

COMUNE DI SAN FELICE DEL BENACO (BS)
PIANO DI RECUPERO: RISTRUTTURAZIONE FABBRICATO E TRASFORMAZIONE IN
STRUTTURA TURISTICO RICETTIVA (VIA MARTIRI DELLA PATRIA – MAPPALE 997)

RELAZIONE GEOLOGICA E DI PRIMA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

(Ai sensi della D.G.R. IX/2616/2011 e del Capitolo-6 delle NTC_2018)

GEOLOGO		COMMITTENTE	
DOTT. GEOL. MAURO PIAZZA Via Sanson N.20 25123 BRESCIA – Tel. 329 4320996		VILLAGGIO TURISTICO INTERNAZIONALE EDEN VIA PREONE N.45 25010 SAN FLICE DEL BENACO	
Numerazione	COMMESSA		
	N.70/2018		

Redatto	Approvato	Ragione dell'emissione	Data	Revisione
Piazza	Piazza	Prima emissione	01/08/18	0



Mauro Piazza

Indice generale

1.	INTRODUZIONE	pag. 3
1.1	Premessa.....	pag. 3
1.2	Riferimenti normativi.....	pag. 4
2.	ATTIVITA' PROPEDEUTICHE ALLA PROGETTAZIONE	pag. 4
2.1	Riferimento agli studi di governo del territorio.....	pag. 4
2.2	Inquadramento geologico.....	pag. 6
2.3	Indagine geognostica, geotecnica e sismica.....	pag. 9
2.4	Elaborazione del modello geologico e di prima caratterizzazione geotecnica.....	pag. 11
2.5	Definizione della pericolosità sismica locale.....	pag. 13
3.	CONCLUSIONI E PRESCRIZIONI.....	pag. 16

ALLEGATI:

- planimetria con posizione delle indagini (Allegato N.1),
- grafici e tabulati interpretativi delle prove penetrometriche SCPT (Allegato N.2),
- indagine sismica: esecuzione di una prospezione sismica M.A.S.W. e di una misura di Microtremore sismico H.V.S.R. (Allegato N.3).

NOTA: congiuntamente alla presente relazione sarà predisposta l'**Asseverazione di congruità dei contenuti della Relazione geologica** ai requisiti richiesti dal punto 6.2.1 delle N.T.C. - D.M. 14.01.2008 e/o dalla D.G.R. IX 2616/2011 (**Mod. 9**).

1- INTRODUZIONE

1.1 - Premesse

Su incarico dell'ing. Ercole Grisoli (progettista delle strutture), in accordo con lo Studio Associato di Architettura Ferrari di Gardone Riviera (progettisti architettonici), per conto del Villaggio Turistico Internazionale Eden, è stata redatta la presente Relazione geologica (e di prima caratterizzazione geotecnica), propedeutica (ai sensi della D.G.R. IX/2616/2011 e del capitolo 6 “Progettazione geotecnica” delle “NTC_2008”), alla definizione delle problematiche di pericolosità geologica, idrogeologica e sismica nell'ambito del **“Piano di recupero: ristrutturazione fabbricato e trasformazione in struttura turistico ricettiva”**, Via Martiri della Patria, comune di San Felice del Benaco.

Il lavoro è stato espletato secondo le seguenti fasi:

- 1) sopralluogo per valutare lo stato di fatto,
- 2) presa in carico delle tavole di progetto elaborate dallo Studio Ferrari,
- 3) raccolta di documentazione geologica riguardante il sito di progetto, in particolare le indicazioni contenute nello Studio Geologico, a supporto del PGT, redatto dal dott. Geol. Rosanna Lentini ed approvato nel mese di Gennaio del 2012, definizione ed esecuzione dell'indagine geognostica (scavo esplorativo) e geotecnica (prove di carico su piastra dinamica L.F.W.D.),
- 4) definizione ed esecuzione del piano di indagini geologiche, geotecniche e sismiche (indagine sismica M.A.S.W, misura di microtremore sismico H.V.S.R., prove penetrometriche SCPT),
- 5) interpretazione dei dati ottenuti con le prove SCPT eseguite dalla Crestana S.r.l.s. di Desenzano, e presa in carico del “Rapporto tecnico delle indagini sismiche” fornito dalla Crestana S.r.l.s.,
- 6) valutazione della categoria di sottosuolo e studio di 2° Livello sismico sito-specifico e confronto con lo studio di 2° Livello eseguito dal dott. Geol. Rosanna Lentini (Paragrafo 3.2 della Relazione A01 SG del PGT),
- 7) definizione dei parametri e dei coefficienti sismici.

1.2 – Riferimenti normativi

Per quanto attiene alle competenze del geologo l'opera in oggetto comporta l'osservazione della normativa nazionale e regionale vigente tra cui ricordiamo le principali:

- Circolare del Ministero LL.PP. del 09/01/96 n. 218/24/3: “Istruzioni applicative per la redazione della relazione geologica e della relazione geotecnica”;
- OPCM n. 3274 del 20 marzo 2003, pubblicata sul supplemento ordinario 72 alla Gazzetta Ufficiale n. 105 del 8 maggio 2003 recante “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”;
- Decreto Ministeriale (Infrastrutture e Trasporti) del 17/01/2018 con cui si approvano le “Norme tecniche per le costruzioni”;
- DGR 28 maggio 2008 n. VIII/7374 “Criteri e indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del P.G.T., in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 12/2005”.

2 – ATTIVITA' PROPEDEUTICHE AL PROGETTO ESECUTIVO

2.1 – Riferimento agli studi di governo del territorio

Per quanto riguarda la fattibilità geologica, la tavola del PGT identificata come T 11 SG - “Carta della Fattibilità per l'applicazione delle norme geologiche di piano” inserisce l'area in questione nella **CLASSE 2 - FATTIBILITÀ CON MODESTE LIMITAZIONI**, in particolare nella **Sottoclasse 2c** - “Area pianeggiante o a debole pendenza con caratteristiche geotecniche dei terreni prevalentemente buone e/o con substrato roccioso da affiorante a sub-affiorante”.

Questa classe comprende le *“le aree per le quali non esistono controindicazioni di carattere geomorfologico (aree sub-pianeggianti, poco inclinate, ecc.) idrogeologico (assenza di acquiferi ad elevata vulnerabilità), o geotecnico (terreni di fondazione con caratteristiche geotecniche non scadenti) per l'urbanizzazione o la modifica della destinazione d'uso”*.

La Figura-1 presentata di seguito **mostra l'esatta l'ubicazione dell'area interessata** (contenuta nel cerchio rosso), mentre in Figura-2 è inserita la Legenda della tavola T 11 SG.

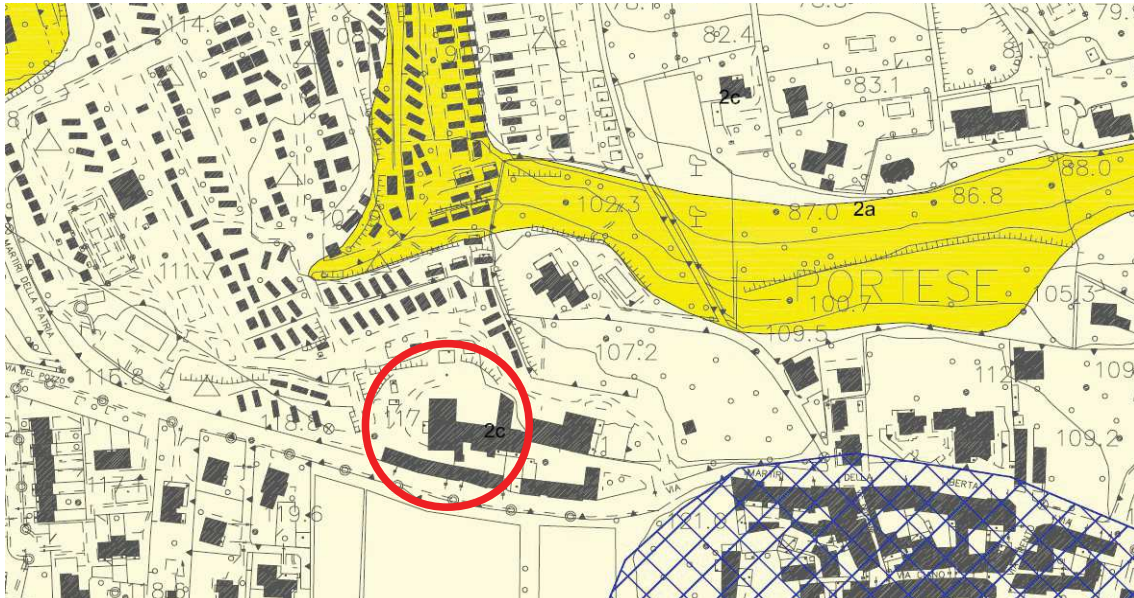


Figura-1 _ Estratto tavola T11 SG -“Carta della Fattibilità per l'applicazione delle norme geologiche di piano” (Legenda in Figura-2)

CLASSE 2 - FATTIBILITA' CON MODESTE LIMITAZIONI	
	2a - Area con versanti da debolmente a mediamente inclinati, stabili.
	2b - Area con terreni aventi caratteristiche geotecniche mediocri e/o falda subaffiorante
	2c - Area pianeggiante o a debole pendenza con caratteristiche geotecniche dei terreni prevalentemente buone e/o con substrato roccioso da affiorante a subaffiorante

Figura-2 _ Estratto Legenda TAV. T11 SG -“Carta della Fattibilità...”

Alle “Norme geologiche di attuazione” valide per ciascuna classe di fattibilità devono essere aggiunte le prescrizioni generali di carattere sismico (Scenari di Pericolosità Sismica Locale, all. 5 DGR n.8/1566 del 22/12/2005).

Nella tavola del PGT identificata come T 06 SG - “Carta di pericolosità sismica locale” l’area oggetto di studio è indicata come zona **“Z4c – Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (comprese le coltri loessiche)”**. Per queste zone, suscettibili di “Fenomeni di amplificazioni Litologiche”, è necessaria l'applicazione del 2° livello di approfondimento previsto dal già citato All.5, che consente una caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazioni attesi, in quanto fornisce una stima della risposta sismica dei terreni in termini di Valore di Amplificazione (Fa); **questi temi verranno approfonditi nel paragrafo 2.5.**

2.2 – Inquadramento geologico

Lo studio è stato condotto ai sensi della D.G.R. IX/2616/2011 e del capitolo 6 “PROGETTAZIONE GEOTECNICA” delle “NTC_2018”, in particolare del paragrafo 6.1.2 “PRESCRIZIONI GENERALI” che così recita: “*Le scelte progettuali devono tener conto delle prestazioni attese delle opere, dei caratteri geologici del sito e delle condizioni ambientali.*” Pertanto deve essere eseguito uno “*studio rivolto alla caratterizzazione e modellazione geologica*” i cui risultati “*devono essere esposti in una specifica relazione geologica*”.

L'inquadramento geologico è stato sviluppato in modo da costituire un utile elemento di riferimento per il progettista e per inquadrare i problemi geotecnici.

2.2.1 – Geologia e geomorfologia

La Figura-3 sottostante è tratta dalla tavola del PGT identificata come T 01 SG - “Carta geologica e strutturale con elementi geomorfologici”, e l'area è evidenziata con un cerchio rosso.

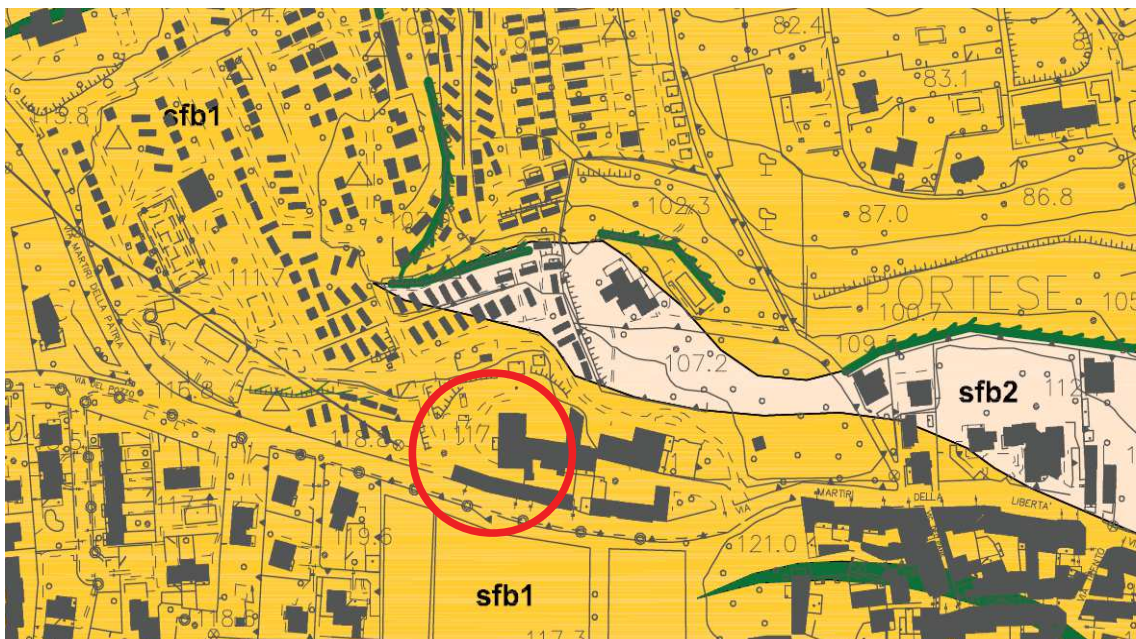


Figura-3 _ Estratto T01 SG - “Carta geologica e strutturale..” (Legenda di seguito in Figura-4)

Nell'area oggetto di studio è segnalata (con color senape) la presenza di **Depositi Morenici (sfb1)** Wurmiani (Pleistocene Superiore) appartenenti all'Unità di San Felice del Benaco); questa unità lito-stratigrafica quaternaria è ragionevolmente costituita da “*depositi morenici di cordone formano*

l'ossatura delle cerchie moreniche delineando per le avanzate delle masse glaciali i fronti di massima espansione in corrispondenza dei quali si aveva l'accumulo caotico dei materiali glaciali. Sono costituiti da diamicton massivi per lo più a supporto clastico (Dcm) ma talora a supporto di matrice (Dmm). Risultano frequentemente presenti anche grossi trovanti poligenici con dimensioni fino a vari m³”.

UNITA' LITOSTRATIGRAFICHE

COPERTURE QUATERNARIE E NEOGENICHE










	Materiali di riporto
	Depositi di spiaggia recenti e attuali (Olocene)
	Depositi alluvionali e/o di conoide (Olocene)
	Depositi costieri lacustri ghiaioso sabbiosi (Olocene)
	Depositi costieri lacustri limoso argillosi, a tratto torbosi (Olocene)
	Unità di SAN FELICE DEL BENACO (Pleistocene Superiore) Depositi glaciali
	Depositi di contatto glaciale
	Depositi glaciolacustri di depressione intermorenica o di fronte glaciale
	Conglomerati di Punta del Corno (Pleistocene Superiore ?)

Figura-4 _ Estratto Legenda T01 SG - “Carta geologica e strutturale..”

Nell'ambito del complesso modello deposizionale morenico sono previste eterogeneità litologiche con variazioni nel contenuto di frazione fine che risultano talora molto accentuate anche in zone contigue. Così si possono ritrovare settori con litologia più francamente limoso-sabbiosa prevalente sullo scheletro granulare (Dmm). In questi casi i depositi glaciali assumono tipica colorazione grigia (più argillosa) o color ocra-nocciola (più limosa).

NOTA_1: dal punto di vista delle **dinamiche geomorfologiche** non è riscontrabile alcuna evidenza negativa, così come nulla è segnalato nella tavola unica del PGT T02a SG - “Carta della dinamica geomorfologica e del reticolo idrografico” e nella tavola del PGT identificata come T13SG - “Carta del dissesto con legenda uniformata PAI”

2.3 – Indagine geognostica, geotecnica e sismica

Gli approfondimenti geognostici sono stati realizzati il giorno 18.07.2018, alla presenza dei progettisti e del committente.

Sono state eseguite le seguenti indagini:

- **N.3 prove penetrometriche** in modalità dinamica (SCPT),
- **N.1 indagine sismica:** prospezione M.A.S.W. e misura di Microtremore sismico (H.V.S.R.).

NOTA_3: la posizione in planimetria delle singole prove è riscontrabile nell'**Allegato N.1**, mentre la descrizione delle stesse viene presentata separatamente di seguito.

2.3.1 – Prove penetrometriche

Le **3 prove penetrometriche** sono state eseguite in modalità dinamica SCPT (Standard Cone Penetration Test), di seguito e sugli allegati denominate P1-P2-P3, e sono state spinte a **profondità variabile da 9.00m (prova P1) a 6.30m (prova P2 e P3)**, quote alle quali le prove sono arrivate ad una profondità inferiore rispetto al “volume significativo” interessato dalle azioni delle “opere di fondazione” delle costruzioni in progetto.

Le norme per l'esecuzione delle prove dinamiche sono incluse nelle Raccomandazioni per le Indagini Geotecniche (1977) dell'Associazione Geotecnica Italiana (A.G.I.). Questo tipo di indagine in sito consente la caratterizzazione del terreno di fondazione per mezzo di correlazioni tra i dati rilevati e la composizione e le proprietà geotecniche dei terreni indagati. La prova dinamica consiste nell'infingere la punta conica nel terreno contando il numero N_{SCPT} di colpi di maglio necessario per ogni penetrazione standard, pari ad un avanzamento di 30 cm. La resistenza del terreno è direttamente proporzionale a N_{SCPT} .

Le caratteristiche dell'attrezzatura utilizzata per le prove dinamiche sono le seguenti:

- tipo di penetrometro: PAGANI TG 63-100kN
- massa del maglio: 73 kg
- caduta del maglio: 0.75 m
- lunghezza delle aste: 1 m
- tipo di punta: meccanica
- diametro massimo della punta: 51 mm

- angolo di apertura della punta: 60°

Poiché le correlazioni empiriche esistenti in letteratura tra i risultati di una prova penetrometrica dinamica ed i principali parametri geotecnici del terreno fanno riferimento essenzialmente alle prove SPT (Standard Penetration Test) che si eseguono all'interno dei fori di sondaggio, occorre applicare una correzione ai risultati delle prove SCPT per tenere conto della loro diversa modalità esecutiva rispetto alle SPT. La correzione viene applicata sulla base delle litologie: si è dimostrato che generalmente il rapporto fra il numero dei colpi misurato con i due strumenti (N_{SPT}/N_{SCPT}) tende a 1 per granulometrie grossolane, mentre tende a crescere per granulometrie più fini.

Sono state considerate le seguenti correlazioni empiriche proposte in letteratura:

Correlazione				Litologia	
N_{SPT}	=	1	X	N_{SCPT}	ghiaie e ghiaie sabbiose
N_{SPT}	=	1,25	X	N_{SCPT}	sabbie e ghiaie con fine plastico
N_{SPT}	=	1,5	X	N_{SCPT}	sabbie con molto fine
N_{SPT}	=	2	X	N_{SCPT}	limi
N_{SPT}	=	2,5	X	N_{SCPT}	argille limose/sabbiose
N_{SPT}	=	3	X	N_{SCPT}	argille

Le stratigrafie ottenute dall'interpretazione delle prove penetrometriche, e i relativi tabulati interpretativi (ricostruzione stratigrafica e stima dei parametri geotecnici caratteristici) sono stati inseriti nella presente relazione come **Allegato N.2**.

2.3.2 – Indagini sismiche

Sono consistite nell'esecuzione di **n° 1 profilo di sismica multicanale** con acquisizione delle onde di superficie ed elaborazione dati **mediante metodologia MASW**, e **n° 1 indagine sismica passiva con metodo HVSR**. Mediante tali metodologie è stato possibile ricostruire l'**andamento medio delle onde Vs** in profondità ed eseguire la valutazione del parametro V_{s3-eq} di sito, al fine di classificare il terreno di fondazione (tabelle allegate al D.M. 17/01/18) e misurare il periodo proprio di vibrazione di sito. Si riportano, in maniera indicativa, le stime dei valori di V_p , densità e modulo di Poisson eseguite dal software di elaborazione.

MODELLO GEOFISICO MEDIO - Via Martiri della Patria – San Felice del Benaco (BS)						
Sismostrato	Vs (m/s)	Spessore (m)	Profondità da p.c. (m)	Stima densità (g/cm³)	Modulo di Poisson	Modulo di Taglio (MPa)
1	215	1,4	-1,4	1,86	0,35	86
2	285	4,0	-5,4	1,92	0,33	156
3	400	4,0	-9,4	1,98	0,29	317
4	380	5,5	-14,9	1,97	0,29	284
5	520	5,2	-20,1	2,04	0,29	552
6	585	6,0	-26,1	2,07	0,28	708
7	670	5,5	-31,6	2,10	0,28	943
8	805	3,4	-35,0	2,15	0,27	1395

Il valore del modulo dinamico di taglio, dipendente da Vs e densità e si riferisce a condizioni di bassa deformazione. Per deformazioni significativamente superiori, come di norma nei calcoli geotecnici, i valori dovranno essere idoneamente utilizzati solo nei modi appropriati.

D.M. 17/01/2018	Profondità del bedrock sismico	V_{s,eq} (m/s)	Categoria di sottosuolo	Valore di V _{s,eq} calcolato mediante l'espressione 3.2.1 del D.M. 17/01/2018
Calcolo a partire dal ripiano di esecuzione MASW (p.c.)	oltre 30,0 m	422	B	$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$
Calcolo a partire da -4,4 m dal p.c.	-27,2 m	482	B	

Categoria di sottosuolo assegnata in base a quanto indicato nella Tabella 3.2 II

NOTA_4: poiché la dispersione delle onde di Rayleigh dipende essenzialmente dalla Vs e degli spessori degli strati (cioè dalla geometria), tali valori di densità e Vp devono essere considerati solamente come stime approssimative. Viene riportato, inoltre, il valore del modulo di taglio che tra i moduli elastici è l'unico che non dipende da Vp, ma solamente da Vs e densità, e quindi rappresenta una miglior stima.

2.4–Modello geologico e di prima caratterizzazione geotecnica

Sulla base delle conoscenze della geologia della zona indagata, delle indicazioni contenute nel PGT, e soprattutto da quanto emerso dall'interpretazione delle prove penetrometriche e sismiche eseguite, si è dedotto che in corrispondenza delle opere previste in progetto siano presenti le seguenti Unità lito-stratigrafiche:

SCPT 1			SCPT 2			SCPT 3			
profondità	colpi punta	media colpi e litologia	profondità	colpi punta	media colpi e litologia	profondità	colpi punta	media colpi e litologia	
0,3	5		0,3	3	3,5	0,3	5	5,5	
0,6	4	4,5	0,6	3	terreno	0,6	4	terreno	
0,9	7	terreno	0,9	2	di riporto	0,9	7	di riporto	
1,2	3	di riporto	1,2	6		1,2	24	22	
1,5	3		1,5	32	35	1,5	27		
1,8	16	18	1,8	39	ghiaia	1,8	16		
2,1	19		2,1	33	e ciottoli	2,1	22		
2,4	19		2,4	27	25	2,4	17		
2,7	7		2,7	26	ghiaia e ciott. in matrice	2,7	14		
3	13	sabbia limosa	3	14		3	22		sabbia limosa con ghiaia e ciottoli
3,3	12	con	3,3	7	8	3,3	32		
3,6	17	ghiaia e ciottoli	3,6	3	sabbia limosa	3,6	22		
3,9	35		3,9	3	/ limo sabbioso	3,9	37		
4,2	24		4,2	10		4,2	17		
4,5	18		4,5	10		4,5	22		
4,8	8		4,8	22	26	4,8	16		
5,1	9	9	5,1	28	ghiaia e ciott. in matrice	5,1	25		
5,4	11	sabbia limosa	5,4	16	16	5,4	25		
5,7	18		5,7	14	sabbia limosa	5,7	13	15 sabbia limosa con ghiaia	
6	27		6	16	con ghiaia	6	13		
6,3	36		6,3	19		6,3	19		
6,6	25	30							
6,9	27								
7,2	36	ghiaia e ciottoli							
7,5	29	in matrice							
7,8	30	sabbioso-limosa							
8,1	33								
8,4	36								
8,7	35								
9	32								

NOTA_4: la variabilità delle stratigrafie ottenute **non consente di elaborare un modello geologico e geotecnico unico per le 3 situazioni analizzate**, per cui si invita il progettista delle strutture a **utilizzare i 3 modelli geotecnici**, contenuti nell'Allegato-2 della presente relazione, in modo selettivo.

NOTA_5: la stesa sismica ha “incrociato” la prova penetrometrica SCPT-1. C'è una **notevole corrispondenza** tra le indicazioni ottenute dall'interpretazione della prova penetrometrica e delle indagini sismiche. A questo proposito, si segnala che il profilo sismo-stratigrafico risulta ortogonale alla sezione C-C¹ di progetto, ed ha indagato il “volume significativo” di terreno che sarà interessato dagli scavi per la realizzazione del parcheggio interrato e dalle fondazioni dello stesso.

2.5 – Definizione della pericolosità sismica locale

Come già anticipato, l'area in oggetto potrebbe ricadere, in seguito ad un'analisi di I° Livello, nello scenario di pericolosità sismica locale identificato come **“Z4c -Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (comprese le coltri loessiche)”**.

L'applicazione del II° Livello comunale è stata eseguita dal dott. Geol. Rosanna Lentini ed è presentata nel Paragrafo 3.2 della Relazione A01 SG del PGT.

A riguardo si può sintetizzare quanto segue:

- in base ai valori delle onde di taglio (V_s) ricavati dalle indagini geofisiche eseguite sui Depositi Morenici, in particolare la stesa “T2” (eseguita a nord) e la stesa “T3” (eseguita a sud), ai terreni compresi nell’area di studio sarebbe possibile assegnare una **categoria di sottosuolo “B”**, cioè “Depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti” (V_{s30} comprese tra 360 m/s e 800 m/s, ovvero $NSPT_{30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $C_u > 250$ Kpa nei terreni a grana fina),
- i valori di **Fa calcolati** con la procedura di II° livello sono **inferiori ai valori di soglia** comunale validi per il Comune di San Felice del Benaco ai sensi delle NTC_2008, ovvero: per intervalli 0.1-0.5 s è stato riscontrato un valore di $F_a=1.30$ contro $1.4+0.1$, mentre per intervalli 0.5-1.5 s è stato riscontrato un valore di $F_a=1.0$ contro $1.7+0.1$).

In accordo con i progettisti è stato deciso di eseguire anche un'**indagine SISMICA SITO-SPECIFICA**, già citata e descritta nei Paragrafi 1.1 e 2.3 della presente relazione, con lo scopo di definire il profilo sismo-stratigrafico (con prospezione MASW), e di calcolare il periodo di sito “T”: la relazione inerente all'indagine, eseguita dalla Crestana S.r.l.s., è inserita come allegato,

L'applicazione del II° Livello sismico, eseguita dallo scrivente sulla base dei dati ottenuti **IN SITO**, ha fornito i seguenti risultati:

- il valore delle $V_{s_{eq}}$, calcolato considerando fondazioni impostate a circa 4.40m di profondità da p.c. (piano di fondazione dell'interrato), è risultato pari a 482 m/s, che porta ad attribuire al terreno in sito una **categoria di sottosuolo “B”**,
- il **periodo di sito “T”**, calcolato in funzione del profilo sismico ottenuto (in particolare utilizzando lo spessore (h_i) e la velocità (V_{si}) di ciascun orizzonte sismostratigrafico), è risultato **pari a 0.213s**,

rispettando i campi di validità e le caratteristiche granulometriche dei terreni presenti in sito, è stata eseguita una verifica dei valori del Fa di sito rispetto a quello di “soglia comunale”, utilizzando la scheda relativa alla litologia “ghiaiosa”, e facendo riferimento alla “curva tipo-3” (si riportano di seguito i grafici e le tabelle utilizzate, estratti dall'All.5 _ pag.103): **si è ottenuto un valore di Fa pari a 1.35,**

EFFETTI LITOLOGICI – SCHEDA LITOLOGIA GHIAIOSA

PARAMETRI INDICATIVI

GRANULOMETRIA:
Da ghiaie e ciottoli con blocchi a ghiaie e sabbie limose debolmente argillose passando per ghiaie con sabbie limose, ghiaie sabbiose, ghiaie con limo debolmente sabbiose e sabbie con ghiaie

NOTE:
Comportamento granulare
Struttura granulo-sostenuta
Frazione ghiaiosa superiore al 35%
Frequenti clasti con $D_{max} > 20$ cm
Frazione sabbiosa fino ad un massimo del 65%
Matrice limoso - argillosa fino ad un massimo del 30% con frazione argillosa subordinata (fino al 5%)
Presenza di eventuali trovanti con $D > 50$ cm
Presenza di eventuali orizzonti localmente cementati

Profondità primo strato (m)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18
200				1	1									
250				2	2	2								
300				3	3	3	3							
350				3	3	3	3	3						
400				3	3	3	3	3	3					
450				3	3	3	3	3	3					
500				3	3	3	3	3	3	3				
600				3	3	3	3	3	3	3	3	3		
700				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Velocità primo strato (m/s)

Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico
1	$0.08 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -8.5T^2 + 5.4T + 0.95$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.46 - 0.32LnT$
2	$0.06 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -7.4T^2 + 4.8T + 0.84$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.32 - 0.28LnT$
3	$0.05 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -4.7T^2 + 3.0T + 0.92$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.17 - 0.22LnT$

- anche nel nostro caso il valore di **Fa calcolato** con la procedura di II° livello **SITO-SPECIFICA** risulta inferiore al **valore soglia regionale** valido per la **categoria di sottosuolo “B”**: in base a questi dati **si prescrive di utilizzare gli spettri forniti dalle NTC_2018 per la categoria di sottosuolo “B”**.

La pericolosità sismica di base del sito, che costituisce l’elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche, è stata, poi, dettagliata secondo i principi contenuti nell’ALLEGATO A “*Pericolosità Sismica*” delle NTC.

Secondo questi principi 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. Per la valutazione della pericolosità sismica si è fatto riferimento alle tabelle riportate nell’ALLEGATO B delle NTC: “parametri che definiscono l’azione sismica”, in funzione della latitudine e longitudine del sito di progetto.

L’azione sismica di base così individuata è stata successivamente variata per definire la risposta sismica locale, nei modi precisati dalle NTC, tenendo conto delle condizioni locali stratigrafiche del sito di costruzione e dalla morfologia della superficie. Le azioni sismiche di cui al paragrafo 3.2 delle NTC e le forme spettrali correlate al reticolo di riferimento, sono riferite alle seguenti coordinate ED50 (ellissoide di riferimento per la mappa di pericolosità INGV) del sito oggetto dell’intervento:

Sito in esame. Latitudine: 45,598205 longitudine: 10,549067
Classe: 2 Vita nominale: 50 Periodo di riferimento: 50 anni Categoria topografica: T1

Parametri e Coefficienti sismici per verifiche delle opere di Fondazione

Parametri sismici	Coefficienti Sismici
<u>Danno (SLD):</u> Probabilità di superamento: 63% Tr: 50 [anni] ag: 0,057g Fo: 2,487 Tc*: 0,243 [s]	SLD: Ss: 1,200 Cc: 1,460 St: 1,000 Kh: 0,014 Kv: 0,007 Amax: 0,673 Beta: 0,200
<u>Salvaguardia della vita (SLV):</u> Probabilità di superamento: 10% Tr: 475 [anni] ag: 0,159 g Fo: 2,481 Tc*: 0,274 [s]	SLV: Ss: 1,200 Cc: 1,430 St: 1,000 Kh: 0,046 Kv: 0,023 Amax: 1,867 Beta: 0,240

NOTA_6: il fenomeno della liquefazione, causato dalla progressiva riduzione delle tensioni efficaci nel corso di un terremoto, può verificarsi, limitatamente ai primi 10-15 m dalla superficie, solo in terreni costituenti depositi superficiali sotto falda, sciolti e saturi, che presentano granulometria delle sabbie fini e medie con contenuto in limo variabile generalmente dallo 0 al 25 % e grado di addensamento medio-basso.

Nel caso in esame la **falda freatica principale è posta a profondità maggiore di 20m**, mentre le **falde sospese** saranno necessariamente captate per tutelare le nuove costruzioni. Di conseguenza, **non sono prevedibile fenomeni di liquefazione dei terreni** (ai sensi del Paragrafo 7.11.3.4.2 delle NTC_2018).

3 – CONCLUSIONI E PRESCRIZIONI

Su incarico dell'ing. Ercole Grisoli (progettista delle strutture), in accordo con lo Studio Associato di Architettura Ferrari di Gardone Riviera (progettisti architettonici), per conto del Villaggio Turistico Internazionale Eden, è stata redatta la presente Relazione geologica (e di prima caratterizzazione geotecnica), propedeutica (ai sensi della D.G.R. IX/2616/2011 e del capitolo 6 “Progettazione geotecnica” delle “NTC_2008”), alla definizione delle problematiche di pericolosità geologica, idrogeologica e sismica nell'ambito del **“Piano di recupero: ristrutturazione fabbricato e trasformazione in struttura turistico ricettiva”**, Via Martiri della Patria, comune di San Felice del Benaco.

Le informazioni ottenute dallo studio geologico di dettaglio dell'area oggetto di studio, e dall'indagine geognostica, hanno consentito di elaborare un modello geologico che lo scrivente ritiene attendibile per il “**volume significativo**” di terreno interessato dalle opere geotecniche previste.

Il parere dello scrivente è che “**gli interventi di progetto risultino compatibili con le norme di fattibilità, di vincolo geologico e di pericolosità sismica e con l'assetto idrogeologico e geomorfologico dei luoghi**”, con le seguenti indicazioni e prescrizioni:

- ◆ la variabilità delle stratigrafie ottenute **non consente di elaborare un modello geologico e geotecnico unico per le 3 situazioni analizzate**, per cui si invita il progettista delle strutture a utilizzare i 3 modelli geotecnici, contenuti nell'**Allegato-2** della presente relazione, in modo selettivo,
- ◆ nel corso delle prove penetrometriche è stata riscontrata la **presenza di acqua** ad una **profondità variabile da 4.30m (SCPT-P1) a 1.90m (SCPT-P2)**, mentre nella SCPT-P3 non è stata rilevata. A parere dello scrivente si tratta di falde sospese, tipiche di queste zone, che normalmente restano indipendenti rispetto all'andamento generale della tavola d'acqua e costituiscono dei sistemi isolati, spesso in contrasto con l'idrogeologia delle aree circostanti. **La soggiacenza della falda freatica** (profondità rispetto alla superficie topografica), risulta **pari a circa 40.0m** (dati estrapolabili dalle carte del PGT): di conseguenza, **non sono prevedibile fenomeni di liquefazione dei terreni** (ai sensi del Paragrafo 7.11.3.4.2 delle NTC_2018),
- ◆ in base alle considerazioni contenute nel Paragrafo 2.5 della presente relazione, ai terreni compresi nell'area di studio è possibile assegnare una **categoria di sottosuolo “B”**, cioè “Depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti” (V_{s30} comprese tra 360 m/s e 800 m/s, ovvero $NSPT_{30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $C_u > 250$ Kpa nei terreni a grana fina),
- ◆ il **periodo di sito “T”**, calcolato in funzione del profilo sismico ottenuto (in particolare utilizzando lo spessore (h_i) e la velocità (V_{si}) di ciascun orizzonte sismostratigrafico), è risultato **pari a 0.213s**,
- ◆ per la gestione di **eventuale terreno di risulta** la nuova normativa di riferimento è il D.L. 133/2014. in particolare l'Art. 8,

◆ le verifiche del fronte di scavo dovranno essere oggetto di specifica perizia geotecnica (ai sensi del Capitolo 6.8.6 delle NTC_2018),

Si segnala inoltre che:

- ◆ le prescrizioni riguardanti la fattibilità geologica e gli scenari di pericolosità sismica locale (PSL) sono contenute nel paragrafo 2.1,
- ◆ le indicazioni geologiche e geomorfologiche riguardanti il sito oggetto di studio sono contenute nel paragrafo 2.2.1.

Brescia, 01 Agosto 2018

dott. Geol. Mauro Piazza



ALLEGATI:

- planimetria con posizione delle indagini (Allegato N.1 _ 1 pag),
- grafici e tabulati interpretativi delle prove penetrometriche SCPT (Allegato N.2 _ 6 pagg.),
- indagine sismica: esecuzione di una prospezione sismica M.A.S.W. e di una misura di Microtremore sismico H.V.S.R. (Allegato N.3 _ 15 pagg.).

ALLEGATO N.2 – INTERPRETAZIONE PROVE PENETROMETRICHE

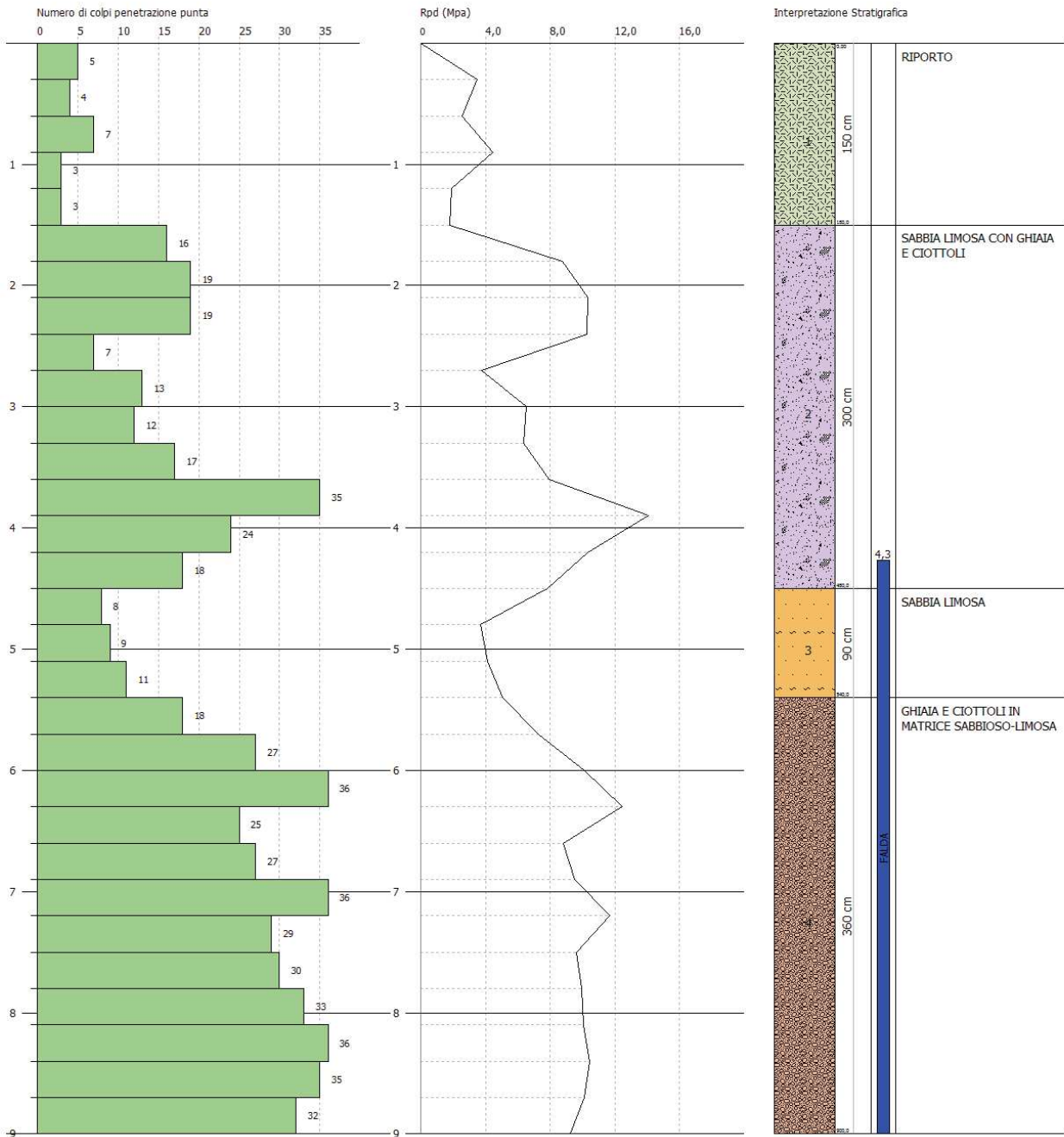
GRAFICO SCPT_P1

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SCPT_1
Strumento utilizzato... SCPT TG 63-200 PAGANI

Committente:
Cantiere: SAN FELICE (BS)
Località: PORTESE

Data: 18/07/2018

Scala 1:50



STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA SCPT_P1

Descrizione	spessore	Nspt	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso unità di volume (KN/m ³)
[1] - RIPORTO	da 0,00 a 1,50 m	3	3	Meyerhof ed altri	15
[2] - SABBIA DEBOLMENTE GHIAIOSA	da 1,50 m a 4,50 m	14	14		18
[3] - SABBIA LIMOSA	da 4,50 a 5,40 m	9	9		17
[4] - GHIAIA E CIOTTOLI IN MATRICE SABBIOSO-LIMOSA	da 5,40 a 9,00 m	27	21		19,5

Descrizione	spessore	Nspt	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso unità di volume saturo (KN/m ³)
[1] - RIPORTO	da 0,00 a 1,50 m	3	3	Terzaghi-Peck 1948-1967	18
[2] - SABBIA DEBOLMENTE GHIAIOSA	da 1,50 m a 4,50 m	14	14		19
[3] - SABBIA LIMOSA	da 4,50 a 5,40 m	9	9		18,5
[4] - GHIAIA E CIOTTOLI IN MATRICE SABBIOSO-LIMOSA	da 5,40 a 9,00 m	27	21		23

Descrizione	spessore	Nspt	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
[1] - RIPORTO	da 0,00 a 1,50 m	3	3	Schultze & Menzenbach (1961)	50
[2] - SABBIA DEBOLMENTE GHIAIOSA	da 1,50 m a 4,50 m	14	14		70
[3] - SABBIA LIMOSA	da 4,50 a 5,40 m	9	9		50
[4] - GHIAIA E CIOTTOLI IN MATRICE SABBIOSO-LIMOSA	da 5,40 a 9,00 m	27	21		70

Descrizione	spessore	Nspt	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
[1] - RIPORTO	da 0,00 a 1,50 m	3	3	Japanese National Railway	28
[2] - SABBIA DEBOLMENTE GHIAIOSA	da 1,50 m a 4,50 m	14	14		31
[3] - SABBIA LIMOSA	da 4,50 a 5,40 m	9	9		29,5
[4] - GHIAIA E CIOTTOLI IN MATRICE SABBIOSO-LIMOSA	da 5,40 a 9,00 m	27	21		33

Descrizione	spessore	Nspt	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (MPa)
[1] - RIPORTO	da 0,00 a 1,50 m	3	3	Schultze-Menzenbach	8
[2] - SABBIA DEBOLMENTE GHIAIOSA	da 1,50 m a 4,50 m	14	14		20,5
[3] - SABBIA LIMOSA	da 4,50 a 5,40 m	9	9		9
[4] - GHIAIA E CIOTTOLI IN MATRICE SABBIOSO-LIMOSA	da 5,40 a 9,00 m	27	21		25,5

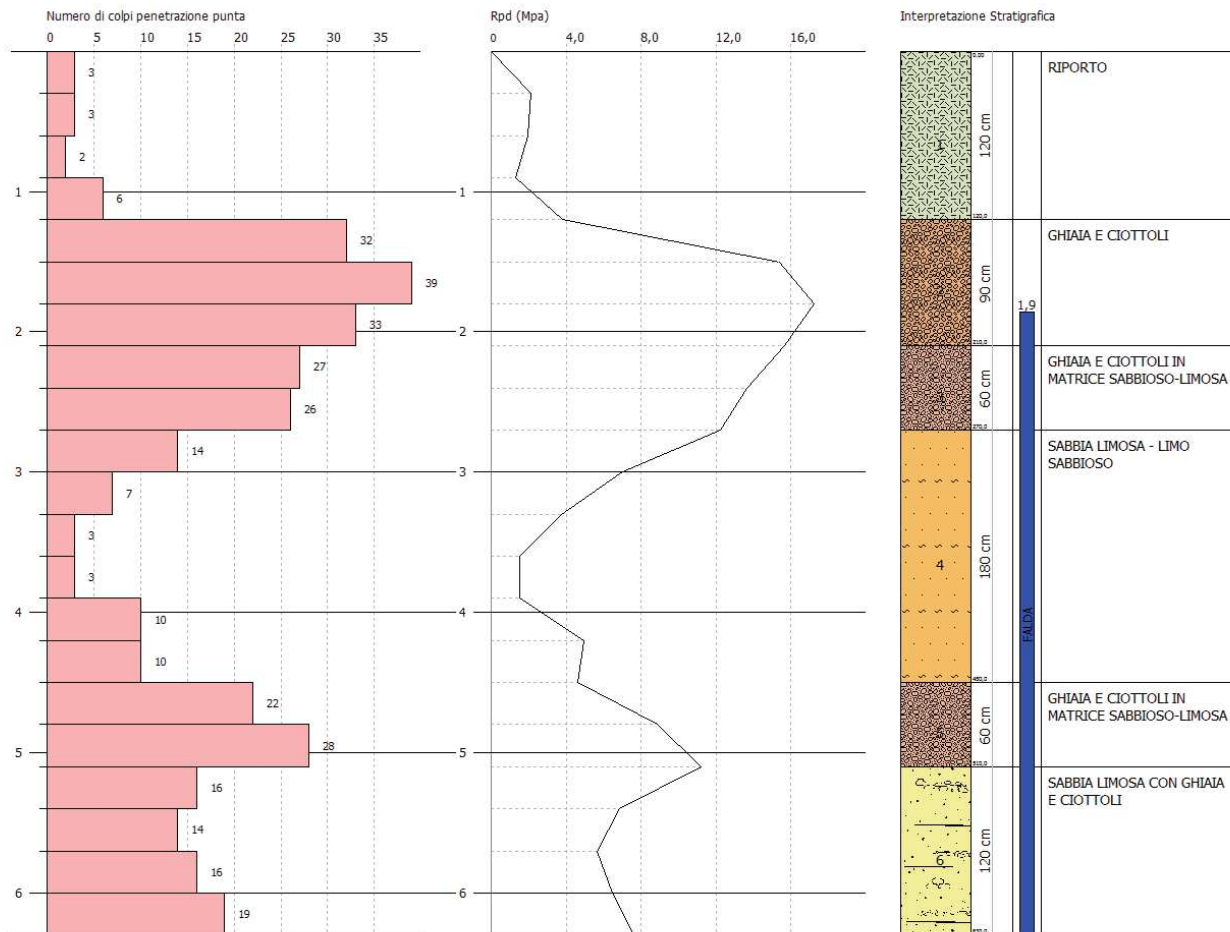
GRAFICO SCPT_P2

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SCPT_2
Strumento utilizzato... SCPT TG 63-200 PAGANI

Committente:
Cantiere: SAN FELICE (BS)
Località: PORTESE

Data: 18/07/2018

Scala 1:50



STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA SCPT_P2

Descrizione	spessore	Nspt	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso unità di volume (KN/m ³)
[1] - RIPORTO	da 0,00 a 1,20 m	2	2	Meyerhof ed altri	14
[2] - GHIAIA E CIOTTOLI	da 1,20 a 2,10 m	31	31		21
[3] - GHIAIA E CIOTTOLI IN MATRICE SABBIOSO-LIMOSA	da 2,10 a 2,70 m	25	20		19,5
[4] - SABBIA LIMOSA - LIMO SABBIOSO	da 2,70 a 4,50 m	7	7		16
[5] - GHIAIA E CIOTTOLI IN MATRICE SABBIOSO-LIMOSA	da 4,50 a 5,10 m	21	18		19
[6] - SABBIA LIMOSA CON GHIAIA E CIOTTOLI	da 5,10 a 6,30 m	17	16		19

Descrizione	spessore	Nspt	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso unità di volume saturo (KN/m ³)
[1] - RIPORTO	da 0,00 a 1,20 m	2	2	Terzaghi-Peck 1948-1967	18
[2] - GHIAIA E CIOTTOLI	da 1,20 a 2,10 m	31	31		24,5
[3] - GHIAIA E CIOTTOLI IN MATRICE SABBIOSO-LIMOSA	da 2,10 a 2,70 m	25	20		23,5
[4] - SABBIA LIMOSA - LIMO SABBIOSO	da 2,70 a 4,50 m	7	7		18,5
[5] - GHIAIA E CIOTTOLI IN MATRICE SABBIOSO-LIMOSA	da 4,50 a 5,10 m	21	18		19,5
[6] - SABBIA LIMOSA CON GHIAIA E CIOTTOLI	da 5,10 a 6,30 m	17	16		19

Descrizione	spessore	Nspt	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
[1] - RIPORTO	da 0,00 a 1,20 m	2	2	Schultze & Menzenbach (1961)	45
[2] - GHIAIA E CIOTTOLI	da 1,20 a 2,10 m	31	31		90
[3] - GHIAIA E CIOTTOLI IN MATRICE SABBIOSO-LIMOSA	da 2,10 a 2,70 m	25	20		80
[4] - SABBIA LIMOSA - LIMO SABBIOSO	da 2,70 a 4,50 m	7	7		50
[5] - GHIAIA E CIOTTOLI IN MATRICE SABBIOSO-LIMOSA	da 4,50 a 5,10 m	21	18		75
[6] - SABBIA LIMOSA CON GHIAIA E CIOTTOLI	da 5,10 a 6,30 m	17	16		70

Descrizione	spessore	Nspt	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
[1] - RIPORTO	da 0,00 a 1,20 m	2	2	Japanese National Railway	27,5
[2] - GHIAIA E CIOTTOLI	da 1,20 a 2,10 m	31	31		36
[3] - GHIAIA E CIOTTOLI IN MATRICE SABBIOSO-LIMOSA	da 2,10 a 2,70 m	25	20		33
[4] - SABBIA LIMOSA - LIMO SABBIOSO	da 2,70 a 4,50 m	7	7		29
[5] - GHIAIA E CIOTTOLI IN MATRICE SABBIOSO-LIMOSA	da 4,50 a 5,10 m	21	18		32,5
[6] - SABBIA LIMOSA CON GHIAIA E CIOTTOLI	da 5,10 a 6,30 m	17	16		32

Descrizione	spessore	Nspt	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (MPa)
[1] - RIPORTO	da 0,00 a 1,20 m	2	2	Schultze-Menzenbach	7,6
[2] - GHIAIA E CIOTTOLI	da 1,20 a 2,10 m	31	31		35
[3] - GHIAIA E CIOTTOLI IN MATRICE SABBIOSO-LIMOSA	da 2,10 a 2,70 m	25	20		24
[4] - SABBIA LIMOSA - LIMO SABBIOSO	da 2,70 a 4,50 m	7	7		8
[5] - GHIAIA E CIOTTOLI IN MATRICE SABBIOSO-LIMOSA	da 4,50 a 5,10 m	21	18		22
[6] - SABBIA LIMOSA CON GHIAIA E CIOTTOLI	da 5,10 a 6,30 m	17	16		22,5

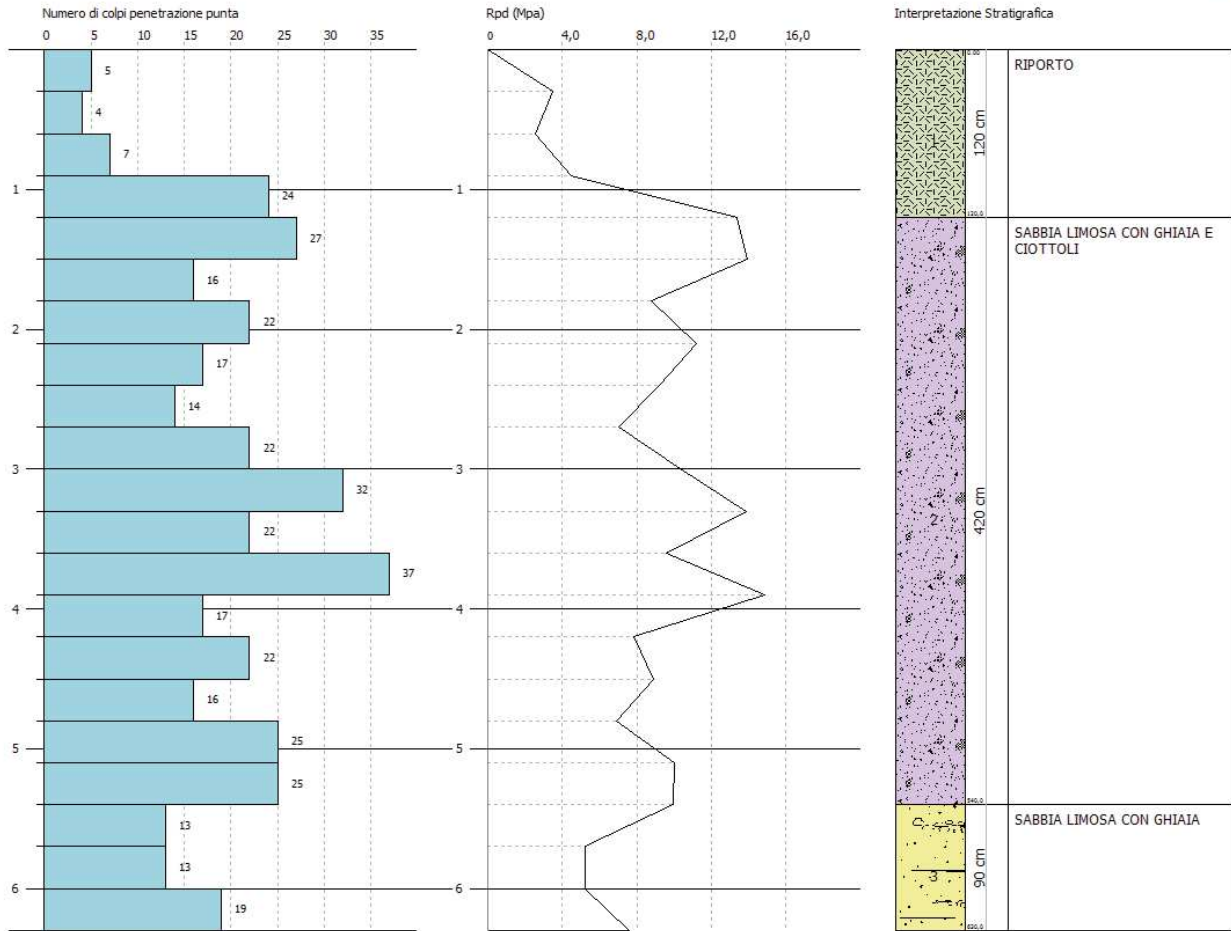
GRAFICO SCPT_P3

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SCPT_3
 Strumento utilizzato... SCPT TG 63-200 PAGANI

Committente:
 Cantiere: SAN FELICE (BS)
 Località: PORTESE

Data: 18/07/2018

Scala 1:50



STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA SCPT_P3

Descrizione	spessore	Nspt	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso unità di volume (KN/m ³)
[1] - RIPORTO	da 0,00 a 1,20 m	3	3	Meyerhof ed altri	15
[2] - SABBIA LIMOSA CON GHIAIA E CIOTTOLI	da 1,20 a 5,40 m	23	23		20
[3] - SABBIA LIMOSA CON GHIAIA	da 5,40 a 6,30 m	14	14		18

Descrizione	spessore	Nspt	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso unità di volume saturo (KN/m ³)
[1] - RIPORTO	da 0,00 a 1,20 m	3	3	Terzaghi-Peck 1948-1967	18
[2] - SABBIA LIMOSA CON GHIAIA E CIOTTOLI	da 1,20 a 5,40 m	23	23		24
[3] - SABBIA LIMOSA CON GHIAIA	da 5,40 a 6,30 m	14	14		19

Descrizione	spessore	Nspt	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
[1] - RIPORTO	da 0,00 a 1,20 m	3	3	Schultze & Menzenbach (1961)	50
[2] - SABBIA LIMOSA CON GHIAIA E CIOTTOLI	da 1,20 a 5,40 m	23	23		85
[3] - SABBIA LIMOSA CON GHIAIA	da 5,40 a 6,30 m	14	14		60

Descrizione	spessore	Nspt	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
[1] - RIPORTO	da 0,00 a 1,20 m	3	3	Japanese National Railway	28
[2] - SABBIA LIMOSA CON GHIAIA E CIOTTOLI	da 1,20 a 5,40 m	23	23		34
[3] - SABBIA LIMOSA CON GHIAIA	da 5,40 a 6,30 m	14	14		31

Descrizione	spessore	Nspt	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (MPa)
[1] - RIPORTO	da 0,00 a 1,20 m	3	3	Schultze- Menzenbach Sabbia ghiaiosa	8
[2] - SABBIA LIMOSA CON GHIAIA E CIOTTOLI	da 1,20 a 5,40 m	23	23		31
[3] - SABBIA LIMOSA CON GHIAIA	da 5,40 a 6,30 m	14	14		20,5



Viale Michelangelo, 40 – 25015 Desenzano del Garda (BS)

Cell: 347 9428449 – 349 2936733

P.IVA/C.F. 03632850982

mail: info@crestanasrls.com

www.crestanasrls.com

ESECUZIONE DI UNA PROSPEZIONE SISMICA M.A.S.W
E DI UNA MISURA DI MICROTREMORE SISMICO H.V.S.R.,
IN VIA MARTIRI DELLA PATRIA, NEL COMUNE DI SAN FELICE D/B (BS)

Committente: *Dott. Geol. Mauro Piazza*

RAPPORTO TECNICO

Data

Luglio 2018



CRESTANA S.r.l.s.
INDAGINI GEOGNOSTICHE, GEOFISICHE ED AMBIENTALI

Viale Michelangelo, 40 – 25015 Desenzano del Garda (BS)
Cell: 347 9428449 – 349 2936733
mail: info@crestanasrls.com
www.crestanasrls.com

INDICE

1 - PREMESSA.....	3
2 - ANALISI HVSR.....	3
2.1 - Cenni sulla metodologia HVSR.....	3
2.2 - Acquisizione dei dati	3
2.3 - Analisi ed elaborazione dei segnali acquisiti.....	4
2.4 - Descrizione dei risultati	6
3 - INDAGINE SISMICA MASW	7
3.1 - Cenni sulla metodologia MASW	7
3.2 - Acquisizione dei dati	8
3.3 - Analisi ed elaborazione dei segnali acquisiti.....	9
4 - PROFILO SISMOSTRATIGRAFICO	11

1 - PREMESSA

Su incarico conferito dal *Dott. Geol. Mauro Piazza* alla ditta *Crestana S.r.l.s.* sono state eseguite, in data 18 Luglio 2018, un'indagine geotecnica ed una prospezione geofisica finalizzate alla ricostruzione stratigrafica e sismica dei terreni, nell'ambito di uno Studio Geologico eseguito in Via Martiri della Patria, nel Comune di San Felice del Benaco (BS).

Le indagini in sito sono consistite nell'esecuzione di **n° 1 profilo di sismica multicanale** con acquisizione delle onde di superficie ed elaborazione dati **mediante metodologia MASW e n° 1 indagine sismica passiva con metodo HVSR.**

Mediante tali metodologie è stato possibile ricostruire **l'andamento medio delle onde Vs** in profondità ed eseguire la valutazione del parametro **Vs_{eq}** di sito, al fine di classificare il terreno di fondazione secondo il *D.M. 17/01/2018*, misurando eventualmente il periodo proprio di vibrazione di sito.

2 - ANALISI HVSR

Allo scopo di migliorare la definizione del profilo verticale Vs nelle porzioni più profonde e di calcolare la possibile frequenza di risonanza di sito, si è scelto di eseguire, in corrispondenza dello stendimento sismico MASW, una misurazione dei microtremori sismici ambientali per la definizione e l'analisi del rapporto spettrale H/V.

2.1 - Cenni sulla metodologia HVSR

La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è basata sulla misura dei rapporti medi fra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali e verticale del rumore sismico ambientale. La prova a stazione singola, consiste nella valutazione sperimentale dei rapporti di ampiezza spettrale fra le componenti orizzontali (H) e la componente verticale (V) delle vibrazioni ambientali sulla superficie del terreno misurati in un punto con un apposito sismometro a tre componenti. Il risultato di questa prova è una curva sperimentale, che rappresenta il valore del rapporto fra le ampiezze spettrali medie delle vibrazioni in funzione della frequenza di vibrazione. Le frequenze alla quali la curva H/V mostra dei massimi, sono legate alle frequenze di risonanza del terreno al di sotto del punto di misura. L'ampiezza di questi massimi è proporzionale (anche se non linearmente) all'entità del contrasto di impedenza sismica esistente alla base della copertura.

In particolare, in presenza di forti variazioni nel profilo di velocità delle onde S nel sottosuolo (legate per esempio alla transizione fra sedimenti soffici e basamento rigido), la funzione H/V mostra dei massimi marcati in corrispondenza della frequenza di risonanza *fr* relativa alla configurazione stratigrafica del sito (con *fr* circa uguale al rapporto fra la velocità media delle onde S fino alla profondità del salto di velocità e il quadruplo di questa profondità). Pertanto, questa prova ha lo scopo principale di mettere in luce la presenza di fenomeni di risonanza sismica e consentire una stima delle frequenze alle quali il moto del terreno può risultare amplificato a causa di questi fenomeni.

2.2 - Acquisizione dei dati

Nell'area d'indagine è stata eseguita, mediante stazione singola o tromometro, una misura di rumore sismico ambientale per un tempo di registrazione massimo di 15 minuti.

La strumentazione utilizzata si compone nello specifico di:

- un sistema di ricezione costituito da un tromometro CGE a 3 componenti geofoniche con frequenza propria di 2 Hz per acquisizioni del microtremore lungo la direzione verticale e le due direzioni orizzontali ortogonali.
- un sistema di acquisizione e memorizzazione costituito da un sismografo modulare in grado di registrare in modo digitale le forme d'onda generate (*Geode Geometrics Mod. 3-1000*); il sismografo A/D è in grado di campionare segnali tra 0.025 ms e 16 ms (campionamento eseguito a 4 ms). Il sistema di acquisizione è completato da un computer per l'analisi e la memorizzazione del segnale e appositi cavi di collegamento.

2.3 - Analisi ed elaborazione dei segnali acquisiti

I risultati delle analisi presentati in questo lavoro sono stati ottenuti con il software *winMASW* versione *Acd 7.1*, che permette di determinare i rapporti medi fra le componenti spettrali del rumore, misurate sul piano orizzontale e verticale. A questo scopo, l'acquisizione del rumore ambientale è stata suddivisa in una serie di finestre temporali di uguale durata (finestre di 20 ms), per ciascuna delle quali è stato determinato lo spettro del moto.

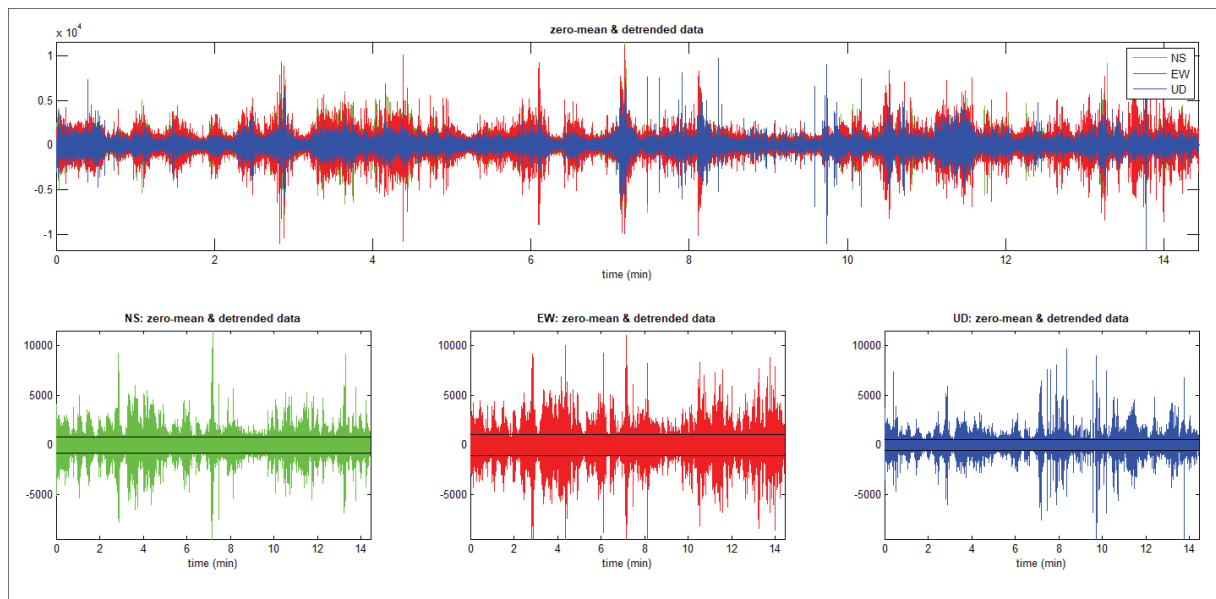


Fig. 1 - Visualizzazione dei dati dopo la rimozione di eventi transienti.

La determinazione della curva HVSR ha previsto in sintesi i seguenti steps:

- 1) Eliminazione manuale da parte dell'utente delle parti di segnale costituite dal disturbo arrecato da eventi non conformi al rumore ambientale (transienti). Questa operazione produce una diminuzione della lunghezza del segnale analizzato (vedi figura precedente).
- 2) Definizione della lunghezza degli intervalli entro cui calcolare le curve HVSR (20 ms).
- 3) Calcolo delle trasformate di Fourier delle tre componenti x, y, z del moto.
- 4) Operazione di smoothing degli spettri di Fourier.
- 5) Somma delle due componenti orizzontali x e y.
- 6) Calcolo delle curve HVSR come rapporto spettrale tra la componente orizzontale H e la componente verticale V negli N intervalli temporali stazionari.
- 7) Calcolo della curva HVSR media tra le n curve HVSR.

I risultati parziali ottenuti, durante le fasi di elaborazione delle curve H/V, sono stati iterativamente controllati andando a valutare la direttività e la stabilità nel tempo della curva HVSR.

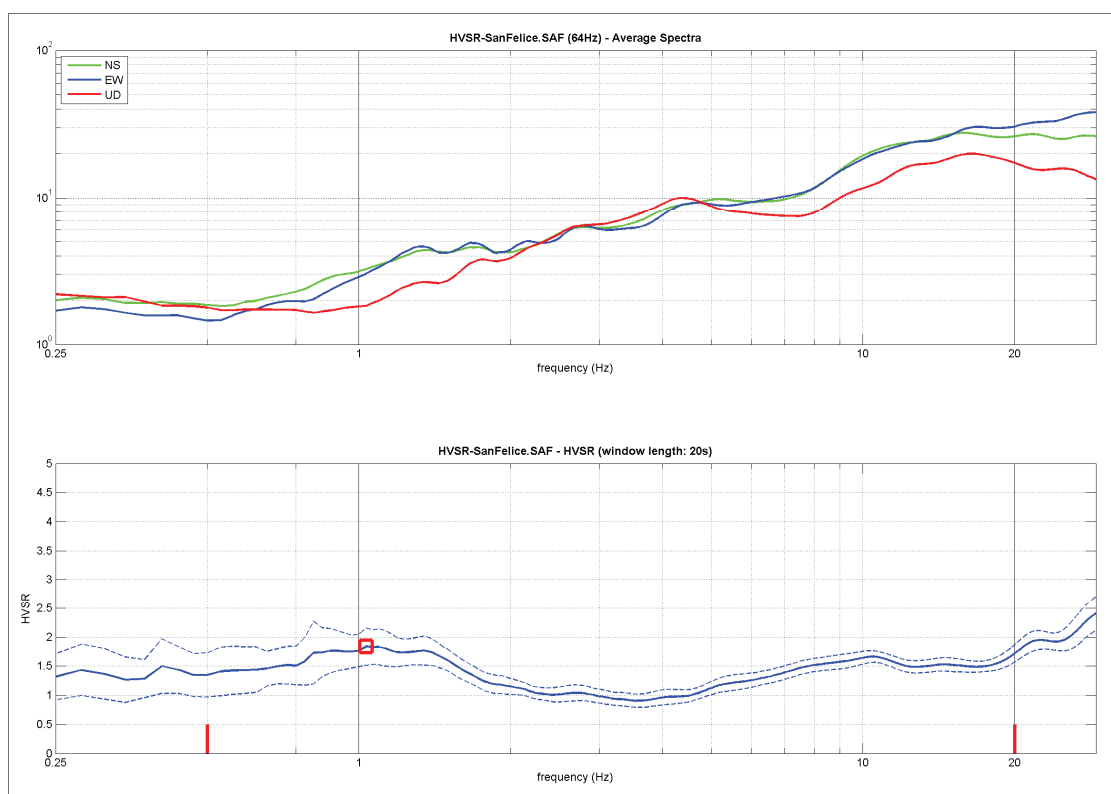


Fig. 2 - Visualizzazione HVSR e spettro medio di ampiezza del sito indagato.

La curva HVSR calcolata, indica un picco principale a circa 1,0 Hz; la sua validità viene verificata, mediante software *winMASW*, secondo i criteri di ammissibilità del progetto *SESAME* (che definiscono la robustezza statistica della curva HVSR e degli eventuali picchi presenti).

Criteria for a reliable H/V curve (Criteri per una curva affidabile)

- #1. $[f_0 > 10/L_w]$: $1.032 > 0.5$ (OK)
 - #2. $[n_c > 200]$: $1714 > 200$ (OK)
 - #3. $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$ (OK)
-

Criteria for a clear H/V peak (Criteri per un picco H/V chiaro)

- #1. $[\text{exists } f^- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2]$: (NO)
- #2. $[\text{exists } f^+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2]$: yes, at frequency 3.5Hz (OK)
- #3. $[A_0 > 2]$: $1.8 < 2$ (NO)
- #4. $[f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]$: (NO)
- #5. $[\sigma_A < \epsilon(f_0)]$: $2.798 > 0.103$ (NO)
- #6. $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$: $0.321 < 1.78$ (OK)

2.4 - Descrizione dei risultati

Il picco a 1,0 Hz con ampiezza pari 1,8 rispetta tutti i criteri *SESAME* per una curva affidabile; tuttavia non è rispettata la condizione che prevede la verifica di un minimo di 5 criteri su 6 per un picco significativo, nonostante siano stati modificati, in diverso modo, i parametri di elaborazione affinché i criteri fossero tutti verificati.

Dall'analisi della curva HVSR, eseguita tra 0,5 Hz e 20 Hz (frequenze di interesse ingegneristico), è quindi risultata una possibile frequenza principale di risonanza attorno a 1,0 Hz.

L'assenza di picchi di frequenza significativi è correlabile alla mancanza di forti contrasti di impedenza sismica all'interno della sequenza deposizionale indagata e/o all'aumento graduale, con la profondità, delle caratteristiche di addensamento dei terreni stessi.

Alla luce dei risultati ottenuti si è pertanto opportunamente scelto di non modellare la curva HVSR per trarre informazioni di tipo sismostratigrafico desunte invece dall'analisi MASW.

3 - INDAGINE SISMICA MASW

3.1 - Cenni sulla metodologia MASW

Con una prospezione sismica *MASW* (*Multi-channel Analysis of Surface Waves*) si analizza il fenomeno della dispersione che le onde di superficie subiscono in un mezzo stratificato. La velocità di propagazione per una certa lunghezza d'onda (λ), quindi frequenza è, infatti, influenzata dalle proprietà che il sottosuolo attraversato possiede ed è detta *velocità di fase*.

Le *MASW* attive sono realizzate tramite analisi delle onde di Rayleigh o di Love oppure, congiuntamente Rayleigh + Love. Queste rappresentano le onde di superficie prodotte dall'interazione delle onde di corpo (P e S) con una superficie di discontinuità fisica. Le onde di Rayleigh, e più precisamente le loro componenti verticali, vengono registrate tramite i comuni geofoni verticali a bassa frequenza e generate da una sorgente ad impatto verticale, la classica martellata. Le onde di Love invece vengono acquisite mediante geofoni a componente orizzontale e generate applicando una sorgente di taglio al terreno, questo perché le loro componenti si muovono solamente sul piano orizzontale, con oscillazione perpendicolare rispetto alla direzione di propagazione dell'onda. Durante l'indagine in oggetto lungo lo stendimento sismico sono state registrate per motivi operativi solo le componenti verticali delle onde di Rayleigh.

Il principio della tecnica *MASW* prevede che, poiché la dispersione delle onde di superficie dipende dalle caratteristiche del sottosuolo e dalle sue variazioni verticali, dalla determinazione delle curve di dispersione del segnale è possibile ricavare le caratteristiche fondamentali del mezzo quali ad esempio la velocità delle onde di taglio V_s e lo spessore degli strati. La velocità delle onde di Rayleigh (V_R) infatti è correlabile alla V_s , essendo pari a circa il 90% della velocità delle onde di taglio. L'analisi del fenomeno della dispersione, che avviene attraverso la *curva di dispersione*, permette quindi di determinare le caratteristiche del sottosuolo. La curva di dispersione del *dataset* è ottenuta mediante il passaggio dal dominio *spazio-tempo* (sismogramma) al dominio *velocità di fase/frequenza* (spettro di velocità) effettuato mediante specifica operazione con software dedicato.

Tenuto conto di quanto richiesto per l'applicazione della normativa relativa alla progettazione geotecnica, si ritiene che la metodologia di analisi *MASW*, risulti idonea alla definizione dei dati richiesti. Tale scelta risulta avvalorata dalle seguenti considerazioni:

1. La percentuale di energia convertita in onde Rayleigh o di Love è di gran lunga predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde P (7%) ed S (26%).
2. La propagazione e dispersione delle onde di Rayleigh o di Love si verifica senza problemi anche in caso di inversioni di velocità. Rispetto alla sismica a rifrazione, infatti, il metodo *MASW* non presenta problemi legati alla presenza di strati soffici compresi tra strati più rigidi.
3. La propagazione delle onde di Rayleigh, anche se influenzata dalla V_p e dalla densità, è funzione innanzitutto della V_s , parametro di fondamentale importanza nella caratterizzazione geotecnica di un sito (categoria di suolo in base al Testo Unico).

3.2 - Acquisizione dei dati

L'ubicazione e la lunghezza dello stendimento è stato scelto in funzione della logistica dei luoghi e dell'ingombro dell'area di progetto, in corrispondenza del piano campagna esistente alla data delle indagini (p.c.). L'allineamento sismico ha previsto una distanza tra i geofoni pari a 1 m ed una serie di scoppi esterni all'ultimo geofono con offset variabili (1-3-5-7 m) a diversa intensità di energizzazione (**Fig. 3**).

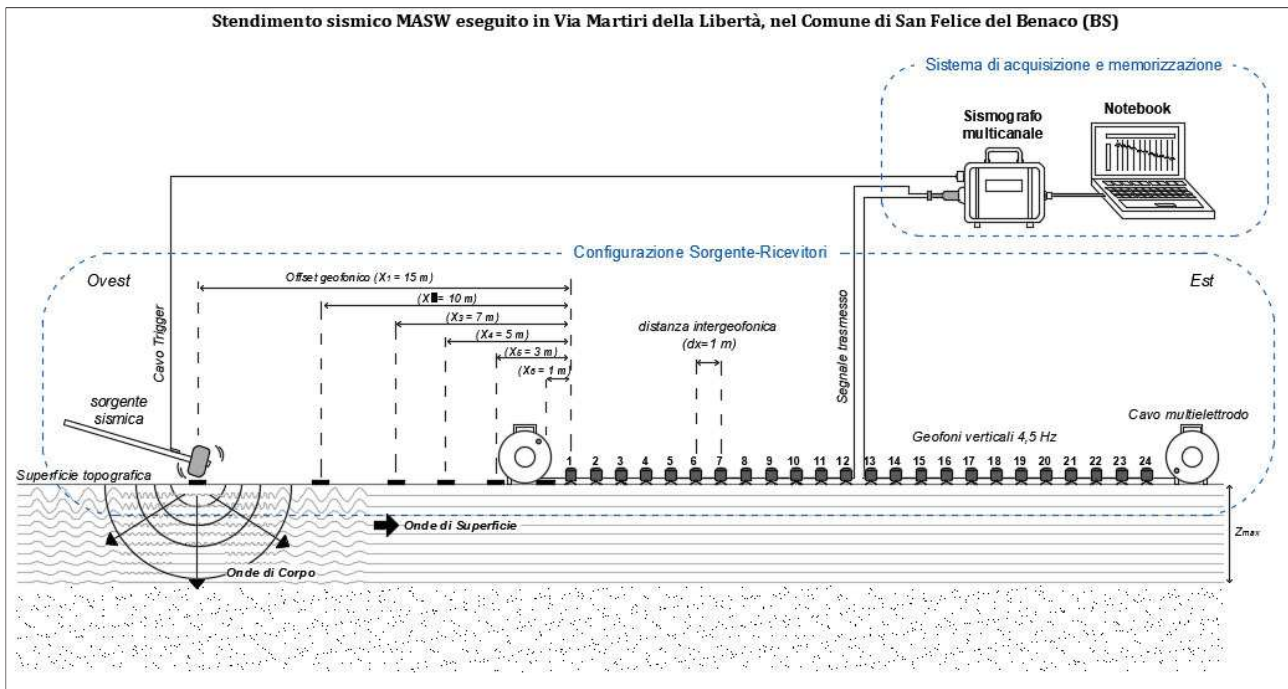


Fig. 3 - Schema di acquisizione MASW (onde di Rayleigh) adottato presso il sito di progetto.

L'acquisizione della componente verticale delle onde di Rayleigh è avvenuta mediante registrazione della propagazione del segnale sismico generato da una sorgente ad impatto verticale (martellata), tramite uno stendimento sismico di 24 geofoni a componente verticale.

La strumentazione utilizzata si compone nello specifico di:

- una sorgente meccanica in grado di generare onde elastiche direzionali e ricche di energia realizzata mediante la battuta verticale di una mazza battente di 10 kg su piastra;
- un sistema di ricezione costituito da uno stendimento di 24 geofoni a movimento verticale (*Geospace GS11D*) a frequenza di 4,5 Hz e tripode in alluminio, collegati mediante un cavo multielettrodo;
- un sistema di acquisizione e memorizzazione costituito da un sismografo modulare in grado di registrare in modo digitale le forme d'onda generate (*Geode Geometrics Mod. 3-1000*); il sismografo A/D è in grado di campionare segnali tra 0.025 ms e 16 ms. Il sistema di acquisizione è completato da dispositivo di *trigger*, computer per l'analisi e la memorizzazione del segnale e appositi cavi di collegamento.

3.3 - Analisi ed elaborazione dei segnali acquisiti

Determinazione degli spettri di velocità ed individuazione delle curve di dispersione

La stima dell'andamento in profondità delle velocità V_s , mediante acquisizione sismica multicanale è ottenuta tramite l'analisi del segnale nel dominio frequenza/velocità di fase.

Viene utilizzato lo spettro di velocità in quanto è il dominio dove è chiaramente più immediato e naturale comprendere le proprietà dispersive del mezzo attraversato, determinando con precisione la velocità di ciascuna componente del segnale registrato.

Dopo aver scelto quindi il sismogramma più idoneo, quello solitamente con il miglior rapporto *segnale/rumore*, si esegue una trasformata dal dominio *spazio/tempo* al dominio *frequenza/velocità* (**Fig. 4**).

Particolare attenzione nell'interpretazione delle curve di dispersione è posta in considerazione del fatto che le vibrazioni indotte dalle onde di superficie sono correlabili a diversi *modi*, che possono sovrapporsi all'interno dello spettro di velocità. Se tale sovrapposizione avviene, come in questo caso, può generarsi una curva di dispersione apparente, che può risultare fuorviante in fase di interpretazione. Al fine di individuare i modi correlabili alla reale successione stratigrafica è stato scelto di eseguire ed analizzare più scoppi sismici ad Offset minimi variabili. Tutte le curve di dispersione sono state quindi visionate prima di procedere al processing del dataset prescelto (*file4.dat*). I modi superiori, se correttamente riconosciuti, come in questo caso, concorrono ad elaborare un modello maggiormente vincolato e preciso.

Nel caso in esame, è stato individuato il “*modo fondamentale e porzioni del primo e secondo modo superiore*”, utilizzati per la successiva modellazione della curva di dispersione.

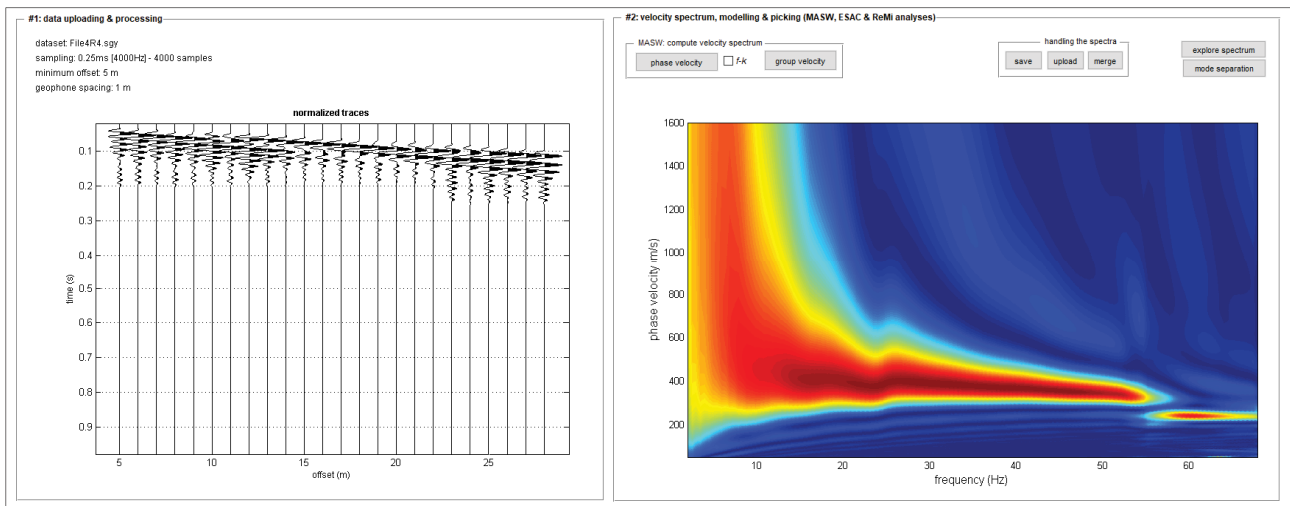


Fig. 4 - Visualizzazione del sismogramma acquisito (sx) e rispettivo spettro di velocità di fase delle onde di Rayleigh (dx).

Si riassumono di seguito i dati relativi ai parametri di acquisizione del dataset prescelto, utilizzato per la successiva elaborazione:

ONDE DI RAYLEIGH
Dati relativi allo shot 4 – File4R4.sgy
offset minimo: 5 m
distanza intergeofonica: 1,0 m
Intervallo di campionamento: 0,25 ms
Tempo di acquisizione: 1 s

Procedure di modellazione diretta e analisi congiunta Rayleigh+HVSZ

Analizzato il sismogramma e il rispettivo spettro di velocità si è proceduto alla ricostruzione della distribuzione verticale delle Vs. Partendo dalla curva di dispersione delle onde di Rayleigh è stato ricostruito il modello che è responsabile di quella curva, effettuando quindi un'inversione, vale a dire che si è ricavato il modello di sottosuolo che ha determinato il dato di campagna.

Lo spettro di velocità di fase è stato interpretato identificando le curve modali, mediante modellazione diretta, studiando l'andamento dei vari modi in funzione del modello atteso (**Fig. 5**). Questo è stato iterativamente modificato fino ad ottenere una buona sovrapposizione degli andamenti delle curve di dispersione sui vari modi riconosciuti.

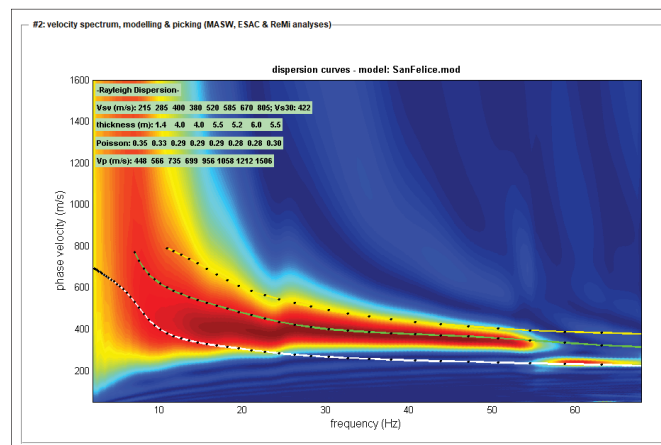


Fig. 5 - modellazione diretta dello spettro di velocità di fase delle onde di Rayleigh mediante individuazione del modo fondamentale e di porzioni dei modi superiori che compongono lo spettro.

4 - PROFILO SISMOSTRATIGRAFICO

Per l'elaborazione e l'interpretazione dei dati si è tenuto conto, delle evidenze del segnale acquisito e delle stratigrafie dei pozzi terebrati negli intorno dell'area di indagine.

Nella seguente tabella sono riportati i valori delle velocità medie e gli spessori di ciascun sismostrato, in modo da definire un **modello geofisico medio**, ottenuto mediante analisi delle onde di superficie con metodologia MASW.

Si riportano anche, in maniera indicativa, le stime dei valori di V_p , densità e modulo di Poisson eseguite dal software di elaborazione. Poiché la dispersione delle onde di superficie dipende essenzialmente dalla V_s e degli spessori degli strati (cioè dalla geometria), tali valori di densità e V_p devono essere considerati solamente come stime largamente approssimative. Viene riportato, inoltre, il valore del modulo di taglio che tra i moduli elastici è l'unico che non dipende da V_p , ma solamente da V_s e densità e quindi la sua stima risulta più attendibile.

MODELLO GEOFISICO MEDIO - Via Martiri della Patria – San Felice del Benaco (BS)						
Sismostrato	V_s (m/s)	Spessore (m)	Profondità da p.c. (m)	Stima densità (g/cm ³)	Modulo di Poisson	Modulo di Taglio (MPa)
1	215	1,4	-1,4	1,86	0,35	86
2	285	4,0	-5,4	1,92	0,33	156
3	400	4,0	-9,4	1,98	0,29	317
4	380	5,5	-14,9	1,97	0,29	284
5	520	5,2	-20,1	2,04	0,29	552
6	585	6,0	-26,1	2,07	0,28	708
7	670	5,5	-31,6	2,10	0,28	943
8	805	3,4	-35,0	2,15	0,27	1395

Il valore del modulo dinamico di taglio, dipendente da V_s e densità e si riferisce a condizioni di bassa deformazione. Per deformazioni significativamente superiori, come di norma nei calcoli geotecnici, i valori dovranno essere idoneamente utilizzati solo nei modi appropriati.

D.M. 17/01/2018	Profondità del bedrock sismico	$V_{s,eq}$ (m/s)	Categoria di sottosuolo	Valore di $V_{s,eq}$ calcolato mediante l'espressione 3.2.1 del D.M. 17/01/2018 $V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$ Categoria di sottosuolo assegnata in base a quanto indicato nella Tabella 3.2 II
Calcolo a partire dal ripiano di esecuzione MASW (p.c.)	oltre 30,0 m	422	B	
Calcolo a partire da -4,4 m dal p.c.	-27,2 m	482	B	

Si sottolinea come la Categoria di Sottosuolo di Progetto, stimata alternativamente in base a quanto previsto dal D.M. 17/01/2018, deve essere definita dal Geologo o dal progettista anche in funzione dei dati progettuali.

Si riporta inoltre la stratigrafia schematica del modello medio, ottenuto fino a -35,0 m dal p.c., mediante analisi MASW in onde di Rayleigh, utilizzato per il calcolo del parametro $V_{s,eq}$ (**Fig. 6**).

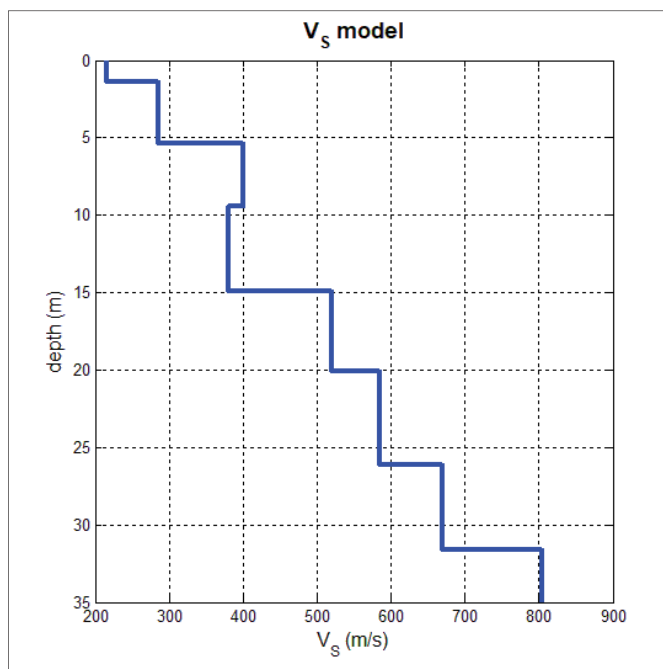


Fig. 6 - Profilo sismostratigrafico.

In base ai dati sismostratigrafici ottenuti, si rileva un primo strato composto da terreni scarsamente addensati, connesso presumibilmente anche con la formazione del ripiano terrazzato dal quale è stato eseguito lo stendimento sismico, di spessore pari a 1,4 m e con velocità di propagazione delle onde di taglio (onde S) pari a 215 m/s.

Da -1,4 m a -5,4 m dal p.c. si riscontrano valori di velocità delle onde S pari a 285 m/s, propri di orizzonti stratigrafici nel complesso moderatamente addensati.

Da -5,4 e fino ad almeno -31,0/-32,0 m dal p.c., si riscontrano valori di velocità delle onde S compresi tra 400 e 670 m/s, propri di depositi da addensati a molto addensati, afferenti alla sequenza glaciale, caratteristica del territorio in cui ricade l'area in esame.

Deboli decrementi dei valori di velocità delle onde S ($V_s=380$ m/s) sono presumibilmente dovuto alla presenza di uno o più livelli prevalentemente argillosi, meno addensati rispetto all'intera sequenza deposizionale indagata.

Oltre -31,0/-32,0 m dal p.c. si riscontra un valore di V_s pari a 805 m/s correlabile alla presenza di orizzonti particolarmente addensati e/o sovraconsolidati appartenenti alla medesima sequenza morenica, rappresentanti il bedrock sismico della successione descritta.

Il profilo sismostratigrafico ottenuto risulta correlabile con il quadro geologico dell'area oggetto di indagine e i valori di velocità delle onde S nei primi metri sono compatibili con l'andamento delle prove penetrometriche eseguite contestualmente all'indagine sismica.

In funzione quindi del profilo sismico ottenuto mediante analisi MASW, ed in particolare utilizzando lo spessore (h_i) e la velocità (Vs_i) di ciascun orizzonte sismostratigrafico, si è proceduto al calcolo del periodo di sito T , partendo dal piano campagna generale (p.c.) in corrispondenza del quale è stato realizzato lo stendimento sismico, fino all'orizzonte sismostratigrafico con $Vs \geq 800$ m/s, utilizzando la seguente formula:

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^n h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^n Vs_i \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)}$$

Pertanto, secondo la suddetta relazione, si ottiene un valore del periodo di sito T pari a **0,266 s**, a partire dal ripiano su cui è stata eseguita l'indagine sismica. Si ritiene che tale valore non sia comparabile con quello ottenuto considerando il picco dalla misura HVSR, che come detto non risulta significativo. Si specifica inoltre che qualora si prendesse in considerazione il piano di fondazione delle strutture interrate, posto a -4,40 m dal p.c., il periodo di vibrazione di sito T risulterebbe pari a **0,213 s**.

Desenzano del Garda, 31/07/2018

Il Tecnico

CRESTANA S.r.l.s.
Viale Michelangelo, 40
25015 Desenzano d/G. (BS)





UBICAZIONE DELL'AREA OGGETTO D'INDAGINE

(Via Martiri della Patria – San Felice d/B - BS)



Legenda:

-  Stendimento sismico con acquisizione ed elaborazione dei dati mediante metodologia MASW in onde di Rayleigh e in onde di Love
-  Misura di microtremore sismico, con stazione singola, mediante tecnica HVSr

ALLEGATO FOTOGRAFICO



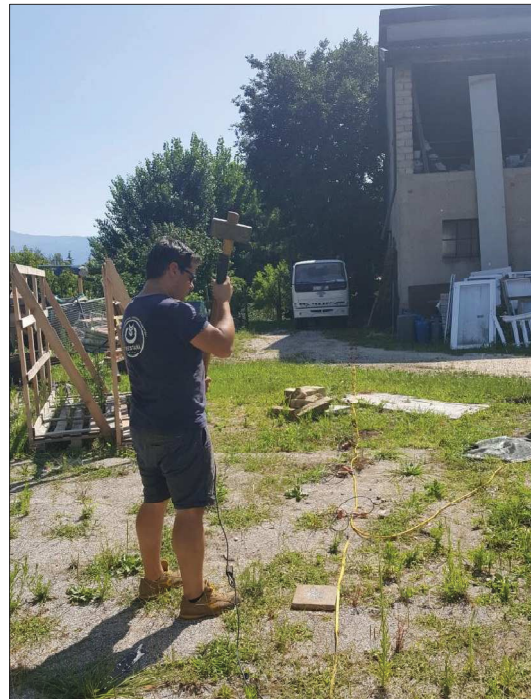
Stendimento sismico M.A.S.W.



*Misura del microtremore sismico
mediante tecnica H.V.S.R.*



*Acquisizione del segnale sismico
mediante Sismografo Geometrics
Mod. Geode 3-1000*



*Shot sismico verticale per la
generazione delle onde di Rayleigh
(offset 1 m)*