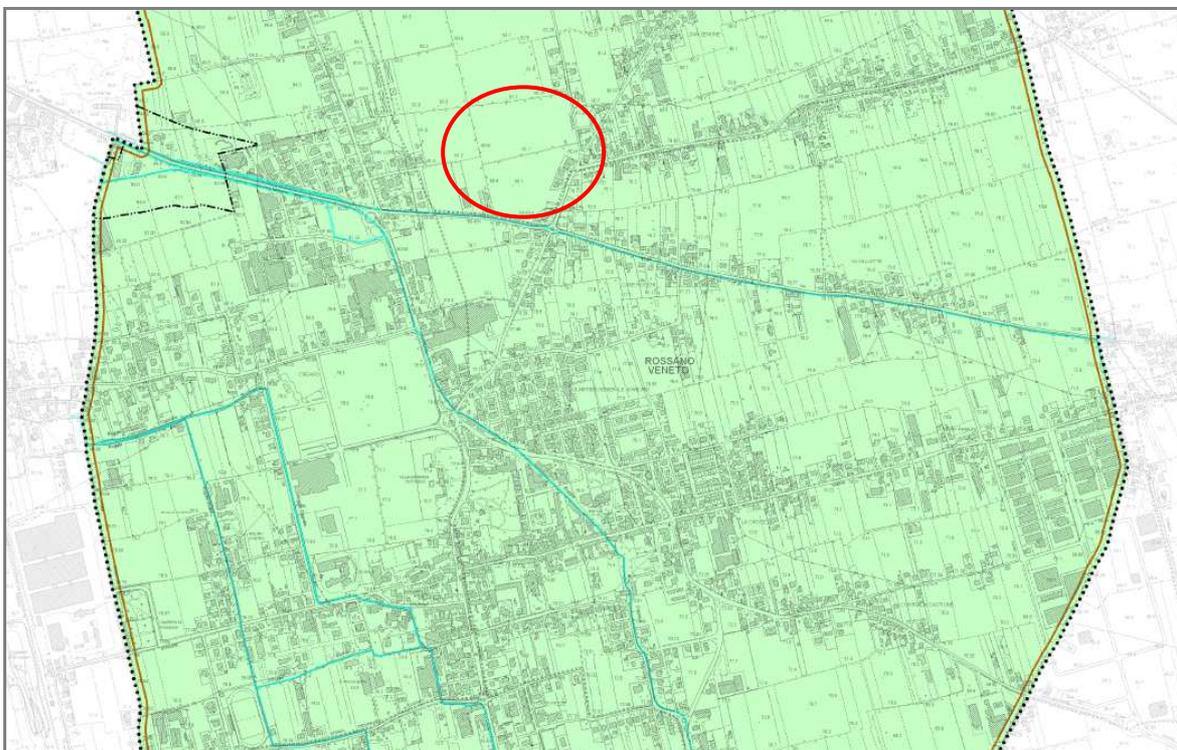
## PLANIMETRIA GENERALE DEL PDL IN PROGETTO



### SUPERFICI IN PROGETTO

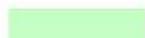
<b>OPERE DI URBANIZZAZIONE</b>	mq
strade	3135
marciapiedi e pista ciclabile	1723
parcheggi	1035
cabina Enel	65
<b>LOTTE EDIFICABILI</b>	
coperture e pavimentazioni	6275
giardini	8650
<b>AREE VERDI</b>	
pubbliche	769
<b>TOTALE AMBITO</b>	<b>21.652</b>

### ESTRATTO TAVOLA DELLA FRAGILITA' DEL TERRITORIO COMUNALE



### LEGENDA

#### Compatibilità geologica ai fini urbanistici



Area idonea



Area idonea a condizione

#### Altre componenti



Corsi d'acqua (alvei ed argini)/Zone di tutela di 100 m  
ai sensi dell'art. 41 della L.R. 11/2004



Classe rischio sismico (Zona 3)

## **2. CARATTERISTICHE STRATIGRAFICHE DELL'AREA IN ESAME**

Il sottosuolo dell'area in esame è contraddistinto da una potente successione di alluvioni medio-grossolane, antiche e recenti del fiume Brenta, poggianti sul basamento roccioso di età terziaria che è stato individuato ad oltre un centinaio di metri di profondità.

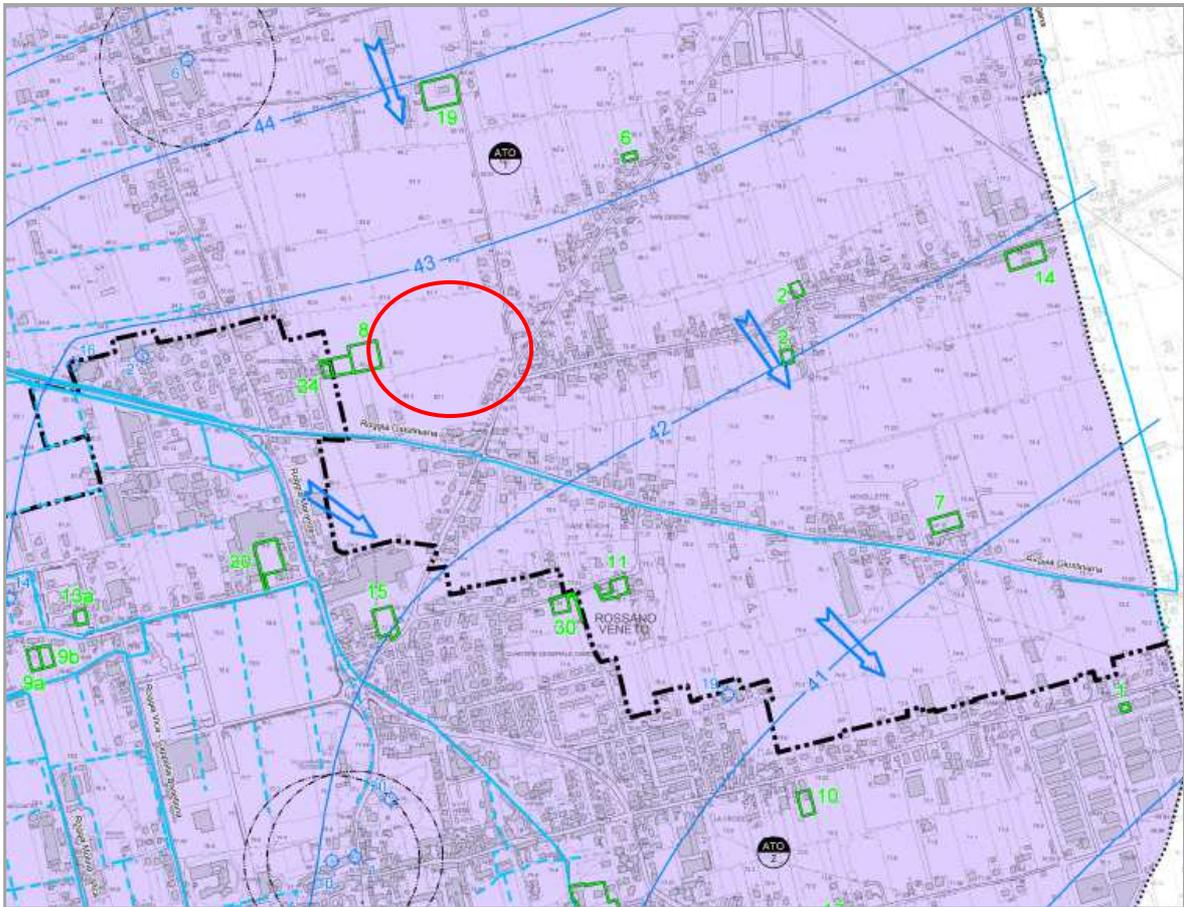
Questo materasso incoerente si compone di "strati" ghiaioso-ciottolosi sciolti in matrice sabbiosa fine che prevale localmente in singoli livelli di spessore decimetrico; data la buona classazione degli elementi grossolani, si possono trovare nella pianura alluvionale circostante e soprattutto in prossimità dell'alveo, numerosi siti estrattivi in cui vengono coltivate le ghiaie più pure ad ampio uso commerciale.

## **3. CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE DEL SOTTOSUOLO**

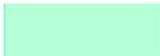
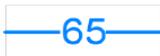
Nel sottosuolo dell'area in esame ha sede una falda acquifera alimentata in gran parte dalle dispersioni in alveo del vicino fiume Brenta e, secondariamente, dagli apporti diretti dovuti sia alle precipitazioni meteoriche sia alle infiltrazioni della rete d'irrigazione superficiale; la quota di tale superficie freatica, misurata nei pozzi idrici presenti in zona, varia dai 40 - 45 m s.l.m. che, rispetto la superficie del piano campagna (80 m s.l.m.) corrisponde a - 35 / - 40 m circa di profondità.

I depositi alluvionali ghiaioso-sabbiosi che raggiungono una potenza complessiva di diverse decine di metri, rappresentano *l'acquifero indifferenziato* sotterraneo contenente un'unica falda freatica principale le cui escursioni stagionali dipendono dall'alternarsi delle fasi di piena e di magra del fiume Brenta e di tutti i corsi d'acqua passanti nelle vicinanze.

**ESTRATTO TAVOLA IDROGEOLOGICA DEL PAT**



**LEGENDA**

	Confine comunale		Limiti degli Ambiti Territoriali Omogenei di P.A.T. con relativa numerazione
	Corso d'acqua permanente		Corso d'acqua temporaneo
	Area con profondità falda freatica compresa tra 5 e 10 m dal p.c.		Area con profondità falda freatica > 10 m dal p.c.
	Linea isofreatica e sua quota assoluta		Direzione di flusso della falda freatica
	Pozzo freatico		Pozzo freatico utilizzato come acquedotto pubblico e relativa fascia di rispetto

**INTERVENTI DI VARIANTE N. 4 AL PI**

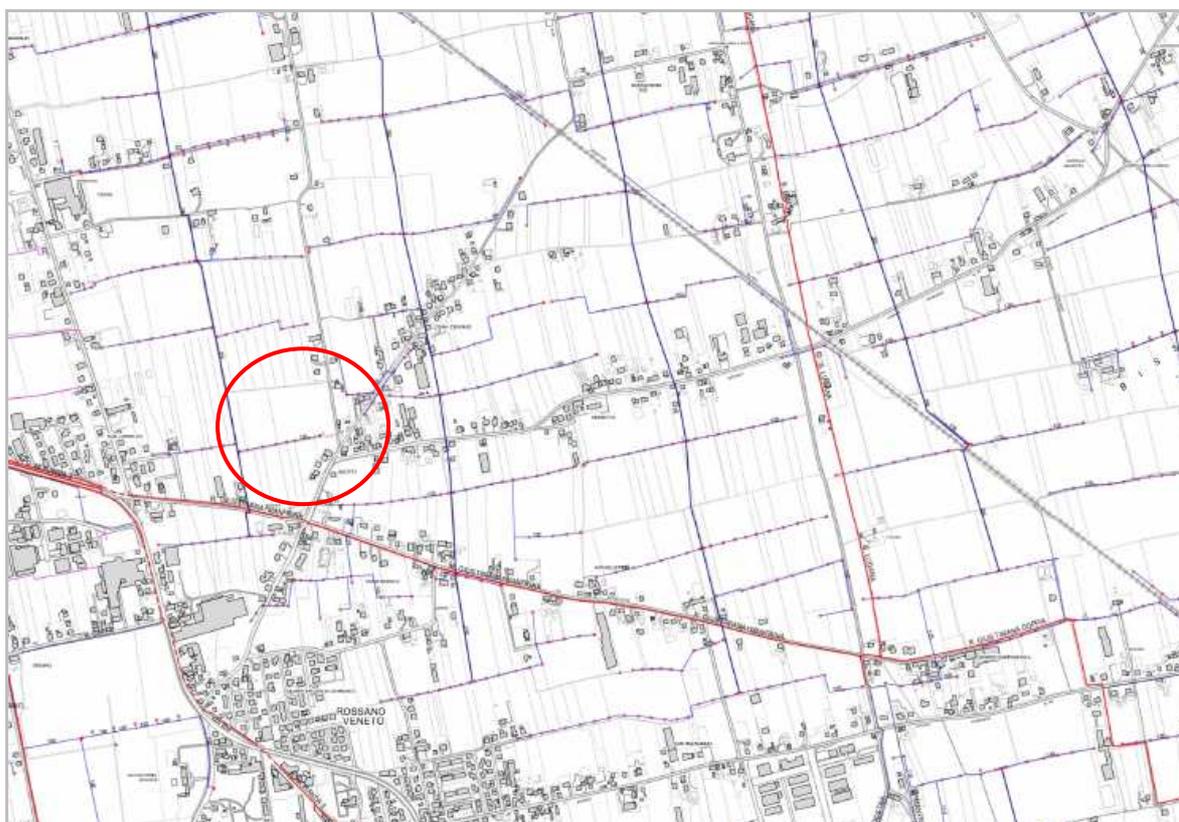
	Interventi con modesta impermeabilizzazione potenziale (0.1 ha < sup. < 1 ha)
	Interventi con trascurabile impermeabilizzazione potenziale (sup. < 0.1 ha) Interventi che non determinano riduzione della capacità di invaso

#### 4. PERICOLOSITA' IDRAULICA NELL'AREA D'INTERVENTO

Il territorio comunale di Rossano è attraversato da due importanti canalizzazioni consortili, la *Roggia Cappella* e la *Roggia Manfrina*. Mentre la prima attraversa la il centro abitato in direzione nord-sud, la seconda passa poco più a sud dell'area d'intervento, e si sviluppa in direzione est-ovest per proseguire poi verso lungo il confine comunale con Loria.

La *Roggia Manfrina* percorre un lungo tratto d'alveo artificiale parallelo alla strada comunale e, qualche centinaia di metri più ad est, incrocia la *Roggia Lugana* proveniente da nord ed arricchendosi di diverse canalizzazioni di scolo secondarie.

##### ESTRATTO CARTOGRAFIA CONSORZIO BRENTA CANALIZZAZIONI SUPERFICIALI



Oltre a favorire il deflusso delle acque meteoriche superficiali queste canalizzazioni consortili hanno soprattutto la funzione di garantire l'irrigazione dei terreni agricoli posti a confine.

Il loro tracciato è pertanto considerato come una *zona di rispetto idraulico* così come individuato nella cartografia del Pat (cfr. allegato pg.6) e talvolta, dato il ridotto dislivello esistente tra la quota del piano campagna circostante ed il fondo del loro alveo, si possono verificare anche locali fenomeni di alluvionamento. Ciò nonostante **la zona d'intervento non è considerata tra le aree a pericolosità idraulica così definite dal PAI e ora dal PGRA di recente emanazione.**

# RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA

## 1. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI DI FONDAZIONE

Per verificare la successione stratigrafica nel sito d'intervento e risalire così ai parametri geotecnici più significativi del substrato di fondazione, sono state condotte alcune *prove penetrometriche dinamiche DPSH* e delle *trincee esplorative* nel sottosuolo del piano di lottizzazione in progetto.

Dai risultati ottenuti, confrontati con altre prove penetrometriche condotte in zona, è emersa una buona continuità spaziale delle alluvioni direttamente investigate, in quanto i singoli livelli deposizionali si mantengono stratigraficamente costanti sia nello spessore che in profondità per centinaia di metri di distanza; lievi differenze sono state riscontrate solo nei depositi sciolti più superficiali a maggior frazione argilloso-limosa fine e a carattere tipicamente lenticolare e comunque di spessore limitato.

Si possono pertanto distinguere nel sottosuolo i seguenti livelli deposizionali:

- dal p.c. a - 0.4 m

### 1. Terreno agrario limoso-argilloso coesivo

– resistenza alla penetrazione  $R_{pd} = 20 - 50 \text{ Kg/cmq}$

.....

- da - 0.4 m a - 1.2 m

### 2. Sabbia da sciolta a poco addensata

– resistenza dinamica  $R_{pd} = 54 - 89 \text{ Kg/cmq}$

– angolo di attrito  $\varnothing = 27^\circ$

– peso di volume  $\gamma = 1,7 \text{ t/mc}$

– prova  $N_{spt}$   $N_{spt} = 10$

.....

- da - 1.2 m a - 2.0 m

### 3. Sabbia e ghiaia mediamente addensata

- resistenza dinamica  $R_{pd} = 125 - 160 \text{ Kg/cm}^2$
  - angolo di attrito  $\phi = 30^\circ$
  - peso di volume  $\gamma = 1,9 \text{ t/mc}$
  - prova Nspt  $N_{spt} = 24$
- .....

- da - 2.0 m a - 3.0 m

### 4. Ghiaia addensata

- resistenza dinamica  $R_{pd} = 120 - 256 \text{ Kg/cm}^2$
  - densità relativa  $D_r = 71\%$
  - angolo di attrito  $\phi = 35^\circ$
  - peso di volume  $\gamma_d = 2,0 \text{ t/mc}$
  - prova Nspt  $N_{spt} = 36$
- .....

- da - 3.0 m a - 3.4 m

### 5. Ghiaia molto addensata

- resistenza dinamica  $R_{pd} > 288 \text{ Kg/cm}^2$
  - densità relativa  $D_r > 80\%$
  - angolo di attrito  $\phi > 36^\circ$
  - peso di volume  $\gamma_d = 2,0 \text{ t/mc}$
  - prova Nspt  $N_{spt} = 54$
- .....

**ALLEGATI : RISULTATI ED INTERPRETAZIONI PROVE PENETROMETRICHE DPSH**

PROVA DPSH 1 - LATO SUD

<b>PROVA PENETROMETRICA DINAMICA</b> <b>SUDDIVISIONE GEOTECNICA</b>		<b>DIN</b>	<b>1</b>
		Riferimento	<b>036-2022</b>
Committente	<b>Edilmarco Srl</b>	U.M.: <b>kg/cm<sup>2</sup></b>	Data esec. <b>5/07/2022</b>
Cantiere	<b>Lottizzazione San Zenone - Via san Zenone Rossano V.to</b>	Pagina <b>1</b>	
Località		Elaborato	Falda0 <b>Assente</b>

PARAMETRI GENERALI												
n°	profondità m	statistica	VCA colpi	β	Nspt colpi	qcd kg/cm <sup>2</sup>	qc kg/cm <sup>2</sup>	Vs m/sec	G kg/cm <sup>2</sup>	Q kg/cm <sup>2</sup>	natura	descrizione
1	0,00 : 1,00	Media	3	1,52	4	20	15	37	76	0,98	Coesiva	Argilla debolmente limosa
2	1,00 : 2,00	Media	7	1,52	11	50	46	122	82	2,50	Coes./Gran.	Limo sabbioso
3	2,00 : 3,60	Media	15	1,52	23	95	97	171	147	4,73	Granulare	Sabbia e Ghiaia
4	3,60 : 3,80	Media	50	1,52	76	301	301	222	384	15,06	Granulare	Ghiaia e Ciottoli

NATURA COESIVA							NATURA GRANULARE							
n°	profondità m	Nspt colpi	Cu kg/cm <sup>2</sup>	Ysat t/m <sup>3</sup>	W %	e	Mo kg/cm <sup>2</sup>	Dr %	σ <sup>*</sup>	E' kg/cm <sup>2</sup>	Ysat t/m <sup>3</sup>	Yd t/m <sup>3</sup>	Mo kg/cm <sup>2</sup>	Liq. -
1	0,00 : 1,00	4	0,25	1,80	41,67	1,13	30	---	---	---	---	---	---	---
2	1,00 : 2,00	11	0,69	1,91	32,11	0,87	50	37	30	276	1,94	1,51	196	---
3	2,00 : 3,60	23	---	---	---	---	---	55	36	369	2,01	1,62	318	---
4	3,60 : 3,80	76	---	---	---	---	---	95	54	777	2,21	1,94	770	---



PROVA DPSH 2 - LATO EST

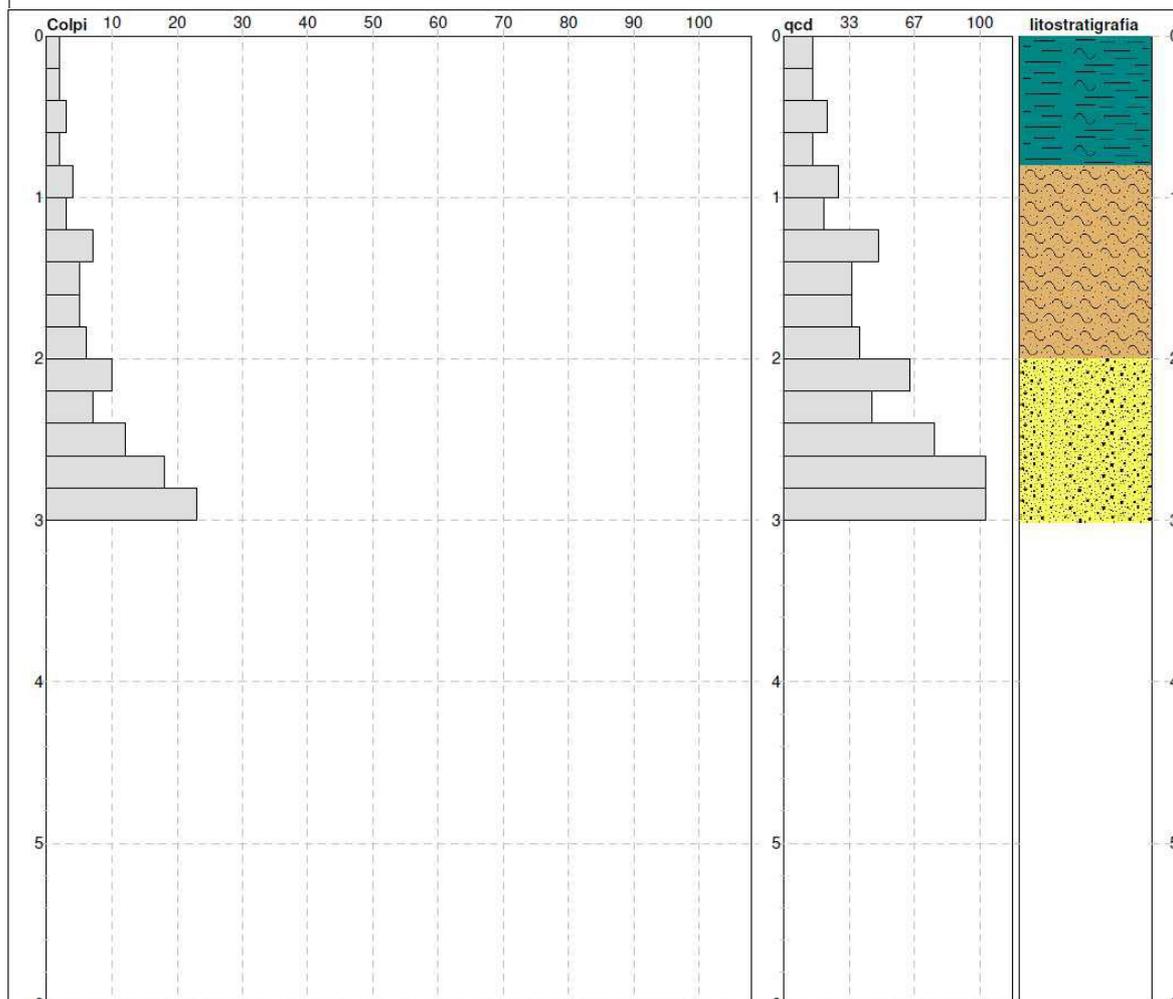
<b>PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SUDDIVISIONE GEOTECNICA</b>	<b>DIN</b>	<b>2</b>
	Riferimento	036-2022

Committente	Edilmarco Srl	U.M.:	kg/cm <sup>2</sup>	Data esec.	5/07/2022
Cantiere	Lottizzazione San Zenone - Via san Zenone Rossano V.to	Pagina	1		
Località		Elaborato		Falda	

PARAMETRI GENERALI												
n°	profondità m	statistica	VCA colpi	β	Nspt colpi	qcd kg/cm <sup>2</sup>	qc kg/cm <sup>2</sup>	Vs m/sec	G kg/cm <sup>2</sup>	Q kg/cm <sup>2</sup>	natura	descrizione
1	0,00 : 0,80	Media	2	1,52	3	17	12	30	69	0,84	Coesiva	Argilla debolmente limosa
2	0,80 : 2,00	Media	5	1,52	8	34	31	114	63	1,70	Coes./Gran.	Limo sabbioso
3	2,00 : 3,00	Media	14	1,52	21	88	90	165	137	4,41	Granulare	Sabbia e Ghiaia

NATURA COESIVA								NATURA GRANULARE							
n°	profondità m	Nspt colpi	Cu kg/cm <sup>2</sup>	Ysat t/m <sup>3</sup>	W %	e	Mo kg/cm <sup>2</sup>	Dr %	ø	E' kg/cm <sup>2</sup>	Ysat t/m <sup>3</sup>	Yd t/m <sup>3</sup>	Mo kg/cm <sup>2</sup>	Liq.	
1	0,00 : 0,80	3	0,19	1,78	44,21	1,19	28	---	---	---	---	---	---	---	
2	0,80 : 2,00	8	0,50	1,87	34,98	0,94	41	28	28	253	1,91	1,46	161	---	
3	2,00 : 3,00	21	---	---	---	---	---	52	36	353	2,00	1,60	301	---	



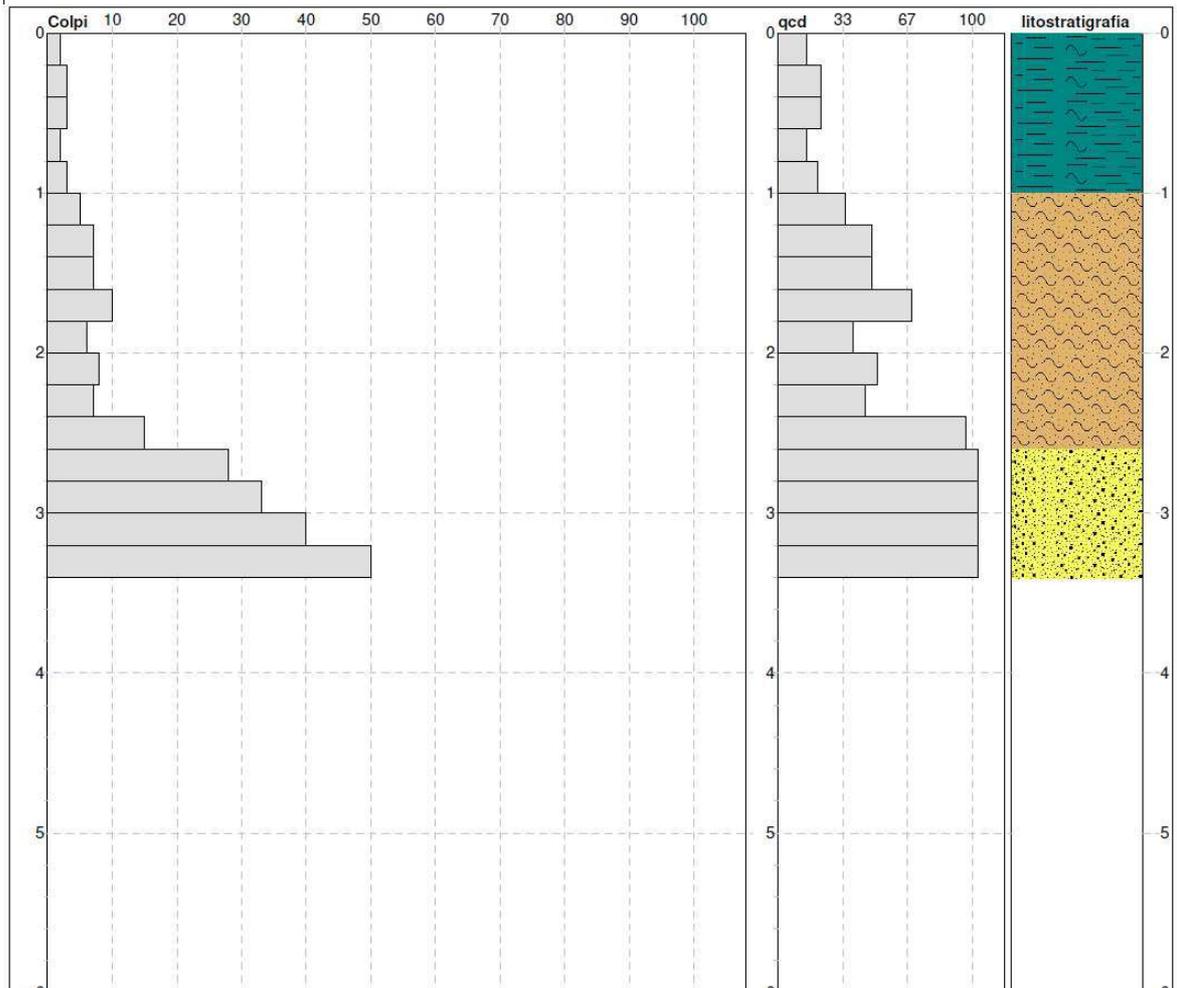
PROVA DPSH 3 - LATO OVEST

<b>PROVA PENETROMETRICA DINAMICA</b>		<b>DIN</b>	<b>3</b>
		Riferimento	036-2022
<b>SUDDIVISIONE GEOTECNICA</b>			
Committente	Edilmarco Srl	U.M.: kg/cm <sup>2</sup>	Data esec. 5/07/2022
Cantiere	Lottizzazione San Zenone - Via san Zenone Rossano V.to	Pagina Elaborato	1
Località		Falda	Assente

PARAMETRI GENERALI												
n°	profondità m	statistica	VCA colpi	β	Nspt colpi	qcd kg/cm <sup>2</sup>	qc kg/cm <sup>2</sup>	Vs m/sec	G kg/cm <sup>2</sup>	Q kg/cm <sup>2</sup>	natura	descrizione
1	0,00 : 1,00	Media	3	1,52	4	19	14	37	76	0,95	Coesiva	Argilla debolmente limosa
2	1,00 : 2,60	Media	8	1,52	12	54	51	128	88	2,70	Coes./Gran.	Limo sabbioso
3	2,60 : 3,40	Media	38	1,52	57	230	227	203	305	11,52	Granulare	Sabbia e Ghiaia

NATURA COESIVA								NATURA GRANULARE							
n°	profondità m	Nspt colpi	Cu kg/cm <sup>2</sup>	Ysat t/m <sup>3</sup>	W %	e	Mo kg/cm <sup>2</sup>	Dr %	σ °	E' kg/cm <sup>2</sup>	Ysat t/m <sup>3</sup>	Yd t/m <sup>3</sup>	Mo kg/cm <sup>2</sup>	Liq. -	
1	0,00 : 1,00	4	0,25	1,80	41,67	1,13	30	---	---	---	---	---	---	---	
2	1,00 : 2,60	12	0,75	1,92	31,20	0,84	52	38	30	284	1,94	1,52	207	---	
3	2,60 : 3,40	57	---	---	---	---	---	88	49	631	2,17	1,87	608	---	



## **2. VERIFICHE AGLI STATI LIMITE (NTC 2018)**

In ottemperanza a quanto previsto dal nuovo DM 17/01/2018, che ha solo in parte aggiornato il precedente DM 14/01/2008, le **verifiche geotecniche** necessarie ai fini di un corretto dimensionamento delle strutture da realizzare, sia per le opere di fondazione che in elevazione, riguardano:

- Lo stato limite ultimo (SLU) , che equivale alla verifica geotecnica della capacità portante del sottosuolo ( $Q_{amm}$ ); il collasso della struttura si ha infatti per raggiungimento del carico limite ( $Q_{lim}$ ) quale valore di progetto della resistenza del *sistema geotecnico*.
- Lo stato limite di esercizio (SLE), che equivale al calcolo dei cedimenti sotto il piano di posa delle fondazioni. La verifica si basa sulle deformazioni del terreno compatibili e non rispetto al valore di progetto delle azioni.

In pratica è essenziale conoscere già a priori le scelte progettuali previste dal tecnico (progettista) al fine di produrre un *modello geotecnico* oltre che *geologico* compatibile con i requisiti e le prestazioni attese dalle strutture da realizzare.

Nell'intervento edilizio in progetto saranno adottate delle platee di fondazione, spinte ad una profondità di - 0.6 m rispetto la quota attuale del p.c. per i fabbricati senza piano interrato e a - 3.0 m per quelli con piano interrato; saranno qui di seguito verificate le condizioni di capacità portante del sottosuolo per siffatta tipologia di fondazione, considerando come dimensioni areali  $A = 1$  mq (valore unitario) di platea alle due diverse profondità sopra indicate.

### **- VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

La verifica *SLU* verrà eseguita secondo l'*approccio 2* previsto dalla normativa vigente, con un'unica combinazione di coefficienti introdotti da tale normativa (A1-M1-R3) in quanto più severa per il calcolo strutturale; tale verifica

diventa quindi significativa solo se sono noti i carichi permanenti e variabili di progetto e pertanto si rimanda al progettista il calcolo appropriato con questa combinazione di coefficienti (A1-M1-R3) .

Quindi procedendo con il calcolo della Capacità Portante limite ( $Q_{lim}$ ) del terreno al di sotto del piano di posa della fondazione mediante la formula di Terzaghi :

$$Q_{lim} = A * (c * N_c + q * N_q * S_q + 1/2 B * \gamma' * N_\gamma * S_\gamma)$$

e ponendo  $c = 0$  (deposito granulare sciolto) e  $q = D * \gamma$  dove, con  $D = 0,5$  m quale spessore della platea di fondazione e  $\gamma = 1,8$  t/mc quale peso di volume del deposito limoso-sabbioso più superficiale e  $\gamma = 1,9$  t/mc per i depositi più profondi. Se le dimensioni areali della fondazione  $A = 1$  mq, i coefficienti  $S_q, S_\gamma$  che rappresentano dei fattori correttivi “di forma” per una fondazione a platea si assumono i seguenti valori:  $S_q = 1,0$  ed  $S_\gamma = (1 - 0,2 * B/L) = 1 - (0,2 * 1) \approx 0,8$ .

Mancano ora i coefficienti  $N_q, N_\gamma$  desumibili dall’abaco di Terzaghi in funzione dell’angolo di attrito  $\phi$  che nel caso specifico, con  $Z = 0.6$  m  $\phi' = 27^\circ$  mentre per  $Z = 3.0$  m il valore è più elevato  $\phi' = 35^\circ$ .

- **Platea impostata a - 0.6 m dal p.c.**

SLU	
DATI DI INPUT	
cu	0 kPa
$\gamma$ (per D)=	17 kN/mc
$\gamma$ (per B')=	18 kN/mc
D =	0,6 m
B=	1 m
$N_q =$	15,9
$N_c =$	29,2
$N_\gamma =$	13,15 (Terzaghi 1948)
FATTORI DI FORMA	
$s_q =$	1
$s_\gamma =$	0,8
$s_c =$	1

#### FATTORI DI INCLINAZIONE DEL CARICO

$i_q =$	1
$i_\gamma =$	1
$i_c =$	1

#### FATTORI DI CAPACITA' PORTANTE COND. SISMICHE

(MAUGERI E NOVITA')

$h_q =$	1
$h_\gamma =$	1
$h_c =$	1

#### RISULTATI

##### VERIFICA CAPACITA' PORTANTE - NTC 2018

coefficiente di capacità portante - approccio 2

$\gamma_R =$	2,3
<b>Rd =</b>	<b>111,68 kPa</b>

- **Platea impostata a - 3.0 m dal p.c.**

## SLU

#### DATI DI INPUT

cu	0 kPa
$\gamma$ (per D)=	19 kN/mc
$\gamma$ (per B')=	19 kN/mc
D =	0,4 m
B=	1 m
Nq =	33,3
Nc =	46,12
N $\gamma$ =	33,92 (Terzaghi 1948)

#### FATTORI DI FORMA

$s_q =$	1
$s_\gamma =$	0,8
$s_c =$	1

#### FATTORI DI INCLINAZIONE DEL CARICO

$i_q =$	1
$i_\gamma =$	1
$i_c =$	1

#### FATTORI DI CAPACITA' PORTANTE COND. SISMICHE

(MAUGERI E NOVITA')

hq =	1
h $\gamma$ =	1
hc =	1

## RISULTATI

### VERIFICA CAPACITA' PORTANTE - NTC 2018

coefficiente di capacità portante - approccio 2

$\gamma_R =$  2,3

**Rd = 222,12 kPa**

Il valore ottenuto della *resistenza di progetto*  $R_d$  dovrà essere confrontato con i carichi effettivi di progetto  $E_d$ , attualmente non noti, valorizzandoli per i dovuti coefficienti previsti per l'approccio 2 (A1 - M1 - R3), affinché sia rispettata la condizione  $\rightarrow E_d < R_d$

**Si rimanda comunque al progettista delle opere strutturali la dovuta verifica SLU prevista dalla NTC 2018.**

- VERIFICA ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO

La seconda verifica SLE riguarda il calcolo dei cedimenti in condizioni statiche, al di sotto del piano di posa della fondazione, per la cui determinazione si utilizzeranno i dati riportati nella tabella precedente desunti dalle prove penetrometriche dinamiche SPT. Tali parametri rimangono infatti invariati in quanto il coefficiente di sicurezza parziale introdotto dalla normativa ( $\gamma_M$ ) è unitario, così come quello riferito alle azioni di progetto ( $\gamma_F$ ).

Nel caso in esame, considerato che sono stati intercettati depositi in ghiaia e sabbia ben costipati fra loro, **non suscettibili di cedimento** la profondità complessiva del terreno sul quale verrà calcolato il "cedimento" è quella raggiunta dalla prova penetrometrica, ovvero fino a  $H_0 = 3,4$  ml. Verrà quindi considerato il cedimento previsto, al di sotto del piano di fondazione da - 0.6 m di profondità,

utilizzando la relazione di Taylor :

$$\Delta H = H \cdot \Delta p \cdot mv$$

in cui il *coefficiente di compressibilità*  $mv = 1/E$  dipende dalla Resistenza alla penetrazione  $R_p$  (vedi prove penetrometriche) e dal parametro  $\alpha$  che varia invece in base alle caratteristiche granulometriche del sottosuolo ( $\alpha = 2$  Sabbie sciolte /  $5 < \alpha < 10$  Argille molli); pertanto considerato un sovraccarico  $\Delta p = 1.0 \text{ Kg/cmq}$  ( $< Q_{amm}$ ) si ottiene:

- dai - 0,6 m ai - 1,2 m di profondità avente spessore  $H = 60 \text{ cm}$ , ed  $E' = 268 \text{ Kg/cmq} \Rightarrow mv = 1/ (268) = 0.0037 \text{ cmq/Kg}$

$$\Delta H_1 = 60 * 1.0 * 0.0037 = 0,22 \text{ cm}$$

- dai - 1,2 m ai - 2,0 m di profondità avente spessore  $H = 80$  ed  $E' = 376 \text{ Kg/cmq} \Rightarrow mv = 1/ (376) = 0.0026 \text{ cmq/Kg}$

$$\Delta H_2 = 80 * 1.0 * 0.0026 = 0,2 \text{ cm}$$

- dai - 2,0 m ai - 3,0 m di profondità avente spessore  $H = 100 \text{ cm}$ , ed  $E' = 469 \text{ Kg/cmq}$  con  $\Rightarrow mv = 1/ (469) = 0.0021 \text{ cmq/Kg}$

$$\Delta H_3 = 100 * 1.0 * 0.0021 = 0,21 \text{ cm}$$

- dai - 3,0 m ai - 3,4 m di profondità, avente spessore  $H = 40 \text{ cm}$ , ed  $R_{pd} = 500 \text{ Kg/cmq} \Rightarrow mv = 1/ (500) = 0.002 \text{ cmq/Kg}$

$$\Delta H_4 = 40 * 1.0 * 0.002 = 0,1 \text{ cm}$$

$$\Delta H_{tot} = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_4 = 0,64 \text{ cm}$$

Trattandosi di terreni granulari, il cedimento sopra calcolato deve essere valutato come un valore "a breve termine" vale a dire un puro "assestamento" del sottosuolo generato dalla semplice sovra-imposizione del carico strutturale sul terreno medesimo. Va quindi confrontato con lo stato di sollecitazione ammissibile per la struttura in progetto e con le prestazioni attese dalla stessa.

### 3. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO

Al fine di caratterizzare, dal punto di vista sismico, il sottosuolo dell'intero ambito d'intervento sono state eseguite le seguenti prospezioni sismiche:

- **n°2 prospezione sismica con tecnica passiva Re.Mi. (Refraction Microtremor)** sviluppata in *array* lineare con n°16 geofoni a 4,5 Hz ad asse verticale per la ricostruzione sismo - stratigrafica del sottosuolo e per l'assegnazione della Categoria del sottosuolo di fondazione ( $V_{s,eq}$ ) come espressamente richiesto dalla normativa vigente (*Norme Tecniche sulle Costruzioni - D.M. 17/01/2018*);
- **n°2 registrazioni di rumore sismico ambientale a stazione singola con elaborazione H.V.S.R. (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)** per individuare le frequenze di risonanza del terreno al fine di eseguire una corretta progettazione sismica delle strutture.

Si tratta in entrambi i casi di tecniche di acquisizione "*di tipo passivo*" in quanto consentono di ottenere un modello verticale delle onde  $V_s$ , a partire dalle modalità di propagazione delle onde di superficie, in particolare le onde di Rayleigh, prodotte dal *rumore ambientale* che si registra in natura. Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Si chiama anche *microtremore* poiché riguarda oscillazioni molto piccole, molto più piccole di quelle indotte dai terremoti.

I tempi di registrazione dei microtremori sono decisamente più elevati rispetto alle indagini di tipo attivo. La registrazione sarà analizzata in finestre temporali che variano dai 10 ai 30 secondi. Nel caso della Re.Mi. sono da considerare la lunghezza dello stendimento  $L$  e la distanza intergeofonica  $\Delta x$ . Quest'ultima agisce sul segnale come una specie di filtro in frequenza. Supponendo, infatti, che il segnale arrivi da tutte le direzioni, maggiore è la

spaziatura, minore sarà la frequenza del segnale utile campionabile e viceversa. Se la frequenza è più bassa aumenta la profondità d'indagine.

l'HVSR è un metodo molto più veloce e semplice in fase di acquisizione, in quanto a stazione singola, e permette di raggiungere una buona profondità e risoluzione d'indagine ma soprattutto permette di ottenere migliori risultati in ambienti particolarmente urbanizzati.

I dati sono stati convertiti in file ASCII mediante il software "Grilla", fornito a supporto dello strumento utilizzato, quindi elaborati per ottenere spettri di velocità in funzione della frequenza. Per evitare di introdurre basse frequenze spurie i dati sono stati corretti per offset e trend ma non filtrati così come raccomandato dalla norma DIN 4150-3.

In via puramente indicativa, al fine di correlare le velocità delle onde di taglio ad un tipo di suolo, si riportano i valori tabulati da Borchardt (1992; 1994) assieme a quelli ottenuti sperimentalmente in diversi ambienti sedimentari da altri autori (Budny, 1984; Ibs von Seht e Wohlenberg, 1999; Delgado et al., 2000 a, b; Parolai et al., 2002; Scherbaum et al., 2003; D'Amico et al., 2004, 2006; Hinzen et al., 2004).

TIPO DI SUOLO	Vs min [m/s]	Vs media [m/s]	Vs max [m/s]
<b>ROCCE MOLTO DURE</b> (es. rocce metamorfiche molto - poco fratturate)	1400	1620	-
<b>ROCCE DURE</b> (es. graniti, rocce ignee, conglomerati, arenarie e argilliti, da mediamente a poco fratturate)	700	1050	1400
<b>SUOLI GHIAIOSI e ROCCE DA TENERE A DURE</b> (es. rocce sedimentarie ignee tenere, arenarie, argilliti, ghiaie e suoli con > 20% di ghiaia)	375	540	700
<b>ARGILLE COMPATTE e SUOLI SABBIOSI - GHIAIOSI</b> (es. ghiaie e suoli con < 20% di ghiaia, sabbie da sciolte a molto compatte, limi e argille sabbiose, argille da medie a compatte e argille limose)	200	290	375
<b>TERRENI TENERI</b> (es. terreni di riempimento sotto falda, argille da tenere a molto tenere)	100	150	200

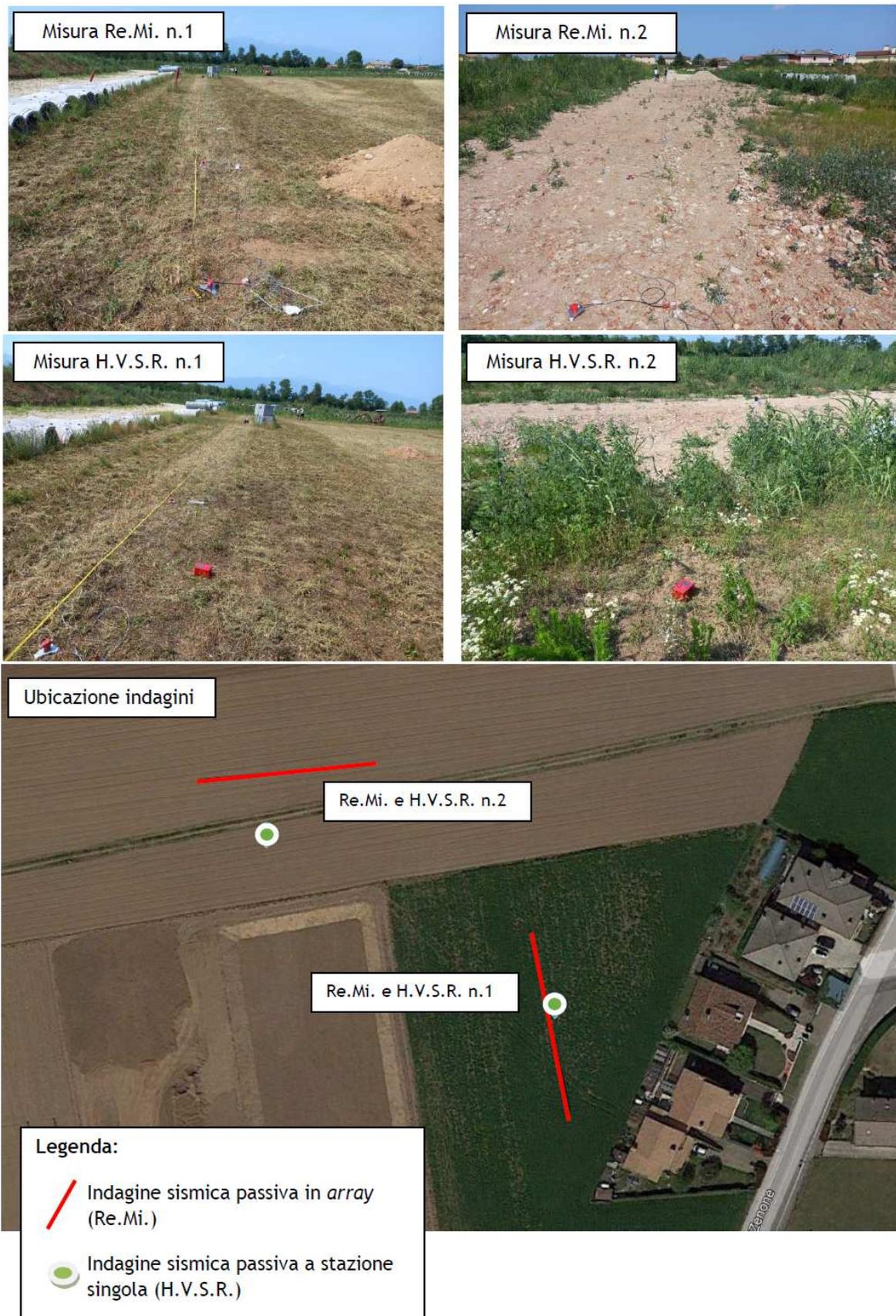
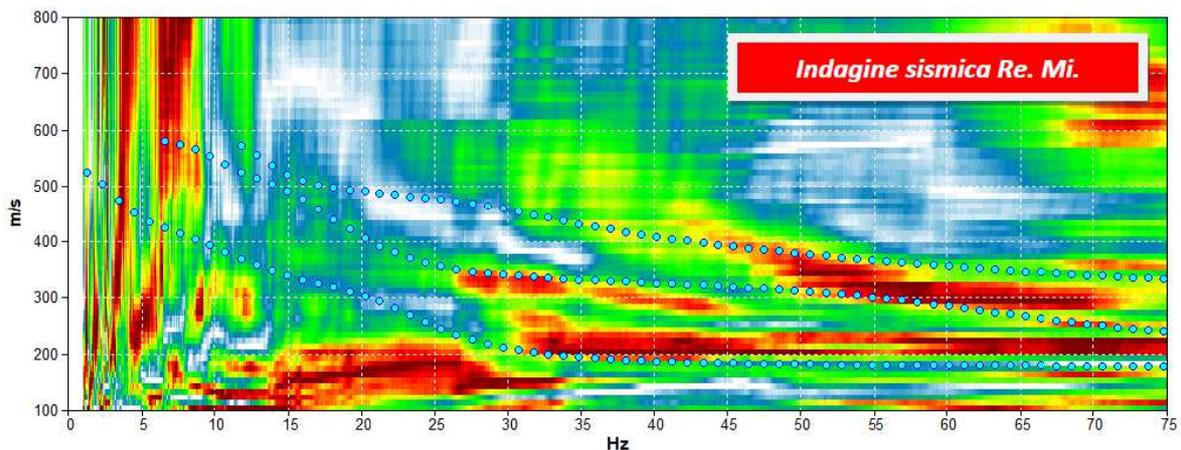


Fig. n°2 - Ubicazione prove in sito

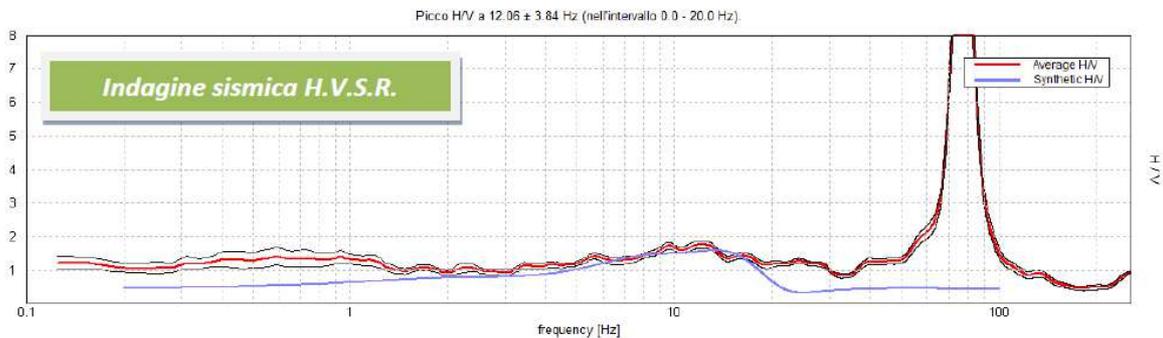
## INTERPRETAZIONE DELLE MISURE ESEGUITE

L'utilizzo incrociato delle due tecniche sismiche ha permesso di ottenere un modello sismo - stratigrafico del sottosuolo robusto e affidabile in corrispondenza della zona d'interesse. L'indagine Re.Mi. ha individuato le discontinuità sismiche superficiali e stimato le velocità di propagazione delle onde S mentre la prospezione passiva a stazione singola (H.V.S.R.), ha stimato il grado di rigidità delle coperture profonde del substrato di riferimento. Inoltre, la misura H.V.S.R. ha determinato le frequenze di risonanza di sito cioè i valori di frequenza attesi in superficie in occasione di evento sismico.

### Re.Mi. e H.V.S.R. n.1



Spettro di velocità: il modo fondamentale è parzialmente definito per le frequenze campionate. Il segnale si presenta con una discreta coerenza. In blu la curva sintetica creata da una modellizzazione diretta delle onde



La curva spettrale rossa rappresenta l'andamento sismico registrato in campagna mentre quella blu è la curva sintetica generata dal codice di calcolo

**L'attendibilità dei modelli sismo-stratigrafici desunti è da considerarsi elevata** poiché la coerenza del segnale è buona e lo spettro di velocità è ben definito nel modo fondamentale per quasi tutte le frequenze campionate. Il programma di elaborazione utilizzato permette di considerare non solo il modo fondamentale ma, una volta individuati, anche i modi superiori per vincolare con maggior attendibilità la ricostruzione sismo-stratigrafica del sottosuolo.

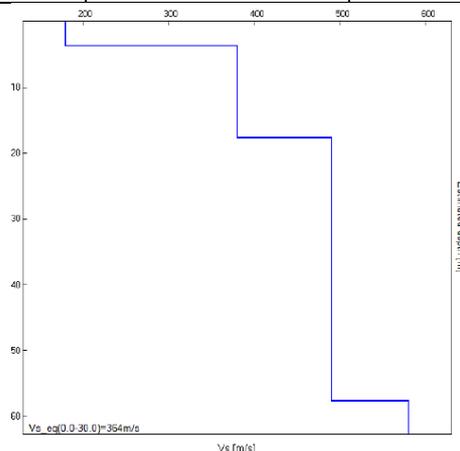
L'indagine n°1 a stazione singola (H.V.S.R.) ha stimato il grado di rigidità della copertura profonda e del bedrock sismico ed ha permesso di determinare le frequenze di risonanza di sito cioè i valori di frequenza attesi in superficie in occasione di evento sismico.

La ricostruzione sismo-stratigrafica di sito ha evidenziato la presenza di un materiale poco addensato ( $V_s \approx 180$  m/s) fino a circa 3.7 m di profondità dal p.c. locale, mentre per profondità maggiori, ovvero a - 18 m e a - 58 m le  $V_s$  tendono ad aumentare rispettivamente a 380 m/e 490 m/s.

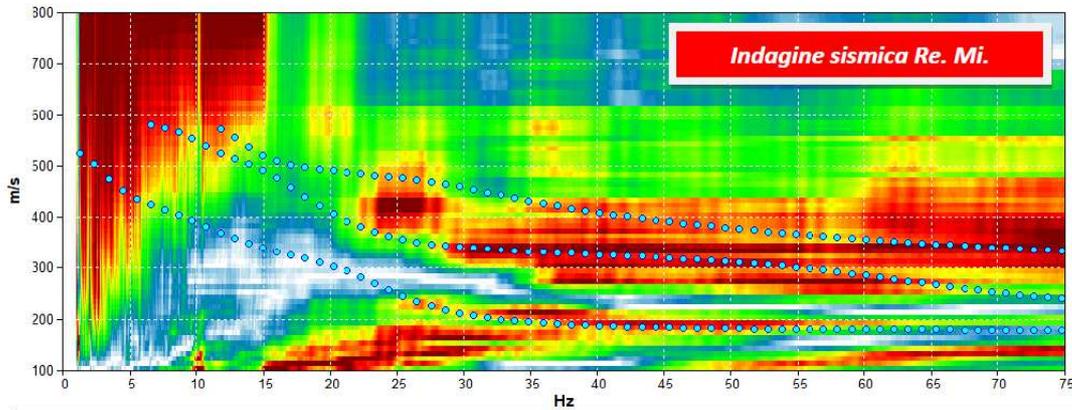
Il rilievo nello specifico ha fornito i seguenti dati sismici :

MODELLO SISMO - STRATIGRAFICO INTERPRETATIVO

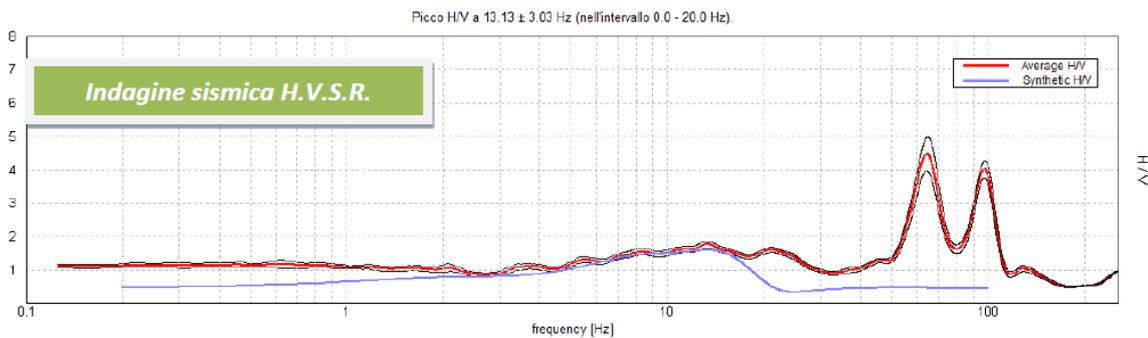
Indagine sismica Re. Mi. con inversione congiunta H.V.S.R.	Velocità onde di taglio [m/s]	Spessori [m]	Profondità [m]
I SISMOSTRATO	180	3.7	0,0 - 3,7
II SISMOSTRATO	380	14	3,7 - ≈18
III SISMOSTRATO	490	40	≈18 - ≈58
IV SISMOSTRATO	580	Semisp.	≈58 - Semisp.



*Re.mi. e H.V.S.R. n.2*



Spettro di velocità: il modo fondamentale è definito soprattutto alle alte frequenze. Il segnale si presenta con una buona coerenza. In blu la curva sintetica creata da una modellizzazione diretta delle onde S.



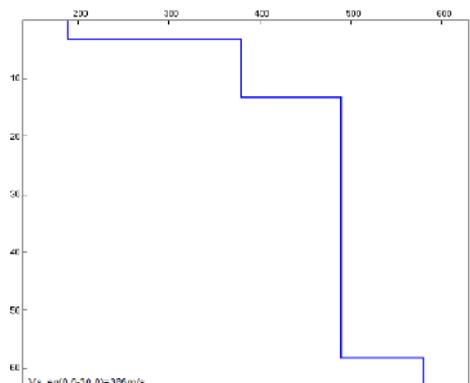
La curva spettrale rossa rappresenta l'andamento sismico registrato in campagna mentre quella blu è la curva sintetica generata dal codice di calcolo

L'indagine n°2 a stazione singola (H.V.S.R.) ha permesso di individuare un modello sismostratigrafico molto simile al precedente in quanto il materiale poco addensato ( $V_s \approx 180$  m/s) è stato individuato fino a circa 3.3 m di profondità dal p.c. locale, mentre a - 13 m i valori raggiungono già i 380 m/s. Anche in questo caso il substrato a maggior stato di addensamento si pone a - 58 m dal p.c. con valori  $V_s = 580$  m/s.

Il rilievo nello specifico ha fornito i seguenti dati sismici :

MODELLO SISMO - STRATIGRAFICO INTERPRETATIVO

Indagine sismica Re. Mi. con inversione congiunta H.V.S.R.	Velocità onde di taglio [m/s]	Spessori [m]	Profondità [m]
I SISMOSTRATO	180	3.3	0,0 - 3,3
II SISMOSTRATO	380	10	3,3 - ≈13
III SISMOSTRATO	490	45	≈13 - ≈58
IV SISMOSTRATO	580	Semisp.	≈58 - Semisp.



IL MODELLO SISMICO LOCALE

Per definire le Categorie, il D.M. 17 gennaio 2018 prevede il calcolo del parametro  $V_{s,eq}$ , ovvero della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio  $V_s$  dei terreni posti al di sopra del substrato di riferimento ( $V_{s,30}$  per depositi con profondità del substrato superiore a 30 m). La profondità del substrato è riferita al piano di posa delle fondazioni superficiali, alla testa dei pali per fondazioni indirette, al piano di imposta delle fondazioni per muri di sostegno di terrapieni o alla testa delle opere di sostegno di terreni naturali.

**Tab. 3.2.II –** *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

<b>Categoria</b>	<b>Caratteristiche della superficie topografica</b>
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>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.</i>
C	<i>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.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente 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 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>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.</i>

Si è pertanto calcolata la velocità media di propagazione delle onde di taglio fino a 30 m dal piano di posa delle fondazioni ( $V_{s,30}$ ), a partire da varie profondità dal piano campagna:

<b>Profondità piano di posa delle fondazioni</b>	<b><math>V_{s,30}</math> prova n.1</b>	<b><math>V_{s,30}</math> prova n.2</b>
0 m dal p.c.	$V_s (0 - 30) \approx 364$ m/s	$V_s (0 - 30) \approx 386$ m/s
1 m dal p.c.	$V_s (1 - 31) \approx 380$ m/s	$V_s (1 - 31) \approx 402$ m/s
2 m dal p.c.	$V_s (2 - 32) \approx 398$ m/s	$V_s (2 - 32) \approx 421$ m/s
3 m dal p.c.	$V_s (3 - 33) \approx 417$ m/s	$V_s (3 - 33) \approx 441$ m/s

Dall'assetto sismostratigrafico desunto dalle indagini sismiche effettuate, è possibile constatare la presenza del *bedrock* geofisico (substrato di riferimento) a profondità superiori a 30 m. Pertanto si prevede l'inserimento di tutti i punti d'indagine nella **Categoria di Sottosuolo denominata B**, così definita:

**Categoria 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.

## CONCLUSIONI

Il sito d'intervento è ubicato a nord rispetto il centro abitato di Rossano Veneto, nell'ampia pianura alluvionale del fiume Brenta, attraversata da numerose canalizzazioni idrauliche di proprietà consortile.

Tra esse la *Roggia Moranda* e la *Roggia Manfrina* che attraversano l'abitato passando l'una ad ovest l'altra subito a nord del lotto in esame, per proseguire poi verso sud, garantendo lo scolo delle acque superficiali oltre che l'irrigazione dei terreni agricoli confinanti.

Per ricostruire la stratigrafia del sottosuolo nell'area edificabile sono state eseguite tre prove penetrometriche DPSH e diversi scavi esplorativi nel sottosuolo delle aree edificabili, confrontando poi i dati con altre prove condotte in zona. Dai risultati ottenuti è stata appurata la presenza di un buon substrato in ghiaia e sabbia mediamente addensato, già alla profondità di - 1.2 m ca dal p.c. attuale; al di sopra i depositi sabbioso-argillosi campionati presentano caratteristiche geotecniche discretamente buone, che migliorano comunque progressivamente verso il basso con l'aumentare della frazione in ghiaia a spese di quella limosa fine.

Considerato che gli edifici residenziali in progetto saranno impostati su una tipologia di fondazione a "platea" spinta a - 0.6 m dal p.c. attuale per i fabbricati solo fuoriterra e a - 3.0 m per quelli con piano interrato, le *verifiche agli stati limite* sono state condotte considerando entrambe queste profondità d'imposta. **Il carico massimo ammissibile per metro quadrato di platea di fondazione è risultato pari a  $Q_{amm} = 11 \text{ t/mq}$  per posa a - 0.6 m e  $Q_{amm} = 22 \text{ t/mq}$  per posa a - 3.0 m dal p.c.** I valori ottenuti dovranno essere confrontati con i carichi strutturali di progetto, attualmente non noti. Per quanto riguarda invece i cedimenti attesi, data la natura granulare del sottosuolo, si prevede che saranno limitati e comunque dell'ordine del centimetro ed andranno via via annullandosi una volta sovrimposto il carico dei fabbricati sul terreno medesimo.

Dal punto di vista sismico le misure eseguite in sito con tecnica Re.Mi (a stazione multipla) ed HVSR (a stazione singola) hanno evidenziato la presenza di un buon substrato in ghiaia e sabbia mista già a - 3.3 / 3.5 m di profondità, i cui valori di  $V_s = 480$  m/s. **Si prevede quindi per il sito d'intervento l'inserimento nella Categoria di Sottosuolo B così definita dalle NTC2018 "come depositi granulari molto addensati i cui valori di  $360 \text{ m/s} < V_s < 800 \text{ m/s}$  (cfr indagine sismica allegata).**

Bassano li, 08.07.22

Dr. Geol. Lilia Viero



**DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA AMBITO D'INTERVENTO**



AMBITO VISTO DA EST LUNGO VIA SAN ZENONE



AMBITO VISTO DA NORD LUNGO VIA CASSOLA



AMBITO EST VISTO DA NORD



AMBITO EST VISTO DA SUD



AMBITO NORD ZONA CENTRALE



SCAVI ESPLORATIVI NEL SOTTOSUOLO



REGIONE DEL VENETO

Provincia di Vicenza



**Indagine geofisica con metodi Re.Mi. e H.V.S.R. per la caratterizzazione sismica dei terreni secondo la normativa vigente (N.T.C. - D.M. 17 gennaio 2018)**

Via San Zenone  
Comune di Rossano Veneto (VI)

Committente:  
**Dott.ssa Geol. Lilia Viero**

Data: Luglio 2022



**STUDIOSISMA SRL**  
SS. PASUBIO 10, COSTABISSARA (VI)  
TEL. 0444212962 / 3490567455  
info@studiosisma.com  
CF/P.IVA 03797510249 / SDI USAL8PV

## INDICE

1.	PREMESSE	3
2.	CENNI TEORICI E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	5
2.1	Indagine sismica di tipo passivo in array (Re.Mi.)	5
2.2	Indagine sismica di tipo passivo a stazione singola (H.V.S.R.)	7
3.	EVOLUZIONE NORMATIVA E CENNI DI INGEGNERIA SISMICA	8
4.	ANALISI SISMICA DI SITO E DEFINIZIONE CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	10
4.1	Risultati ottenuti dalle indagini sismiche effettuate	10
4.2	Indagine sismica passiva in array (Re.Mi.) con inversione congiunta	10
4.3	Indagine sismica passiva a stazione singola (H.V.S.R.)	12
4.4	Categoria di sottosuolo di fondazione secondo le Norme Tecniche sulle Costruzioni - D.M. 17 gennaio 2018	13

## ALLEGATI

-  Indagine sismica Re.Mi. e H.V.S.R.

## BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

---

Responsabile di Progetto	Autori	Collaboratori
M. Collareda	F. Moschetto	

---

## 1. PREMESSE

Il giorno 20 Giugno 2022 è stata condotta la presente campagna d'indagine geofisica presso Via San Zenone nel Comune di Rossano Veneto (VI). Al fine di caratterizzare, dal punto di vista sismico, il sottosuolo dell'area in esame sono stati utilizzati i metodi di prospezione sismica **Re.Mi. (Refraction Microtremor)** e **H.V.S.R. (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)**, due metodologie che consentono di ottenere un modello verticale delle Vs, a partire dalle modalità di propagazione delle onde di superficie, in particolare le onde di Rayleigh, e non attraverso quelle di volume come invece accade per i metodi propri della sismica più tradizionale. Inoltre, la tecnica di Nakamura (HVSr) permette di stimare le frequenze fondamentali di risonanza del terreno, indispensabili per una corretta progettazione antisismica.

In particolare, sono state effettuate:

- **n°2 prospezione sismica con tecnica passiva Re.Mi. (Refraction Microtremor)** sviluppata in *array* lineare con n°16 geofoni a 4,5 Hz ad asse verticale per la ricostruzione sismo - stratigrafica del sottosuolo e per l'assegnazione della Categoria del sottosuolo di fondazione ( $V_s, eq$ ) come espressamente richiesto dalla normativa vigente (*Norme Tecniche sulle Costruzioni - D.M. 17/01/2018*);
- **n°2 registrazione di rumore sismico ambientale a stazione singola con elaborazione H.V.S.R. (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)** per individuare le frequenze di risonanza del terreno al fine di eseguire una corretta progettazione sismica delle strutture.

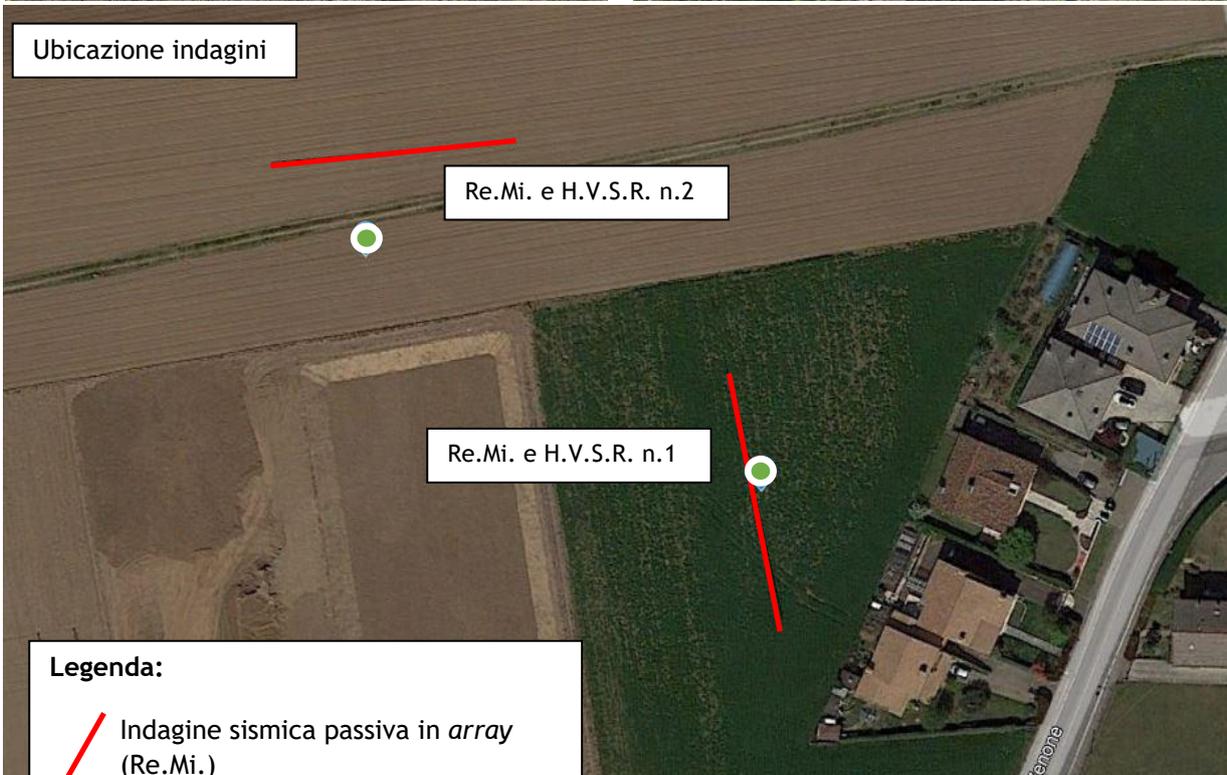
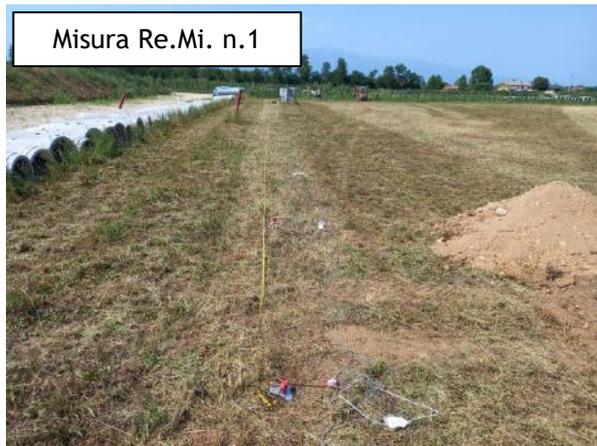
Nella figura a seguire viene evidenziata l'area in oggetto di studio (*Fig. n°1 - Estratto da ortofoto*).



*Fig. n°1 - Estratto da ortofoto*

Le coordinate dell'area sono specificate nella tabella sottostante. Nella figura seguente (*Fig. n°2 - Ubicazione prove in sito*) sono invece riportate, in dettaglio, le posizioni di ogni misura effettuata.

Latitudine	Longitudine
45.715101° N (WGS 84)	11.803557° E (WGS 84)
45.715500° N (WGS 84)	11.802599° E (WGS 84)



**Legenda:**

-  Indagine sismica passiva in *array* (Re.Mi.)
-  Indagine sismica passiva a stazione singola (H.V.S.R.)

Fig. n°2 - Ubicazione prove in sito

## 2. CENNI TEORICI E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

### 2.1 Indagine sismica di tipo passivo in array (Re.Mi.)

È noto che la propagazione delle onde, nel caso di mezzi stratificati e trasversalmente isotropi, avviene in maniera diversa rispetto al caso di mezzi omogenei; non esiste più un'unica velocità ma ogni frequenza è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione a sua volta legata alle varie lunghezze d'onda. Queste interessano il terreno a diverse profondità e risultano influenzate dalle caratteristiche elastiche, appunto variabili con la profondità. Questo comportamento viene definito *dispersione in frequenza* ed è fondamentale nello sviluppo dei metodi sismici che utilizzano le onde di superficie. Ovviamente le lunghezze d'onda più grandi corrispondono alle frequenze più basse e vanno ad interessare il terreno più in profondità; al contrario, le lunghezze d'onda più piccole, poiché sono associate alle frequenze più alte, rimangono nelle immediate vicinanze della superficie. I metodi di prospezione sismica che utilizzano le onde di superficie si basano su modelli fisico - matematici nei quali il sottosuolo viene schematizzato come una serie di strati con caratteristiche elastiche lineari.

La procedura Re.Mi. è un metodo di prospezione sismica sviluppato presso l'Università di Reno in Nevada (Louie, 2001) e viene classificato come metodo passivo in quanto utilizza il rumore ambientale. I vantaggi promossi da questo metodo sono molteplici: è molto veloce e semplice da usare in fase di acquisizione, raggiunge una buona profondità e risoluzione d'indagine ma soprattutto permette di ottenere migliori risultati in ambienti particolarmente urbanizzati.

La fase di acquisizione deve essere effettuata con una serie di accorgimenti e precauzioni da prendere in sito e nella pianificazione della registrazione. Tutto è finalizzato alla registrazione di dati contenenti la miglior informazione possibile riguardo alla propagazione delle onde di Rayleigh con buon rapporto segnale - rumore.

Il rumore incoerente, cioè di tipo casuale, nel caso Re.Mi. rappresenta la fonte del segnale utile che si vuole registrare. I microtremori generati dall'ambiente si propagano nel suolo e di questi si cerca di distinguere il modo fondamentale di vibrazione dell'onda di Rayleigh da quelli superiori e dall'aliasing spaziale. C'è, in questo caso, la necessità di soddisfare la condizione di "omnidirezionalità" delle sorgenti, cioè si suppone che il rumore ambientale provenga sostanzialmente da tutte le direzioni.

I tempi di registrazione dei microtremori sono decisamente più elevati rispetto alle indagini di tipo attivo. La registrazione sarà analizzata in finestre temporali che variano dai 10 ai 30 secondi.

Sono da considerare la lunghezza dello stendimento  $L$  e la distanza intergeofonica  $\Delta x$ . Quest'ultima agisce sul segnale come una specie di filtro in frequenza. Supponendo, infatti, che il segnale arrivi da tutte le direzioni, maggiore è la spaziatura, minore sarà la frequenza del segnale utile campionabile e viceversa. Se la frequenza è più bassa aumenta la profondità d'indagine.

La fase più delicata è quella del *data processing*, che consiste nel trattamento dei dati acquisiti con l'obiettivo di stimare la velocità di fase delle onde di Rayleigh ( $V_r$ ) che sono correlabili con le velocità  $V_s$  di propagazione delle onde S ( $V_s \approx 1,1 V_r$ ).

Le varie tecniche di processing trasformano l'informazione registrata nel dominio  $x - t$  (spazio tempo), in un dominio dove l'energia associata all'evento è funzione della frequenza e di altre variabili. Tutto questo allo scopo, attraverso lo spettro, di localizzare la densità di energia maggiore, alla quale sono di solito associate le onde di Rayleigh. Con procedura manuale vengono selezionati dei punti sullo spettro, che andranno a formare la curva di dispersione sperimentale. La scelta di questi valori, denominata *picking*, è condizionata da alcune indicazioni ma è imprescindibile dall'abilità e dall'esperienza dell'interprete anche in base ad altre conoscenze in merito al sito in esame.

Il *sampling rate* utilizzato è stato di 512 Hz in modo da ottenere un elevato dettaglio del segnale. La durata (lunghezza temporale) del segnale registrato è stato di circa 6 minuti. Il software utilizzato per l'analisi spettrale è [Grilla v.9.5.2 release 2020](#).

Data la necessità di analizzare con elevato dettaglio le basse frequenze (tipicamente anche al di sotto dei 10 Hz), sono stati utilizzati n° 16 geofoni verticali a 4,5 Hz uniti in un *array* lineare totalmente digitale (*SoilSpy Rosina*). Ogni geofono è munito di un digitalizzatore che converte il segnale e lo trasmette al sismografo tramite un'interfaccia USB. Tale sistema permette di avere elevati rapporti di rumore, un perfetto sincronismo e una estrema leggerezza. La spaziatura utilizzata tra i geofoni è stata di 3 m quindi la lunghezza complessiva del profilo è risultata essere di 45 m. Non sono presenti sostanziali variazioni di quota e quindi il sito può essere considerato orizzontale.



Per una corretta ricostruzione sismica del sottosuolo e una buona stima delle onde Vs è necessario adottare una modellizzazione numerica che può essere rappresentata dalla seguente equazione:

$$\hat{v}_s = \frac{H}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{v_i}} \quad [2.1]$$

- Vs = valore di velocità delle onde di taglio [m/s];
- H = profondità alla quale si desidera stimare Vs [m] (30 m in caso di Vs30);
- hi = spessore dello strato i - esimo [m];
- vi = velocità delle onde Vs all'interno dello strato i - esimo [m/s].

In via puramente indicativa, al fine di correlare le velocità delle onde di taglio ad un tipo di suolo, si riportano i valori tabulati da Borchardt (1992; 1994) assieme a quelli ottenuti sperimentalmente in diversi ambienti sedimentari da altri autori (Budny, 1984; Ibs von Seht e Wohlenberg, 1999; Delgado et al., 2000 a, b; Parolai et al., 2002; Scherbaum et al., 2003; D'Amico et al., 2004, 2006; Hinzen et al., 2004).

TIPO DI SUOLO	Vs min [m/s]	Vs media [m/s]	Vs max [m/s]
<b>ROCCE MOLTO DURE</b> (es. rocce metamorfiche molto - poco fratturate)	1400	1620	-
<b>ROCCE DURE</b> (es. graniti, rocce ignee, conglomerati, arenarie e argilliti, da mediamente a poco fratturate)	700	1050	1400
<b>SUOLI GHIAIOSI e ROCCE DA TENERE A DURE</b> (es. rocce sedimentarie ignee tenere, arenarie, argilliti, ghiaie e suoli con > 20% di ghiaia)	375	540	700
<b>ARGILLE COMPATTE e SUOLI SABBIOSI - GHIAIOSI</b> (es. ghiaie e suoli con < 20% di ghiaia, sabbie da sciolte a molto compatte, limi e argille sabbiose, argille da medie a compatte e argille limose)	200	290	375
<b>TERRENI TENERI</b> (es. terreni di riempimento sotto falda, argille da tenere a molto tenere)	100	150	200

## 2.2 Indagine sismica di tipo passivo a stazione singola (H.V.S.R.)

La tecnica sismica passiva (tecnica dei rapporti spettrali o H.V.S.R., Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è totalmente non invasiva, molto rapida, si può applicare ovunque e non richiede nessun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazione esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque. I risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo sono:

- la **frequenza caratteristica di risonanza del sito** che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale. Si dovranno adottare adeguate precauzioni nel costruire edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di "doppia risonanza" estremamente pericolosi per la stabilità degli stessi;
- la **frequenza fondamentale di risonanza di un edificio**, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso. In seguito sarà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito (*free field*) e capire se in caso di sisma la struttura potrà essere o meno a rischio;
- la **velocità media delle onde di taglio  $V_s$**  calcolata tramite un apposito codice di calcolo. È necessario, per l'affidabilità del risultato, conoscere la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia (prova penetrometrica, sondaggio, ecc.) e riconoscibile nella curva H/V. Sarà quindi possibile calcolare la  $V_{s,eq}$  e la relativa categoria di sottosuolo come esplicitamente richiesto dalle *Norme Tecniche per le Costruzioni del 17 gennaio 2018*;
- la **stratigrafia del sottosuolo** con un *range* di indagine compreso tra 0,5 e 700 m di profondità anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 metri. Il principio su cui si basa la presente tecnica, in termini di stratigrafia del sottosuolo, è rappresentato dalla definizione di strato inteso come unità distinta da quelle sopra e sottostante per un contrasto d'impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

Le basi teoriche della tecnica HVSR si rifanno in parte alla sismica tradizionale (riflessione, rifrazione, diffrazione) e in parte alla teoria dei microtremori. La forma di un'onda registrata in un sito  $x$  da uno strumento dipende:

- dalla forma dell'onda prodotta dalla sorgente  $s$ ;
- dal percorso dell'onda dalla sorgente  $s$  al sito  $x$  (attenuazioni, riflessioni, rifrazioni, incanalamenti per guide d'onda);
- dalla risposta dello strumento.

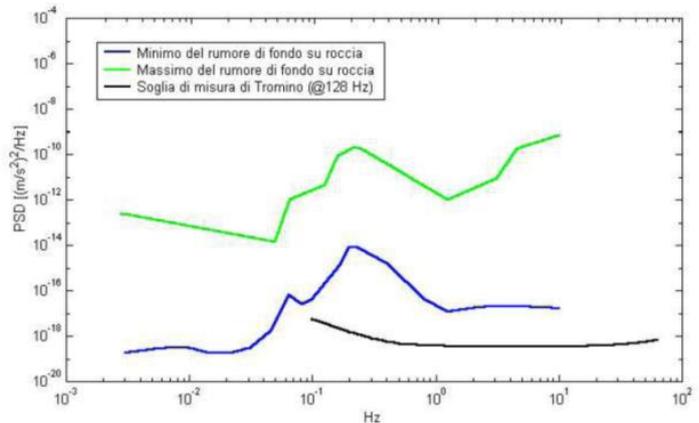
Possiamo scrivere questo come:

$$\text{segnale registrazione al sito } x = \text{sorgente} * \text{effetti di percorso} * \text{funzione trasferimento strumento}$$

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Si chiama anche *microtremore* poiché riguarda oscillazioni molto piccole, molto più piccole di quelle indotte dai terremoti. I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi poiché il rumore non è generato *ad hoc*, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva. Nel tragitto dalla sorgente  $s$  al sito  $x$  le onde elastiche (sia di terremoto che microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di guida d'onda, attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato. Questo significa che se da un lato l'informazione riguardante la sorgente è persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica, è presente comunque una parte debolmente correlata nel segnale che può essere estratta e che contiene le informazioni concernenti il percorso del segnale e, in particolare, relative alla struttura locale vicino al sensore. Dunque, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartata dalla sismologia classica, contiene informazioni. Questa informazione è però "sepolta" all'interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune. Una di queste tecniche è la teoria dei rapporti spettrali o, semplicemente, HVSR che

è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali del sottosuolo; informazione di notevole importanza nell'ingegneria sismica.

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un tromometro digitale della ditta Moho S.r.l. modello "Tromino ENGY-PLUS" che rappresenta la nuova generazione di strumenti ultra - leggeri e ultra - compatti in alta risoluzione adatti a tali misurazioni. Lo strumento racchiude al suo interno una terna velocimetrica con i sensori ortogonali tra loro e con intervallo di frequenza compreso tra 0.1 e 256 Hz. Nella figura a fianco si riporta la curva di rumore di "Tromino" a confronto con i modelli standard di rumore sismico massimo (in verde) e minimo (in blu) per la Terra. Gli spettri di potenza sono espressi in termini di accelerazione e sono relativi alla componente verticale del moto.



### 3. EVOLUZIONE NORMATIVA E CENNI DI INGEGNERIA SISMICA

La storia della classificazione sismica Italiana comincia dopo il terribile terremoto di Reggio Calabria e Messina del 1908 (XI grado MCS) che provocò la morte di circa 80.000 persone. In seguito a questo evento ci fu un deciso impegno dello Stato a tradurre in legge le conoscenze scientifiche e tecniche sulle costruzioni sino ad allora maturate. Fu così emanato il Regio decreto n° 193 [1909] nel quale è contenuta la prima classificazione sismica del territorio Italiano. Negli anni a seguire si continuò ad aggiornare la normativa tecnica ampliando la classificazione in base alle zone colpite da eventi sismici. Nel 1962 fu pubblicata la Legge n° 1684, in seguito ai terremoti di Carnia (1956), Valle del Velino (1961) e Irpinia (1962) dove, per la prima volta, si prescrisse l'applicazione delle norme sismiche ai comuni "soggetti a intensi movimenti sismici" e non solo a quelli colpiti dal terremoto. In seguito ai terremoti dei Monti Nebroli (1967), della Valle del Belice (1968) e di Tuscania (1971), fu emanata la Legge n° 64 [1974], che costituisce una pietra miliare nel panorama della normativa sismica poiché stabilì che la classificazione sismica dovesse procedere sulla base di comprovate motivazioni tecniche scientifiche.

La promulgazione dell'Ordinanza P.C.M. n° 3274 del 20/3/2003 e successive modifiche ed integrazioni ha determinato sul panorama nazionale un grande rinnovamento sul fronte della normativa tecnica in zona sismica, rappresentata fino ad allora dai contenuti del D.M. 16 gennaio 1996. La principale novità introdotta dall'O.P.C.M. n° 3274 è l'abbandono del carattere puramente prescrittivo e convenzionale che caratterizzava le norme tecniche di vecchia concezione, come il D.M. 16/01/1996, per abbracciare un'impostazione puramente prestazionale, in cui gli obiettivi della progettazione e quindi il livello di sicurezza sono esplicitamente dichiarati, a seconda della risposta sismica attesa per la struttura e il sito di costruzione, per un prefissato livello di severità dell'azione sismica.

Le attuali norme tecniche per le costruzioni (N.T.C. D.M. - 17 gennaio 2018) ereditano gran parte dei contenuti dell'O.P.C.M. n° 3274 in merito alla progettazione in zone sismiche; tuttavia rispetto a quest'ultimo documento sono anche stati apportati importanti cambiamenti, di cui forse il più rilevante riguarda la definizione dell'**azione sismica**.

Per comprendere pienamente il significato della nuova normativa è necessario rifarsi al concetto di **risposta sismica locale**. Dal punto di vista strettamente fisico, per effetto di sito (risposta sismica locale) s'intende l'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico, relativo ad una formazione rocciosa di base (R), subisce attraversando gli strati di terreno sovrastanti fino alla superficie (S). Nel presente lavoro si sfrutterà la teoria di Nakamura che relaziona lo spettro di

risposta del substrato roccioso (rapporto spettrale  $H / V = 1$ ) con quello effettivamente misurato in superficie.

Il moto sismico è amplificato in corrispondenza di determinate frequenze che corrispondono alle frequenze naturali  $f_n$  di vibrazione del deposito:

$$f_n = 1 / T_n = (V_s * (2n - 1)) / (4 * H) \quad \text{con } n = 1, 2, \dots, \quad [3.1]$$

mentre risulta ridotto di amplificazione alle frequenze elevate a causa dello smorzamento del terreno. Di particolare importanza è la prima frequenza naturale di vibrazione del deposito denominata frequenza fondamentale di risonanza:

$$f_1 = 1 / T_1 = V_s / 4H \quad [3.2]$$

E' quindi necessario porre estrema attenzione a fenomeni di “**doppia risonanza**”, cioè la corrispondenza tra le frequenze fondamentali del segnale sismico così come trasmesso in superficie e quelle dei manufatti ivi edificati in quanto le azioni sismiche su di essi sarebbero gravose.

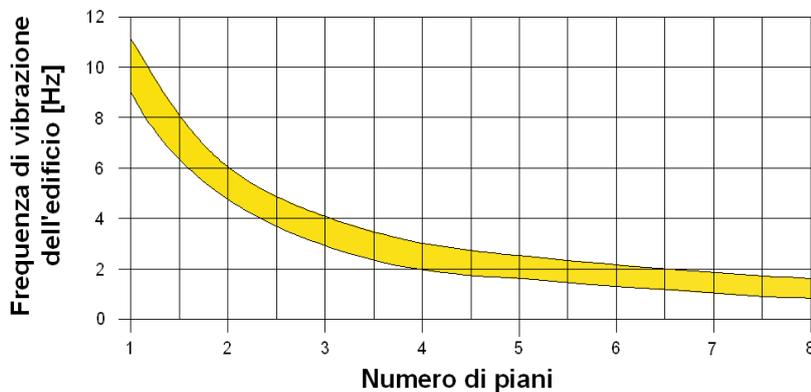
Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula (cfr. Es. Pratt):

$$\text{freq. naturale edificio} \approx 10 \text{ Hz} / \text{numero piani.} \quad [3.3]$$

E' la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura:

$$\text{freq. naturale edificio} \approx \text{freq. fondamentale di risonanza del sito} \quad [3.4]$$

ad essere particolarmente pericolosa, poiché da luogo alla massima amplificazione e deve quindi essere oggetto di studi approfonditi.



**Figura** - Frequenza di vibrazione degli edifici rapportata al numero di piani.

## 4. ANALISI SISMICA DI SITO E DEFINIZIONE CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

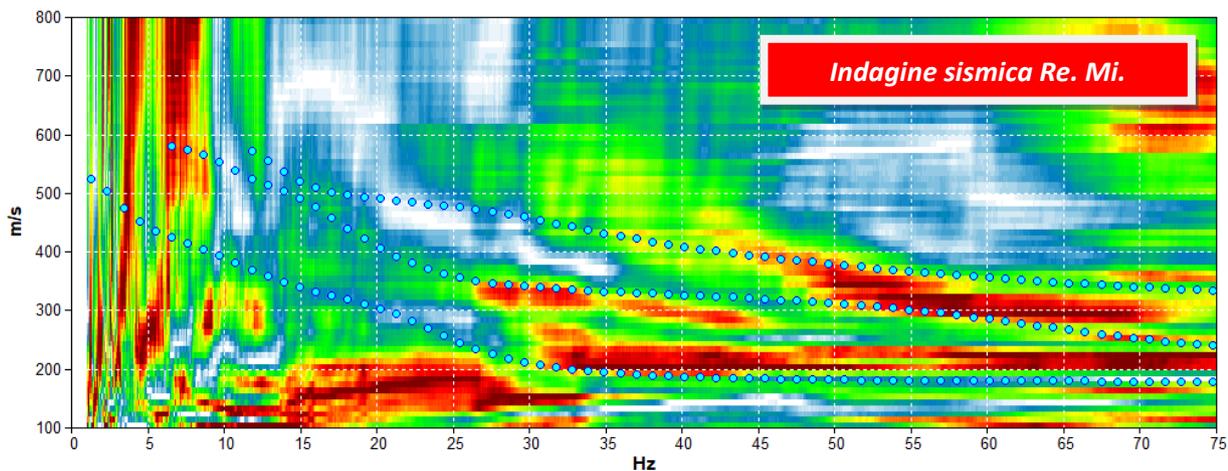
### 4.1 Risultati ottenuti dalle indagini sismiche effettuate

L'utilizzo incrociato delle due tecniche sismiche ha permesso di ottenere un modello sismo - stratigrafico del sottosuolo robusto e affidabile in corrispondenza della zona d'interesse. L'indagine Re.Mi. ha individuato le discontinuità sismiche superficiali e stimato le velocità di propagazione delle onde S mentre la prospezione passiva a stazione singola (H.V.S.R.), ha stimato il grado di rigidità delle coperture. Inoltre, la misura H.V.S.R. ha determinato le frequenze di risonanza di sito cioè i valori di frequenza attesi in superficie in occasione di evento sismico.

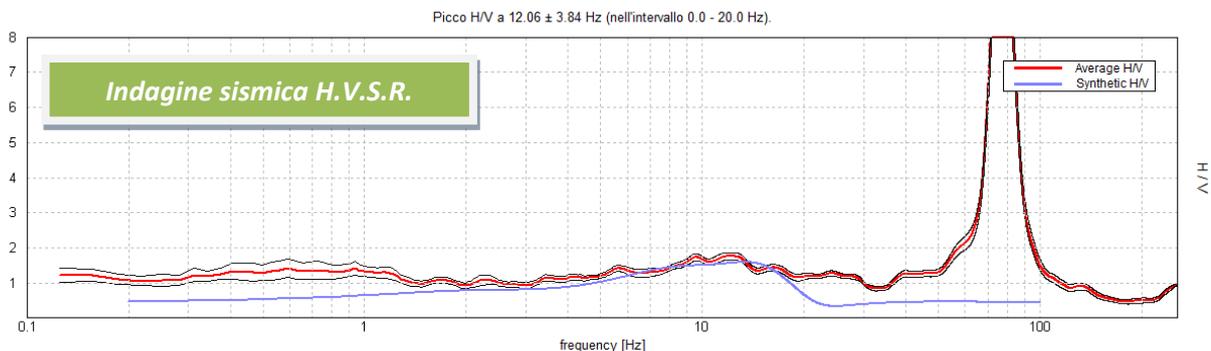
L'attendibilità del modello sismo-stratigrafico desunto è da considerarsi elevata, la coerenza del segnale è discreta e lo spettro di velocità è parzialmente definito nel modo fondamentale per le frequenze campionate. Il programma di elaborazione utilizzato permette di considerare non solo il modo fondamentale ma, una volta individuati, anche i modi superiori per vincolare con maggior attendibilità la ricostruzione sismo-stratigrafica del sottosuolo.

### 4.2 Indagine sismica passiva in array (Re.Mi.) con inversione congiunta

#### Re.Mi. e H.V.S.R. n.1



*Spettro di velocità: il modo fondamentale è parzialmente definito per le frequenze campionate. Il segnale si presenta con una discreta coerenza. In blu la curva sintetica creata da una modellizzazione diretta delle onde*



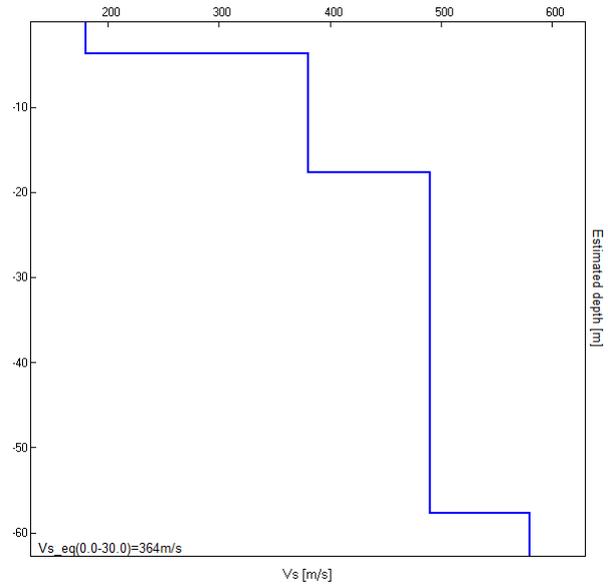
*La curva spettrale rossa rappresenta l'andamento sismico registrato in campagna mentre quella blu è la curva sintetica generata dal codice di calcolo*

La ricostruzione sismo-stratigrafica di sito ha evidenziato la presenza di un materiale poco addensato fino a circa 3,7 m dal p.c. locale caratterizzato da Vs di circa 180 m/s, mentre per valori di profondità maggiori il grado di rigidità diventa più elevato con Vs che raggiungono valori di 380 m/s.

Un ulteriore incremento di rigidità si osserva a circa 18 m di profondità con le Vs che arrivano a valori di circa 490 m/s.

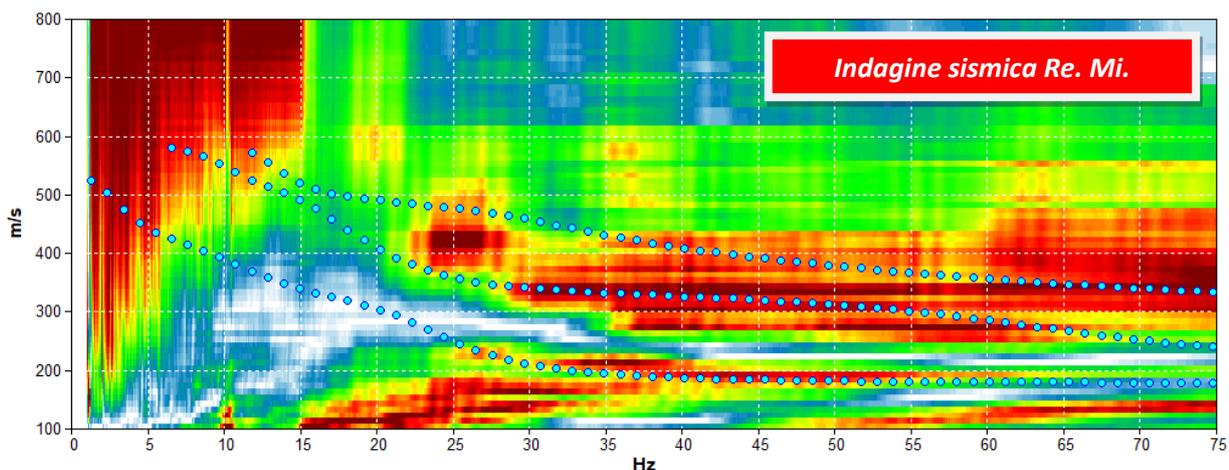
Il sismo-strato più profondo (Vs ≈ 580 m/s), è stato riconosciuto ad una profondità di circa 58 m. dal p.c. locale.

Il rilievo nello specifico ha fornito i seguenti dati sismici (*modello sismo - stratigrafico interpretativo*):

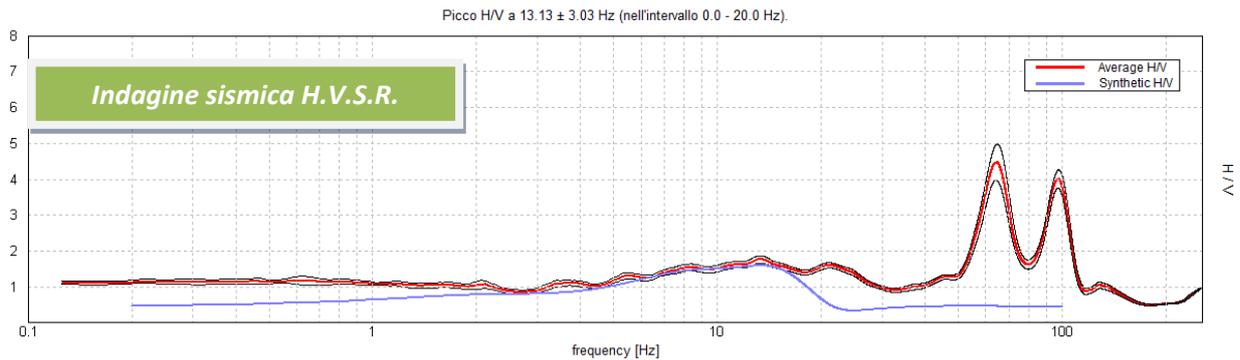


Indagine sismica Re. Mi. con inversione congiunta H.V.S.R.	Velocità onde di taglio [m/s]	Spessori [m]	Profondità [m]
I SISMOSTRATO	180	3,7	0,0 - 3,7
II SISMOSTRATO	380	14	3,7 - ≈18
III SISMOSTRATO	490	40	≈18 - ≈58
V SISMOSTRATO	580	Semisp.	≈58 - Semisp.

### Re.mi. e H.V.S.R. n.2



Spettro di velocità: il modo fondamentale è definito soprattutto alle alte frequenze. Il segnale si presenta con una buona coerenza. In blu la curva sintetica creata da una modellizzazione diretta delle onde S.



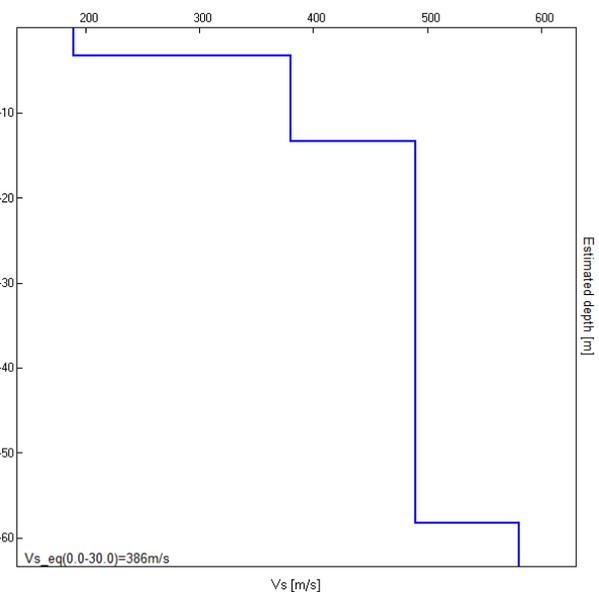
La curva spettrale rossa rappresenta l'andamento sismico registrato in campagna mentre quella blu è la curva sintetica generata dal codice di calcolo

La ricostruzione sismo-stratigrafica di sito ha evidenziato la presenza di un materiale mediamente addensato fino a circa 3,3 m dal p.c. locale caratterizzato da Vs di circa 190 m/s, mentre per valori di profondità maggiori il grado di rigidità diventa più elevato con Vs che raggiungono valori di 380 m/s.

Un ulteriore incremento di rigidità si osserva a circa 13 m di profondità con le Vs che arrivano a valori di circa 490 m/s.

Il sismo-strato più profondo (Vs ≈ 580 m/s), è stato riconosciuto ad una profondità di circa 58 m. dal p.c. locale.

Il rilievo nello specifico ha fornito i seguenti dati sismici (modello sismo - stratigrafico interpretativo):



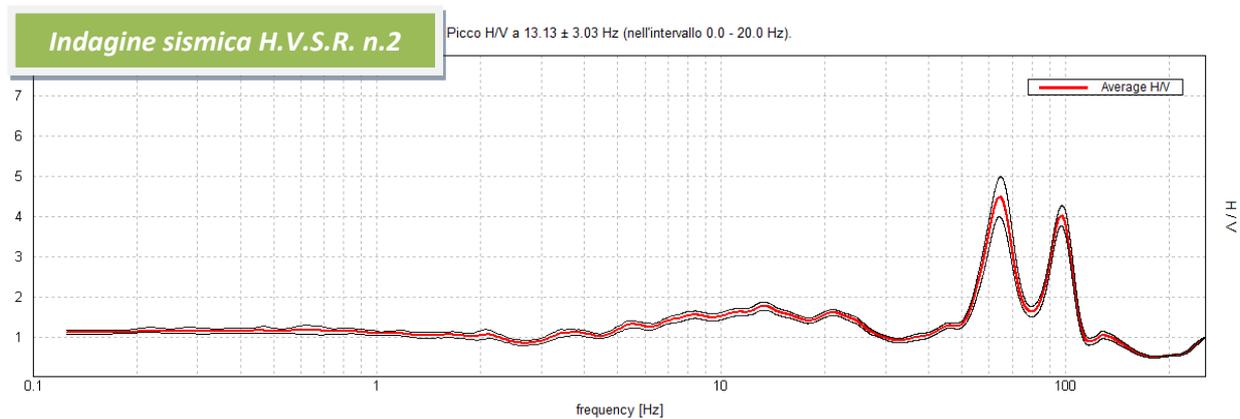
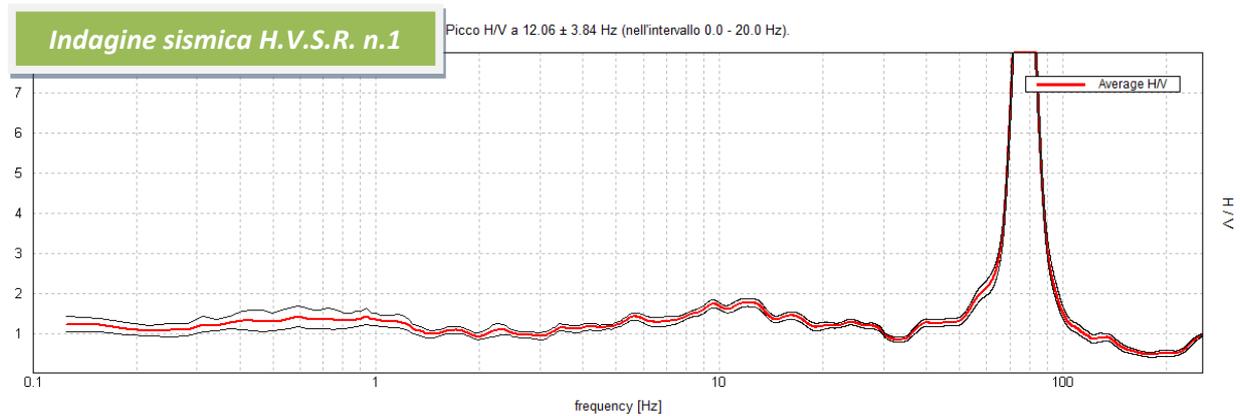
Indagine sismica Re. Mi. con inversione congiunta H.V.S.R.	Velocità onde di taglio [m/s]	Spessori [m]	Profondità [m]
I SISMOSTRATO	190	3,3	0,0 - 3,3
II SISMOSTRATO	380	10	3,3 - ≈13
III SISMOSTRATO	490	45	≈13 - ≈58
V SISMOSTRATO	580	Semisp.	≈58 - Semisp.

#### 4.3 Indagine sismica passiva a stazione singola (H.V.S.R.)

Nel caso specifico del sito in esame si è cercato di correlare i valori di picco, dello spettro di risposta HVSR, con le frequenze fondamentali di risonanza di sito.

Interpretando i minimi della componente verticale come risonanza del modo fondamentale dell'onda di Rayleigh e i picchi delle componenti orizzontali come contributo delle onde SH, si sono potute ricavare le frequenze relative ad ogni discontinuità sismica.

E' ormai consolidata, sia a livello accademico sia professionale, l'ipotesi che le strutture subiscono le sollecitazioni sismiche maggiori quando c'è coincidenza tra la frequenza di vibrazione naturale del terreno investito da un'onda sismica e quella naturale dell'edificio.



Rapporto spettrale H/V misurato. In rosso è indicato l'HV medio mentre in nero l'intervallo di confidenza al 95%.

#### 4.4 Categoria di sottosuolo di fondazione secondo le Norme Tecniche sulle Costruzioni - D.M. 17 gennaio 2018

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi o in rapporto ad un approccio semplificato che si basa sull'individuazione di Categorie di Sottosuolo di riferimento.

Per definire le Categorie, il D.M. 17 gennaio 2018 prevede il calcolo del parametro  $V_{s,eq}$ , ovvero della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio  $V_s$  dei terreni posti al di sopra del substrato di riferimento ( $V_{s,30}$  per depositi con profondità del substrato superiore a 30 m). La profondità del substrato è riferita al piano di posa delle fondazioni superficiali, alla testa dei pali per fondazioni indirette, al piano di imposta delle fondazioni per muri di sostegno di terrapieni o alla testa delle opere di sostegno di terreni naturali.

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>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.</i>
C	<i>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.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente 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 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>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.</i>

Dall'assetto sismo-stratigrafico desunto dalle indagini sismiche effettuate, è possibile constatare la presenza del substrato di riferimento a profondità superiori a 30 m.

Pertanto, come espressamente richiesto dalla normativa vigente (*Norme Tecniche sulle Costruzioni - D.M. 17/01/2018*), si è calcolata la velocità media di propagazione delle onde di taglio fino a 30 m dal piano di posa delle fondazioni ( $V_{s,30}$ ), a partire da varie profondità dal piano campagna:

Profondità piano di posa delle fondazioni	$V_{s,30}$ prova n.1	$V_{s,30}$ prova n.2
0 m dal p.c.	$V_s (0 - 30) \approx 364$ m/s	$V_s (0 - 30) \approx 386$ m/s
1 m dal p.c.	$V_s (1 - 31) \approx 380$ m/s	$V_s (1 - 31) \approx 402$ m/s
2 m dal p.c.	$V_s (2 - 32) \approx 398$ m/s	$V_s (2 - 32) \approx 421$ m/s
3 m dal p.c.	$V_s (3 - 33) \approx 417$ m/s	$V_s (3 - 33) \approx 441$ m/s

Dalla ricostruzione del quadro geofisico emerso dal presente studio e dalle indicazioni normative si prevede l'inserimento del sito d'indagine nella **Categoria di Sottosuolo denominata B**, così definita:

**Categoria 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.

*Si ricorda che qualunque tecnica di geofisica applicata ha un margine di errore intrinseco variabile in funzione del tipo di tecnica usata, di strumentazione utilizzata e di problematiche incontrate durante la fase di acquisizione. Infine, i profili di  $V_s$  ricavati con questa metodologia, come tutti i metodi indiretti, non presentano una soluzione univoca e quindi più modelli possono fornire curve sintetiche simili tra loro.*

Costabissara, luglio 2022

**STUDIOSISMA SRL**  
SS. PASUBIO 10, COSTABISSARA (VI)  
TEL. 0444212962 / 3490567455  
info@studiosisma.com  
CF/P.IVA 03797510249 / SDI USAL8PV

## ALLEGATO

- ✚ Indagine sismica Re.Mi. e H.V.S.R.

## BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

- ✓ Aki K., 1964. A note on the use of microseisms in determining the shallow structures of the earth's crust, *Geophysics*, 29, p. 665 - 666.
- ✓ Arai H. e Tokimatsu K., 2004. S-Wave Velocity Profiling by Inversion of Microtremor H/V Spectrum, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 94, p. 53 - 63.
- ✓ Castellaro S., Mulargia F. Bianconi L., 2005. Stratigrafia sismica passiva: una nuova tecnica accurata, rapida ed economica, *Geologia Tecnica Regionale*, vol. 3.
- ✓ D'Amico V., Picozzi M., Albarello D., Naso G. e Tropenscovino S., 2004. Quick estimates of soft sediments thicknesses from ambient noise horizontal to vertical spectral ratios: a case study in southern Italy, *J. Eartq. Eng.*, 8, p. 895 - 908.
- ✓ Dal Moro G., 2008b, Rapporto sulla campagna Vs30 in Friuli Venezia Giulia, Dipartimento di Scienze Geologiche Ambientali e Marine, Università di Trieste.
- ✓ Dal Moro G & Pipan M., 2007, Joint Inversion of Surface Wave Dispersion Curve and Reflection Travel Times via Multi-Objective Evolutionary Algorithms, *J. Appl. Geophysics*, 61, 56-81.
- ✓ Gallipoli R., La Penna V., Lorenzo P. et al., 2000. Comparison of geological and geophysical prospecting techniques in the study of a landslide in southern Italy, *European J. Environm. and Eng. Geophys.*, 4, p. 117 - 128.
- ✓ Ibs-von Seht M. e Wohlenberg J., 1999. Microtremor measurements used to map thickness of soft sediments, *Bull. Seismol. Soc. America*, 89, p. 250 - 290.
- ✓ Ivanov, J., Miller, R.D., Xia, J., Steeples, D., and Parck, C.B., 2006, Joint Analysis of Refractions with Surface Waves. An Inverse Refraction-Traveltime Solution: *Geophysics*, 71, R131-R138.
- ✓ Mucciarelli M. e Gallipoli M.R., 2001. A critical review of 10 Years of microtremor HVSr technique, *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 42, P. 255 - 266.
- ✓ Mucciarelli M. e Gallipoli M.R., 2006. Comparison between Vs30 and other estimates of site amplification in Italy, *Conf. Eartq. Eng. And Seismol.*, Ginevra, 3-8 Sept. no 270.
- ✓ Mulargia F., Castellaro S., Rossi P.L., 2007. Effetti di sito e Vs30: una risposta alla normativa antisismica", *Il geologo - Ordine dei Geologi Regione Emilia Romagna*.
- ✓ Nakamura Y., 1989. A method for dynamic characteristics estimates of subsurface using microtremor on the round surface, *QR of RTRI*, 30, p. 25 - 30.
- ✓ Roth M. & Holliger K- 1999. Inversion of Sourcegenerated noise in high-resolution seismic data. *The Leading Edge*, 18, 1402-1406.