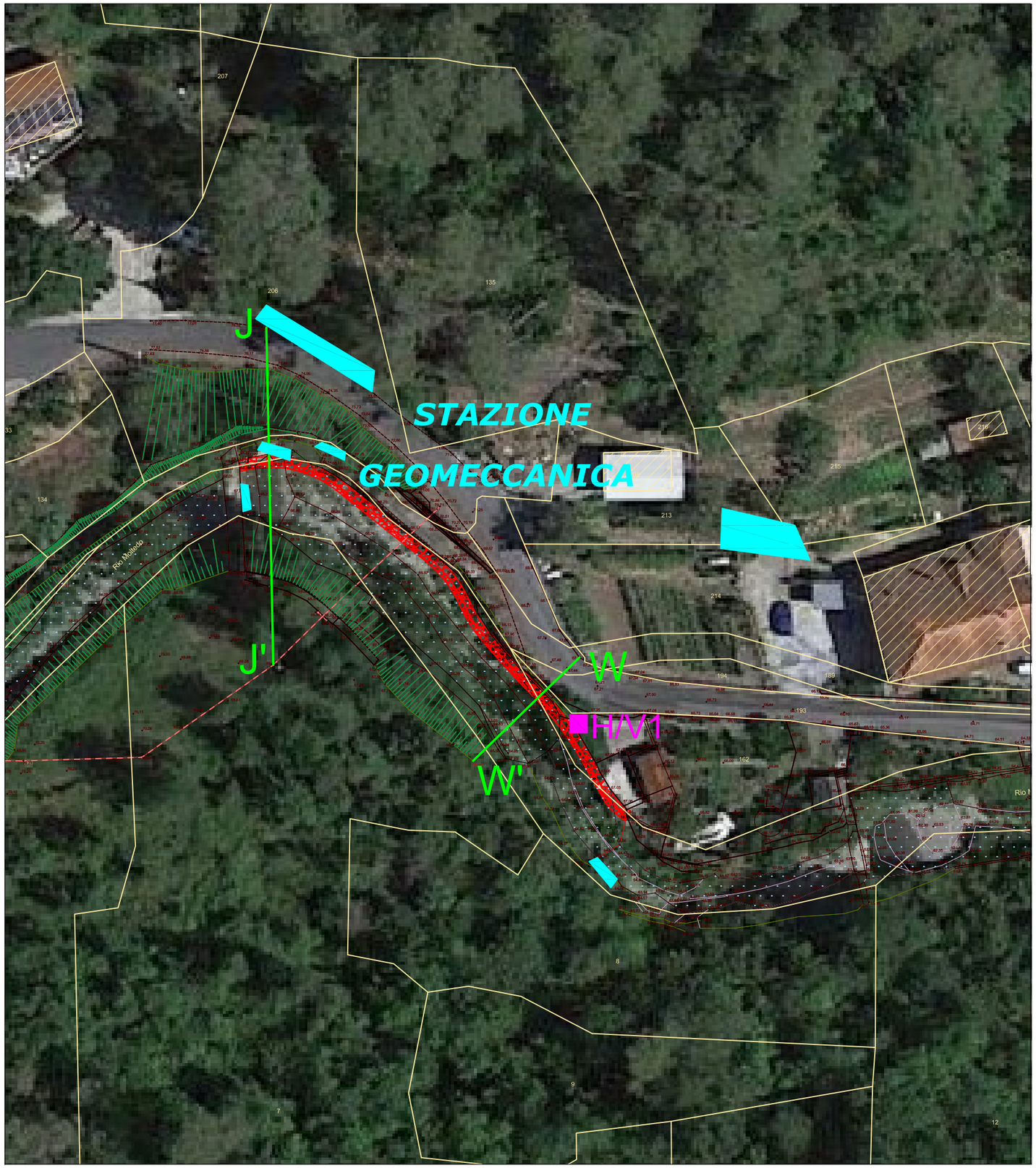


PLANIMETRIA STATO DI PROGETTO
UBICAZIONE INDAGINI - TRATTO 6
scala 1:500

LEGENDA

- Traccia sezioni geologiche interpretative
- Affioramenti rocciosi
- H/V — Misura geofisica dei rapporti spettrali H/V
- pp — Prove penetrometriche dinamiche leggere

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA
STAZIONE GEOMECCANICA



Foto 1

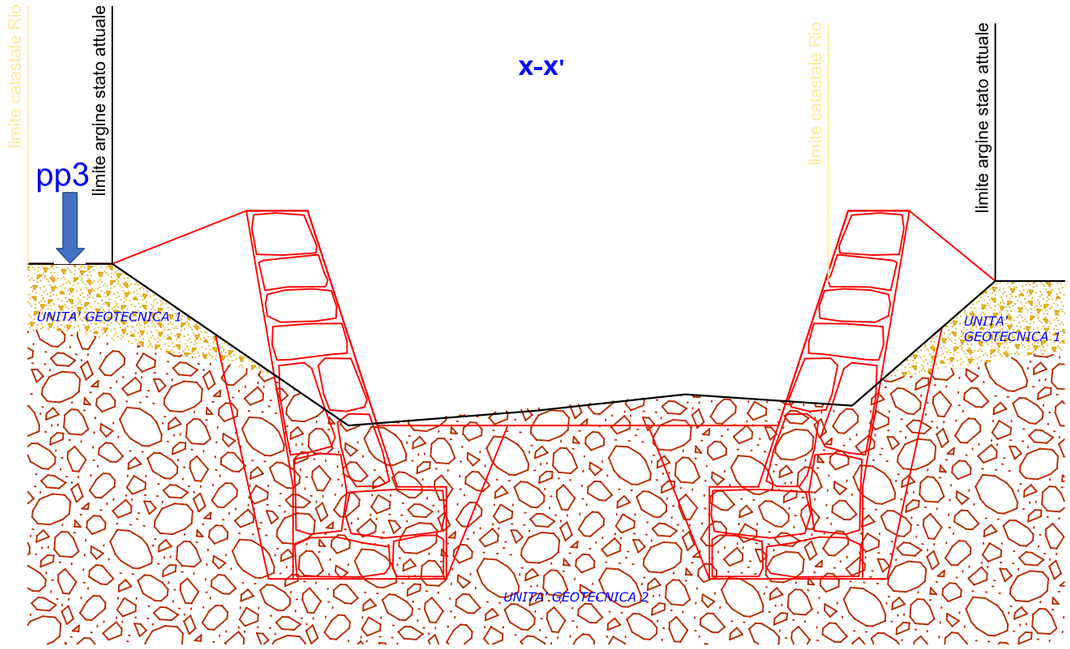


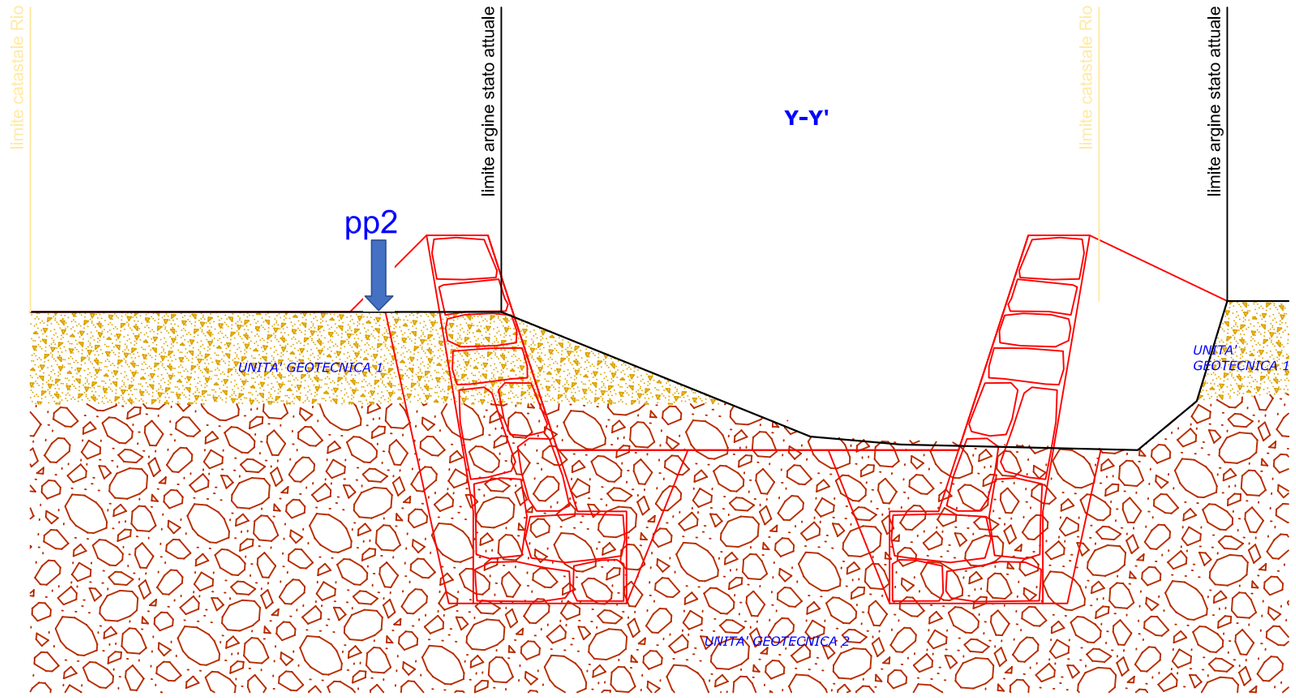
Foto 2

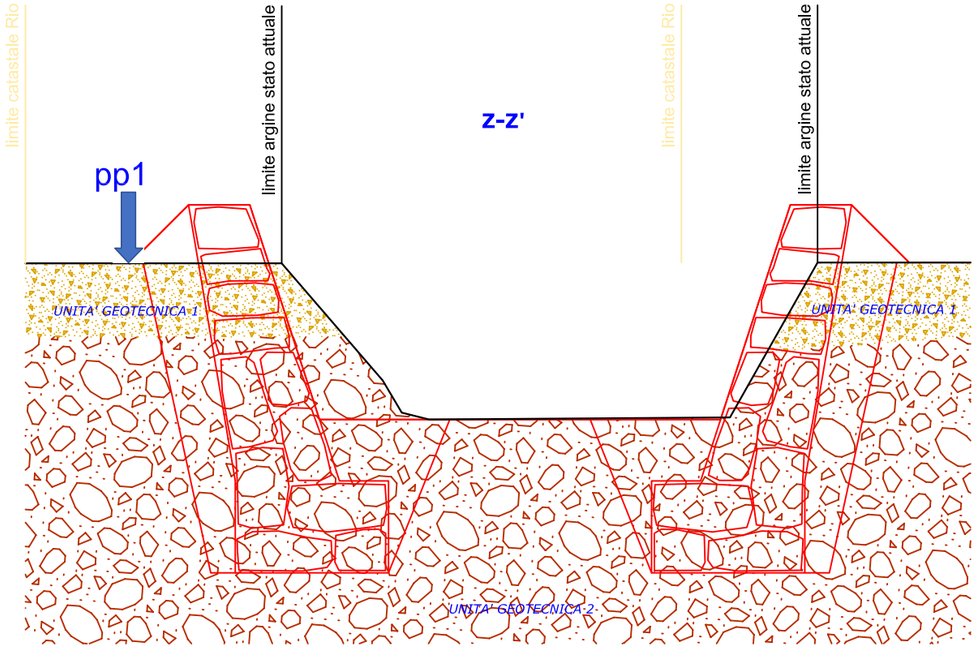
All.5b

SEZIONI GEOLOGICHE INTERPRETATIVE - MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO

scala 1:100









UNITA' GEOTECNICA 1
Terreno vegetale e depositi colluviali (sabbia limo e ghiaia con presenza di ciottoli)

UNITA' GEOTECNICA 2
Depositi alluvionali grossolani con presenza di ciottoli da centimetrici a decimetrici

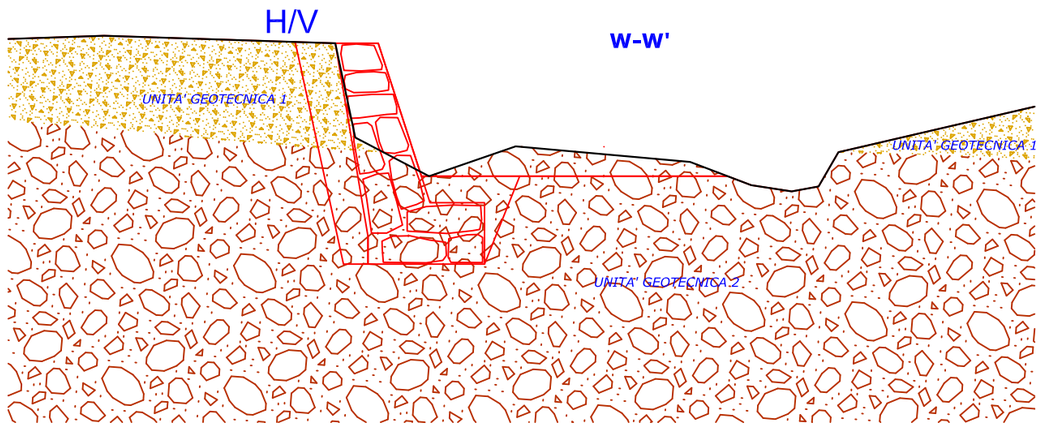
PARAMETRI GEOTECNICI

UNITA' GEOTECNICA	VALORI MEDI Peso di volume γ_n (t/mc)	Angolo di attrito φ (°)	Coesione non drenata Cu (kg/cmq)	Modulo di elasticità o di Young E' (kg/cmq)	VALORE CARATTERISTICO Angolo di attrito φ (°)
1	1,8	24	0	/	22,8
2	1,8	30	0	152	28,5

All.6a

SEZIONI GEOLOGICHE INTERPRETATIVE - MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO

scala 1:100



UNITA' GEOTECNICA 1
Terreno vegetale e depositi colluviali (sabbia limo e ghiaia con presenza di ciottoli)

UNITA' GEOTECNICA 2
Depositi alluvionali grossolani con presenza di ciottoli da centimetrici a decimetrici

PARAMETRI GEOTECNICI

UNITA' GEOTECNICA	VALORI MEDI Peso di volume γ_n (t/mc)	Angolo di attrito φ (°)	Coesione non drenata c_u *(kg/cmq)*	Modulo di elasticità o di Young E' (kg/cmq)	VALORE CARATTERISTICO Angolo di attrito φ (°)
1	1,8	24	0	/	22,8
2	1,8	30	0	152	28,5

AMMASSO ROCCIOSO
Torbiditi calcareo marnose, arenarie ed argilliti (Formazione di Testico)

PARAMETRI GEOTECNICI

UNITA' GEOTECNICA	VALORI MEDI Peso di volume γ' (t/mc)	Angolo di attrito φ' (°)	Coesione c' *(kg/cmq)*	VALORI CARATTERISTICI Peso di volume γ' (t/mc)	Angolo di attrito φ' (°)	Coesione non drenata c' *(kg/cmq)*
AMMASSO ROCCIOSO	2,5	30	1,0	2,4	28,5	0,85

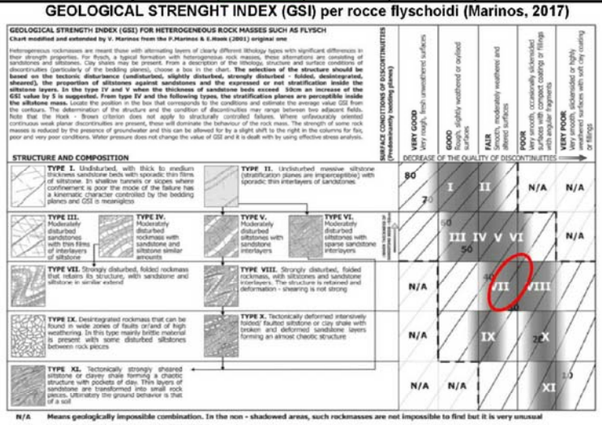
CLASSIFICAZIONE ROCK MASS RATING (BIENIAWSKI,1989) - Indice Q_{Barton} (Cameron-Clarke e Budavari,1981)

Resist. compressione monoassiale (kg/cmq) (roccia intatta)	**> 2500** 15	**1000-2500** 12	**500-1000** 7	**250-500** 4	**50-250** 2	**10-50** 1	**< 10** 0
RQD (%)	**90-100** 20	**75-90** 17	**50-75** 13	**25-50** 8	**< 25** 3		
Spaziatura discontinuità	**> 2 m.** 20	**0.6-2 m.** 15	**0.2-0.6 m.** 10	**6-20 cm.** 8	**< 6 cm.** 5		
Condizioni discontinuità	Superfici molto scabre, non continue. Discontinuità serrate. Pareti inalterate. 25	Superfici scabre. Apertura < 1 mm. Pareti poco alterate. 20	Superfici scabre. Apertura < 1 mm. Pareti molto alterate. 12	Superfici lisce o riempimento < 5 mm, o apertura 1÷5 mm. Giunti continui. 6	Riempimento tenero di spessore > 5 mm, o apertura > 5 mm. Giunti continui. 0		
Condizioni idrauliche	Assenza di acqua 15	Umidità 10	Infiltrazioni 7	Deboli venute d'acqua 4	Problematiche idrauliche elevate 0		

BRMR= 35 **RMR Basic** | RMR = 5*lnQ + 60.8 | Indice Q_{Barton}= 0,006

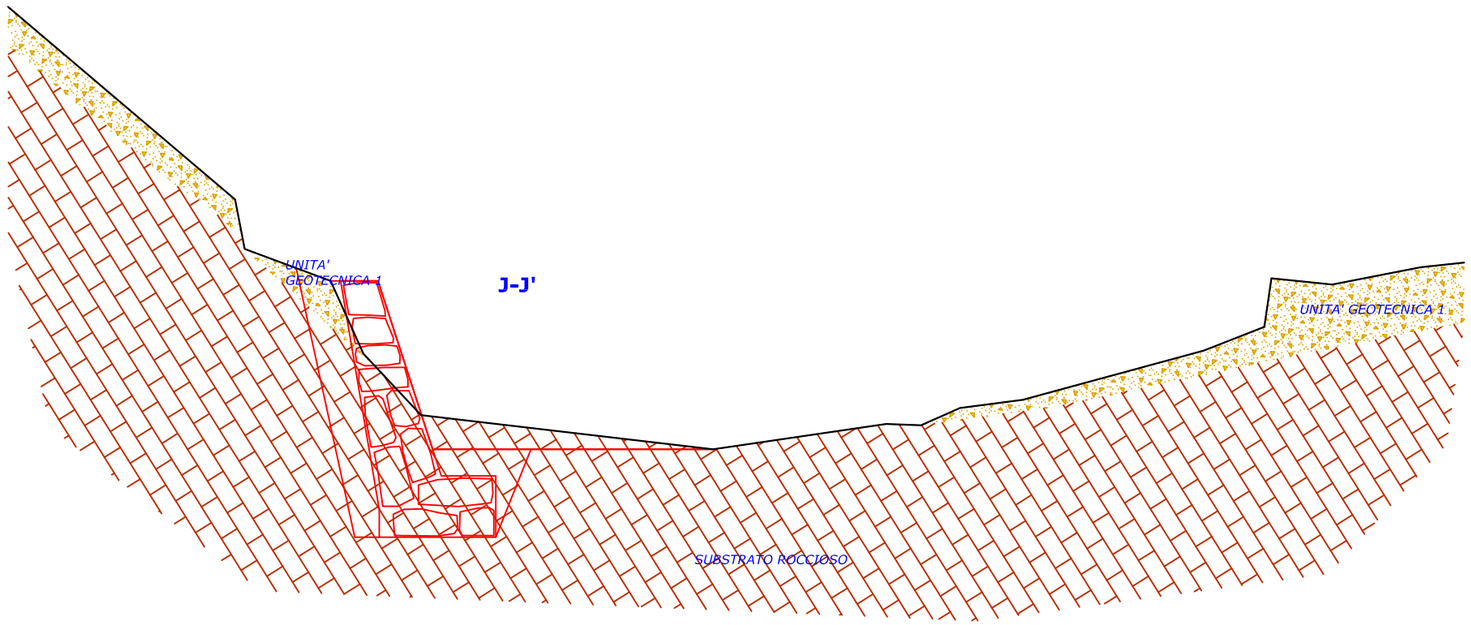
BRMR	0-25	25-50	50-70	70-90	90-100
Classe	V	IV	III	II	I
Qualità ammasso rocc.	molto scadente	scadente	discreta	buona	ottima
Coesione ammasso (di picco)	<1 kg/cmq	1-1.5 kg/cmq	1.5-2 kg/cmq	2-3 kg/cmq	>3 kg/cmq
Phi ammasso (di picco)	< 30°	30°-35°	35°-40°	40°-45°	> 45°

GEOLOGICAL STRENGHT INDEX (GSI) per rocce flyschoidi (Marinos, 2017)



GSI= 35 Indice GSI

$E_{rm} = 10^{\frac{GSI-10}{40}}$ Modulo di deformabilità dell'ammasso roccioso: (relazione di Serafim-Pereira, 1983) **4200** Mpa



All.6b

ALLEGATO 7

INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE IN SITU

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE LEGGERE

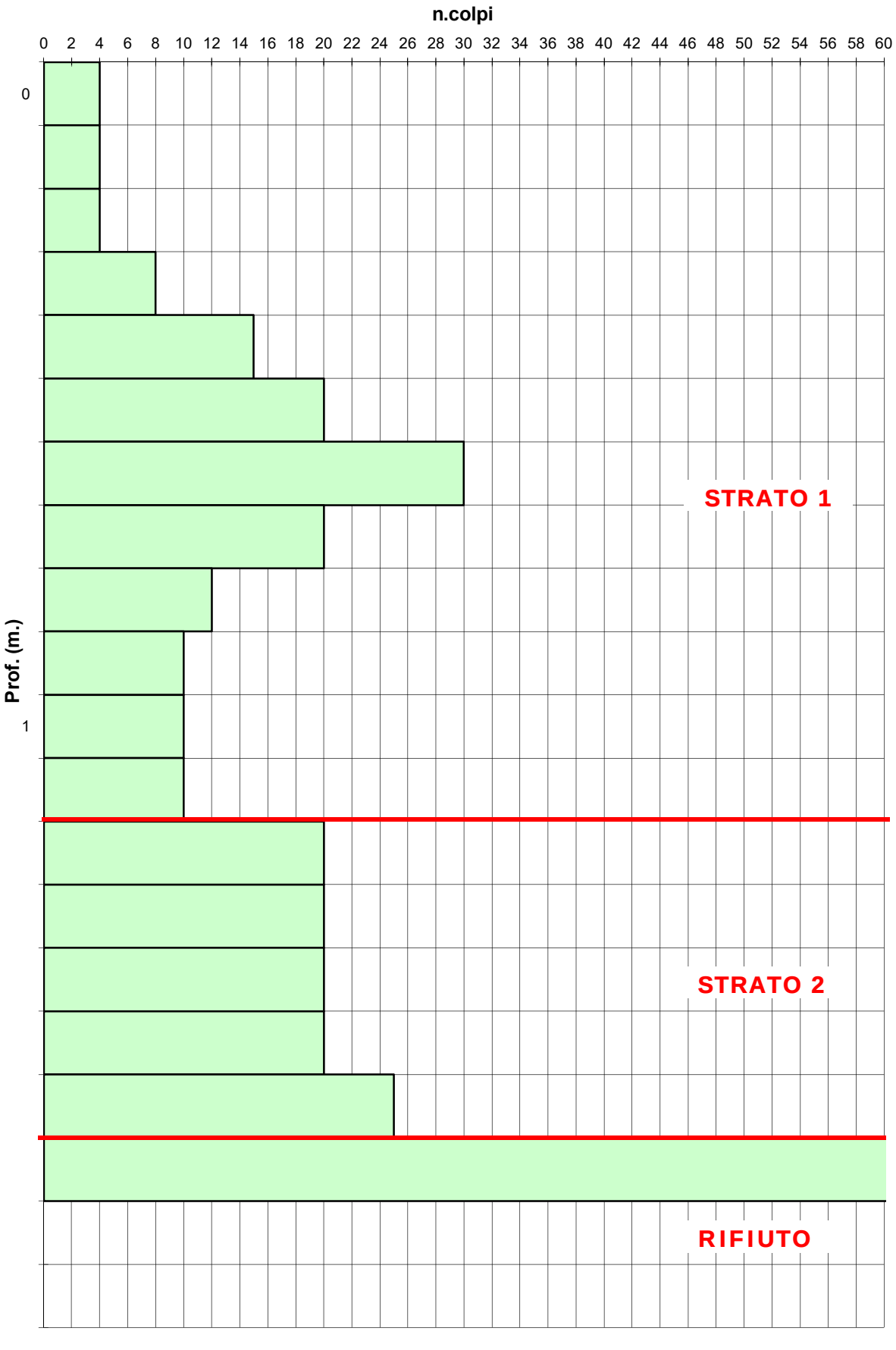
Per la determinazione delle caratteristiche di consistenza del terreno sono state effettuate n.3 prove penetrometriche dinamiche per l'ubicazione delle quali si rimanda alla planimetria all'allegato 3.

La strumentazione utilizzata è un penetrometro dinamico medio Sunda DL030 con le seguenti caratteristiche tecniche:

- *Peso Massa battente 30 Kg*
- *Altezza di caduta libera 0,20 m*
- *Peso sistema di battuta 18 Kg*
- *Frequenza di caduta 55 colpi/min*
- *Diametro punta conica 35,68 mm*
- *Area di base punta 10 cm²*
- *Lunghezza delle aste 1 m*
- *Peso aste a metro 2,4 Kg/m*
- *Diametro aste 20 mm*
- *Avanzamento punta 0,10 m*
- *Numero colpi per punta N(10)*
- *Coeff. Correlazione 0,761*
- *Rivestimento/fanghi: No*
- *Angolo di apertura punta 60 °*

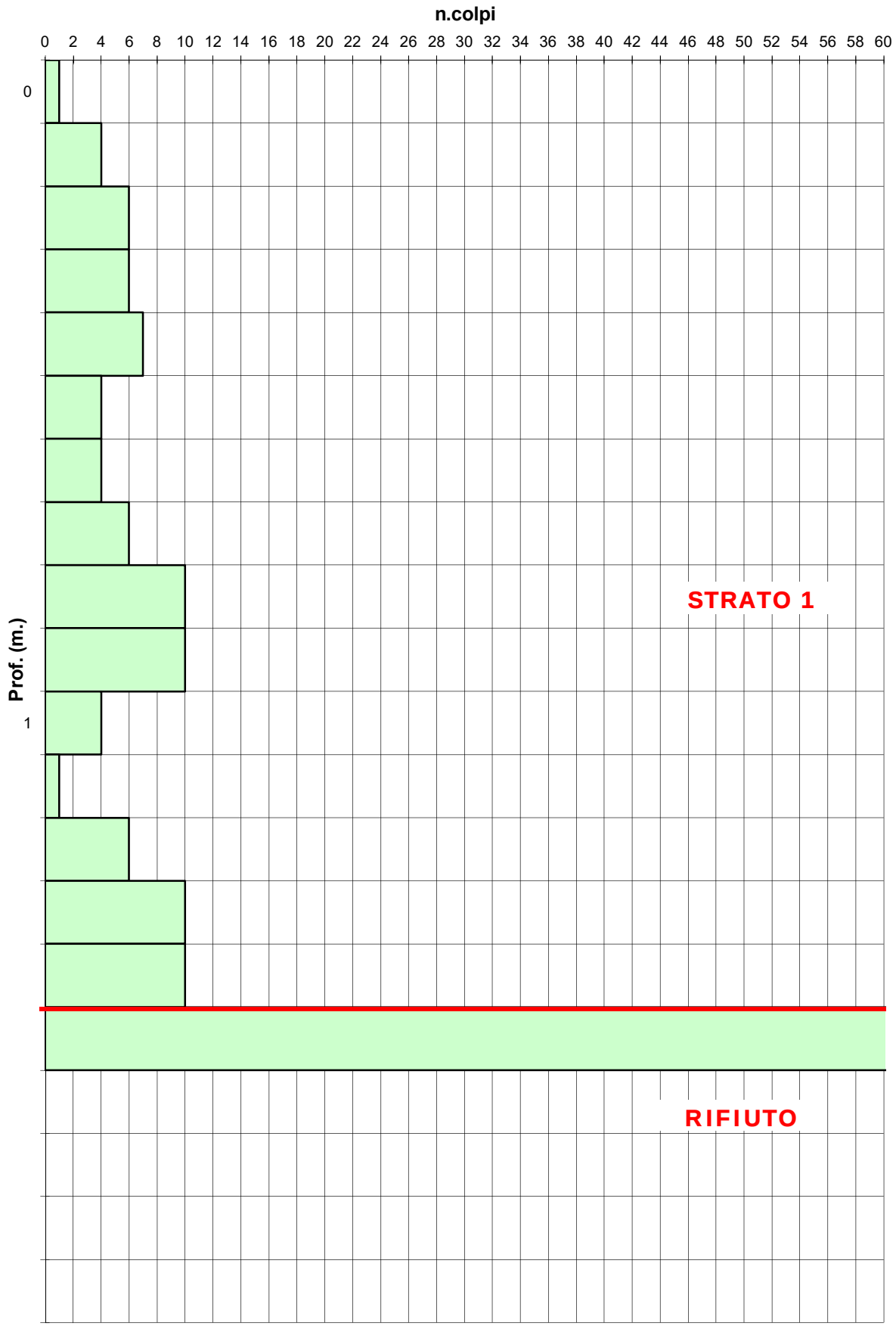
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA N.1

GRAFICO N. COLPI / 10 CM



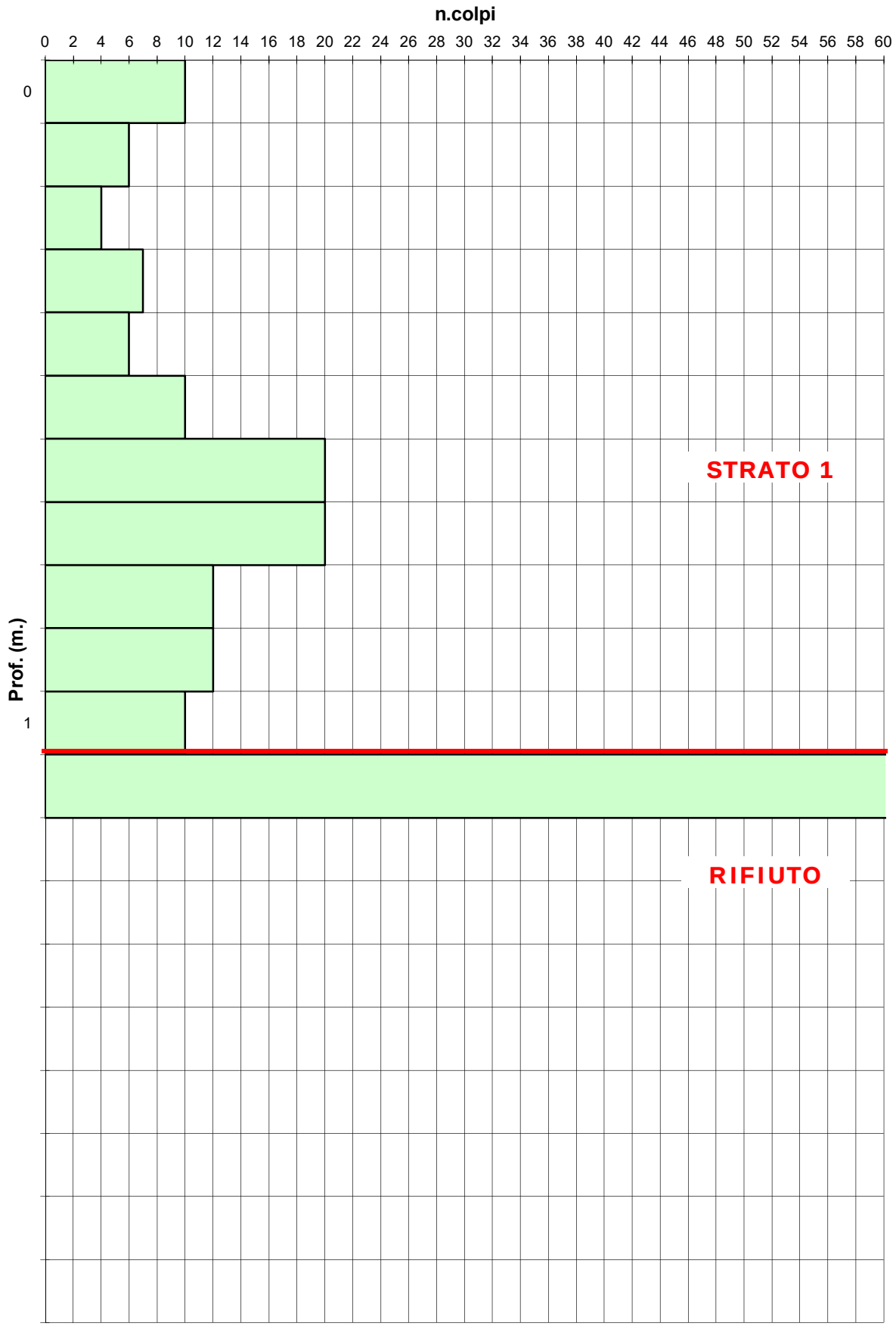
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA N.2

GRAFICO N. COLPI / 10 CM



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA N.3

GRAFICO N. COLPI / 10 CM



Appendice A

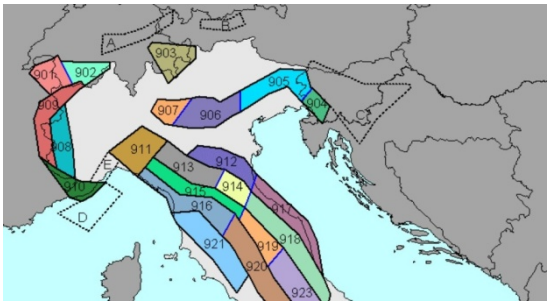
RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA DEL SITO E PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

paragrafo 3.2 – D.M.17.1.2018

PERICOLOSITA' SISMICA REGIONALE

Zonazione sismogenetica

La pericolosità sismica regionale è basata sullo schema proposto dal Gruppo Nazionale Difesa Terremoti (G.N.D.T.), considerando i terremoti che ricadono nella zona sismogenetica di competenza.



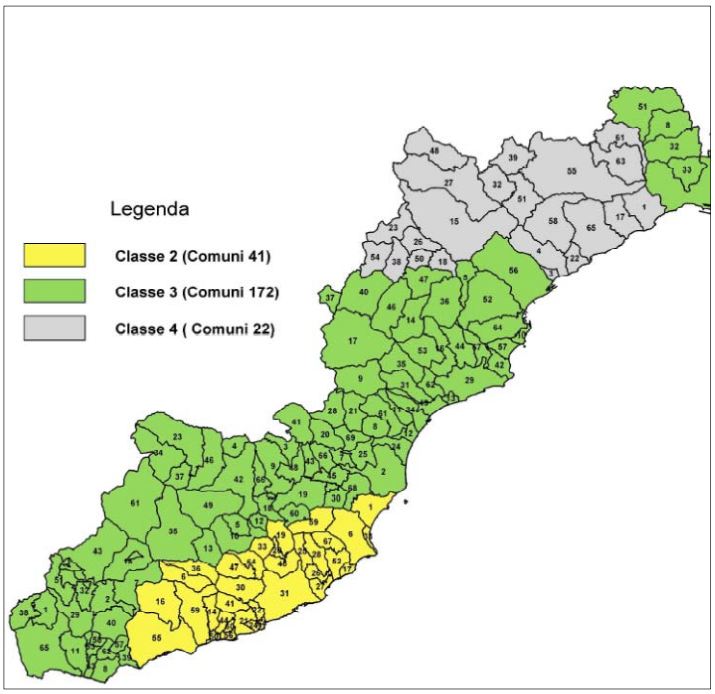
Le zone sismogenetiche si individuano sulla base dell'omogeneità delle caratteristiche geologiche, geofisiche e di sismicità storica.

Ciascuna zona è caratterizzata da un sistema di strutture sismogenetiche consistente in uno o più sistemi di faglie maggiori, responsabili degli eventi a più alta energia, e numerose faglie minori, responsabili degli eventi a più bassa energia.

Il principale terremoto storico verificatosi nel Ponente Ligure è rappresentato dall'evento del 23 Febbraio 1887 (Ms=6.4), la cui ubicazione dell'epicentro (Provincia di Imperia) è ancora incerta. Un altro evento di notevole importanza risulta essere il terremoto delle Alpi Marittime del 1564 (Ms=5.9), la cui posizione è controversa poiché non trova un chiaro riscontro in nessuna delle strutture "attive" presenti nell'area. Incertezze esistono anche per i terremoti verificasi in Mar Ligure nel 1963, di cui una delle due scosse principali ha avuto una magnitudo pari a Ms=5.9 (Eva et alii, 1999).

Classificazione sismica della Regione Liguria

Il Comune di Andora (SV) è stato classificato zona a grado 2 ai sensi della D.G.R. 216/2017 "Aggiornamento classificazione sismica del territorio della Regione Liguria", emanata sulla base della O.P.C.M. 3519/2006 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone".



PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) adottano un approccio prestazionale alla progettazione delle strutture nuove e alla verifica di quelle esistenti. Nei riguardi dell'azione sismica l'obiettivo è il controllo del livello di danneggiamento della costruzione a fronte dei terremoti che possono verificarsi nel sito di costruzione.

L'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire da una "pericolosità sismica di base", in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A nelle NTC) .

La "pericolosità sismica di base" sito-dipendente introdotta dalle NCT è stata ricavata:

· in termini di valori di accelerazione orizzontale massima ag e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC, nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale sopra definite;

· in corrispondenza dei punti di un reticolo (*reticolo di riferimento) i cui nodi sono* sufficientemente vicini fra loro (non distano più di 10 km);

· per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno TR ricadenti in un *intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni, estremi inclusi;*

L'azione sismica così individuata viene successivamente variata, nei modi chiaramente precisati dalle NTC, per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo effettivamente presente nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie. Tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale.

AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA

Per la definizione della azione sismica di progetto occorre valutare l'influenza delle condizioni stratigrafico/litologiche e topografico/morfologiche sulle caratteristiche del moto del suolo in superficie, occorre cioè valutare l'effetto della risposta sismica locale (che comporta modifiche di ampiezza, durata e contenuto in frequenza) mediante specifiche analisi, ovvero mediante un aproccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento. (Tab 3.2.II delle NTC – 18)

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

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	*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.
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.
C	*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	*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.
E	*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.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori delle velocità equivalente di propagazione delle onde Vs $_{eq}$ (m/s) definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^{N} \frac{h_i}{V_{S,i}}} \qquad [3.2.1]$$

con:

h_i	spessore dell'i-esimo strato;
$V_{S,i}$	velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
N	numero di strati;
H	profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

"Per depositi con profondità H del substrato superiori a 30 m, la velocità equivalente delle onde Vs eq è definita dal parametro Vs 30, ottenuto ponendo H =30 m. nelle espressione precedente e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità "(§ 3.2.2 NTC - 18)

Individuata la categoria di sottosuolo è possibile definire l'influenza delle condizioni stratigrafiche locali, in termini di amplificazione, sulla base del coefficiente Ss=coefficiente di amplificazione stratigrafica e del coefficiente Cc=coefficiente utilizzato per definire il Periodo di inizio del tratto costante dello Spettro di Risposta Elastico.

Per sottosuolo di categoria A i coefficienti Ss e Cc valgono 1. Per le categorie di sottosuolo B, C, D ed E i coefficienti Ss e Cc possono essere calcolati, in funzione dei valori di Fo e Tc* relativi al sottosuolo di categoria A.

Categoria	Ss	Cc
A	1,00	1,00
B	$1,00 \le 1,40 - 0,40\ Fo\ a_g/g \le 1,20$	$1,00\ (Tc^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \le 1,70 - 0,60\ Fo\ a_g/g \le 1,50$	$1,05\ (Tc^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \le 2,40 - 1,50\ Fo\ a_g/g \le 1,80$	$1,25\ (Tc^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \le 2.00 - 1,10\ Fo\ a_g/g \le 1,60$	$1,15\ (Tc^*)^{-0,40}$

TRATTO 1-2

SULLA BASE DELLE RISULTANZE DELL'INDAGINE GEOFISICA

A seguito dell'indagine geofisica riportata nella presente relazione geologica (appendice A2) è stato possibile stimare la Velocità equivalente di propagazione Vseq compresa fra **360 m/s e 800 m/s**, che ha permesso di classificare il sito nella **CATEGORIA DI SOTTOSUOLO "B"**

TRATTO 6

SULLA BASE DELLE RISULTANZE DELL'INDAGINE GEOFISICA

A seguito dell'indagine geofisica riportata nella presente relazione geologica (appendice A2) è stato possibile stimare la Velocità equivalente di propagazione Vs30 compresa fra **360 m/s e 800 m/s**, che ha permesso di classificare il sito nella **CATEGORIA DI SOTTOSUOLO "B"**

SULLA BASE DELLE RISULTANZE DELLA CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO:

$$\frac{V_P}{V_S} = \sqrt{\frac{1-\nu}{0.5-\nu}}$$

IndiceQ$_{Barton}$=		**0,006**		**Vp=3.5+log$_{10}$Q (Barton, 2002)=**			**1278**	**m/sec**
modulo Poisson (ν)=		**0,35**						
						Vs=	**614**	**m/sec**

A seguito delle indagini geomeccaniche sull'ammasso roccioso riportate nella presente relazione geologica, utilizzando correlazioni empiriche di comprovata affidabilità, è stato possibile stimare la velocità media delle onde di taglio S compresa fra **360 m/s e 800 m/s** che ha permesso di classificare il sito nella **CATEGORIA DI SOTTOSUOLO "B"**

A scopo cautelativo si considera la velocità delle onde S, stimata nella fascia di ammasso roccioso superficiale rilevata, analoga alla velocità delle onde S in profondità.

AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA S_T

Il valore di accelerazione orizzontale può risultare ulteriormente amplificato a causa della configurazione topografica del piano campagna.

Infatti può verificarsi la modifica delle caratteristiche del moto sismico per effetto della geometria superficiale del terreno, con focalizzazione delle onde sismiche in prossimità della cresta dei rilievi a seguito dei fenomeni di riflessione delle onde sismiche ed all'interazione tra il campo d'onda incidente e quello diffratto.

I fenomeni di amplificazione cresta-base aumentano in proporzione al rapporto tra l'altezza del rilievo e la sua larghezza.

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizza il valore del coefficiente topografico St, riportato nella sottostante tabella, in funzione delle categorie topografiche e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

Le esposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale.

TABELLA RELATIVA ALLE CATEGORIE TOPOGRAFICHE SUPERFICIALI SEMPLICI (D.M.2018)

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15°$.
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15°$.
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base ed inclinazione media $15° \leq i \leq 30°$.
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base ed inclinazione media $i > 30°$.

Categoria topografica	**Ubicazione dell'opera o dell'intervento**	**S_T**
T1	-	**1,0**
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	**1,2**
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	**1,2**
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	**1,4**

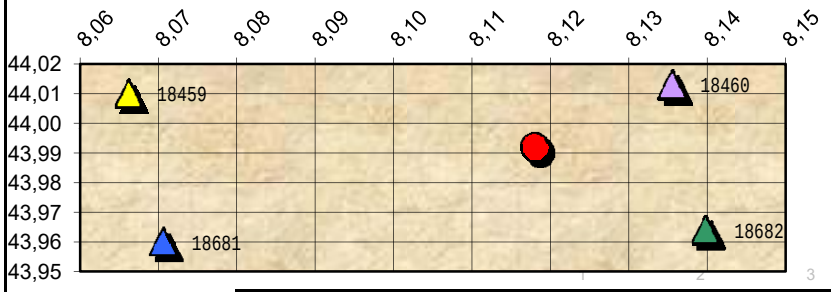
A seguito di analisi morfologica dell'area di progetto è possibile classificare il sito nella Categoria "T1", attribuendo un **Coefficiente di amplificazione topografica S_T=1.00**

AZIONE SISMICA DI PROGETTO

Per pervenire alla definizione della azione sismica di progetto si demanda al progettista la preventiva definizione di Classe d'uso, Vita nominale e Periodo di riferimento dell'azione sismica e la successiva individuazione dei valori di periodi di ritorno a cui riferirsi per il calcolo dell'azione sismica relativa a ciascuno degli stati limiti su cui sviluppare le calcolazioni di analisi previste dalle NTC2018.

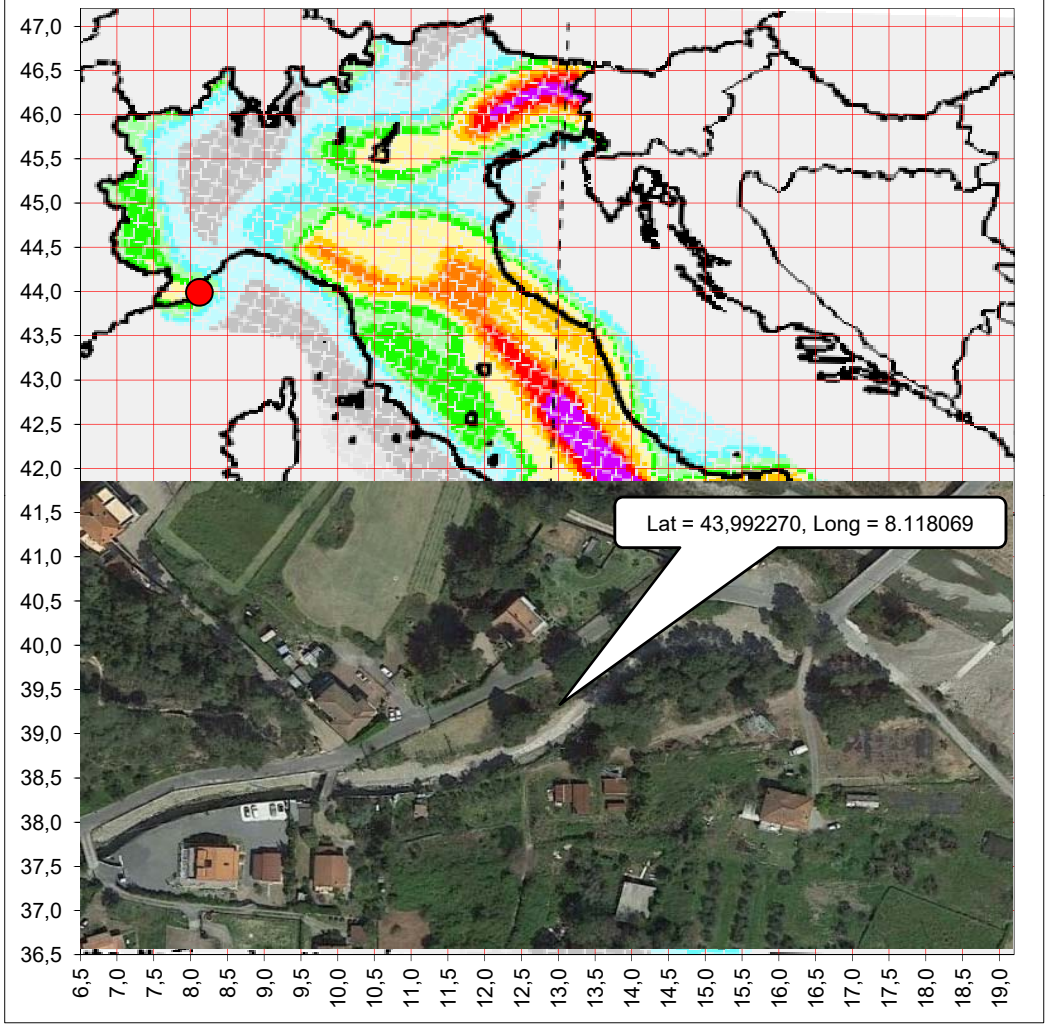
Coordinate geografiche della località in esame				18460
Input da Comuni d'Italia	LON [°]	LAT [°]	Tolleranza [°]	[km]
Località	8,118	43,992	0	0,000

Coordinate geografiche dei 4 punti del reticolo					
	ID [#]	LON [°]	LAT [°]	Distanza [°]	[km]
Punto 1	18460	8,136	44,013	0,024	2,722
Punto 2	18459	8,066	44,010	0,041	4,601
Punto 3	18682	8,140	43,964	0,032	3,569
Punto 4	18681	8,071	43,960	0,047	5,201



Media dei valori dei parametri dei 4 punti per la località in esame	T_R [anni]	a_g [g/10]	F_O [adm]	T_C^* [s]
	1	0,262	2,50	0,19
30	2	0,373	2,60	0,21
50	3	0,480	2,58	0,23
72	4	0,604	2,57	0,24
101	5	0,754	2,50	0,26
140	6	0,942	2,44	0,27
201	7	1,452	2,42	0,28
475	8	1,969	2,46	0,30
975	9	2,838	2,49	0,32
2475				

Punto interno al reticolo



§ 2.4		
V_N	50	[anni]
Clas.	II	
C_U	1,0	[adm]
V_R	50	[anni]

Stratigraf.-Topograf.		
Cat. sottosuolo		B
Cond. topografia		T1
	S_T	1,00 [adm]

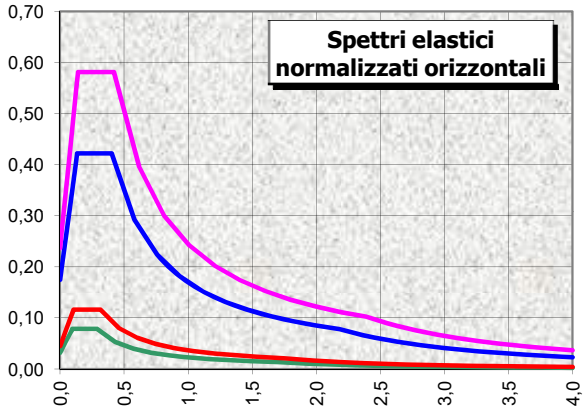
Dissipaz. convenz.	
ζ	η
[adm]	[adm]
5,0%	1,00

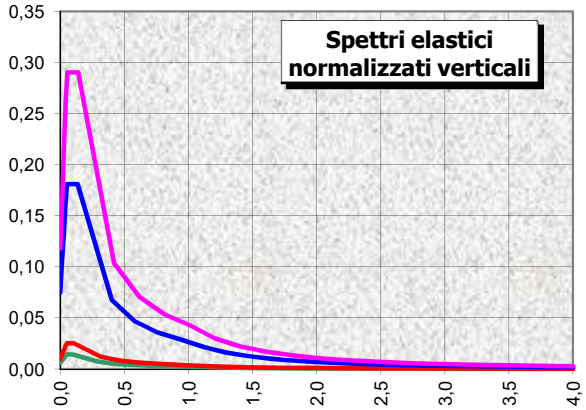
Valori costanti per spettro verticale			
$S_{S,V}$	$T_{B,V}$	$T_{C,V}$	$T_{D,V}$
[adm]	[s]	[s]	[s]
1,0	0,05	0,15	1,00

Valori per spettro in spostamento			
		T_E	T_F
		[s]	[s]
		5,0	10,0

§ 3.2.1				→	Valori interpolati			→	Valori ricavati da a_g, F_O, e T_C*						
		P_{VR}	T_R		a_g	F_O	T_C*		S_S	C_C	S	T_B	T_C	T_D	F_V
		[adm]	[anni]		[g/10]	[adm]	[s]		[adm]	[adm]	[adm]	[s]	[s]	[s]	[adm]
SLE	SLO	81%	30	→	0,262	2,50	0,19	→	1,20	1,54	1,20	0,10	0,29	1,70	0,55
SLE	SLD	63%	50	→	0,373	2,60	0,21	→	1,20	1,50	1,20	0,11	0,32	1,75	0,68
SLU	SLV	10%	475	→	1,452	2,42	0,28	→	1,20	1,42	1,20	0,13	0,40	2,18	1,25
SLU	SLC	5%	975	→	1,969	2,46	0,30	→	1,20	1,40	1,20	0,14	0,42	2,39	1,47

CommandButt



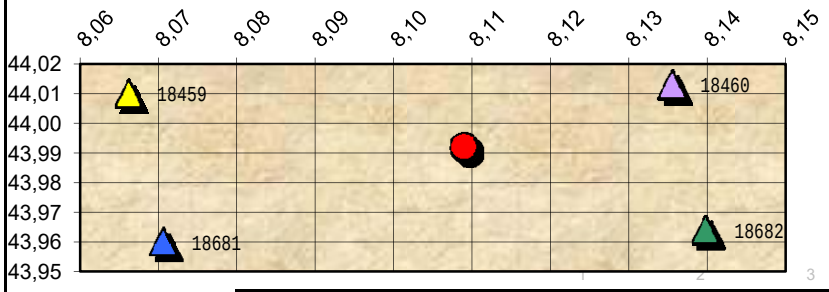


§ 3.2.1				a_g (g)	→	S_S	S_T	$a_{g\,max}$ (g)
		P_{VR}	T_R					
		[adm]	[anni]					
SLE	SLO	81%	30	**0,03**	→	1,20	1,00	**0,03**
SLE	SLD	63%	50	**0,04**	→	1,20	1,00	**0,05**
SLU	SLV	10%	475	**0,15**	→	1,20	1,00	**0,18**
SLU	SLC	5%	975	**0,20**	→	1,20	1,00	**0,24**

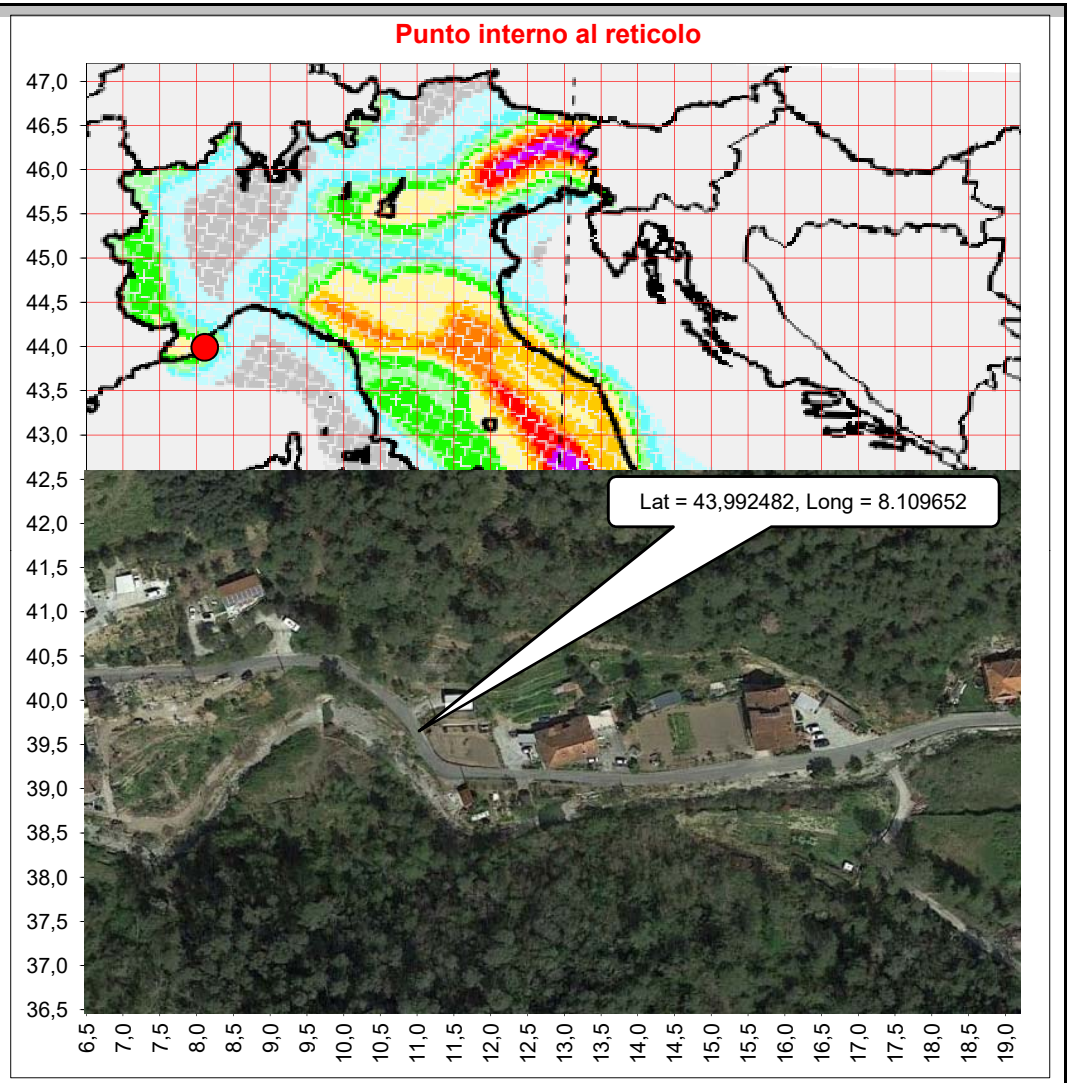
	0.0 s										T_B	T_C									T_D											4.0 s
T [s]	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,29	0,43	0,57	0,71	0,86	1,00	1,14	1,28	1,42	1,56	1,70	1,93	2,16	2,39	2,62	2,85	3,08	3,31	3,54	3,77	4,00
	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,11	0,32	0,46	0,60	0,75	0,89	1,03	1,18	1,32	1,46	1,61	1,75	1,97	2,20	2,42	2,65	2,87	3,10	3,32	3,55	3,77	4,00
	0,00	0,01	0,03	0,04	0,05	0,07	0,08	0,09	0,11	0,12	0,13	0,40	0,58	0,76	0,94	1,11	1,29	1,47	1,65	1,82	2,00	2,18	2,36	2,54	2,73	2,91	3,09	3,27	3,45	3,64	3,82	4,00
	0,00	0,01	0,03	0,04	0,06	0,07	0,08	0,10	0,11	0,13	0,14	0,42	0,62	0,81	1,01	1,21	1,40	1,60	1,80	1,99	2,19	2,39	2,55	2,71	2,87	3,03	3,19	3,36	3,52	3,68	3,84	4,00
Se(T) [g]	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,08	0,08	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,04	0,05	0,06	0,07	0,07	0,08	0,09	0,09	0,10	0,11	0,12	0,12	0,08	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
	0,17	0,20	0,22	0,25	0,27	0,30	0,32	0,35	0,37	0,40	0,42	0,42	0,29	0,22	0,18	0,15	0,13	0,12	0,10	0,09	0,08	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02
	0,24	0,27	0,31	0,34	0,37	0,41	0,44	0,48	0,51	0,55	0,58	0,58	0,40	0,30	0,24	0,20	0,17	0,15	0,14	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04
Sve(T) [g]	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,07	0,10	0,13	0,16	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,07	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,12	0,17	0,21	0,26	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,10	0,07	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Coordinate geografiche della località in esame				18460
Input da Comuni d'Italia	LON [°]	LAT [°]	Tolleranza [°]	[km]
Località	8,109	43,992	0	0,000

Coordinate geografiche dei 4 punti del reticolo					
	ID [#]	LON [°]	LAT [°]	Distanza [°]	[km]
Punto 1	18460	8,136	44,013	0,028	3,154
Punto 2	18459	8,066	44,010	0,036	3,966
Punto 3	18682	8,140	43,964	0,036	3,971
Punto 4	18681	8,071	43,960	0,042	4,701



Media dei valori dei parametri dei 4 punti per la località in esame	T_R [anni]	a_g [g/10]	F_O [adm]	T_C* [s]
	30 1	0,263	2,50	0,19
	50 2	0,374	2,61	0,21
	72 3	0,482	2,58	0,23
	101 4	0,607	2,56	0,24
	140 5	0,757	2,50	0,26
	201 6	0,946	2,44	0,27
	475 7	1,456	2,42	0,28
	975 8	1,974	2,46	0,30
	2475 9	2,845	2,49	0,32



§ 2.4		
V_N	50	[anni]
Clas.	II	
C_U	1,0	[adm]
V_R	50	[anni]

Stratigraf.-Topograf.		
Cat. sottosuolo		B
Cond. topografia		T1
	S_T	1,00 [adm]

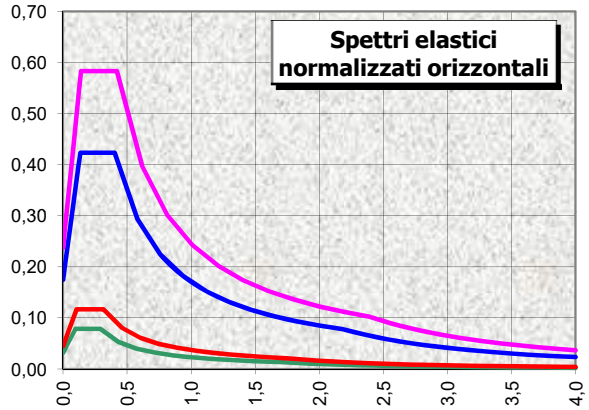
Dissipaz. convenz.	
ζ	η
[adm]	[adm]
5,0%	1,00

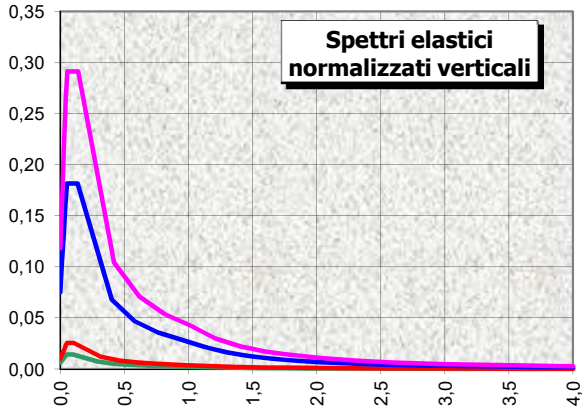
Valori costanti per spettro verticale			
$S_{S,V}$	$T_{B,V}$	$T_{C,V}$	$T_{D,V}$
[adm]	[s]	[s]	[s]
1,0	0,05	0,15	1,00

Valori per spettro in spostamento			
		T_E	T_F
		[s]	[s]
		5,0	10,0

§ 3.2.1				→	Valori interpolati			→	Valori ricavati da a_g, F_O, e T_C*						
		P_{VR}	T_R		a_g	F_O	T_C*		S_S	C_C	S	T_B	T_C	T_D	F_V
		[adm]	[anni]		[g/10]	[adm]	[s]		[adm]	[adm]	[adm]	[s]	[s]	[s]	[adm]
SLE	SLO	81%	30	→	0,263	2,50	0,19	→	1,20	1,53	1,20	0,10	0,29	1,71	0,55
SLE	SLD	63%	50	→	0,374	2,61	0,21	→	1,20	1,50	1,20	0,11	0,32	1,75	0,68
SLU	SLV	10%	475	→	1,456	2,42	0,28	→	1,20	1,41	1,20	0,13	0,40	2,18	1,25
SLU	SLC	5%	975	→	1,974	2,46	0,30	→	1,20	1,40	1,20	0,14	0,42	2,39	1,48

CommandButt





§ 3.2.1				a_g (g)	→	S_S	S_T	$a_{g\ max}$ (g)
		P_{VR}	T_R					
		[adm]	[anni]					
SLE	SLO	81%	30	**0,03**	→	1,20	1,00	**0,03**
SLE	SLD	63%	50	**0,04**	→	1,20	1,00	**0,05**
SLU	SLV	10%	475	**0,15**	→	1,20	1,00	**0,18**
SLU	SLC	5%	975	**0,20**	→	1,20	1,00	**0,24**

	0.0 s										T_B	T_C									T_D											4.0 s
T [s]	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,29	0,43	0,57	0,71	0,86	1,00	1,14	1,28	1,42	1,56	1,71	1,93	2,16	2,39	2,62	2,85	3,08	3,31	3,54	3,77	4,00
	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,11	0,32	0,46	0,60	0,75	0,89	1,03	1,18	1,32	1,46	1,61	1,75	1,97	2,20	2,42	2,65	2,87	3,10	3,32	3,55	3,77	4,00
	0,00	0,01	0,03	0,04	0,05	0,07	0,08	0,09	0,11	0,12	0,13	0,40	0,58	0,76	0,94	1,11	1,29	1,47	1,65	1,83	2,00	2,18	2,36	2,55	2,73	2,91	3,09	3,27	3,45	3,64	3,82	4,00
	0,00	0,01	0,03	0,04	0,06	0,07	0,08	0,10	0,11	0,13	0,14	0,42	0,62	0,81	1,01	1,21	1,40	1,60	1,80	2,00	2,19	2,39	2,55	2,71	2,87	3,03	3,19	3,36	3,52	3,68	3,84	4,00
Se(T) [g]	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,08	0,08	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,04	0,05	0,06	0,07	0,07	0,08	0,09	0,10	0,10	0,11	0,12	0,12	0,08	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
	0,17	0,20	0,22	0,25	0,27	0,30	0,32	0,35	0,37	0,40	0,42	0,42	0,29	0,22	0,18	0,15	0,13	0,12	0,10	0,09	0,08	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02
	0,24	0,27	0,31	0,34	0,38	0,41	0,44	0,48	0,51	0,55	0,58	0,58	0,40	0,30	0,24	0,20	0,17	0,15	0,14	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04
Sve(T) [g]	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,08	0,10	0,13	0,16	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,07	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,12	0,17	0,22	0,26	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,10	0,07	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

APPENDICE A2

INDAGINE GEOFISICA MEDIANTE TECNICA DEI RAPPORTI SPETTRALI O HVSR

La presente indagine geofisica si avvale della metodologia basata sulla tecnica di Nakamura e sul rapporto spettrale H/V, ed è finalizzata alla caratterizzazione sismica del sottosuolo, con l'individuazione delle discontinuità sismiche e della profondità del bedrock geofisico. Con tale metodo viene stimata la velocità di propagazione delle onde di taglio, come esplicitamente richiesto dal D.M. 17.1.2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni).

1. Cenni teorici

La tecnica dei rapporti spettrali o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è totalmente non invasiva, molto rapida, si può applicare ovunque e non necessita di 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 in quanto si dovranno adottare adeguate precauzioni nell'edificare 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 e capire se in caso di sisma la struttura potrà essere o meno a rischio;

• la **velocità media delle onde di taglio Vs** 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. E' possibile calcolare la velocità equivalente e la relativa categoria del suolo di fondazione come esplicitamente richiesto dal D.M. 17.1.2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni).

• 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 sottostanti per un contrasto d'impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso;

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.

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 anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartate 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 dei sottosuoli, informazione di notevole importanza nell'ingegneria sismica.

2. Strumentazione e metodologia

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un tromometro digitale modello "*Tromino"* che rappresenta la nuova generazione di strumenti ultra-leggeri e ultra-compatti in altra risoluzione adatti a tali misurazioni. Lo strumento racchiude al suo interno tre velocimetri elettrodinamici ortogonali tra loro ad alta definizione con intervallo di frequenza compreso tra 0.1 e 256 Hz. I dati vengono memorizzati in una scheda di memoria interna da 512 Mb, evitando così la presenza di qualsiasi cavo che possa introdurre rumore meccanico ed elettronico.

I dati vengono 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.

In fase operativa si sono seguite le seguenti operazioni:

1. il rumore sismico è stato registrato nelle sue tre componenti per un intervallo di tempo dell'ordine delle decine di minuti (circa 20 minuti);
2. la registrazione è stata suddivisa in intervalli della durata di qualche decina di secondi ciascuno;

3. per ogni segmento viene eseguita un'analisi spettrale del segmento nelle sue tre componenti;
4. per ciascun segmento si calcolano i rapporti spettrali fra le componenti del moto sui piani orizzontale e verticale;
5. vengono calcolati i rapporti spettrali medi su tutti i segmenti.

Per la determinazione delle velocità delle onde di taglio si utilizza un codice di calcolo appositamente creato per interpretare i rapporti spettrali (HVSR) basati sulla simulazione del campo di onde di superficie (Rayleigh e Love) in sistemi multistrato a strati piani e paralleli secondo la teoria descritta in AKI (1964) e Ben-Menahem e Singh (1981). Il codice può elaborare modelli con qualsiasi numero di strati (limitati a 50 nella tabella d'input), in qualsiasi intervallo di frequenze e in un qualsiasi numero di modi (fondamentale e superiori).

Operativamente si costruisce un modello teorico HVSR avente tante discontinuità sismiche quante sono le discontinuità evidenziate dalla registrazione eseguita. Successivamente, tramite uno specifico algoritmo, si cercherà di adattare la curva teorica a quella sperimentale, ottenendo in tal modo si otterranno gli spessori dei sismostrati con la relativa velocità delle onde Vs.

3. Risposta sismica locale e frequenza fondamentale di risonanza

Per risposta sismica locale si 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 viene utilizzata la teoria di Nakamura che relaziona lo spettro di risposta del substrato roccioso (rapporto spettrale H/V=1) con quello effettivamente misurato in superficie. La rappresentazione di un moto sismico può essere espressa sia nel campo del tempo che delle frequenze.

Per capire la procedura per il calcolo del moto sismico in superficie analizziamo un caso semplificato di un deposito di terreno omogeneo di spessore H, poggiante su un basamento roccioso soggetto ad onde di taglio con direzione di propagazione verticale. Se le onde di taglio verticali incidenti sono sinusoidali di frequenza f, l'accelerazione sull'affioramento rigido è una sinusoidale di frequenza f e ampiezza a_{maxr} mentre la corrispondente accelerazione alla superficie del deposito, anch'essa sinusoidale di frequenza f, ha ampiezza paria ad a_{maxs}. Il rapporto a_{maxr} / a_{maxs} prende il nome di *fattore di amplificazione "A",* e dipende dalla frequenza dell'eccitazione armonica, dal fattore di smorzamento del terreno e dal rapporto $I=(\sigma bVb)/(\sigma sVs)$ tra l'impedenza sismica della roccia di base σbVb e quella del deposito σsVs.

La variazione del fattore di amplificazione con la frequenza definisce la funzione di amplificazione A(f) del deposito. Il moto sismico è amplificato in corrispondenza di determinate frequenze, che corrispondono alle frequenze naturali *fn* di vibrazione del deposito:

$$fn = 1 / Tn = (Vs*(2n - 1)) / (4*H) \text{ con } n = 1, 2, \ldots\ldots, \qquad [3.1]$$

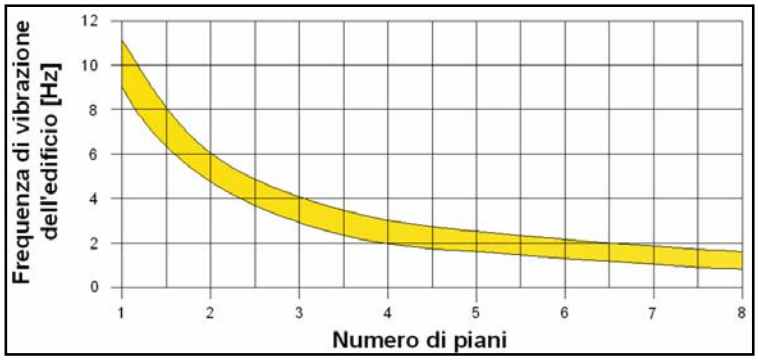
mentre risulta ridotto di amplificazione alle frequenze elevate a causa dello smorzamento del terreno. Di particolare importanza è la prima frequenza naturale di vibrazione del deposito *f1*, denominata **frequenza fondamentale di risonanza**:

$$\mathbf{f1 = 1 / T1 = Vs / 4H} \qquad [3.2]$$

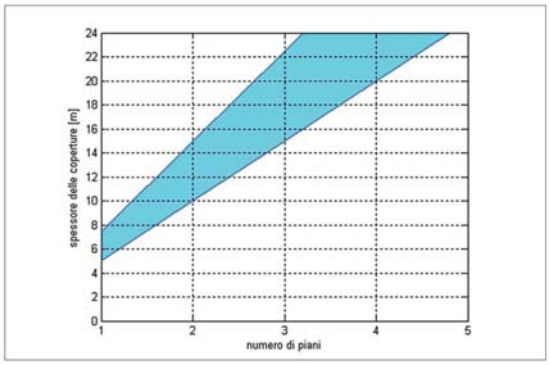
E' quindi necessario porre estrema attenzione a fenomeni di "doppia risonanza", cioè la corrispondenza tra le frequenze fondamentali del segnale sismico così come trasmesso in superficie e quelle dei manufatti ivi edificati in quanto le azioni sismiche su di essi sarebbero, a dir poco, gravose.

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):

$$\textit{freq. Naturale edificio} \approx 10 \text{ Hz} / \textit{numero piani} \qquad [3.3]$$



La coincidenza di risonanza tra terreno e struttura è particolarmente pericolosa, poiché da luogo alla massima amplificazione e deve quindi essere oggetto di studi approfonditi.



Il grafico seguente riporta una stima empirica del rischio di doppia risonanza tra la frequenza di risonanza del sito, dipendente dallo spessore delle coperture, e la frequenza di risonanza dell'edificio.

4. Interpretazione delle misure eseguite

L'interpretazione delle misurazioni eseguite ha consentito di correlare il valore di picco dello spettro di risposta HVSR con la profondità del bedrock geofisico e di individuare una corrispondenza tra i valori di frequenza relativi alle discontinuità sismiche e i cambi litologici presenti nell'immediato sottosuolo.

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, è stato possibile ricavare il valore di frequenza caratteristica del sito. Sapendo che ad ogni picco in frequenza corrisponde una profondità [m] dell'orizzonte che genera il contrasto d'impedenza si può estrapolare una stratigrafia geofisica del sottosuolo.

La registrazione di microtremore effettuata sul sito di progetto ha dato luogo alla curva H/V rossa grafico HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO (di seguito riportato).

Per determinare il modello di sottosuolo viene individuata la curva teorica H/V evidenziata in blu (grafico EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V di seguito riportato).

La frequenza caratteristica di risonanza del sito risulta generata dalla discontinuità sismica localizzata alle frequenze corrispondenti al picco della curva teorica H/V ed è associabile al contatto copertura–bedrock.

Frequenza fondamentale di risonanza di sito: ~ 24.53 ± 2.05 Hz (MISURA 1)

~ 8.06 ± 52.48 Hz (MISURA 2)

E' quindi possibile stimare la velocità equivalente di propagazione (Vseq in m/s), come esplicitamente richiesto dal D.M. 17.1.2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni). Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio Vs,eq è definita dal parametro Vs30, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando la profondità degli strati di terreno fino a tale profondità.

Vs30 ~ 559 m/s (MISURA 1)

Vseq ~ 477 m/s (MISURA 2)

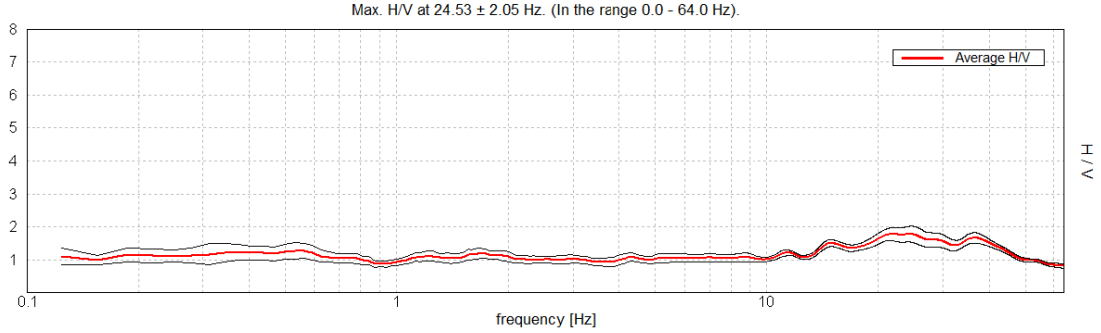
TROMINO®
www.moho.world

INDAGINE GEOFISICA – MISURA DEI RAPPORTI SPETTRALI H/V

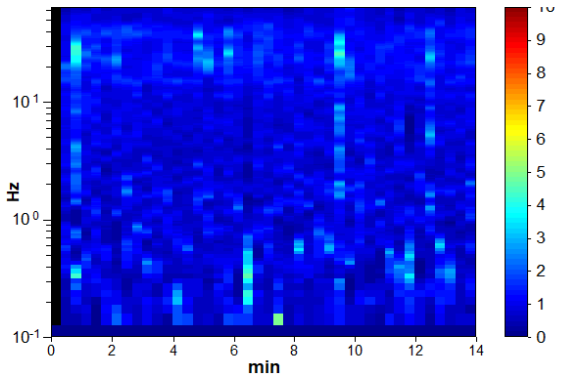
Andora, rio Moltedo – MISURA N.1

Instrument: TRZ-0015/01-09
Data format: 16 bit
Full scale [mV]: 51
Start recording: 15/10/2021 08:37:06 End recording: 15/10/2021 08:51:06
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available
Trace length: 0h14'00". Analyzed 98% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

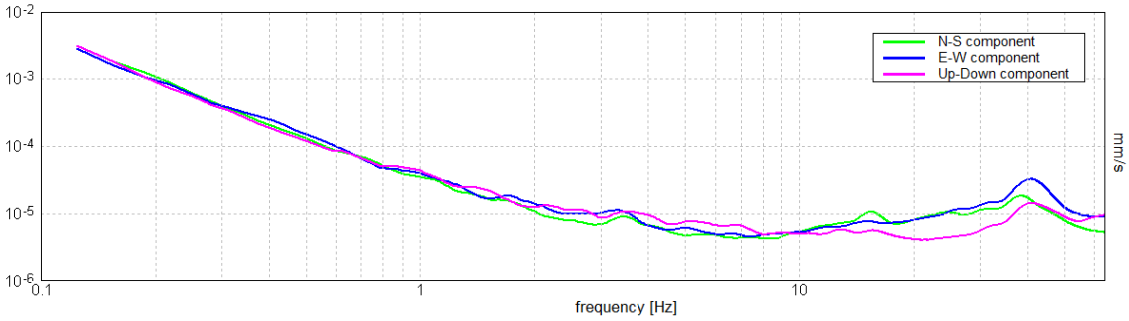
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



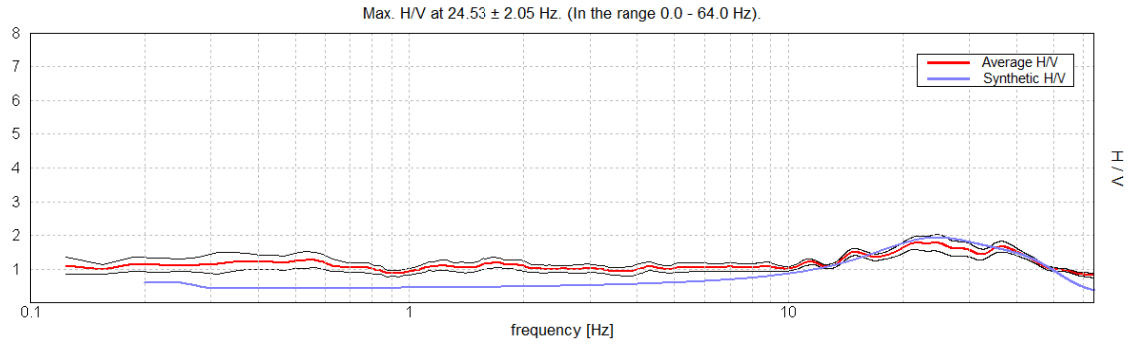
H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA

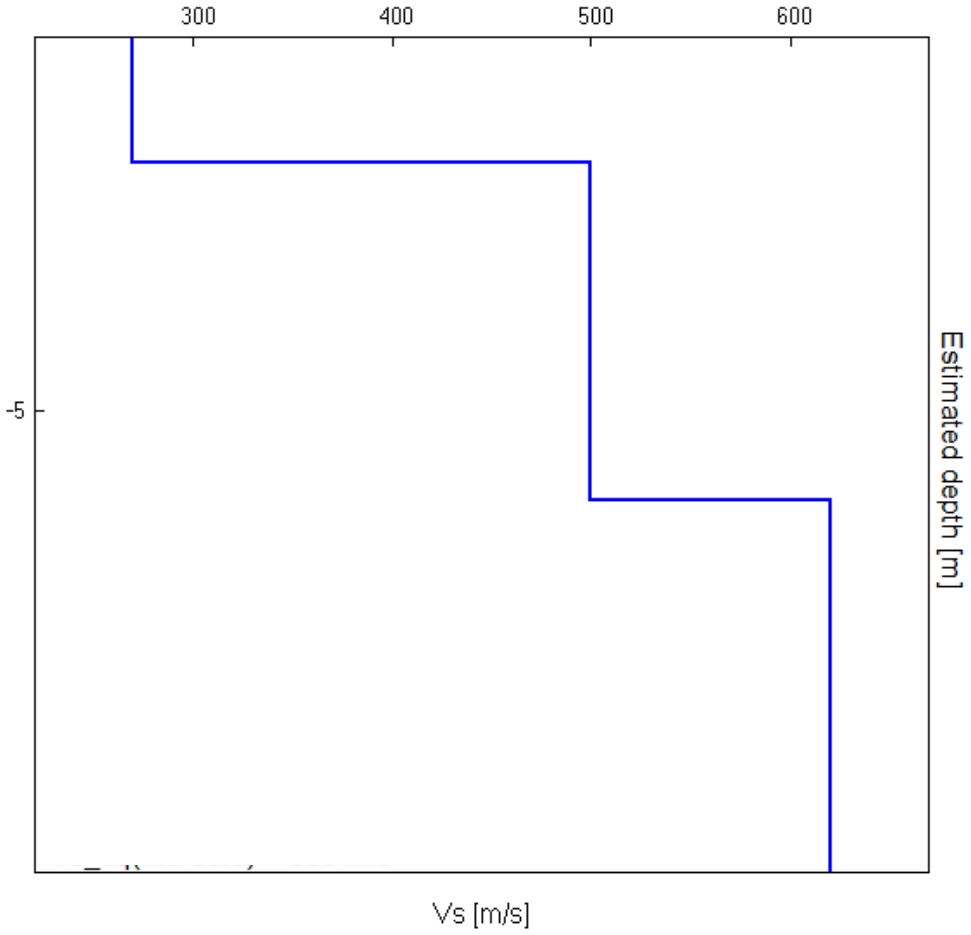


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.70	1.70	270	0.42
6.20	4.50	500	0.42
inf.	inf.	620	0.42

Vs30 (0.0-30.0) = 559 m/s



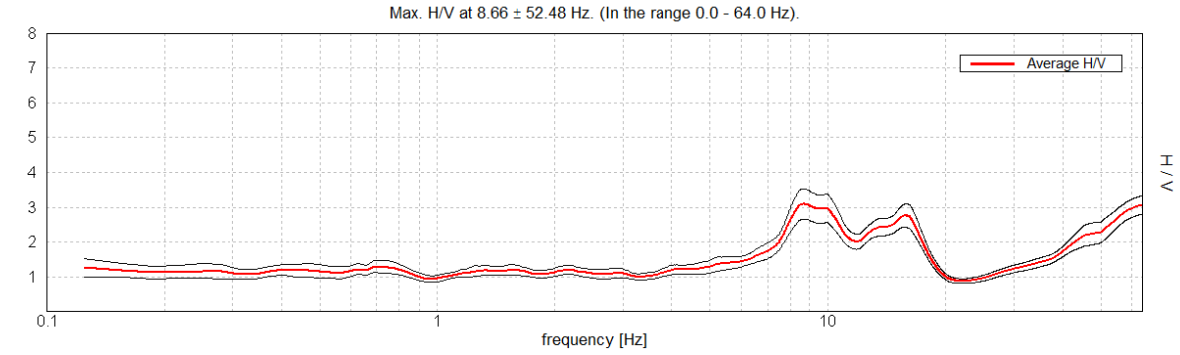
TROMINO
www.moho.world

INDAGINE GEOFISICA – MISURA DEI RAPPORTI SPETTRALI H/V

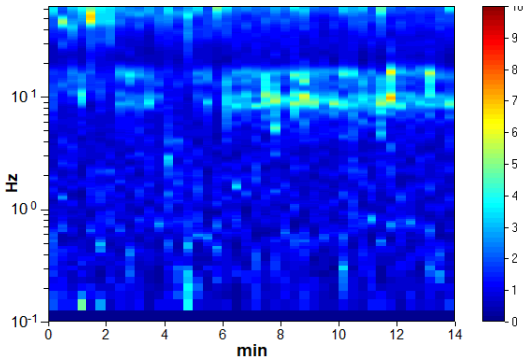
Andora, rio Moltedo – MISURA N.2

Instrument: TRZ-0015/01-09
Max. H/V at 8.66 ± 52.48 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).Data format: 16 bit
Full scale [mV]: 51
Start recording: 15/10/2021 09:05:59 End recording: 15/10/2021 09:19:59
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available
Trace length: 0h14'00". Analysis performed on th8.66 > 0.50OK7271.3 > 200OKExceeded 0 out of 416 timesOKe entire trace.
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing ty6.375 HzOK18.313 HzOK3.10 > 2OK|6.06292| < 0.05NO52.48211 < 0.43281NO0.4376 < 1.58OKpe: Triangular window
Smoothing: 10%

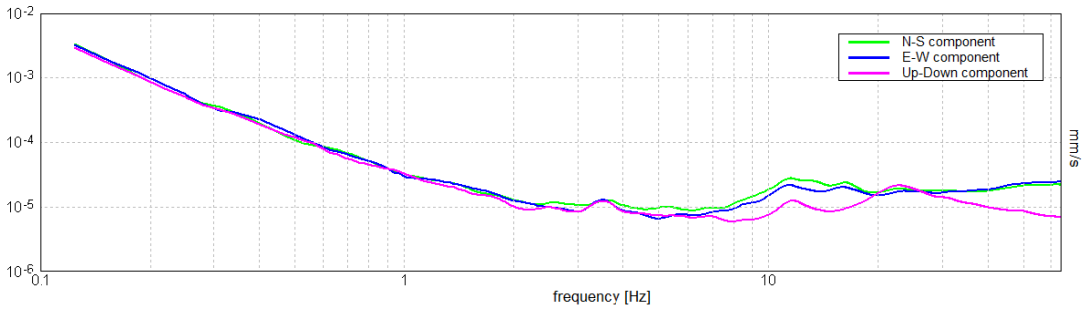
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



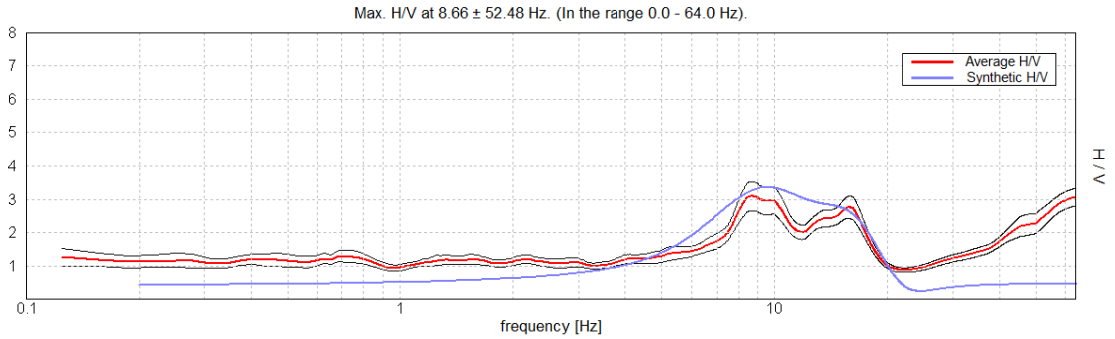
H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA



EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
4.90	4.90	280	0.42
19.90	15.00	620	0.42
inf.	inf.	850	0.42

Vs_eq(0.0-30.0) = 477 m/s

