



REGIONE VENETO



COMUNE DI TORRI DEL BENACO



PROVINCIA DI VERONA

# PRC - Piano Regolatore Comunale

Articolo 12 Legge Regionale 23 aprile 2004, n° 11

## PI - Piano degli Interventi

Articoli 17 e 18 Legge Regionale 23 aprile 2004, n° 11



Terremoto 30 ottobre 2016 - Norcia

STUDIO HgeO

35040 CASALE DI SCODOSIA (PD)  
30322 FIESSO D'ARTICO (VE)  
45021 BADIA POLESINE (RO)  
vox 0425 59.48.42 - fax 0425 59.58.00  
web site: www.hgeo.it  
email: hgeo@hgeo.it



Baratto Filippo  
geologo

**Studio di Microzonazione sismica delle aree interessate da possibile futura urbanizzazione.**

ai sensi della DGR 1572 del 03.09.2013

Data: Ottobre 2017

Cod. 0960-17 E

Rev. 00



## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>NORMATIVA E INDIRIZZI DI LAVORO</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DEL TERRITORIO</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO, IDROGEOLOGICO E TETTONICO</b>	<b>7</b>
4.1	CENNI DI GEOLOGIA LOCALE	7
4.1.1	LITOLOGIE PRE-QUATERNARIE	8
4.1.2	LITOLOGIE QUATERNARIE	8
4.2	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	10
4.2.1	RETE IDRICA SUPERFICIALE	10
4.2.2	ASSETTO IDROGEOLOGICO	10
4.3	ASSETTO TETTONICO	11
<b>5</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE SISMOGENETICA DEL TERRITORIO</b>	<b>13</b>
5.1	SISMICITÀ STORICA DEL DISTRETTO	18
5.2	SISMICITÀ STRUMENTALE DEI DISTRETTI	19
5.3	SORGENTI SISMOGENETICHE	21
5.4	SISMICITÀ STORICA DEL TERRITORIO COMUNALE	21
5.5	PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE	22
5.6	DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE	24
5.7	ASPETTI NORMATIVI-AMMINISTRATIVI	25
<b>6</b>	<b>SINTESI DEGLI ELABORATI DEL 1° LIVELLO</b>	<b>27</b>
6.1	CARTA DELLE INDAGINI	27
6.2	CARTA GEOLOGICO-TECNICA (CGT_MS)	29
6.3	CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS)	32
6.3.1	ELEMENTI DI AMPLIFICAZIONE SISMICA	32
6.3.2	AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA	32
6.3.3	AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA	46
6.4	DEFINIZIONE DELLE ZONE STABILI ED INSTABILI SISMICAMENTE	47
6.4.1	ZONE STABILI NON SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONE SISMICA	47
6.4.2	ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONE SISMICA	47
6.4.3	ZONE INSTABILI PER AZIONE SISMICA	47
6.5	DESCRIZIONE DELLA CARTA MOPS	47
6.5.1	ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONE SISMICA	48
6.5.2	ZONE INSTABILI PER AZIONE SISMICA	48
<b>7</b>	<b>ELABORATI DEL 2° LIVELLO</b>	<b>50</b>
7.1	PRINCIPI DI BASE	50
7.2	AMPLIFICAZIONE MORFOLOGICA	50
7.3	AMPLIFICAZIONE LITOLOGICA	63
7.3.1	AMPLIFICAZIONE LITOLOGICA E GEOMETRICA	63
7.3.2	AMPLIFICAZIONE LITOLOGICA	65
7.4	RISULTATI DELLO STUDIO DI 2° LIVELLO	68
7.4.1	CLASSE DI SUOLO	68
7.5	CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA MS2	70
7.6	SOTTOSUOLO E FREQUENZE	71
7.6.1	FREQUENZA NATURALE E STRUTTURE	73
<b>8</b>	<b>PRESCRIZIONI PER LA PIANIFICAZIONE URBANISTICA</b>	<b>75</b>
8.1	AREE STABILI SUSCETTIBILI AD AMPLIFICAZIONE SISMICA	75
8.2	AREE INSTABILI	76
8.2.1	ZONE DI ATTENZIONE ZA <sub>LQ</sub>	79
8.2.2	ZONE DI ATTENZIONE PER FRANE SISMOINDOTTE ZA <sub>FR</sub>	81
<b>9</b>	<b>CONCLUSIONI</b>	<b>85</b>

### ELABORATI:

Allegato: H (Indagini)

Tavole: Carta delle Indagini (CI)

Carta geologico-tecnica - CGT

Carta delle Microzone Omogenee in prospettiva sismica - MOPS

Carta di Microzonazione sismica - MS



## 1 PREMESSA

La presente Relazione viene prodotta ai sensi delle vigenti disposizioni regionali in materia di Microzonazione sismica di supporto agli strumenti urbanistici (Linee Guida regionali della DGR 1572/2013), mentre si rimandano le verifiche geologiche e sismiche indicate nelle NTC2008 alla fase progettuale dell'iter edificatorio futuro, non conoscendo alla data odierna né le esatte zone di possibile espansione, né tantomeno il carico edilizio che ne deriverà.

La microzonazione sismica (MS), cioè la suddivisione dettagliata del territorio in base al comportamento dei terreni durante un evento sismico con i possibili effetti indotti dallo scuotimento, è uno strumento di prevenzione e riduzione del rischio sismico particolarmente efficace se realizzato e applicato già in fase di pianificazione urbanistica.

In particolare, con la Delibera della Giunta n. 1572/2013 (BUR n.81 del 24.09.2013), la Regione Veneto ha ritenuto di integrare la documentazione da allegare alla pianificazione urbanistica con lo studio di Microzonazione sismica", il quale deve fornire un supporto sulle modalità costruttive degli interventi, in modo da garantire un'adeguata sicurezza degli insediamenti e delle infrastrutture.

A tale norma sono state allegate le "Linee Guida Regionali (Allegato A) per la microzonazione sismica (D.G.R. 71/2008, D.G.R. 2877/2008 e D.lgs. 163/2006", abrogando nel contesto la D.G.R. n. 3308/08; nonché l'elenco dei comuni veneti soggetti agli studio di microzonazione sismica (Allegato B della DGR).

La valutazione di compatibilità sismica non sostituisce ulteriori studi e atti istruttori di qualunque tipo richiesti al soggetto promotore dalla normativa statale e regionale, in quanto applicabili.

Si rammenta che l'Amministrazione comunale di Torri del Benaco a seguito dell'entrata in vigore della DGR n. 1792/2013 e della DGR n. 884/2013 finalizzate a finanziare gli studi di microzonazione sismica comunale, ma anche gli interventi strutturali di rafforzamento locale o di miglioramento sismico relativo a costruzioni pubbliche e private, ha redatto lo studio di Microzonazione di 1° Livello nonché l'Analisi della Condizione Limite per l'Emergenza (CLE) dell'insediamento urbano in territorio comunale (cod. HgeO n. 805-14 E), al quale si rimanda per non appesantire codesto studio.

Pur rimandando a quello scritto l'illustrazione dei risultati ottenuti con il 1° Livello di approfondimento, si ritiene di riportare, qui, alcuni importanti stralci di testo e le cartografie di quel Livello aggiornati, dato che sono state fatte ulteriori investigazioni geofisiche nel territorio, specie quello candidabile all'urbanizzazione.

*Infine, si sottolinea che codesto scritto illustra i risultati sia del 1° livello aggiornato, sia del 2° Livello, che fa parte del contratto con l'Amministrazione comunale ed localizzato soprattutto nelle porzioni dell'edificato/edificabile. Analisi di livello superiore a questi saranno eventualmente oggetto di futuri studi per la pianificazione e/o progettazione, per i motivi ben elencati nelle diverse e specifiche Linee Guida nazionali.*

## 2 NORMATIVA E INDIRIZZI DI LAVORO

La metodologia dello studio si basa sulle procedure illustrate nei manuali prodotti dal Dipartimento della Protezione Civile nazionale "Indirizzi e criteri per la Microzonazione sismica - parte I, II, III – Conferenza Stato e Regioni (2008)"; sull'Allegato "A" della DGRV 1572/2013; sul D.M. 14.01.208 "Norme tecniche per le Costruzioni"; nonché su quanto disposto dalla OCDPC 171/2014 e dalla DGR 598/2015

La normativa vigente in materia prevede l'analisi e la valutazione degli effetti sismici di sito finalizzate alla definizione dell'aspetto sismico nella pianificazione del territorio. Vengono codificate, a livello procedurale, secondo 3 distinti livelli, con grado di dettaglio via via crescente. Si veda la Tabella sotto, tratta dall'Allegato A della DGR 1572/2013.

PROCEDURA DI MICROZONAZIONE SISMICA								
SIGLA	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	Verifica di assoggettabilità	(soglia)	1°livello	(soglia)	2°livello	(soglia)	3°livello
P1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi				cartografia			Analisi stabilità
P1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti				cartografia			Analisi stabilità
P1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana				cartografia	Analisi di stabilità	Fs prossimo a 1	Analisi stabilità
P2a	Zona con terreni di fondazione particolarmente scadenti quali depositi altamente compressibili, ecc.	zona 4 pga>0,100 zona 3 pga<0,100	pga di sito >0,125		raccolta dati - cartografia	ABITATI* PREV.URBAN.* Cedimenti Eventuale verifica	PREV.URBAN.*	Cedimenti
P2b	Zona con depositi granulari fini saturi	zona 4 pga>0,100 zona 3 pga<0,100	pga di sito >0,125		raccolta dati - cartografia	ABITATI* PREV.URBAN.* Liquefazione Eventuale verifica	PREV.URBAN.*	Liquefazione
P2c	Zona caratterizzata da coltri di terreno di riporto o che hanno subito riempimenti antropici	zona 4 pga>0,100 zona 3 pga<0,100	pga di sito >0,125		raccolta dati - cartografia	ABITATI* PREV.URBAN.* Cedimenti	PREV.URBAN.*	Cedimenti
P3a	Linea di ciglio H>10 m (scarpata, bordo di cava, nicchia di cava, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc...)				H=10 m, a>15°	Effetti topografici		
P3b	Zona di cresta e/o cocuzzolo: appuntita - arrotondata				h=1/3H; a e a2>15°	Effetti topografici		
P4a	Zona di fondovalle ampie e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi				Vs30<800m/s; C<0,25	Effetti litologici	h/l>0,65/√Cv-1	Effetti lito-geometrici
P4b	Zona di fondovalle stretta (C>0,25) od in presenza di forme geometriche sepolte tali da non permettere di considerare il modello geologico monodimensionale				Vs30<800m/s- C>0,25			Effetti lito-geometrici
P4c	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre				Vs30<800m/s	Effetti litologici		
P4d	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)				Vs30<800m/s	Effetti litologici		
P4e	Zona con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale				Vs30<800m/s	Effetti litologici		
P5a	Linea di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse				cartografia	Comportamenti differenziali		
P5b	Zona ove sono presenti o potenzialmente presenti cavità sotterranee o sinkhole				cartografia			Comportamenti differenziali

ABITATI\* = centri abitati esistenti  
PREV.URBAN.\* = esistenza di previsioni urbanistiche espansive

Tabella 1: Schema procedurale associato ai 3 livelli di studio di microzonazione per differenti scenari di pericolosità sismica locale. (tratta da Allegato A DGR 1572/2013 Regione Veneto).

Scendendo, ora, nel particolare della procedura adottata, si riportano le metodologie ed i risultati attesi per i tre diversi Livelli di studio:

- Il **Livello 1°** consiste in un approccio di tipo qualitativo e costituisce lo studio propedeutico ai successivi livelli di approfondimento. E' un'analisi delle condizioni geologiche, geomorfologiche e morfologiche in chiave sismica e fornisce indicazioni sugli approfondimenti necessari. Si tratta anche di un metodo empirico che trova le basi nella continua e sistematica osservazione diretta degli effetti prodotti dai terremoti.

Il metodo permette la zonazione del territorio in termini dei diversi effetti prodotti dall'azione sismica, desunti sulla base di osservazioni geologiche e sulla raccolta dei dati disponibili per una determinata area, (quali la cartografia topografica di dettaglio, la cartografia geologica e dei dissesti) e i risultati di indagini geognostiche, geofisiche e geotecniche già svolte e che saranno oggetto di un'analisi mirata alla definizione delle condizioni locali (spessore delle coperture e condizioni stratigrafiche generali, posizione e regime della falda, proprietà indice, caratteristiche di consistenza, grado di sovraconsolidazione, plasticità e proprietà geotecniche nelle condizioni naturali, ecc.).

In pratica, lo studio consiste nell'analisi e rielaborazione in chiave sismica dei dati esistenti già inseriti nella cartografia di analisi del PAT (carta geologica, carta geomorfologica, carta idrogeologica, ecc.) e di altri studi geologici I.s. esistenti e si realizza con la redazione di una Relazione tecnica e di cartografie tematiche quali: *Carta delle indagini*, *Carta geologico-tecnica*, e *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)* dove viene riportata la perimetrazione areale delle diverse situazioni tipo come da *Tabella 2*, in grado di determinare gli effetti sismici locali.

Questo 1° Livello si applica all'intero territorio comunale od all'ambito di applicazione dello specifico strumento urbanistico.

In particolare, nella MOPS sono state riportate anche le aree soggette ad instabilità o quanto meno di attenzione (ZA), amplificazione e/o con comportamenti differenziali, dove si rendono necessari i successivi livelli di approfondimento. Soprattutto, in relazione alle previsioni urbanistiche di tipo espansivo e di incremento del carico urbanistico, che possono interessare le seguenti zone con i relativi effetti:

Sigla	SCENARIO DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	EFFETTI
P1 a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità per frana
P1 b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
P1 c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
P2 a	Zona con terreni di fondazione particolarmente scadenti quali depositi altamente compressibili, ecc.	Instabilità per cedimenti e/o liquefazioni
P2 b	Zona con depositi granulari fini saturi	
P2 c	Zona caratterizzate da coltri di terreni di riporto o che hanno subito riempimenti antropici	
P3 a	Linea di ciglio H>10 m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc..)	Amplificazioni topografiche
P3 b	Zona di cresta e/o cocuzzolo: appuntita – arrotondata	
P4 a	Zona di fondovalle ampie e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche
P4 b	Zona di fondovalle stretta ( $C > 0.25$ ) od in presenza di forme geometriche sepolte tali da non permettere di considerare il modello geologico monodimensionale .	
P4 c	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio - lacustre	
P4 d	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (comprese le coltri loess )	
P4 e	Zona con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
P5 a	Linea di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali
P5 b	Zona ove sono presenti o potenzialmente presenti cavità sotterranee o sinkhole	

Tabella 2: Scenari di pericolosità sismica ed effetti (tratta Allegato A - DGR 1572/2013 Regione Veneto).

- Il **Livello 2°** si applica in sede di P.I. a tutte le parti del territorio suscettibili di amplificazione sismica individuati nella precedente fase e per le quali si prevedono trasformazioni urbanistiche del territorio od incremento dei carichi urbanistici e per il territorio compreso nel perimetro del “centro abitato” così come previsti dalla normativa vigente.

E' richiesto e ritenuto sufficiente nelle aree prive di particolari complicazioni, nelle quali sono attesi solo effetti di amplificazione (P3, P4c, P4d, P4e; P1c, P2, P4a). Esso permette la caratterizzazione semiquantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi e l'individuazione, nell'ambito degli scenari qualitativi suscettibili di amplificazione, di aree in cui la normativa nazionale risulta sufficiente o insufficiente a tenere in considerazione gli effetti sismici. Per questi tipi di valutazioni si eseguono indagini geofisiche e geognostiche ed una stima dei Fattori di amplificazione tramite formule ed abachi messi a disposizione dal Dipartimento nazionale di Protezione Civile.

- Il **Livello 3°** è obbligatorio quando il 2° livello dimostra l'inadeguatezza della normativa sismica nazionale per gli scenari di pericolosità sismica locale caratterizzati da effetti di amplificazione topografiche e litologiche (P4b); sia per gli scenari di pericolosità sismica locale caratterizzati da effetti di instabilità dei versanti (zone P1, della Tabella 2), e dei cedimenti e/o liquefazioni (zone P2) e contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche

molto diverse. Oppure, dove sono previsti opere ed edifici di rilevante interesse pubblico. Per questo tipo di analisi sono richieste indagini in sito e in laboratorio ed elaborazioni più approfondite.

Per quanto riguarda le zone di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse (zone P5 della Tabella 2) non viene richiesta la valutazione quantitativa a livelli di approfondimento maggiore dello scenario inerente , in quanto tale scenario esclude la possibilità di costruzioni a cavallo dei due litotipi. In fase progettuale tale limitazione può essere rimossa qualora si operi in modo tale da avere un terreno di fondazione omogeneo.

Le procedure fanno riferimento ad una sismicità di base caratterizzata da un periodo di ritorno di 475 anni (probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) e possono essere implementate considerando altri periodi di ritorno.

### 3 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DEL TERRITORIO

Il Comune di Torri del Benaco - Codice ISTAT: 023086 - (Coordinate medie: 45°37'0"N 10°41'0"E - UTM 4992739 247697 33T) è ubicato nella porzione occidentale della Provincia di Verona e confina rispettivamente con i Comuni di: Brenzone, Costermano, Garda, Gardone Riviera (BS), Gargnano (BS), Salò (BS), San Felice del Benaco (BS), San Zeno di Montagna, Toscolano-Maderno (BS).

La superficie comunale è circa 51,37 Km<sup>2</sup>, di cui 38.2 Km<sup>2</sup> come superficie lacustre ed i restanti 13.17 Km<sup>2</sup> come territorio abitato.

Il territorio ricade nel foglio geologico a scala 1:100.000 n° 48 "Peschiera" e nei fogli " 48 I NO – Caprino Veronese", "48 IV NE – Toscolano Maderno " e "48 IV SE – S. Vigilio".

Il Comune è compreso inoltre negli elementi n° 101092, 101131, 101132, 101133, 101134 e 123014 della Carta Tecnica Regionale a scala 1:5000.

L'elemento morfologico peculiare del Comune è lo specchio lacustre del Garda, che delimita a Ovest il territorio comunale "emerso" e costituisce circa il 63 % dell'intero territorio comunale.

Il lago di Garda è il maggior bacino lacustre d'Italia, con un'estensione di circa 370 Km<sup>2</sup>, una lunghezza in direzione N-S di circa 51.6 Km, una larghezza massima E-W di circa 17.2 Km, una profondità massima di 346 m e media di circa 133 m.

La superficie lacustre ha una quota assoluta di circa 65 m s.l.m. e un volume di circa 49 milioni di mc d'acqua. Il tempo di ricambio delle acque è stato valutato in circa 26.8 anni. Il fiume immissario è il Sarca e il fiume emissario è il Mincio.

Con l'esecuzione di vari interventi quali lo sbarramento di Salionze sull'emissario Mincio, gli impianti idroelettrici a monte (Molveno, Ledro e Valvestino) e la galleria scolmatrice Mori-Torbole sul fianco orientale, il lago di Garda non può più essere considerato un invaso naturale ma assume caratteri di bacino artificiale.

Il territorio comunale di Torri del Benaco si estende tra le quote minime di 66 m s.l.m. in corrispondenza del lungolago in zona Pai e la quota massima di 575 m s.l.m. coincidente con i versanti all'angolo del confine comunale verso San Zeno di Montagna.

L'arteria stradale principale che attraversa il Comune di Torri del Benaco da SSO a NNE è la S.R. 249 "Gardesana orientale" che collega tutti i centri della sponda veneta del lago. Altra via di comunicazione importante è la S.P. 32 A che collega l'abitato di Torri con Albisano e San Zeno di Montagna.

Si veda la **Figura 1** per l'inquadramento.

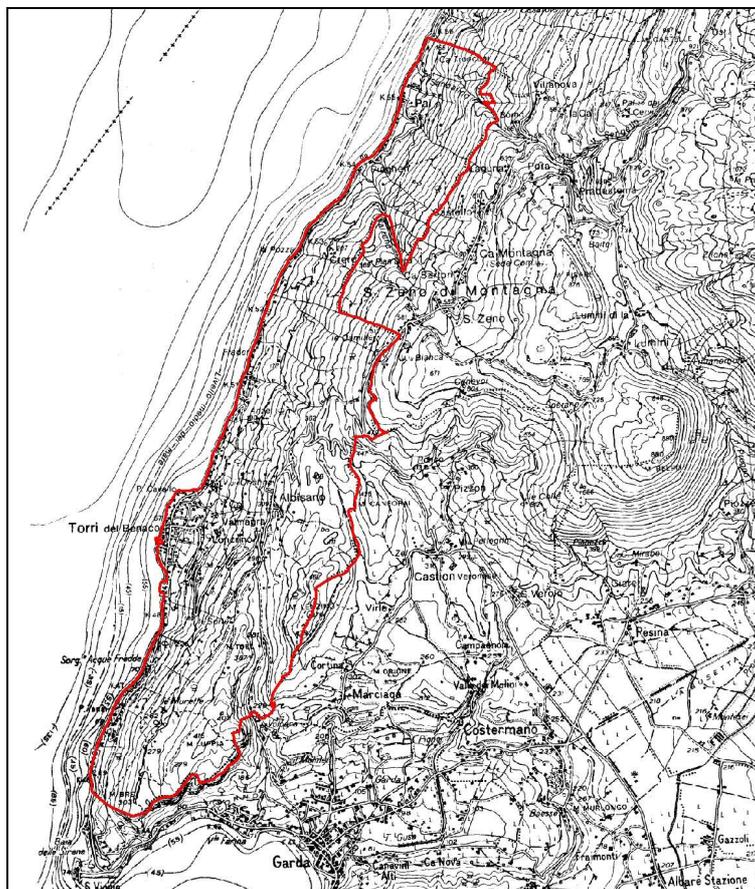


Figura 1. Ubicazione del Comune di Torri del Benaco

## 4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, IDROGEOLOGICO E TETTONICO

### 4.1 CENNI DI GEOLOGIA LOCALE

Il Comune di Torri del Benaco ricade nella regione geologica del Sudalpino e in particolare è inserito tra il lago di Garda e le Prealpi venete occidentali. Il Comune ricade nell'Alto Garda.

Le formazioni rocciose che affiorano nell'area di Torri del Benaco appartengono al periodo compreso tra il Giurassico medio e il Cretaceo superiore, che copre l'intervallo di tempo compreso tra circa 200 milioni di anni fa e circa 65 milioni di anni fa. L'area in studio ricade lungo il bordo occidentale della struttura geologica definita come Piattaforma di Trento o atesina al passaggio con il Bacino Lombardo. Le formazioni litologiche affioranti nel territorio comunale sono: Calcari Oolitici di San Vigilio, Rosso Ammonitico inferiore, Rosso Ammonitico superiore, Biancone e Scaglia Rossa. Le formazioni successive, depostesi tra 65 Ma e 2 Ma fa, non si rinvencono in quest'area in parte perché smantellati o dislocati da successivi movimenti tettonici.

Sulle litologie pre-quadernarie giacciono diffusi depositi morenici e fluvioglaciali, legati alle fasi glaciali Riss e Würm.

#### 4.1.1 LITOLOGIE PRE-QUATERNARIE

La successione cronologica delle litologie prequaternarie che caratterizzano l'area di Torri del Benaco dalla più antica alla più recente è la seguente: *Calcari Oolitici di San Vigilio* (Giurassico inf.), *Rosso Ammonitico* (Giurassico med-sup.), *Biancone* (Giurassico sup.- Cretaceo sup.) *Scaglia Rossa* (Cretaceo sup. Eocene inf.):

- **Calcari Oolitici di San Vigilio**: Si tratta di calcari oolitici, di colore da giallastro a rosato, con noduli di selce e giunti di stratificazione marnosi, contenenti faune a coralli. Si presentano talora con membri porosi, disgregabili, dolomitizzati. Hanno stratificazione da decimetrica a metrica. Localmente presentano fenomeni di dolomitizzazione e assumono aspetto cristallino. Lo spessore di questo membro è di alcune centinaia di metri.
- **Rosso Ammonitico**: nella parte inferiore della formazione è un calcare massiccio dall'aspetto nodulare di colore rosa pallido con striature verdastre, passante nella porzione superiore a strati centimetrici, di colore rosso mattone, con interstratificazioni argillose e lenti di selce rossa. Lo spessore nell'area è di circa 30 metri. Il passaggio con la formazione più recente del Biancone è graduale, sia per quanto riguarda la composizione litologica che per il colore.
- **Biancone**: è suddivisibile in una porzione medio-basale e una porzione sommitale. La porzione inferiore è un calcare micritico, di colore bianco, a frattura concoide, con stratificazione da centimetrica a decimetrica e lenti o letti di selce da grigia a nera. La porzione sommitale presenta stratificazione centimetrica, interstratificazioni argillose grigio-verdastre e colore grigiastro, con tracce di bioturbazioni. Lo spessore di tale formazione nell'area è di alcune centinaia di metri (400-500 m). Il passaggio con la formazione più recente della Scaglia Rossa avviene gradualmente, con livelli di spessore di 3-4 m di colore rosso mattone alternati a livelli di nuovo bianchi prima del limite superiore.
- **Scaglia Rossa**: è un calcare marnoso, con stratificazione da centimetrica a decimetrica, di colore rosato, con interstrati argillosi e lenti di selce rossa. Nella parte sommitale della formazione, delimitata da una superficie di hardground legata ad emersione, la stratificazione è a flaser, la grana più grossolana e il colore diventa rosso mattone (Scaglia Maastrichtiana). Lo spessore della formazione in condizioni indisturbate è di circa 200 metri.

I Calcari Oolitici di San Vigilio e il Rosso Ammonitico affiorano e subaffiorano lungo tutto il territorio comunale. Il Biancone e la Scaglia Rossa affiorano nella parte centrale del territorio comunale in corrispondenza dell'intorno dell'abitato di Torri del Benaco.

#### 4.1.2 LITOLOGIE QUATERNARIE

Le litologie quaternarie comprendono tutti i depositi sciolti presenti nel territorio comunale. I depositi più significativi per spessore ed estensione sono i depositi morenici e fluvioglaciali che ammantano i versanti su cui si estende il Comune. Tali depositi sono legati al permanere del ghiacciaio del Garda durante le fasi glaciali di Riss e Würm e al suo successivo scioglimento.

Le azioni che hanno dato luogo e forma ai sedimenti quaternari sono molteplici e diversificate:

azione glaciale e fluvioglaciale, erosione concentrata e diffusa sui versanti delle acque superficiali, etc. Le principali formazioni quaternarie sono:

- I **Depositi morenici**: sono costituiti da ghiaie e qualche blocco, immersi in matrice sabbioso-limosa, talora argillosa. Le morene più antiche sono debolmente cementate e presentano orizzonti di alterazione rossastri. Esse ricoprono i versanti rocciosi dando origine a modesti rilievi arrotondati e allungati o superfici terrazzate disposte NNE-SSW.
- I **Depositi fluvioglaciali**: sono il rimaneggiamento da parte delle acque glaciali di scioglimento dei depositi morenici. Tali depositi presentano alternanze di strati caotici ghiaiosi con ciottoli e matrice sabbioso-limosa e livelletti stratificati più fini sabbioso-limosi. Si ritrovano su aree sommitali a scarsa pendenza che ne hanno permesso la sedimentazione.
- I **Depositi di conoide**: sono costituiti in genere da ghiaie e ciottoli immersi in matrice sabbioso-limosa-argillosa e derivano dall'alterazione delle rocce e dei sedimenti che costituiscono il bacino di alimentazione del corso d'acqua da cui vengono depositati.
- Il **Detrito di falda**: si forma ai piedi dei pendii per alterazione delle litologie dei versanti soprastanti. E' composto da elementi ghiaiosi con scarsa matrice fine limoso-sabbiosa.

Si veda la **Figura 2**.

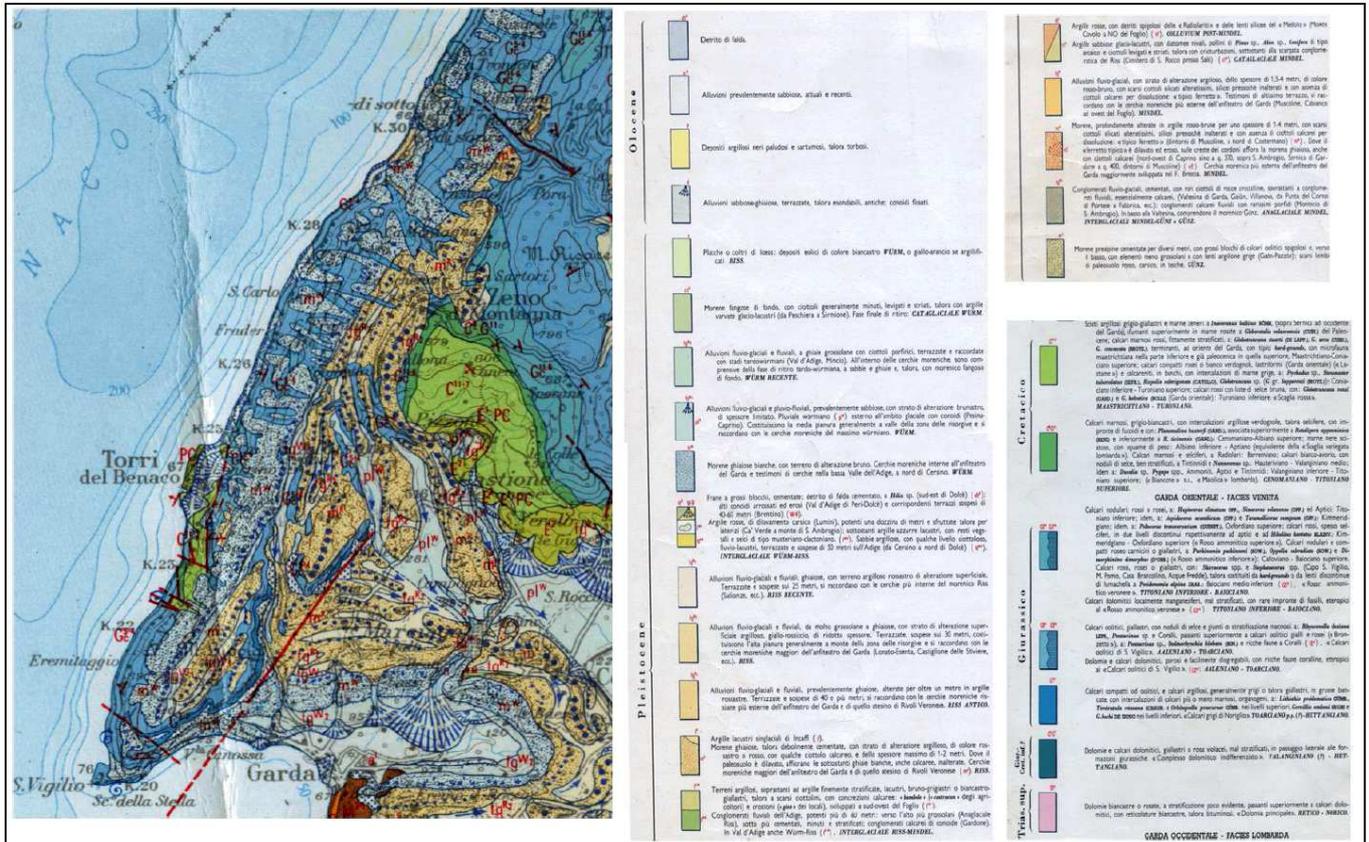


Figura 2. Inquadramento geologico (da Foglio geologico "Peschiera" 1:100.000)

## 4.2 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

### 4.2.1 RETE IDRICA SUPERFICIALE

Il comune di Torri del Benaco appartiene all'area geografica del Bacino del Po. I corsi d'acqua del Comune si originano dai rilievi che costituiscono la propaggine sudoccidentale della catena del Monte Baldo e alimentano il Lago di Garda scendendo inizialmente con direzione Sud poi dirigendosi verso Ovest nella parte settentrionale del comune, mentre, quelli a Sud dello spartiacque, hanno direzione di scorrimenti Sud-SudOvest.

L'idrografia locale presenta portate modeste e discontinue. Tale assetto è dovuto al carattere carsico dell'area.

I maggiori solchi torrentizi hanno tracciato complessivo rettilineo che dimostra come essi si siano impostati sul reticolo di fratture e faglie create dall'attività tettonica locale sugli ammassi rocciosi.

Il territorio di Torri del Benaco è caratterizzato da una modesta rete idrografica di grado superiore al primo, formata essenzialmente da piccoli torrenti che scendono dal Monte Baldo. Se ne possono contare una trentina tra loro sub-paralleli e con recapito finale nel lago. Tra questi si possono citare i torrenti di Valle Saccanno, di Valle del Zocco, di Valle della Fraga e di Spighetta Vallionia.

Quasi tutti i bacini idrografici hanno dimensioni contenute, molti anche di superficie inferiore ad un Km<sup>2</sup>.

Tutti questi corsi d'acqua sono a regime torrentizio strettamente legato alle precipitazioni stagionali e, quindi, con una portata variabile, essi sono attivi saltuariamente: molti si attivano annualmente in concomitanza di particolari eventi meteorici di piovosità diffusa e prolungata per parecchi giorni, altri con intervalli più lunghi.

### 4.2.2 ASSETTO IDROGEOLOGICO

Come detto l'area di Torri del Benaco è compresa tra il Lago di Garda a Ovest e il Monte Baldo a Est. Tutta la zona è interessata dal fenomeno del carsismo.

Le principali direzioni del deflusso idrico sotterraneo vanno da Est ad Ovest. Sono presenti numerose sorgenti dislocate su tutto il territorio, seppure con modeste portate, e poste in prossimità dei corsi d'acqua pur temporanei. Alcune di queste sorgenti sono captate ad uso potabile.

Nella zona montana le rocce carbonatiche (calcari e dolomie l.s.) che costituiscono la struttura dei rilievi presentano una prevalente circolazione di tipo fessurale e/o carsica, spesso abbinata. L'elevato sviluppo sia del quadro fessurativo prodotto dalla presenza di importanti disturbi tettonici, sia del reticolo carsico fa sì che il livello di base del sistema idrico sotterraneo sia molto profondo e regolato anche dal lago.

### 4.3 ASSETTO TETTONICO

L'area di Torri del Benaco si trova nell'angolo sud-occidentale della catena del Baldo. In tale zona le formazioni rocciose presentano una giacitura monoclinica verso WNW, legata al fianco occidentale della piega anticlinale del Monte Baldo.

I lineamenti tettonici principali che caratterizzano la zona hanno direzione NNE-SSW secondo il fascio di dislocazioni giudicariensi. Si tratta di sovrascorrimenti e pieghe legati ad una dinamica compressiva instauratasi con le varie fasi di orogenesi Alpina.

Agli elementi giudicariensi si associano sistemi trascorrenti trasversali con direzione WNW-ESE su cui si è impostato il reticolo idrografico locale. La faglia principale nella zona di Torri è la *Linea Sirmione-Garda*: si tratta di una linea subverticale, orientata NE-SW, che passa in corrispondenza del confine sudorientale del Comune, lungo le scarpate rocciose di Monte Luppia, Monte Toel e Monte Lenzino. Essa ha movimento trascorrente con rigetto in parte verticale, che ha sollevato il blocco occidentale rispetto a quello orientale.

La linea di Sirmione-Garda è dislocata dal tratto occidentale della *Faglia di S. Ambrogio di Valpolicella*. Quest'ultima è una trascorrente sinistra, con direzione NW-SE e interessa il territorio comunale di Torri tra il versante nord del Monte Canforel e la località Frader, passando per le località Spighetta delle Querce e Pian delle Betulle (**Figura 3 e 4**).

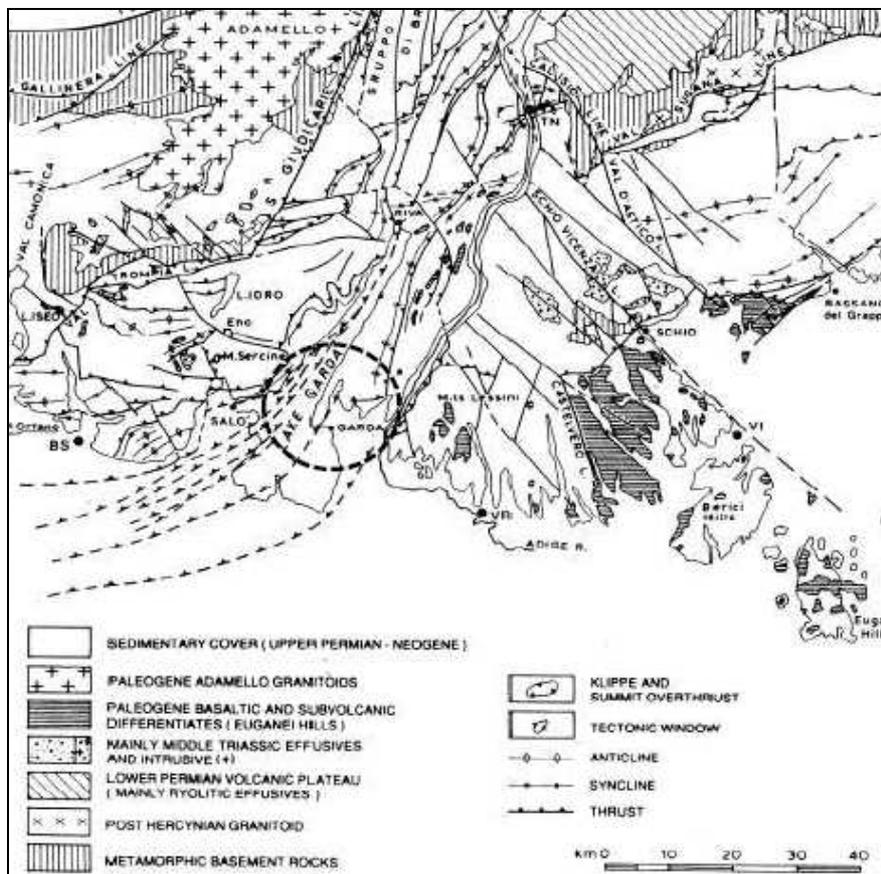


Figura 3: Schema tettonico del Veneto occidentale

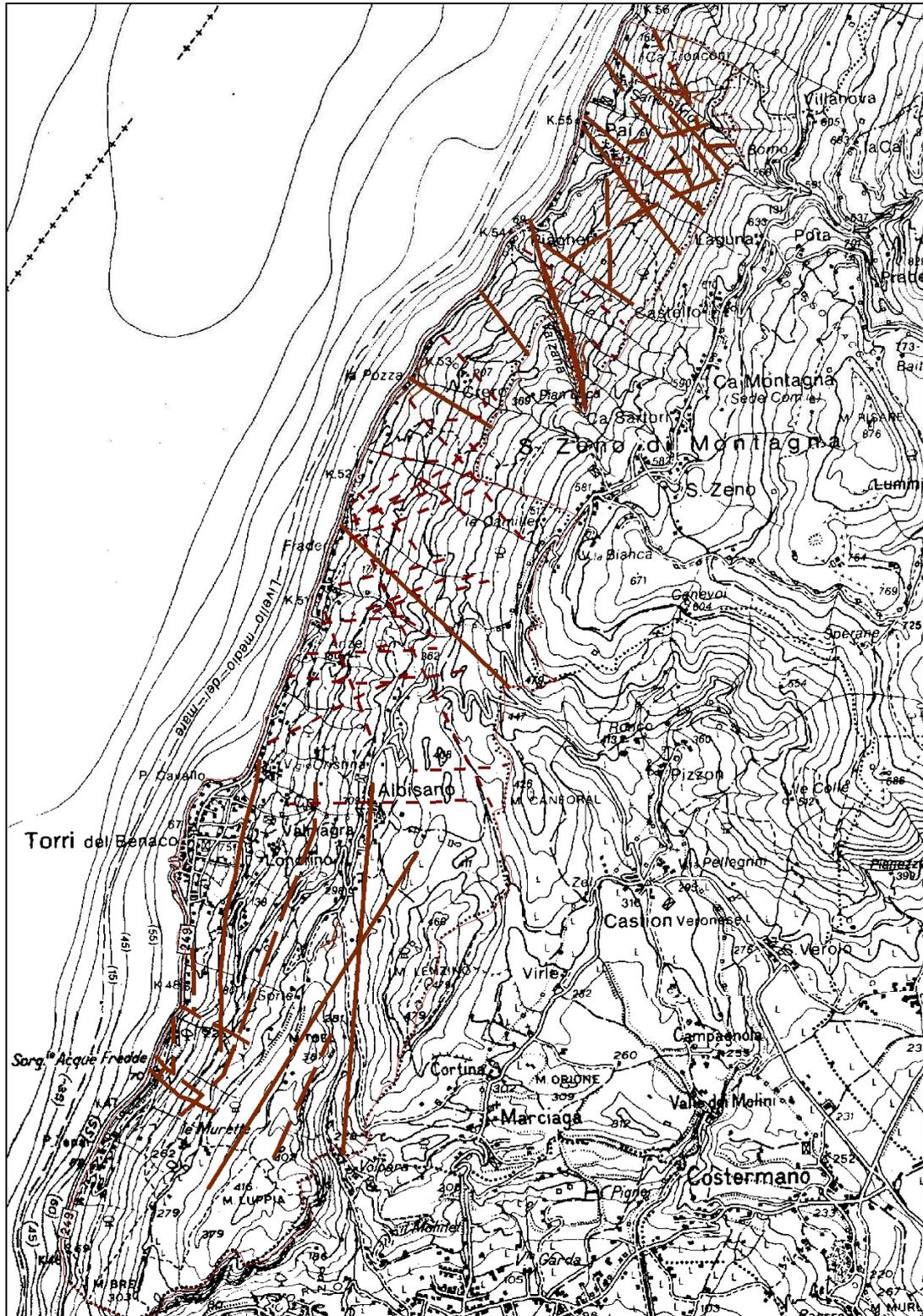


Figura 4: Schema tettonico in ambito comunale

## 5 CARATTERIZZAZIONE SISMOGENETICA DEL TERRITORIO

La classificazione sismogenetica nazionale (ZS9) fa ricadere il Veneto nelle zone 905 e 906 (**Figura 5**). La zona 905 comprende la fascia pedemontana tra Bassano del Grappa e il confine con il Friuli-Venezia Giulia; la zona 906 si estende lungo la fascia pedemontana da Bassano fino al Lago di Garda.

Il tipo di fagliazione, cui imputare i terremoti verificatisi in queste due aree, è quello di faglia inversa, dovuta a movimento compressivo legato alla convergenza tra placca adriatica ed europea, con profondità ipocentrale media stimata di 8 Km.

Il Comune di Torri del Benaco ricade nella porzione occidentale della zona 906.

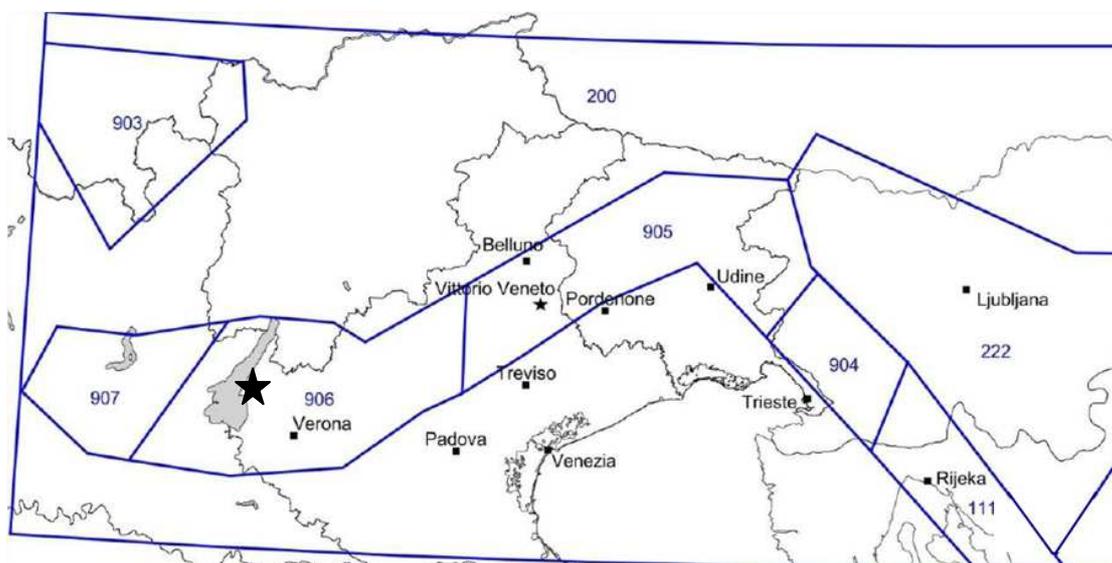


Figura 5: Zone sismogenetiche del Ne d'Italia (da INGV)

Altra fonte di dati per quanto riguarda le sorgenti sismogenetiche, ossia le strutture responsabili dei vari terremoti, è costituita dal DISS (Database of Individual Seismogenic Sources), redatto da ricercatori dell'INGV a partire dagli anni '90. In tale database sono individuate sorgenti individuali (IS), composite (CS) o dibattute (DS). Tale database, aggiornato ed evoluto nel tempo, costituisce uno strumento per lo sviluppo di modelli di pericolosità sismica ed è ritenuto a tutt'oggi il più avanzato archivio di sorgenti sismogenetiche in ambito europeo.

Le sorgenti individuali (IS) rappresentano una struttura certa o presunta, associata ad almeno un evento sismico significativo ( $M > 5.5$ ) riportato nel database o riconosciuto tramite indagini paleosismologiche.

Le sorgenti composite (CS) invece rappresentano un'area di involuppo che può comprendere le località di più eventi significativi del passato o di possibili eventi in futuro.

Le sorgenti dibattute (DS) comprendono aree su cui non c'è ancora concordanza interpretativa.

L'area del Monte Baldo e della sponda orientale del Lago di Garda ricadono nella sorgente composita **CS073** del Monte Baldo, mentre la sponda occidentale ricade nella sorgente composita CS048 delle Giudicarie (**Figura 6**).

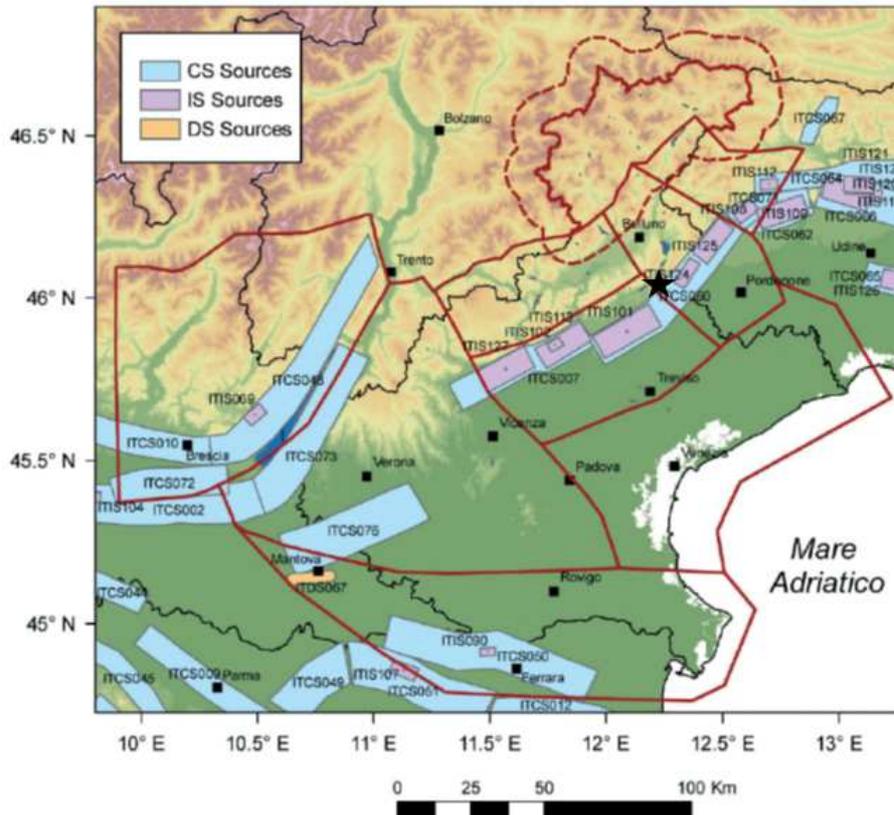


Figura 6: Zone sismogenetiche (da DISS v. 3.1.1)

La sorgente del Monte Baldo è caratterizzata da massima Magnitudo  $M_w=5.5$ , estrapolata con metodo conservativo da dati sismici regionali. La struttura che interessa questa area appartiene al fronte di sovrascorrimento più esterno del Sudalpino, legato al sistema giudicariense. Questo fronte è un arco esterno S-SE vergente; si tratta di una struttura “ramp” del sistema di faglie compressionali alpine più meridionali. I dati geologici provenienti da vari autori indicano le profondità ipocentrali dei vari sismi comprese tra un min di 3 Km e un massimo di 9 Km.

La sorgente delle Giudicarie è caratterizzata da massima Magnitudo  $M_w=5.7$ . I dati geologici provenienti da vari autori indicano le profondità ipocentrali dei vari sismi comprese tra un min di 5 Km e un massimo di 10 Km (**Figura 7**).

**DISS 3.1.1: Seismogenic Source ITCS073 - Monte Baldo**

[Source Info Summary](#) [Commentary](#) [References](#) [Pictures](#)

**General information**

<b>Code</b>	ITCS073
<b>Name</b>	Monte Baldo
<b>Compiled By</b>	Burrato, P.
<b>Latest Update</b>	19/04/2010

**Parametric information**

	Parameter	Qual. Evidence
<b>Min Depth (km)</b>	3	OD Based on geological data from various authors.
<b>Max Depth (km)</b>	9	OD Based on geological data from various authors.
<b>Strike (deg)</b>	200 - 250	OD Based on geological data from various authors.
<b>Dip (deg)</b>	25 - 45	OD Based on geological data from various authors.
<b>Rake (deg)</b>	70 - 100	EJ Inferred from geological data.
<b>Slip Rate (mm/y)</b>	0.1 - 0.5	EJ Derived from geological data concerning adjacent structures.
<b>Max Magnitude (Mw)</b>	5.5	OD Assigned on the basis of conservative criteria.

**Q-keys:** LD = Literature Data; OD = Original Data; ER = Empirical Relationship; AR = Analytical Relationship; EJ = Expert Judgement

**DISS 3.1.1: Seismogenic Source ITCS048 - Giudicarie**

[Source Info Summary](#) [Commentary](#) [References](#) [Pictures](#)

**General information**

<b>Code</b>	ITCS048
<b>Name</b>	Giudicarie
<b>Compiled By</b>	Burrato, P.
<b>Latest Update</b>	19/04/2010

**Parametric information**

	Parameter	Qual. Evidence
<b>Min Depth (km)</b>	5	OD Based on geological and seismological data.
<b>Max Depth (km)</b>	10	OD Based on geological and seismological data.
<b>Strike (deg)</b>	205 - 265	OD Based on geological and seismological data.
<b>Dip (deg)</b>	25 - 45	OD Based on geological and seismological data.
<b>Rake (deg)</b>	70 - 100	EJ Inferred from geological and seismological data.
<b>Slip Rate (mm/y)</b>	0.1 - 0.5	EJ Derived from geological data concerning adjacent structures.
<b>Max Magnitude (Mw)</b>	5.7	OD Derived from maximum magnitude of associated individual source(s).

**Q-keys:** LD = Literature Data; OD = Original Data; ER = Empirical Relationship; AR = Analytical Relationship; EJ = Expert Judgement

Figura 7: Zone sismogenetiche e loro parametri nella zona di Torri del Benaco (da DISS v. 3.1.1)

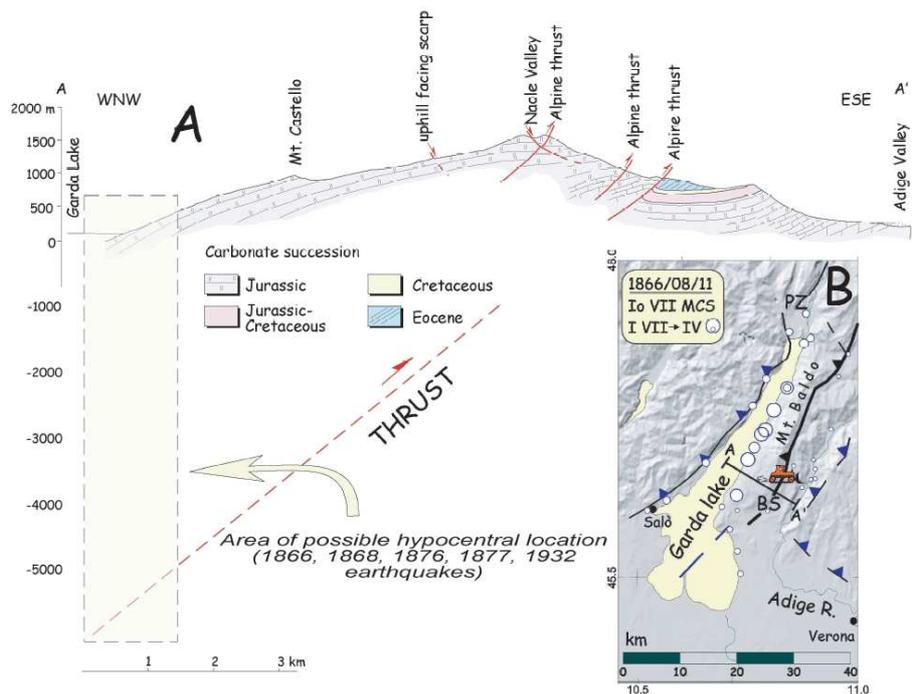


Fig. 3. a) geological cross-section of Mt. Baldo with the possible projection at depth of the main thrust plane and the area of the hypocentral locations of the 1866, 1868, 1876, 1877 and 1932 earthquakes and b) Intensity datapoints related to the 1866 earthquake ( $M_a=4.8$ , according to Working Group CPTI, 1999).

Figura 8: Sezione strutturale nella zona di Torri del Benaco

Il Veneto in un recente studio<sup>1</sup> da parte dell'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale (OGS), che fornisce il Servizio di monitoraggio e allarme sismico alla Protezione Civile Regionale, è stato suddiviso in 9 "distretti sismici" sulla base di dati sismologici, elementi geologico-strutturali e informazioni relative alla cinematica e alla tettonica attiva (**Figura 9**).

<sup>1</sup> Vedi: M. Sugam, L. Peruzza "Distretti sismici del Veneto" – Centro Ricerche sismologiche, Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale Cussignacco (UD) e Sgonico (Ts) - pubbl. su Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata, Vol. 52 n.4 supplement, Dicembre 2011

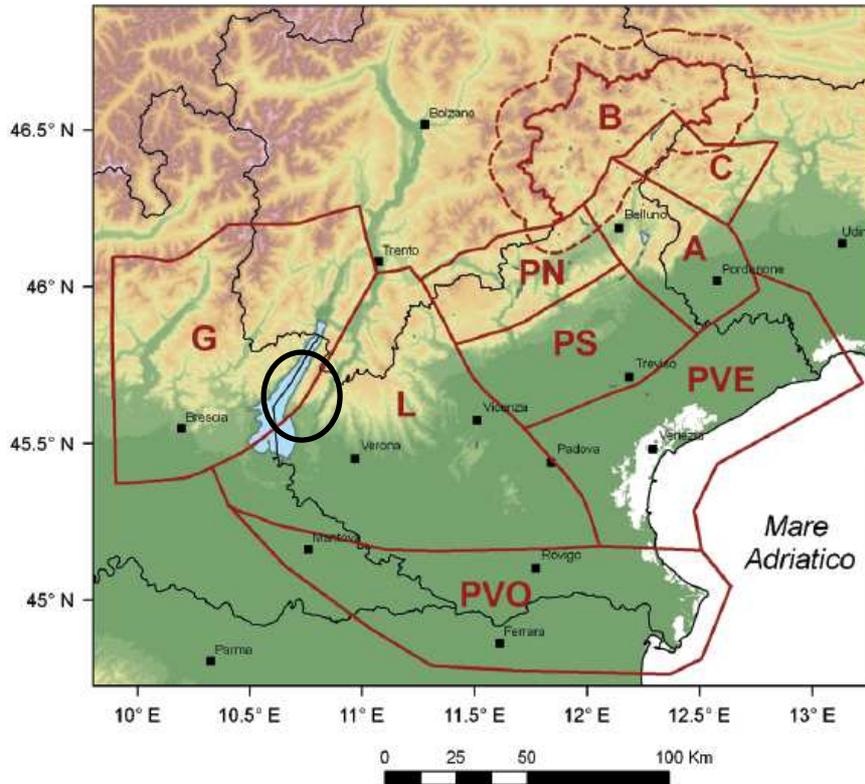


Figura 9: Distretti sismici del Veneto

Viene definito distretto sismico “un’area all’interno della quale si ritiene che i terremoti possano essere identificati da alcuni elementi sismogenetici comuni”. I distretti sismici veneti sono i seguenti:

1	Giudicarie (G)	4	Pedemontana Nord (PN)	7	Alto Bellunese-Dolomiti (B)
2	Lessini-Schio (L)	5	Alpago-Cansiglio (A)	8	Pianura Veneta Est (PVE)
3	Pedemontana Sud (PS)	6	Claut (C)	9	Pianura Veneta Ovest (PVO)

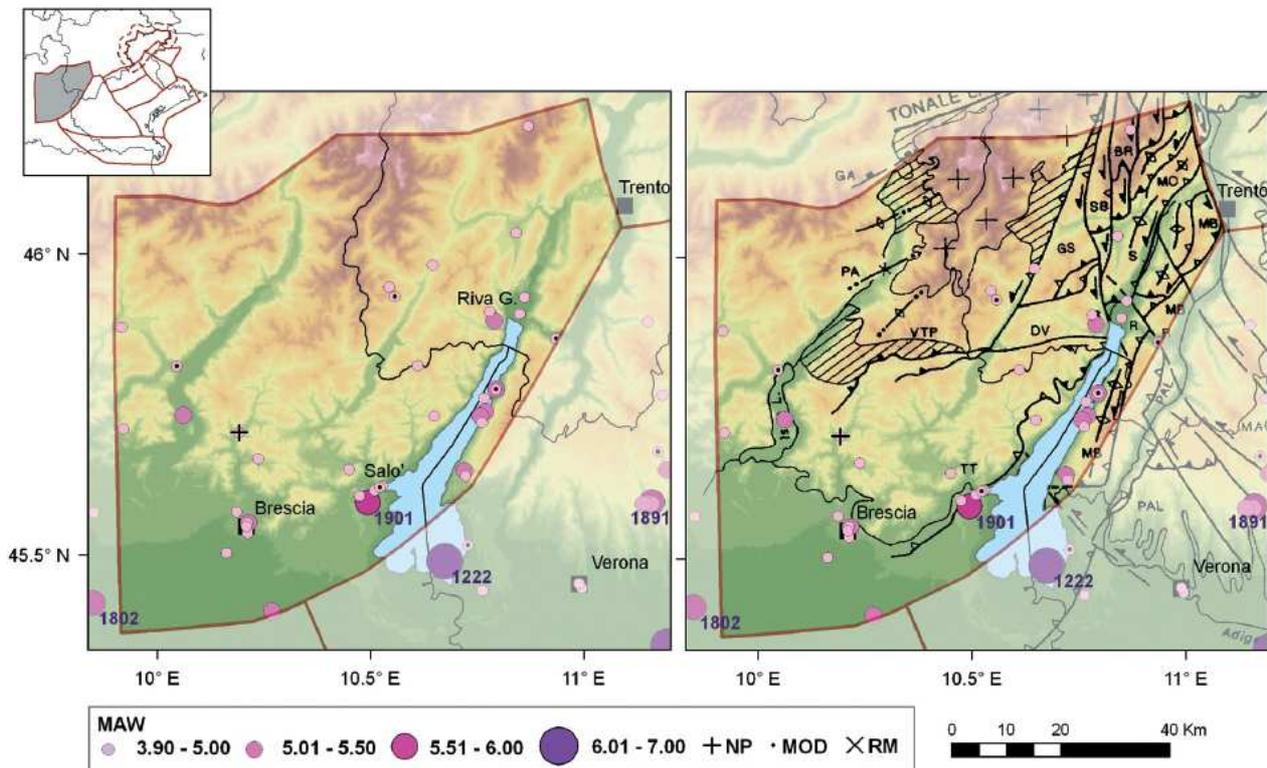
Il territorio di Torri del Benaco ricade lungo il limite sudorientale del **distretto Giudicarie (G)**, al confine con il distretto Lessini-Schio (L). Il distretto G è la zona di cerniera tra il Sudalpino centrale e il Sudalpino orientale. Il limite orientale di tale distretto coincide con i sovrascorrimenti più orientali del Monte Baldo, Monte Stivo e Monte Grattacul e verso sud con la Linea Garda-Sirmione, mentre il limite nordoccidentale è costituito dalla Linea del Tonale che prosegue nella parte settentrionale della Linea delle Giudicarie.

La porzione orientale del Distretto delle Giudicarie, entro cui è compreso il Comune di Torri del Benaco è caratterizzata da sovrascorrimenti (thrusts) e faglie inverse con direzione prevalente NNE-SSW e vergenza SE. Esse sono trasversali rispetto alla Catena Sudalpina. Il Distretto G è soggetto ad un generale sollevamento. Le litologie coinvolte vanno dal basamento metamorfico pre-Permiano fino a rocce Plioceniche.

## 5.1 SISMICITÀ STORICA DEL DISTRETTO

La ricostruzione storica dei terremoti si basa sul Catalogo parametrico dei terremoti italiani (CPTI04, poi aggiornato al CPTI15), realizzato per creare la mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale. Tale catalogo comprende 2550 eventi, dal 217 a.C. al 2002, aventi una soglia di intensità epicentrale  $I_0 \geq V/VI$  della scala MCS (Mercalli-Cancani-Sieberg) o magnitudo da onde di superficie  $M_w^2 \geq 4.0$ .

Il Distretto Giudicarie (**Figura 10**) è stato interessato da svariati eventi che hanno superato la cosiddetta soglia del danno ( $I_0=VI$  MCS), a partire dall'XI secolo. Il terremoto più intenso manifestatosi all'interno del Distretto G è l'evento del 30 ottobre 1901, attribuito alla zona di Salò. Esso ha raggiunto la soglia del danno grave ( $I_0=VIII$  MCS,  $M_w=5,67$ ) vicino all'epicentro, mentre in Veneto l'intensità percepita è stata pari al VII grado MCS. Coincidente con lo stesso epicentro di Salò c'è stato un altro sisma nel 1892 ( $I_0=VI-VII$  MCS,  $M_w=4,96$ ) e uno il 24 Novembre 2004 ( $I_0=VII-VIII$  MCS,  $MAG=5,2$ ). Quest'ultimo risulta il più forte terremoto della zona avvenuto in epoca strumentale.



Mappa della sismicità storica del distretto Giudicarie (G); fonte dati CPTI04 criticamente rivisto (Molin et al., 2008). Visualizzazione su DEM in scala cromatica (sn) e su DEM integrato con modello strutturale tratto da Castellarin et al. (1998b) (dx). In legenda: Maw indica la magnitudo equivalente a  $M_w$  riportata in CPTI Working Group (2004); i sovrassegni indicano eventi revisionati, rispettivamente come non parametrizzati 'NP', modificati 'MOD' o rimossi 'RM'.

Figura 10: Sismicità storica del Distretto Giudicarie

<sup>2</sup>  $M_w$  = magnitudo momento;  $M_D$  = magnitudo di durata;  $M_L$  = magnitudo locale

Altri eventi storici di una certa intensità, avvenuti nella zona tra il Lago di Garda e le Prealpi bresciane, risalgono al 1222 ( $M_w=6,05$ ) e al 1802 ( $M_w=5,67$ ).

Il terremoto del 1222 viene interpretato da alcuni studi paleo sismologici come l'attivazione di strutture sepolte nel bresciano (*blind thrust* di Monte Netto, Livio et al. - 2009).

Altri eventi con  $M_w$  superiore a 5 vengono collegati alla sismicità del settore settentrionale del Distretto e nel settore del Monte Baldo. Essi sono datati 1866, 1882 e 1932.

Il 13 dicembre 1976 viene segnalato un evento nell'intorno di Riva del Garda ( $I_0=VII$  MCS,  $M_w=4,89$ ).

Altri 5 eventi storici, rispettivamente datati 1895, 1934, 1948, 1968 e 1970, di cui due registrati a Salò e zona Malcesine, sono stati rivisti.

Studi recenti sono risaliti ad un terremoto del 1046 avvenuto nella zona tra il Monte Baldo e la Valle dell'Adige, che avrebbe causato il collasso di trenta castelli (*Guidoboni e Comastri, 2005; Guidoboni et al. , 2005; Galadini e Stucchi, 2007; Stucchi et al. , 2008*).

Nella sottostante **Figura 11** è riportato un grafico che illustra la relazione tra Intensità, scossa, effetti e magnitudo di un sisma, per comprendere i valori dei terremoti sopra elencati.

Intensità $I_{MCS}$	Scossa	Effetti	MAW - MD
I	strumentale		$\leq 2.6 - 2.3$
II	leggerissima		3.0 - 2.7
III	leggera		3.4 - 3.0
IV	mediocre	Percezione	3.9 - 3.4
V	forte		4.3 - 3.9
VI	molto forte		4.8 - 4.5
VII	fortissima	Danno	5.1 - 4.9
VIII	rovinosa		5.5
IX	disastrosa		5.9
X	disastrosissima		6.5
XI	catastrofica		7.0
XII	grande catastrofe	Distruzione	> 7.3

Figura 11: Relazione orientativa tra intensità macrosismica, effetti e magnitudo strumentali

## 5.2 SISMICITÀ STRUMENTALE DEI DISTRETTI

Le registrazioni strumentali dal 1977 in poi indicano una sismicità dell'area moderata, caratterizzata da diversi eventi che hanno superato la soglia di percezione ( $M=3$ ) e da due terremoti che hanno raggiunto la soglia del danno (24 maggio 1987,  $I_0=VI$ ; 24 novembre 2004,  $I_0=VII-VIII$ ).

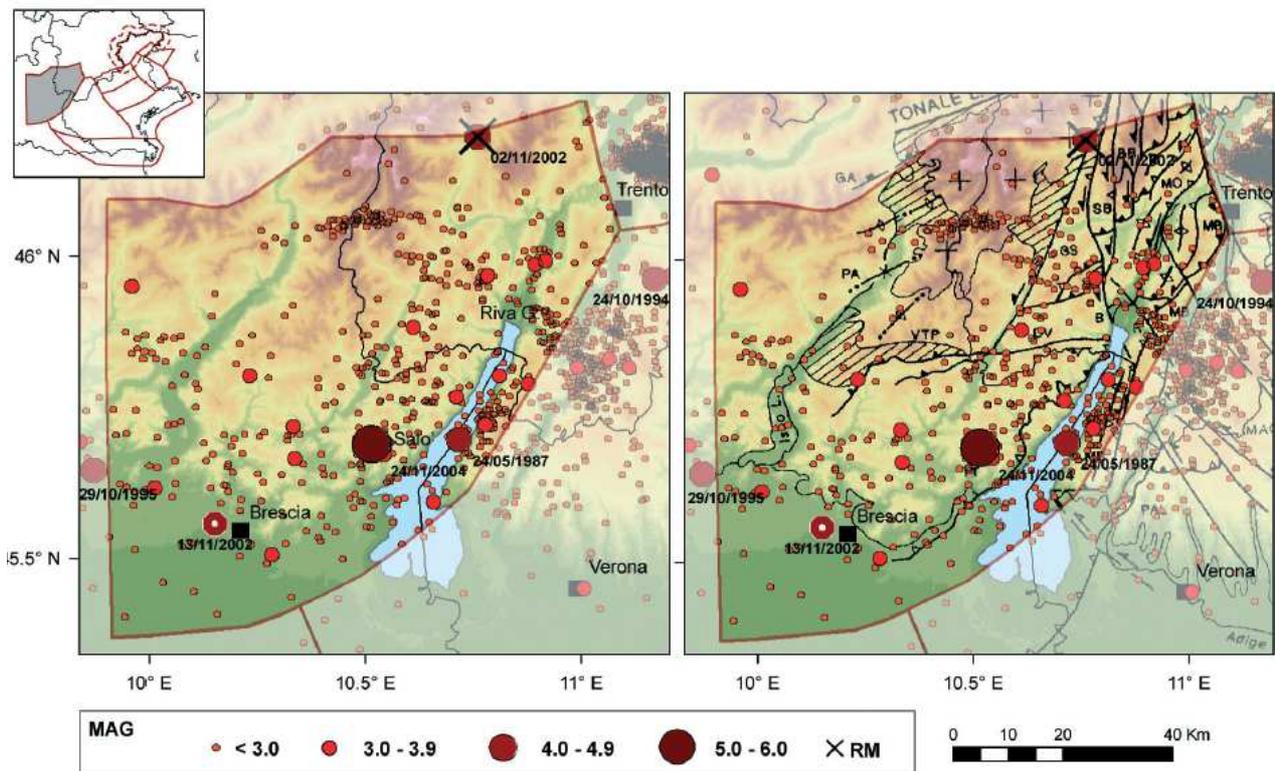
La sismicità dell'area in esame interessa la parte superficiale della crosta terrestre, tra i 20 e i 25 Km (*Carulli e Slejko, 2009*). I terremoti con magnitudo  $>3$ , cioè percepibili, sono localizzati nella

zona del Lago di Garda, ed esiste una certa corrispondenza tra sismicità recente e localizzazione dei terremoti storici.

Il terremoto più intenso in epoca strumentale è quello del 24 novembre 2004, nei pressi di Salò ( $I_0$ =VII-VIII MCS,  $MAG=5,2$ ), dove è stato anche registrato il terremoto più intenso in epoca strumentale, ossia quello del 1901 ( $I_0$ =VIII MCS,  $M_w=5,7$ ) (Figura 12).

Il terremoto del 2004 è stato caratterizzato da informazioni sismologiche e considerazioni geologico-strutturali. La profondità dell'evento principale è stata stimata tra 5 e 10 Km, mentre le scosse di assestamento hanno avuto una profondità epicentrale stimata tra 8 e 12 Km. Il meccanismo focale mostra direzione del piano di faglia NNE-SSW e immersione NO, in accordo con le geometrie dei fasci di faglie del sistema delle Giudicarie, legate quindi alla deformazione del settore centro-orientale del Sudalpino.

Tuttavia la distribuzione dell'intensità macrosismica dell'evento non risulta distribuita uniformemente attorno all'epicentro di Salò. La maggiore intensità si registra in una zona a S e SW ( $I$ =VII e VII-VIII); mentre nella zona opposta a N e NE l'intensità è minore ( $I$ =V e V-VI). Da ciò emerge che la sorgente del terremoto del 1901 è stata identificata come sorgente individuale ITIS069.



Mappa della sismicità strumentale del distretto Giudicarie (G); fonte dati OGS (vedi Tabella 3.1). Visualizzazione su DEM in scala cromatica (sn) e su DEM integrato con modello strutturale tratto da Castellarin et al. (1998b) (dx). In blu nella mappa di sinistra è riportata la localizzazione dell'ultimo evento significativo, avvenuto nella zona di Valdobbiadene il 13 settembre 2011 ( $M_L=3,7$ ).

Figura 12: Sismicità strumentale nel Distretto Giudicarie

### 5.3 SORGENTI SISMOGENETICHE

La fase tettonica attuale (neotettonica) è caratterizzata da regime compressivo legato allo scontro tra microplacca Adria e placca Europea, che porta nell'area veneta a processi di sollevamento e raccorciamento crostale che arriva ai valori massimi nell'area del Friuli centrale.

Il distretto delle Giudicarie è interessato da un veloce sollevamento con numerose tracce di tettonica gravitativa postglaciale. Rilievi di dettaglio nella zona a nord del Lago di Garda hanno permesso di identificare un sollevamento differenziale di 1.4-1.7 mm/anno della valle del Sarca rispetto alla valle dell'Adige. Un ruolo fondamentale nell'assetto tettonico locale lo ha svolto la presenza di una piattaforma carbonatica rigida corrispondente al fianco orientale del lago di Garda e alla catena del Monte Baldo, rispetto alle formazioni meno competenti del Bacino Lombardo.

La sorgente sismogenica del Distretto Giudicarie, più significativa per il Comune di Torri del Benaco, individuata dal DISS, è la sorgente composita *Monte Baldo* (ITCS073).

### 5.4 SISMICITA' STORICA DEL TERRITORIO COMUNALE

La ricostruzione storica degli eventi sismici che hanno caratterizzato il territorio comunale è fatta utilizzando il database macrosismico italiano DBMI15 dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (<http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>). Il DBMI15 rappresenta l'integrazione e l'aggiornamento del DBMI11, per cui è stato consultato per estrarre le seguenti informazioni.

Nel catasto ora citato per il Torri del Benaco, la storia sismica riporta 14 eventi sismici.

Nella Figura sotto, sono elencati i vari eventi registrati con indicati, oltre alla intensità in scala MCS al sito in esame (Is), la data (Anno, Mese, Giorno, Ora, Minuto) in cui si è verificato l'evento Ax, l'intensità massima epicentrale in scala MCS (Io) e la magnitudo momento (Mw).

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
4-5	1866	08	11	23			Monte Baldo	33	7	4.96
5	1876	04	29	10	49		Monte Baldo	25	7	5.07
5	1892	01	05				Garda occidentale	93	6-7	4.96
4-5	1892	08	09	07	58		Valle d'Alpone	160	6-7	4.91
NF	1898	11	16				Garda occidentale	43	6	4.63
5	1901	10	30	14	49	5	Garda occidentale	289	7-8	5.44
NF	1908	02	03	13	36	2	Valle d'Illasi	34	5-6	4.32
6	1932	02	19	12	57	1	Garda orientale	21	7-8	5.16
4	1976	12	13	05	24		Garda settentrionale	128	7	4.90
3	1987	05	02	20	43	5	Reggiano	802	6	4.71
4-5	1989	09	13	21	54	0	Prealpi Vicentine	779	6-7	4.85
3	2001	07	17	15	06	1	Val Venosta	657	5-6	4.78
NF	2002	11	13	10	48	0	Franciacorta	768	5	4.21
5	2004	11	24	22	59	3	Garda occidentale	176	7-8	4.99

Figura 13: Storia sismica di Torri del Benaco (tratto da Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani versione 2015)

Dalla Figura risulta che gli eventi più intensi sono da attribuirsi alla zona Garda Occidentale (30/10/1901) e Garda Orientale (19/02/1932) con Mw rispettivamente pari a 5.44 e 5.16.

## 5.5 PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

La distribuzione e la caratterizzazione delle zone sismogenetiche finora riconosciute è stata tradotta in una carta di pericolosità sismica, valida su tutto il territorio nazionale ed entrata in vigore con l'O.P.C.M. n.3519 del 28 Aprile 2006.

La pericolosità sismica di base costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche e deve essere descritta con un sufficiente livello di dettaglio, sia in termini geografici che in termini temporali.

Essa è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR, nel periodo di riferimento VR.

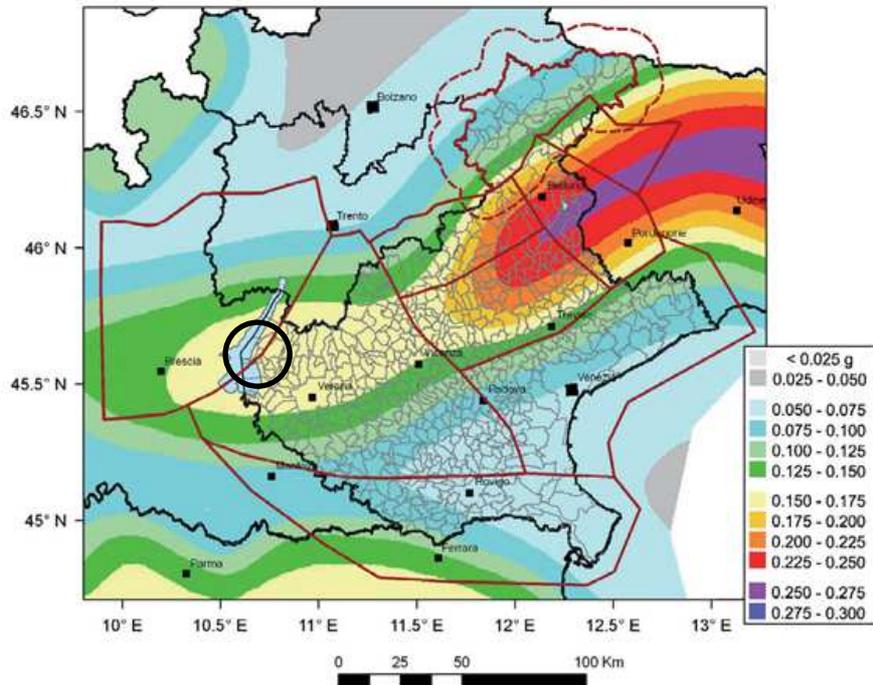
Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- $a_g$  accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F_0$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.
- $T^*C$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

I risultati dello studio di pericolosità sono forniti in termini di valori di accelerazione orizzontale massima  $a_g$  e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta definiti in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro e per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno ( $T_r$ ).

Per poter definire la pericolosità sismica di base ci si basa su una procedura disponibile anche sul sito web dell'INGV <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>, nella sezione "Mappe interattive della pericolosità sismica".

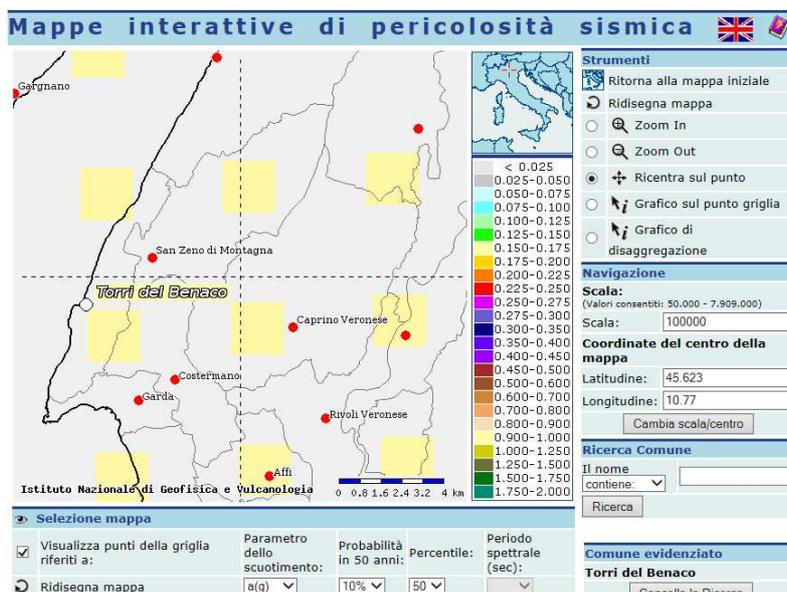
Nella "Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale" redatta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia nel 2004 e recepita dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3519 del 28.04.2006 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone" il Comune di Torri del Benaco risulta caratterizzato da un valore di  $a_g$ , con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi di Cat. A caratterizzati da  $V_s > 800$  m/s, compreso tra 0.150g e 0.175g. Si veda la **Figura 14**.



Gruppo di Lavoro MPS (2004). Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici

Figura 14: Pericolosità sismica dell'area di studio

In ultima, si riporta il calcolo della disaggregazione della pericolosità sismica dedotta dai dati INGV. Questa ha lo scopo di individuare il maggior contributo alla pericolosità del sito in termini di magnitudo - distanza di un evento. I dati riportati nella **Figura 15** sono ricavati dalle "Mappe interattive di pericolosità sismica" dell'INGV e sono relativi ai punti della griglia evidenziati. I terremoti che potranno interessare il territorio comunale con maggiore probabilità avranno Magnitudo (M) di ~5.02 a distanza di circa 9.82 km dal concentrico del Comune.



Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 45.6028, lon: 10.7066, ID: 11838)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	15.700	26.100	12.600	5.220	1.900	0.187	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	3.710	9.470	7.750	5.030	2.660	0.326	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.156	1.340	2.140	2.020	1.430	0.213	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.033	0.381	0.579	0.514	0.089	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.020	0.115	0.138	0.028	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.016	0.038	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.011	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Valori medi											
Magnitudo	5.020	Distanza	9.820	Epsilon	0.749						

Figura 15: Carta di pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione massima del suolo ag con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli di Categoria A (Vs,30 > 800 m/s) subplaneggianti (categoria topografica T1 da N.T.C. 2008)

Si fa comunque presente che, come tutte le zone sismogenetiche del territorio italiano, anche quella contrassegnata al n. 906 e precedentemente descritta viene considerata omogenea ai fini della probabilità di accadimento degli eventi sismici, ovvero si ritiene che tutti i punti in essa contenuti abbiano la stessa probabilità di essere sede di eventi sismici e, in rapporto agli epicentri noti, non esiste quindi l'effetto distanza. Secondo il § 2.8 degli "Indirizzi e criteri per la Microzonazione sismica", per alcune tipologie di verifiche si potrebbe assumere come valore di magnitudo attesa quella massima della zona sismogenetica di appartenenza, che per la Zona 906 in cui afferisce il territorio comunale vale  $M_{wmax} = 6,60$ .

Nome ZS	Numero ZS	$M_{wmax}$
Colli Albani, Etna	922, 936	5.45
Ischia-Vesuvio	928	5.91
Altre zone	901, 902, 903, 904, 907, 908, 909, 911, 912, 913, 914, 916, 917, 920, 921, 926, 932, 933, 934	6.14
Medio-Marchigiana/Abruzzese, Appennino Umbro, Nizza Sanremo	918, 919, 910	6.37
Friuli-Veneto Orientale, Garda-Veronese, Garfagnana-Mugello, Calabria Jonica	905, 906, 915, 930	6.60
Molise-Gargano, Ofanto, Canale d'Otranto	924, 925, 931	6.83
Appennino Abruzzese, Sannio - Irpinia-Basilicata	923, 927	7.06
Calabria tirrenica, Iblei	929, 935	7.29

Tabella 3: Valori  $M_{wmax}$  per le zone sismogenetiche di ZS9 (Gruppo di lavoro 2004)

## 5.6 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

Partendo dalle caratteristiche sismo-tettoniche complessive della zona e delle principali manifestazioni sismiche, sia epicentrali, sia di risentimento dalle altre zone sismo-genetiche presenti nella zona, la pericolosità sismica del territorio comunale sarà approfondita in relazione alle condizioni geologiche e morfologiche locali.

Le caratteristiche sismiche di un'area sono definite dalle sorgenti sismo-genetiche, dall'energia, dal tipo e dalla frequenza dei terremoti. Questi aspetti sono comunemente indicati come "pericolosità sismica di base" e sono quelli considerati per la classificazione sismica, come visto sopra.

Da queste caratteristiche deriva il moto di input atteso, per il calcolo del quale non sono considerate le caratteristiche locali e il territorio è trattato come se fosse uniforme ed omogeneo cioè pianeggiante e costituito da suolo rigido in cui la velocità di propagazione delle onde S ( $V_s$ ) è maggiore di 800 m/s (suolo A dell'Eurocodice 8 -parte 1, EN 1998-1, 2003, dell'OPCM 3274/2003, del DM 14/9/2005 e DM 14.1.2008).

Il moto sismico può essere però modificato dalle condizioni geologiche e morfologiche locali. Alcuni depositi e forme del paesaggio possono amplificare il moto sismico in superficie e favorire fenomeni di instabilità dei terreni quali cedimenti, frane o fenomeni di liquefazione. Queste modificazioni dovute alle caratteristiche locali sono comunemente definite "effetti locali".

La zonazione del territorio sulla base della risposta sismica del terreno (RSL) è, perciò, uno dei più efficaci strumenti per rappresentare la pericolosità sismica e, quindi, per prevenire e ridurre il

rischio sismico, poiché fornisce un contributo essenziale per l'individuazione delle aree a maggiore pericolosità sismica e agevola la scelta delle aree urbanizzabili con minor rischio e la definizione degli interventi ammissibili.

Tale studio deve essere redatto in conformità agli "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica" del Dipartimento della Protezione Civile nazionale, ripresi anche nell'Allegato "A" della DGR 1572/2013.

A completamento dei caratteri sismici locali, qui si sintetizza dicendo che

- La suddivisione del territorio, in sottozona a diversa pericolosità sismica locale si basa sia sulla sismicità di base cioè la distanza dalle sorgenti sismogenetiche e l'energia, frequenza e tipologia dei terremoti attesi; sia sull'amplificazione locale collegata alle caratteristiche topografiche, geomorfologiche, geolitologiche e idrogeologiche del sito.
- L'azione sismica sulle costruzioni è, di norma, valutata a partire da una "sismica di base" in condizioni teoriche di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.
- La pericolosità sismica di base costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche e deve essere descritta con un sufficiente livello di dettaglio, sia in termini geografici che in termini temporali.
- I risultati dello studio di pericolosità sono forniti in termini di valori di accelerazione orizzontale massima  $a_g$  e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta definiti in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro e per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno (Tr).
- L'azione sismica definita deve tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni stratigrafiche del sottosuolo presente nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie. Tali modifiche caratterizzano la Risposta Sismica Locale (RSL).

## 5.7 ASPETTI NORMATIVI-AMMINISTRATIVI

Per gli aspetti amministrativi con uno sguardo a fini edificatori, il Comune di Torri del Benaco rientra nella *classe 2* della zonizzazione sismica con grado di accelerazione orizzontale al suolo ( $\alpha_g$ ) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni tra 0.15 e 0.25g e con accelerazione orizzontale di ancoraggio allo spettro di risposta elastico (NTC 2008) pari a 0,25 g, anche se buona parte del Comune è caratterizzata da un valore maggiore di 0.25g.

Si rammenta che le classi sono:

Classe 1 - E' la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti. Sismicità alta, PGA oltre 0.25g.

Classe 2 - Nei comuni inseriti in questa zona possono verificarsi terremoti abbastanza forti. Sismicità media, PGA fra 0.15 e 0.25g.

Classe 3 - I Comuni interessati in questa zona possono essere soggetti a scuotimenti modesti.

Sismicità bassa, PGA fra 0.05 e 0.15g.

Classe 4 - E' la meno pericolosa. Nei comuni inseriti in questa zona le possibilità di danni sismici sono basse). Sismicità molto bassa, PGA inferiore a 0.05g.

La Regione Veneto con Deliberazione del Consiglio regionale n.67/2003 ha recepito la classificazione sismica del territorio comunale stabilita con la citata ordinanza n. 3274/2003 e per tale zona prescrive che "nei territori dei comuni classificati sismici in zona 2, chiunque intenda procedere a costruzioni, riparazioni e sopraelevazioni, fermo restando l'obbligo della concessione edilizia o della dichiarazione di inizio attività, è tenuto a depositare presso il Comune competente per territorio il progetto, in doppio esemplare, sottoscritto da un tecnico abilitato e iscritto al relativo albo professionale, nei limiti delle proprie competenze, nonché dal direttore dei lavori, ai sensi dell'art. 17 della legge 64/74".

Si veda la **Figura 16**.

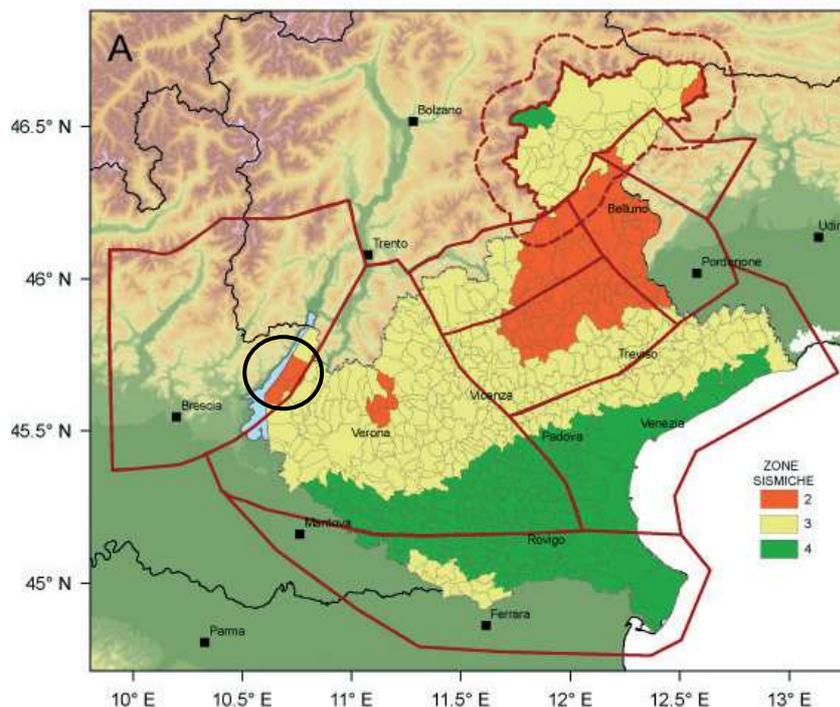


Figura 16: Classe di pericolosità sismica amministrativa

Con la D.G.R. n. 1572 del 03.09.2013 sono state approvate le nuove Linee Guida per la microzonazione sismica per i comuni inseriti negli appositi elenchi. La stessa prevede che dal 1° marzo 2014 tutti gli strumenti urbanistici siano adottati secondo le disposizioni in essa contenute, abrogando la DGR 3308/2008.

Parimenti sono da seguire le disposizioni emanate con il D.M. 14.01.2008 e la successiva Circ. Min. 617/2009 per zone con tale grado di sismicità.

## 6 SINTESI DEGLI ELABORATO DEL 1° LIVELLO

Di seguito si illustrano i risultati dell'analisi sismica per il Livello 1 con gli aggiornamenti derivanti dall'acquisizione di nuovi dati sia in campagna, come nuove indagini e rilevamenti geologici direttamente dal personale HgeO; sia mediante l'analisi e l'elaborazione di dati derivanti dai nuovi lavori in corso da parte di altre ditte e/o da ricevimento di materiale che precedentemente non era stato consegnato dalla medesima Amministrazione.

### 6.1 CARTA DELLE INDAGINI

Nella **Carta delle Indagini (CI)** sono ubicate le indagini geognostiche e geofisiche attuali e pregresse, evidenziando, nel caso, quelle che hanno raggiunto il substrato roccioso. Tali indagini geotecniche derivano sia dagli elaborati redatti per il P.A.T. e per il 1° Livello; sia da nuove indagini eseguite nelle porzioni di territorio urbanizzato/urbanizzabile per questo Livello.

Si tratta in totale di 165 indagini, delle quali 121 di tipo puntuale e 44 di tipo lineare (stendimenti geofisici), suddivise in:

- *nr. 04 misure Georadar;*
- *nr. 02 indagini sismiche Re.MI.;*
- *nr. 10 indagini sismiche a rifrazione;*
- *nr. 14 prove penetrometriche dinamiche pesanti (DPS);*
- *nr. 02 stazioni geomeccaniche su substrato (CPT);*
- *nr. 13 sondaggi geognostici (S);*
- *nr. 01 campione di terreno carotato;*
- *nr. 01 caratterizzazione delle resistenze del substrato (m. Schmidt);*
- *nr. 29 trincee esplorative (T);*
- *nr. 05 SPT;*
- *nr. 03 Tomografie;*
- *nr. 25 indagini MASW;*
- *nr. 56 misurazione tomografiche a stazione singola (HVSR), delle quali 24 pregresse e 32 nuove.*

Si sono implementate le indagini "sismiche" eseguite con il 1° Livello, arrivando ad una più definita "peculiarità sismica" (frequenza di risonanza, Vs, etc.) del territorio.

Come anticipato, il numero complessivo delle indagini "sismiche" sono nr. **25** MASW e nr. **56** indagini sismiche passive mediante tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio). Queste, per una corretta loro interpretazione, sono state "agganciate" a verticali stratigrafiche in loco derivanti da indagini pregresse di vario tipo.

Non si descrivono, qui, le caratteristiche e le metodologiche delle due tipologie strumentali, ma si riassumono, prima i risultati ottenibili con il loro utilizzo e poi gli effettivi valori misurati nelle differenti posizioni territoriali riportate nella Carta delle Indagini.

Le prove MASW sono utili per determinare il profilo di velocità delle onde di taglio Vs nel sottosuolo permettendo, quindi, di definire:

- il *tipo di suolo sismico* (A, B, C, D, E, S1, S2) come da NTC2008;
- il *modulo di rigidezza del terreno*
- le *azioni sismiche* con cui progettare e verificare le opere di Ingegneria Civile

Le indagini HVSR permettono di definire:

- la *frequenza caratteristica di risonanza del sito*, che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale;
- la *frequenza fondamentale di risonanza di un edificio*, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso. In seguito sarà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito (free field) e capire se, in caso di sisma, la struttura potrà essere o meno a rischio.

Nonché stimare:

- 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;
- 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.

*Le indagini MASW e HVSR sono state eseguite, come raccomandato anche dalla normativa nazionale e regionale per gli studi microsismici di livello superiore al 1°, entro i perimetri che definiscono i nuclei abitati attuali e futuri, come da PAT e PI nel territorio comunale al fine di caratterizzare e parametrizzare il più possibile la risposta di amplificazione sismica.*

*Le indagini HVSR, dato il numero di indagini geognostiche presenti sul territorio, hanno anche permesso di ricavare / integrare / convalidare alcuni parametri "sismici" del sottosuolo, come indicato più avanti.*

*Parimenti, le indagini geognostiche inerenti a progetti passati sono state rielaborate secondo i metodi più appropriati della letteratura scientifica, alla quale si rimanda, per ottenere anche parametri utili per la classificazione del sottosuolo in chiave sismica: es. per la liquefazione, etc., permettendo, così di migliorare e modificare gli elaborati presentati con lo studio di 1° Livello.*

## 6.2 CARTA GEOLOGICO-TECNICA (CGT\_MS)

La procedura di 1° Livello si basa sull'identificazione degli elementi geologici, idrogeologici e geomorfologici presenti nel territorio comunale, che hanno valenza dal punto di vista sismico, ossia possono dare amplificazione sismica. Degli aspetti idrogeologici e geomorfologici si è fatto cenno precedentemente. Qui, si puntualizzano i terreni caratterizzanti il sottosuolo comunale.

Tali elementi significativi dal punto di vista sismico vengono quindi inseriti nella **Carta Geologico-Tecnica - CGT**, la quale serve alla definizione del modello di sottosuolo ed è funzionale alla realizzazione della Carta delle Microzone Omogenee in prospettiva sismica.

I contenuti della Carta Geologico Tecnica sono nello specifico:

- Terreni di copertura (spessore > 3 m) e/o Substrato geologico;
- Forme di superficie e sepolte (conoide alluvionale, falda detritica, cavità sepolte, scarpate con  $h \geq 10$  m, scarpate sepolte, orli di terrazzo, dorsali o creste, assi vallivi sepolti, cavità o picchi isolati);
- Elementi tettonico strutturali (faglie, assi di pieghe) e tracce delle sezioni geologiche;
- Elementi geologici e idrogeologici (sondaggi o pozzi che hanno raggiunto o non raggiunto il substrato geologico; profondità falda in sabbie /ghiaie).

Per quanto riguarda i terreni, il territorio di Torri del Benaco è caratterizzato in superficie dalle seguenti litologie:

### SUBSTRATO LAPIDEO

LPS

**LPS – lapideo stratificato:** si sono compresi in questa classe calcari, calcari micritici, calcari marnosi e marne, che presentano una stratificazione ben definita e interstrati argillosi. Si tratta delle formazioni dei Calcari Grigi, del Rosso Ammonitico, del Biancone e della Scaglia Rossa, che affiorano lungo i pendii monoclinali che costituiscono il territorio comunale.

SFLP

**SFLP – Substrato geologico molto fratturato:** si tratta di Calcari oolitici intensamente fratturati, affioranti in una zona particolarmente disturbata dall'attività tettonica. Sono stati cartografati a Sud dell'abitato di Torri del Benaco, tra le località "Canevini" e "Acque fredde"

### TERRENI DI COPERTURA

GWcz

**GWcz – Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, dalle ghiaie ai ciottoli con sabbia (GWcz).** I materiali grossolani sono poco maturi e derivano dal disfacimento per cataclasi o per agenti atmosferici dei litotipi carbonatici che costituiscono l'ossatura dei rilievi, sono generalmente sciolti o variamente addensati. Esse costituiscono le conoidi di deiezione allo sbocco delle vallecole.

GPfd

**Ghiaie** pulite con granulometria poco assortita e ghiaie e ciottoli con sabbia (**GPfd**) I materiali sono poco maturi, tranne quelle rimaneggiate dal movimento ondoso del lago, e derivano dal disfacimento per cataclasi o per agenti atmosferici dei litotipi carbonatici che costituiscono l'ossatura dei rilievi, sono generalmente sciolti o variamente addensati. Essi costituiscono le falde detritiche lungo lago.

GMmr

**Ghiaie ± limose** poligeniche e mal classate; miscela di sabbia e limo appartenenti ai depositi morenici (**GMmr**) che interessano la buona parte del territorio comunale come plaghe soprastanti il bedrock. Appartengono alle Morene ghiaiose bianche con terreno di alterazione bruno presenti nelle fasce medio basse del versante

GMfg

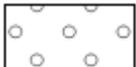
**Ghiaie ± limoso-argillose** poligeniche e mal classate; miscela di sabbia limo-argillosa, appartenenti alle alluvioni fluvio-glaciali e pluvio-glaciali (**GMfg**). Interessano, come plaghe soprastanti il bedrock, la fascia medio alta del versante, ma soprattutto le valli inframoreniche ed i pluviali wurmiani. Hanno spessori di qualche metro ed i terreni di alterazione argilloso-limosi sono rossastri

#### ASPETTI MORFOLOGICI

Sono state evidenziate le seguenti forme di superficie e sepolte:



**Cavità sepolte isolate:** si tratta di cavità carsiche, legate alla dissoluzione dei calcari da parte delle acque sotterranee; ne sono state cartografate quattro, segnalate nel PAT e catalogate anche nel catasto grotte regionale.



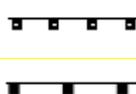
**Conoidi alluvionali:** sono prodotte dai corsi d'acqua che escono dai rilievi e depositano allo sbocco vallivo i sedimenti che trascinano con sé lungo il loro corso, creando caratteristiche forma a cono. Hanno dimensioni variabili, direttamente proporzionali all'importanza del corso d'acqua da cui derivano. Ne sono state cartografate oltre una decina, quali quella di PAI, di Piaghen, del capoluogo e di Frader.



**Falde detritiche:** ricoprono la base dei pendii con fasce continue e di spessore variabile di depositi con elementi ghiaiosi in matrice sabbioso-limoso-argillosa. Derivano dall'alterazione delle rocce dei rilievi soprastanti e dall'accumulo per gravità alla base, confondendosi talora con accumuli di frana. Sono state segnalate quelle che caratterizzano buona parte della fascia perilacuale sulla quale scorre la Gardesana



**Cresta o dorsale:** nel territorio comunale si riscontrano modeste dorsali con direzione N-SE. Esse sono considerate tra gli elementi in prospettiva sismica perché spesso caratterizzate su un fianco da scarpate abbastanza ripide e in erosione. Più evidenti sono le creste che fanno da confine Sud-Est del Comune sopra Albisano.



**Orlo di scarpata morfologica (10-20m) e orlo di scarpata morfologica (>20m):** si sono cartografate le scarpate di varia origine (fluviale, tettonica, morenica, antropica) e di una certa entità (altezza tra 10 e 20 m e >20 m) presenti nel territorio. Le più evidenti sono quelle dei versanti dei monti Luppia, Toel e Lenzino, la scarpata della cava Cavrie, scarpate dei terrazzi fluvio-glaciali ad Albisano e delle valli torrentizie.



**Asse di valle sepolta stretta ( $C \geq 0.25$ ):** si tratta delle valli il cui fondo roccioso è ricoperto da depositi sciolti quaternari e in cui il rapporto tra lo spessore dei depositi (H) e la semilarghezza della valle (L) è  $\geq 0.25$ . Si tratta della Val Volpara e del Monte Fontane.

#### ELEMENTI TETTONICO-STRUTTURALI



**Faglia trascorrente non attiva:** Le linee di faglia riportate in carta hanno direzione prevalente NNE-SSW e NW-SE e fanno parte dei fasci di faglie dei sistemi principali quali Linea Sirmione-Garda e linee di Bre, Brancolino e Pesina. In località Frader passa un tratto della Faglia di Sant'Ambrogio di Valpolicella.

#### ELEMENTI GEOLOGICI E IDROGEOLOGICI

Si sono inseriti:



Le giaciture del substrato roccioso, tratte dai dati del P.A.T.: sono 69 giaciture



I sondaggi, disponibili come dati e cartografati, che hanno intercettato il substrato: sono 8, con substrato intercettato tra 8 e 1,2 m di profondità da piano campagna.



I sondaggi cartografati, che non hanno raggiunto il substrato sono 12, con profondità tra 8 e 21 m.



Le indagini che hanno intercettato la falda freatica nei terreni incoerenti (sabbie e ghiaie±sabbiose) sono 3, in Val Volpara, con profondità della tavola d'acqua tra 1 e 3 m.



Traccia della sezione geologica rappresentativa del modello del sottosuolo: è stata fatta una sezione ad Albisano.

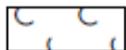
#### ZONE SOGGETTE AD INSTABILITÀ DI VERSANTE



Esse derivano dai tematismi litologici, geomorfologici e del dissesto idrogeologico contenuti negli elaborati del P.A.T. comunale, del PTCP e dal Progetto IFFI.



Si sono cartografate principalmente le aree di distacco sotto le pareti rocciose lungo la gardesana e sotto le cime del Monte Toel e Monte Luppia e nel vallone Valdana e di Piaghen.



### 6.3 CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS)

La **Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)** sintetizza le valutazioni fatte in chiave sismica sugli elementi territoriali di carattere litologico, idrogeologico e geomorfologico, suddividendo la superficie comunale in tre possibili categorie:

- 1) *aree stabili non suscettibili di amplificazione sismica;*
- 2) *aree stabili suscettibili di amplificazione sismica;*
- 3) *aree instabili per azione sismica.*

Prima di illustrare i risultati si fa cenno alla metodologia assunta per la definizione di tale aree.

#### 6.3.1 ELEMENTI DI AMPLIFICAZIONE SISMICA

L'amplificazione sismica di un territorio può essere associata alle caratteristiche 1) stratigrafiche; a quelle 2) topografiche; 3) oppure ad entrambe.

1. L'**amplificazione stratigrafica** è legata alla tipologia litologica, allo spessore dei materiali sciolti di copertura, al grado di fratturazione degli ammassi rocciosi, al grado di consolidamento dei depositi sciolti, al contatto tra litologie molto differenti e alla presenza di acqua nei terreni sotto forma di falda freatica o artesianiana.
2. L'**amplificazione topografica** è dovuta alla concentrazione delle onde sismiche in corrispondenza di particolari forme territoriali quali: creste, cime isolate, orli di scarpata o di terrazzo, conoidi e falde detritiche.

#### 6.3.2 AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA

Gli elementi che possono comportare o meno amplificazione sismica sono:

##### **Suoli**

Nel valutare l'amplificazione stratigrafica si suddividono i terreni in due categorie in funzione del valore  $V_s$  (m/s) ossia della velocità di propagazione delle onde di taglio nei terreni stessi. Per la risposta sismica si suddividono i terreni in *suoli A*, non amplificabili, con  $V_s > 800$  m/s, e *suoli diversi da A*, con  $V_s < 800$  m/s. Nella sottostante Tabella sono riportate le varie categorie di suoli, suddivise in base ai valori di  $V_s$ .

Categoria di suolo	Descrizione	Esempi di depositi quaternari associati
<b>A</b> $V_s > 800$ m/s	- rocce di basamento (es: filladi) - rocce sedimentarie massive o in banchi spessi (es: calcari, dolomie, arenarie ben cementate), con fratturazione debole o assente, affioranti o coperte da depositi quaternari di spessore non superiore a 3 metri	- depositi glaciali di fondo fortemente consolidati
<b>diversa da A</b> $V_s < 800$ m/s  ↓  $V_s$ decescente	- depositi clastici molto grossolani, ghiaie e sabbie cementate - rocce sedimentarie a stratificazione sottile, - rocce tenere (es: marne) - rocce di basamento o sedimentarie massive molto fratturate	- depositi glaciali di fondo normal consolidati - detrito di falda cementato - accumuli di frana a grossi blocchi - depositi alluvionali grossolani cementati
	- ghiaie e sabbie normalmente consolidate e non cementate	- depositi glaciali non consolidati - detrito di falda non cementato - depositi alluvionali - coltre detritico-colluviale
	- depositi di sabbie fini, silt o argille non consolidate - torbe - depositi vulcanici sciolti recenti	- depositi alluvionali fini - depositi transizionali (di laguna, deltizi, di cordone litorale ecc.) - coltre eluvio-colluviale

Tabella 4: Categorie di suolo (tratta da Allegato A DGR n. 3308/2008")

Le formazioni rocciose aventi  $V_s > 800$  m/s e i soprastanti depositi quaternari con spessore  $< 3$  metri (o  $< 5$  m<sup>3</sup>) sono considerati bedrock sismico, che non genera, cioè, amplificazione stratigrafica. Le restanti litologie con  $V_s < 800$  m/s sono considerate amplificabili e, quindi, "sensibili" all'azione di un sisma.

Si distinguono, suddividendo il territorio in zone, i terreni "non amplificabili", dai terreni "amplificabili" in funzione del loro valore di  $V_s$ .

Per definire le caratteristiche litologiche locali si sono ubicate, nella citata *Carta delle indagini*, le indagini geognostiche e geofisiche esistenti, evidenziando eventualmente quelle che hanno raggiunto il substrato roccioso.

*Sulla base delle analisi dei dati acquisiti si evidenzia che il territorio in studio è inseribile in parte nella classe delle aree stabili suscettibili di amplificazione sismica e localmente nelle aree instabili.*

### **Faglie attive - capaci**

E' considerata attiva una faglia che si è attivata almeno una volta negli ultimi 40.000 anni (parte alta del Pleistocene superiore-Olocene), ed è considerata capace una faglia attiva che raggiunge la superficie topografica, producendo una frattura/dislocazione del terreno<sup>4</sup>.

*Il Comune di Torri del Benaco non è interessato direttamente da sorgenti sismogenetiche, secondo il Catasto Ithaca.*

Esse, però, "l'ambiscono l'area in studio come si vede nella **Figura 17**. In particolare sono:

<sup>3</sup> *Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica Parti I e II, 2008* a cura della Presidenza del Consiglio dei Ministri – Dipartimento della Protezione Civile

<sup>4</sup> Commissione tecnica per la microzonazione sismica, *Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC)*, vers. 1, Roma 2015

- ITCS073 "Monte Baldo" ad Est, dotata di magnitudo Mw pari a 5.5.
- ITCS113 "Sirmione", a Sud e con Mw pari a 6.0
- ITCS048 "Giudicarie" ad Ovest, dotata di magnitudo Mw pari a 5.7.
- ITS069 "Salò", compresa nella ITCS048 e con Mw di 5.7.

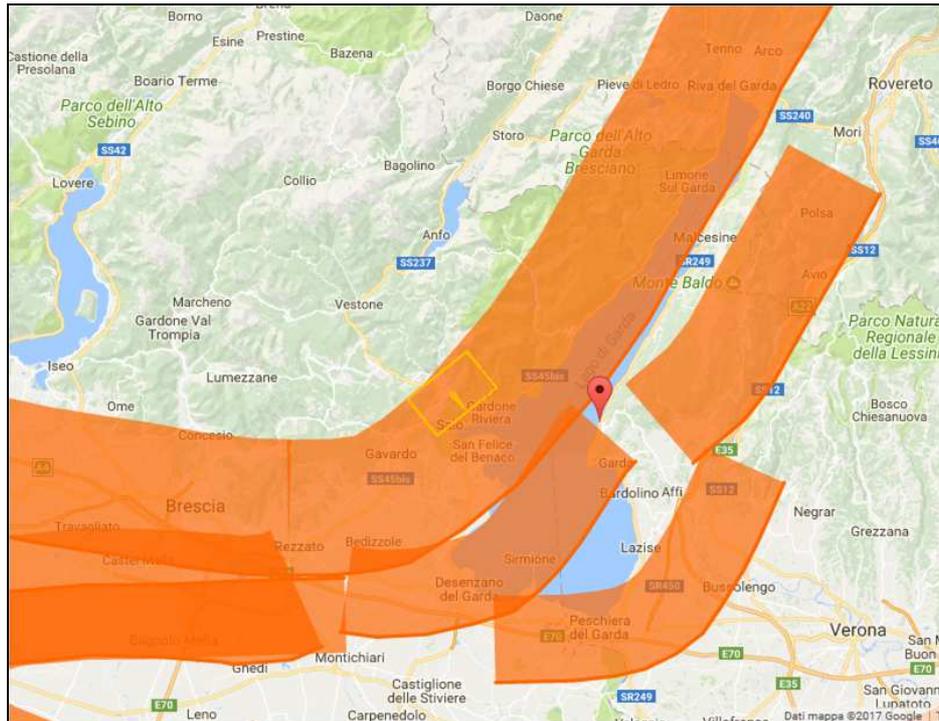


Figura 17: Inquadramento delle sorgenti sismogenetiche locali (da INGV)

Il Comune non risulta interessato direttamente da faglie attive capaci (FAC), come son state descritte precedentemente e catalogate sia nelle pubblicazioni ITHACA Ispra, sia in altre pubblicazioni. Si veda anche la **Figura 18**.

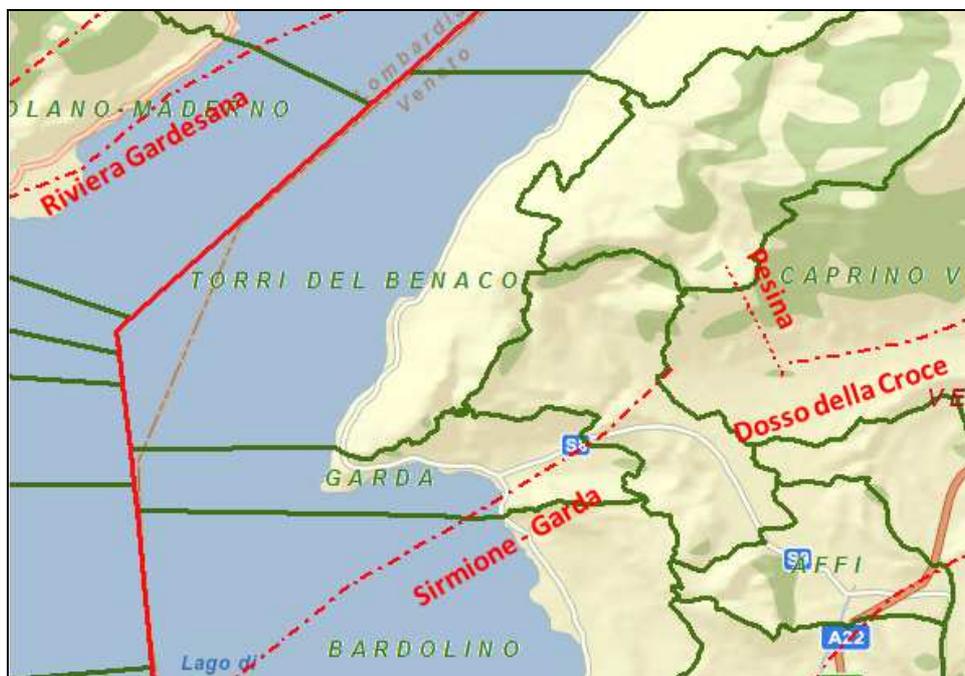


Figura 18: Faglie classificate attive-capaci da INGV

*Pur esterne al Comune, si accenna, qui, alle disposizioni normative relative alla FAC.*

*A livello di MS1 la fascia a cavallo della FAC sarà denominata  $ZA_{FAC}$  (Zona di Attenzione) e rimanda obbligatoriamente a livelli di approfondimento specifici, propri del livello MS3 (Gruppo di lavoro MS, 2008).*

*Si considerano elementi informativi minimi per l'identificazione di una  $ZA_{FAC}$  nel livello MS1:*

- segnalazioni e studi geologici eseguiti da esperti del settore e riportati nella letteratura scientifica, ma non sufficientemente approfonditi (ad esempio in termini di scala di rappresentazione delle informazioni) per poter essere classificati come "elementi informativi specifici".*
- elementi geologici e/o geomorfologici rilevati sul campo da geologi, durante i rilievi geologico-tecnici per la stesura delle carte di MS. Tali elementi dovranno comunque essere validati da esperti nel campo della tettonica attiva.*

*Per l'identificazione di una  $ZA_{FAC}$  almeno uno degli elementi informativi minimi deve essere verificato<sup>5</sup>.*

*La  $ZA_{FAC}$  ha una dimensione raccomandata di 400 m (200+200 m) a cavallo della traccia del piano di rottura principale della faglia attiva e capace. Una ampiezza minore di tale zona è sconsigliata, a meno di chiare e documentate evidenze geologiche che giustifichino una*

<sup>5</sup> Idem c.s.

*diversa perimetrazione. La perimetrazione di questa zona rimanda obbligatoriamente ad approfondimenti con l'acquisizione di elementi informativi specifici, propri del livello MS3 (Gruppo di lavoro MS, 2008).*

*Nel caso di zone FAC che si sovrappongono ad altre tipologie d'instabilità la fascia diventa "Zona di attenzione per instabilità differenti" (es. Faglia attiva capace più liquefazione, oppure più frane etc).*

### **Aree con soggiacenza < 15 m e Liquefazione**

La liquefazione può interessare terreni incoerenti sciolti o poco addensati, saturi d'acqua, per temporanea perdita della resistenza al taglio dovuta all'incremento della pressione interstiziale al momento dello scuotimento.

La normativa vigente indica che affinché avvenga il fenomeno della liquefazione devono verificarsi contemporaneamente i seguenti fattori predisponenti:

- Eventi sismici attesi di magnitudo M maggiore di 5.
- Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g.
- Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali.
- Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)_{60} > 30$  oppure  $qc_{1N} > 180$  dove  $(N1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $qc_{1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa ;
- Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura sotto nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  e  $U_c > 3,5$ .

La liquefazione può interessare terreni incoerenti sciolti o poco addensati, saturi d'acqua, per temporanea perdita della resistenza al taglio dovuta all'incremento della pressione interstiziale al momento dello scuotimento.

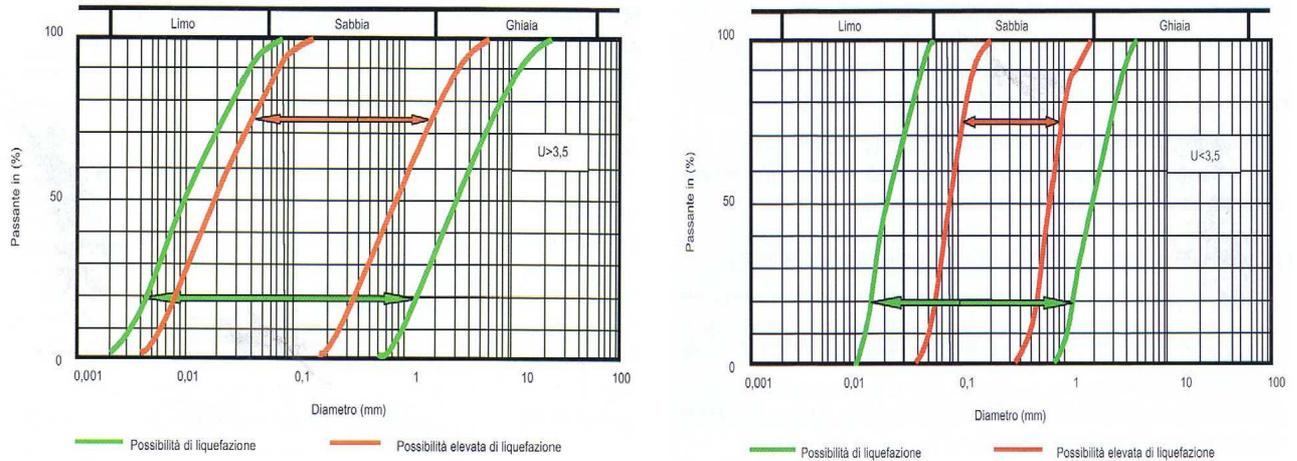


Figura 19: Fasce granulometriche critiche in funzione del coefficiente di uniformità ( $U > 3.5$ ) e ( $U < 3.5$ )

Il territorio comunale si sviluppa strutturalmente su una monoclinale carbonatica, dove la circolazione idrica sotterranea segue percorsi fessurativi e carsici posizionandosi a profondità ben maggiori di quelle fissate dalla normativa (15 m).

Le zone dove il livello idrico sotterraneo è minore di 15 metri, con i dati sinora acquisiti, sono la Val Volpara, con un livello misurato da sondaggi pregressi di ~3 metri da p.c. (vedasi **Figura 20**, che dà la condizione stratigraficamente peggior);



Figura 20: Stratigrafia in Val Volpara lato Nord (tratta da Studio Munari)

nonchè nel Capoluogo comunale presso il Castello Scaligero, come si vede dalla tomografia elettrica - ERT fatta eseguire per questo studio, dove la falda confinata risulta da circa -10 metri p.c. (**Figura 21**).

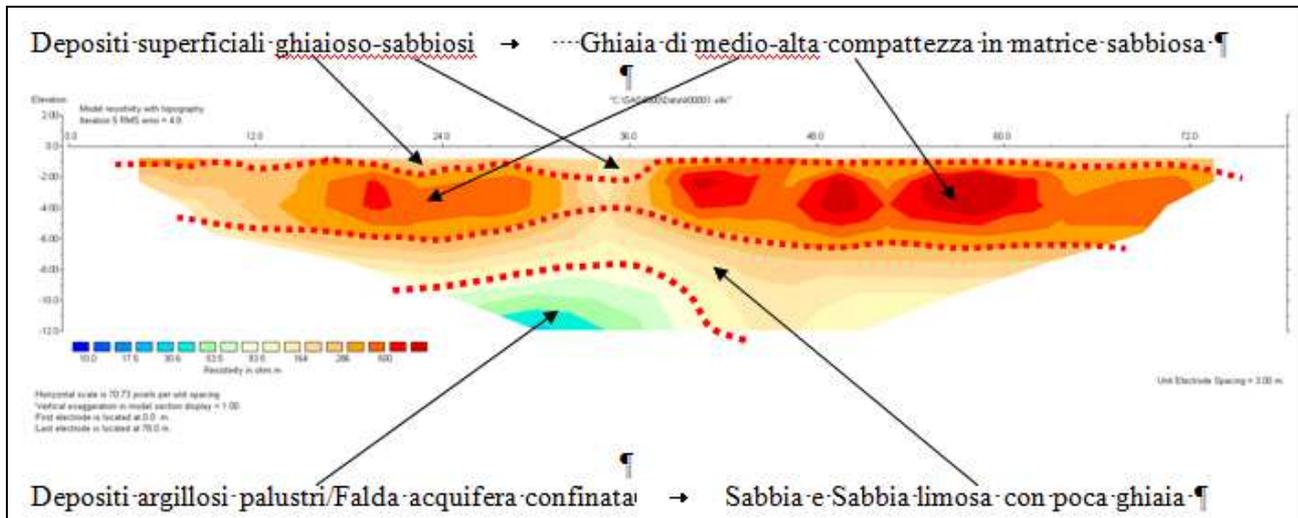


Figura 21: ERT presso Castello Scaligero

Sulla base di queste considerazioni, delle risultanze emerse con l'analisi dei terreni che caratterizzano il territorio e delle disposizioni normative vigenti si è valutato il grado di liquefazione potenziale dei siti.

A livello di piano, una valutazione del potenziale pericolo di liquefazione è stata fatta mediante i metodi "empirici". Tra i metodi empirici si sono utilizzati quello di Ambraseys (1991) e quello di Galli (2000), che correlano la distanza epicentrale del sito in studio con la magnitudo di soglia del sisma, cioè con quella magnitudo che può indurre fenomeni di liquefazione in terreni suscettibili. La relazione di Ambraseys (1991) è la seguente:

$$M_c = -0.31 + 2.65 \times 10^{-8} \times dist \times 100000 + 0.99 \text{Log}_{10}(dist \times 100000)$$

quella di Galli (2000)

$$M_c = 0.67[1.0 + 3.0 \times \text{Log}_{10}(dist)] + 2.07$$

dove *dist* è la distanza epicentrale espressa in km.

Se il rapporto  $M/M_c$  è maggiore o uguale a 1 sarà probabile il verificarsi di fenomeni di liquefazione.

Nella **Figura 23** si evidenzia che, utilizzando entrambi i metodi citati, sulla base dell'estratto dal Catalogo Sismico Nazionale dei terremoti che hanno interessato la zona (**Figura 22**), esiste la possibilità che localmente si manifesti tale fenomeno di liquefazione.

Comune di Torri del Benaco (VR)  
Microzonazione sismica del territorio comunale

Interrogazione effettuata sui seguenti parametri:

Area circolare con centro C (45.609, 10.687) e raggio 50 km  
a partire dal 217/01/01 fino al 2002/12/31 con valore Io tra 2-3 e 11

N	Tr	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Se	AE	Rt	Np	Imx	Io	TI	Lat	Lon	TL	Maw	Daw	TW	Mas	Das	TS	Msp	Dsp	ZS9	TZ	Noft	Nnt	Ncpt
27	DI	1065	3	27	6			Brescia	CFTI	6	80	70	M	45.55	10.22	A	5.17	0.30	4.80	0.45	4.99	0.42	307	G	90	248	27		
43	DI	1397						Brescia	CFTI	8	65	65		45.55	10.22	A	5.03	0.33	4.60	0.49	4.80	0.45	307	G	107	193	43		
47	DI	1222	12	25	11			Basso bresciano	CFTI	40	90	85	M	45.48	10.68	A	6.05	0.13	6.05	0.13	6.05	0.13	906	G	109	249	47		
89	DI	1334	12	4				Verona	CFTI	4	55	55		45.43	11	A	4.63	0.13	4.00	0.20	4.25	0.19	906	G	146	232	89		
107	DI	1365	9	21	5	45		Verona	CFTI	2	55	55		45.43	11	A	4.63	0.13	4.00	0.20	4.25	0.19	906	G	160	233	107		
125	DI	1402						VERONA	DOM	1	60	60		45.438	10.994	A	4.83	0.26	4.30	0.39	4.53	0.36	906	G	234	125			
146	DI	1445	3	21	13	30		VERONA	DOM	3	55	55		45.438	10.994	A	4.63	0.13	4.00	0.20	4.25	0.19	906	G	237	146			
165	DI	1471						BRESCIA	DOM	1	55	55		45.544	10.214	A	4.63	0.13	4.00	0.20	4.25	0.19	907	G	250	165			
219	DI	1521	1	26	10	30		BRESCIANO	DOM	1	60	60		45.55	10.217	A	4.83	0.26	4.30	0.39	4.53	0.36	907	G	251	219			
235	CP	1540	9	1				BRESCIA	POSS5					45.533	10.217	A	4.83	0.26	4.30	0.39	4.53	0.36	907	G	252	235			
365	DI	1661	3	12				Montecchio	CFTI	8	75	70		45.73	10.07	A	5.17	0.30	4.80	0.45	4.99	0.42	907	G	261	296	365		
393	DI	1693	5	25				V. GIUDICARIE	DOM	4	65	65		46.024	10.864	A	5.00	0.26	4.55	0.38	4.76	0.35			253	393			
411	DI	1693	7	6	9	15		GOTTO	DOM	13	70	70		45.28	10.644	A	5.27	0.14	4.95	0.22	5.13	0.19	906	G	254	411			
631	DI	1793	7	28				VAL DI LEDRO	DOM	4	65	65		45.878	10.808	A	5.03	0.33	4.60	0.49	4.80	0.45	906	G	255	631			
686	DI	1799	5	29	19			CASTENEDOLO	DOM	12	65	65		45.403	10.271	A	5.06	0.18	4.64	0.27	4.84	0.25	906	G	256	686			
714	DI	1810	5	1				MALCESINE	DOM	1	60	60		45.764	10.809	A	4.83	0.26	4.30	0.39	4.53	0.36	906	G	257	714			
761	DI	1826	6	24	12	15		SALO'	DOM	19	55	55		45.6	10.517	M	4.74	0.11	4.16	0.17	4.40	0.16	906	G	258	761			
827	CP	1839	8	9	8	45		BAGNOLO MELLA	POSS5					45.5	10.167		4.83	0.26	4.30	0.39	4.53	0.36	907	G	259	827			
877	DI	1851	8	3				GIUDICARIE	DOM	15	60	60		45.938	10.561	A	4.96	0.17	4.49	0.26	4.70	0.24			260	877			
950	DI	1866	8	11	23			MONTE BALDO	DOM	33	70	70		45.727	10.774	A	5.17	0.30	4.80	0.45	4.99	0.42	906	G	261	950			
956	DI	1868	2	20	20			GARDA OR.	DOM	3	65	60		45.709	10.774	A	4.83	0.26	4.30	0.39	4.53	0.36	906	G	262	956			
957	DI	1868	5	22	21			ROVERETO	DOM	8	55	55		45.888	10.869	A	4.63	0.13	4.00	0.20	4.25	0.19			241	957			
1005	DI	1876	4	29	10	49		Monte Baldo	CFTI	25	75	70		45.75	10.78	A	4.99	0.13	4.53	0.19	4.74	0.18	906	G	424	263	1005		
1021	DI	1877	10	1	7	27		MALCESINE	DOM	4	70	65		45.764	10.809	A	5.03	0.33	4.60	0.49	4.80	0.45	906	G	264	1021			
1040	DI	1879	2	14				GARGANO	DOM	6	55	55		45.607	10.536	A	4.63	0.13	4.00	0.20	4.25	0.19	906	G	265	1040			
1082	DI	1882	9	18	19	25		Monte Baldo	CFTI	7	70	70		45.72	10.77	A	5.17	0.30	4.80	0.45	4.99	0.42	906	G	433	1082			
1170	DI	1891	6	7	1	6	14	Valle d'Illassi	CFTI	403	90	85		45.57	11.17	A	5.71	0.05	5.61	0.07	5.61	0.07	906	G	442	242	1170		
1171	DI	1891	6	15				PESCHIERA	DOM	35	60	60		45.43	10.767	A	4.83	0.26	4.30	0.39	4.53	0.36	906	G	266	1171			
1181	DI	1892	1	5				GARDA OCC.	DOM	100	75	65		45.591	10.482	A	4.96	0.12	4.49	0.18	4.70	0.17	906	G	267	1181			
1196	CP	1892	8	9	7	58		TREGNAGO	POSS5					45.567	11.167		5.17	0.30	4.80	0.45	4.99	0.42	906	G	243	1196			
1209	CP	1894	2	9	12	48	5	TREGNAGO	POSS5					45.567	11.16		5.17	0.30	4.80	0.45	4.99	0.42	906	G	244	1209			
1217	DI	1894	11	27				FRANCIACORTA	DOM	168	65	65		45.568	10.192	A	4.95	0.08	4.48	0.12	4.63	0.11	907	G	292	1217			
1241	CP	1895	10	12	1	45		M. ALTISSIMO NAGO	POSS5					45.767	10.833		4.83	0.26	4.30	0.39	4.53	0.36	906	G	268	1241			
1262	DI	1897	1	27	1	35		RECOARO	DOM	17	55	55		45.748	11.202	A	4.63	0.13	4.00	0.20	4.25	0.19	906	G	245	1262			
1305	DI	1898	11	16				SALO'	DOM	23	60	55		45.636	10.458	A	4.63	0.13	4.00	0.20	4.25	0.19	906	G	269	1305			
1353	DI	1901	10	30	14	49	58	Salo'	CFTI	191	80	80		45.56	10.5	A	5.67	0.07	5.55	0.11	5.55	0.11	906	G	457	270	1353		
1455	DI	1907	4	25	4	52		BOVOLONE	DOM	136	60	60		45.318	11.073	A	4.94	0.11	4.46	0.17	4.67	0.16	906	G	2071	1455			
1474	DI	1908	3	15	7	50		CHESAPADORO	DOM	25	60	60		45.623	11.207	A	5.01	0.15	4.56	0.22	4.77	0.20	906	G	246	1474			
1674	DI	1918	7	19	19	3		SALO'	DOM	8	40	40		45.326	10.438	A	4.58	0.14	3.92	0.21	4.17	0.19	906	G	271	1674			
1696	DI	1919	11	23	1	50		BRESCIANO	DOM	9	45	40		45.656	10.245	A	4.78	0.14	4.23	0.21	4.46	0.19	907	G	294	1696			
1854	DI	1931	4	14	22	13		GIUDICARIE	DOM	160	60	60		45.973	10.665	A	4.89	0.09	4.38	0.13	4.60	0.12			272	1854			
1872	DI	1932	2	19	12	57	11	Monte Baldo	CFTI	21	80	75		45.63	10.73	A	5.01	0.10	4.56	0.15	4.77	0.14	906	G	500	273	1872		
1916	CP	1936	6	22	3	44	55	CASTELNUOVO	POSS5					45.5	10.767		4.83	0.09	4.30	0.14	4.53	0.13	906	A	274	1916			
1981	DI	1942	6	20	14	42		ARCO	DOM	2	60	60		45.916	10.882	A	4.52	0.15	3.83	0.22	4.09	0.20	906	A	275	1981			
2013	CP	1947	12	25	20	42	34	GARDONE TROMPIA	POSS5					45.7	10.2		4.78	0.15	4.23	0.22	4.46	0.20	907	G	296	2013			
2017	CP	1948	7	17	19	34	3	BAZENA	POSS5					45.9	10.4		4.95	0.11	4.48	0.16	4.69	0.15	907	A	297	2017			
2144	DI	1960	2	19	2	30		GIUDICARIE	DOM	50	60	60		45.806	10.625	A	4.83	0.26	4.30	0.39	4.53	0.36	906	G	276	2144			
2277	CP	1970	4	19	18	16	32	GAVARDO	POSS5					45.65	10.45		4.56	0.15	3.90	0.22	4.16	0.20	906	G	277	2277			
2351	DI	1975	1	11	15	54		GARDA OR.	DOM	13	55	55		45.621	10.733	A	4.58	0.11	3.93	0.16	4.18	0.15	906	G	278	2351			
2372	DI	1976	12	13	5	24		RIVA DEL GARDA	DOM	128	70	70		45.894	10.799	A	4.89	0.10	4.38	0.15	4.60	0.14	906	A	280	2372			
2458	DI	1987	5	24	10	23	25	GARDA	RMING	29	60	60		45.722	10.661	A	4.66	0.15	4.24	0.20	4.47	0.18	906	G	9007	2458			
2470	DI	1989	9	13	21	53	60	PASUBIO	RMING	779	65	60		45.87	11.172	A	4.96	0.05	4.68	0.06	4.88	0.05	906	G	9006	2473			

Numero di record estratti: 52

Figura 22: Elenco dei sismi che hanno interessato il Comune (tratto da Catalogo Sismico Nazionale)

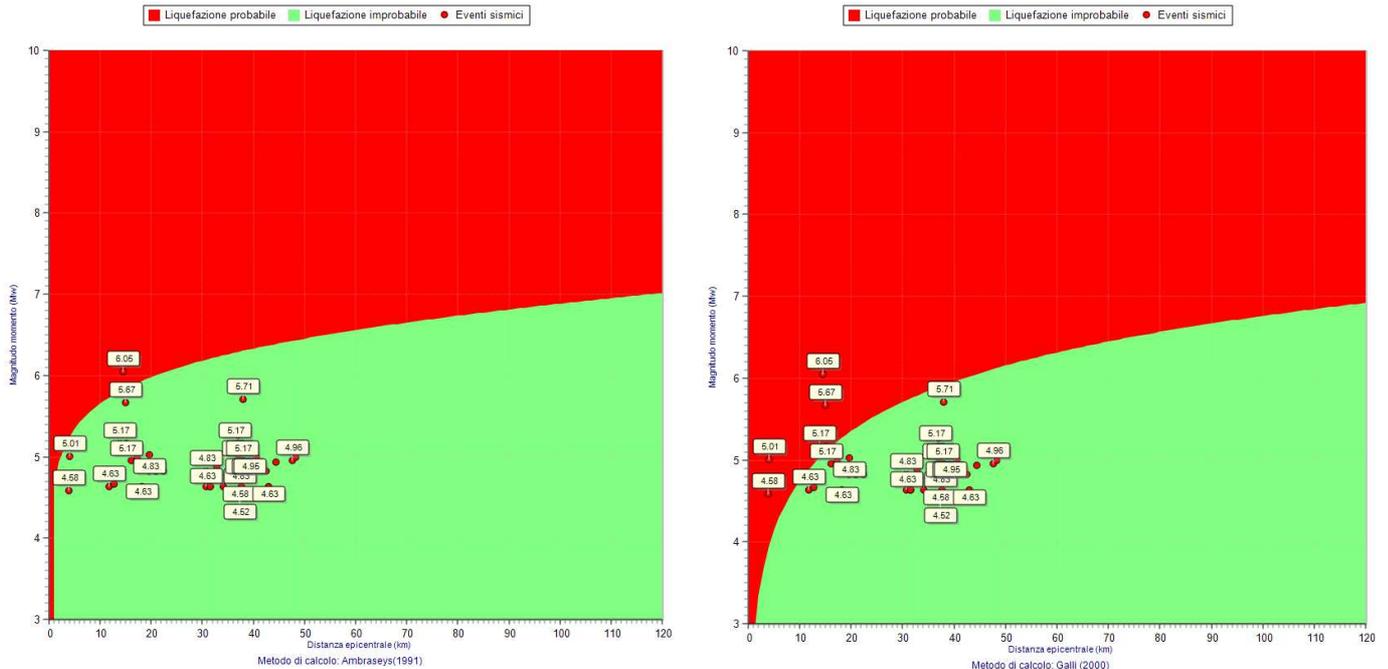


Figura 23: Valutazione del pericolo di liquefazione territoriale secondo Ambraseys (sx) e Galli (dx)

Per i due siti sopra indicati, si riportano anche i risultati dei calcoli di potenziale pericolo di liquefazione ottenuti con differenti metodi e tenendo conto dei risultati ERT, MASW e HVSR locali. Per le ubicazioni si rimanda alla Carta delle Indagini.

Si è utilizzato uno dei metodi semplificati in grado di valutare la suscettibilità alla liquefazione del deposito attraverso un coefficiente di sicurezza, dato dal rapporto fra la resistenza al taglio mobilabile nello strato (CSR) e lo sforzo tagliante indotto dal sisma (CRR). Cioè in pratica si ha:

$$F_s = \frac{CRR}{CSR}$$

Un deposito dovrà essere considerato suscettibile di liquefazione, se il coefficiente di sicurezza sarà minore di 1 (di 1.25 secondo l'Eurocodice 8).

La grandezza CSR dipende dai parametri del sisma di progetto (accelerazione sismica e magnitudo di progetto). La grandezza CRR è funzione delle caratteristiche meccaniche dello strato, principalmente del suo stato di addensamento, e può essere ricavato direttamente attraverso correlazioni con i risultati di prove penetrometriche dinamiche e statiche o con i valori delle velocità delle onde S ricavati da indagine geofisica.

Si è utilizzata la formula di Boulanger e Idriss (2004) per metodi semplificati.

$$R = 0.022 \left( \frac{V_{s1}}{100} \right)^2 + \frac{2.8}{V_{s1c} - V_{s1}} - \frac{2.8}{V_{s1}}$$

con:

$V_{s1}(m/s)$  = velocità delle onde S nello strato corretta =  $V_s \left( \frac{1}{\sigma_{v0}'} \right)^{0.25}$ , dove  $V_s$  è

la velocità misurata e  $\sigma_{v0}'(kg/cm^2)$  è la pressione verticale efficace a metà strato;

$V_{s1c}(m/s)$  = valore critico delle onde S nel deposito, ricavabile attraverso il seguente schema:

$V_{s1c}(m/s)=215$  se la percentuale di fine(FC)<5%;

$V_{s1c}(m/s)=215-0.5 \times (FC-5)$  se  $5 < FC < 35\%$ ;

$V_{s1c}(m/s)=200$  se  $FC \geq 35\%$ ;

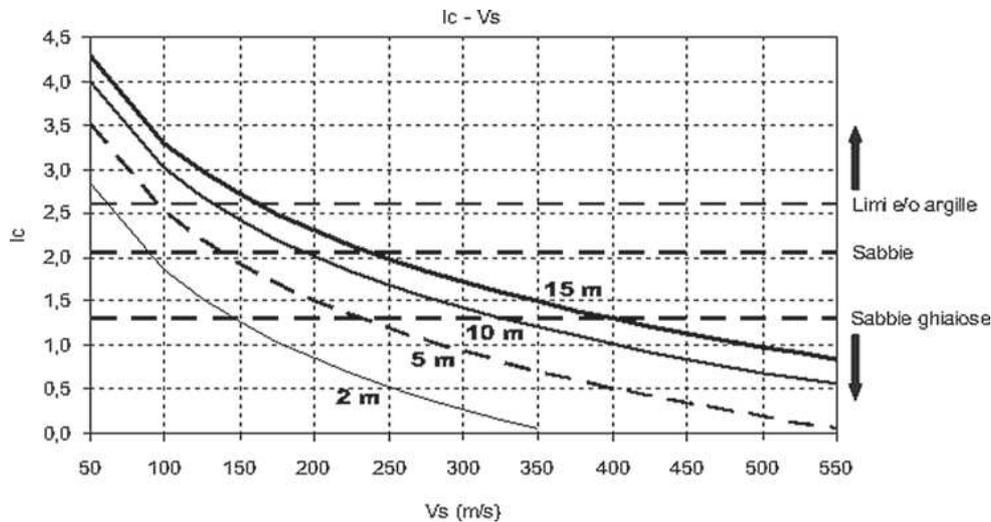
I valori della percentuale di fine FC sono dedotti sia dall'elaborazione delle indagini pregresse, quando possibile, sia dall'applicazione di altri metodi basati sulle Vs e qui sinteticamente riportati sottoforma di grafici.

Da evidenziare che i valori di  $I_c$  consentono di distinguere i terreni a comportamento granulare da quelli a comportamento coesivo ( $I_c > 2,6$ ) e di procedere ad una preliminare classificazione granulometrica e alla stima del contenuto di fine (FC = % passante al setaccio 0,074 mm) secondo la correlazione di Robertson e Fear (1995), praticamente uguale a quella riportata da Davies

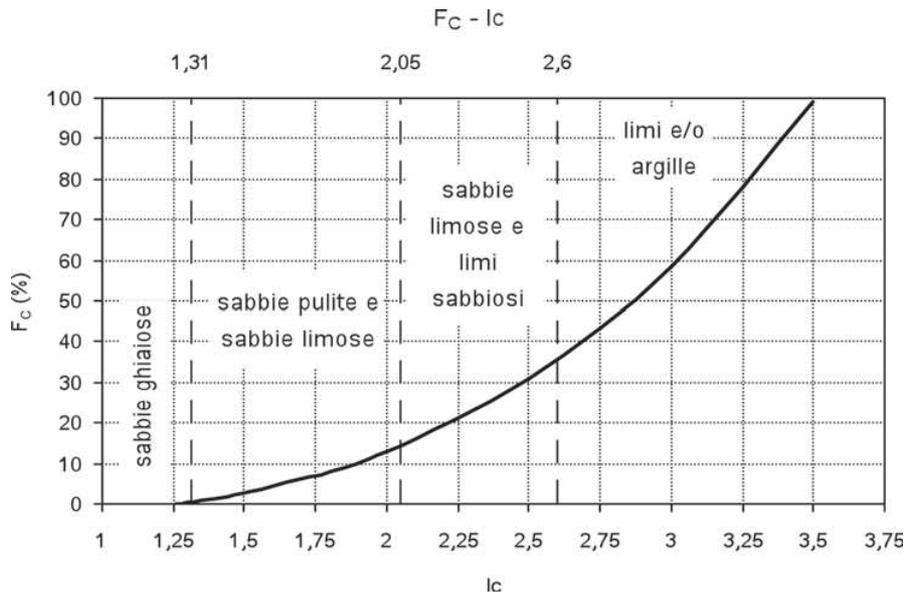
(1999)<sup>6</sup> nella seguente forma

$$FC (\%) = 42,4179 \times I_C - 54,8574$$

In sintesi:



e poi:



Il software<sup>7</sup> utilizzato per i calcoli permette di valutare sulla base dei dati inseriti anche l'Indice di liquefazione (IL).

Inserendo nel codice di calcolo citato 1) i valori Vs ricavati dalle indagini sismiche (MASW e HVSR); 2) i parametri indice dei terreni attraversati, 3) l'accelerazione al suolo -  $a_{max}$  - presa pari a 0.1991 per il sito Capoluogo e pari a 0.2397 per Val Volpara; 4) la magnitudo ricavata dalla disaggregazione INGV pari a 5.02 e 5) la soggiacenza idrica derivata dalle indagini citate si sono valutati i possibili pericoli di liquefazione.

<sup>6</sup> Davies M.P. (1999), *Piezcone technology for the geoenvironmental characterization of mine tailings*. Ph.D. Thesis, Department of Civil Engineering, The University of British Columbia, Vancouver

<sup>7</sup> Liquef della Programgeo

Dalle analisi emerge che il rischio IL è generalmente basso secondo la Tabella sotto.

IL	Rischio di liquefazione
$0 < IL \leq 2$	Nulla - Basso
$2 < IL \leq 5$	Moderato
$5 < IL \leq 15$	Alto
$IL > 15$	Molto Alto

Tabella 5: - Indicazione del rischio di liquefazione (IL) e relativa classificazione

La **Figura 24** riporta il risultato ottenuto per la zona Castello Scaligero con i dati registrati dalla MASW 32. E' da notare che, cautelativamente qui come in altri punti, non disponendo sempre di specifiche granulometrie, si è valutato, cautelativamente, un  $FC \leq 5\%$ .

Il rischio è basso (IL 0÷2).

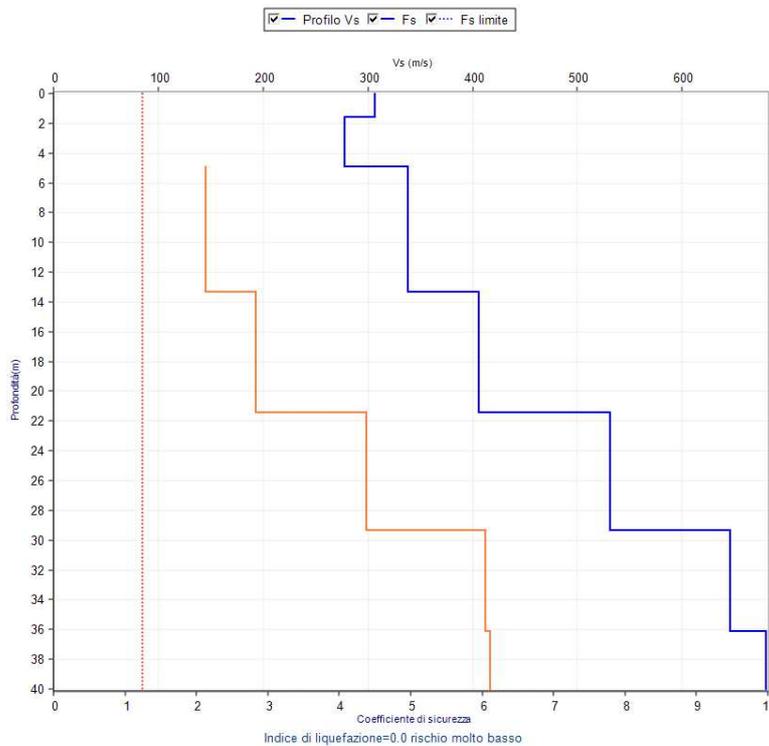


Figura 24: Valutazione di IL nella zona Castello Scaligero

Parimenti si è fatto per la Val Volpara, dove si sono considerati i dati ottenuti con le HVSR 114, 173 e 174, agganciate, però, alle indagini geognostiche esistenti. Anche in questi casi il valore di IL risulta basso (IL 0÷2 - **Figura 25.**)

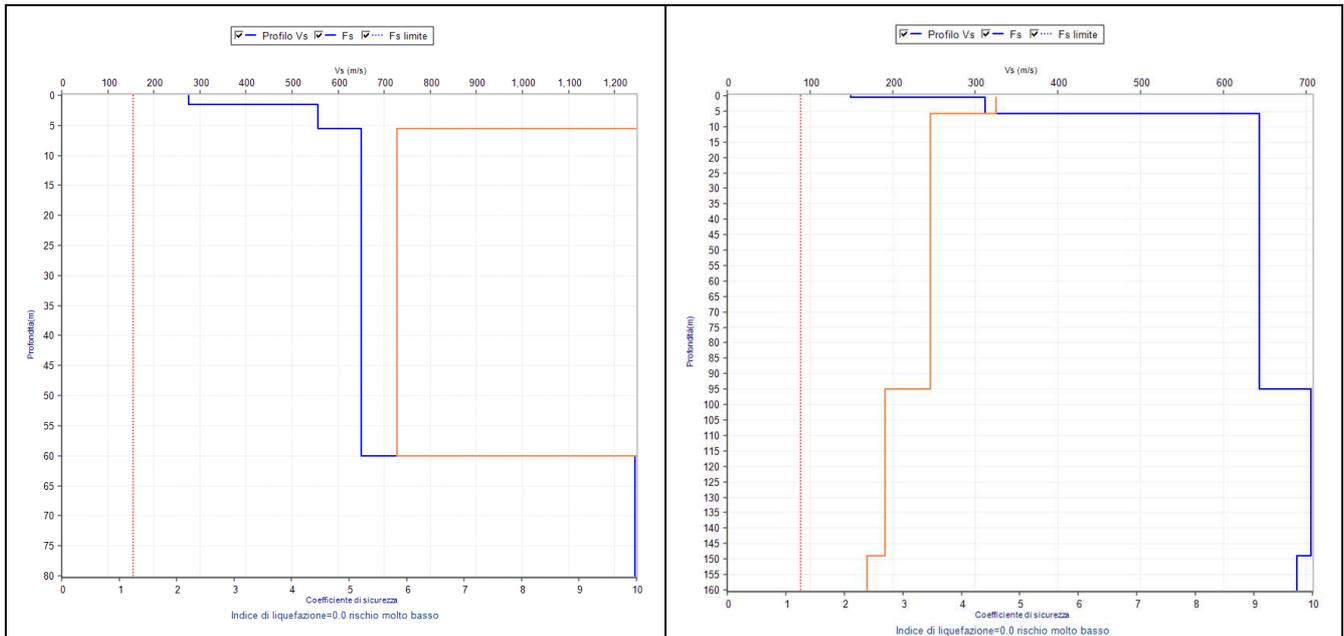


Figura 25: Valutazione di IL nella zona V. Volpara nord (sx) e sud (dx)

Da ultimo, si riporta il grafico dedotto da più metodi sperimentali, che consente di stimare la distanza critica d'innescio dei fenomeni di liquefazione del sottosuolo.

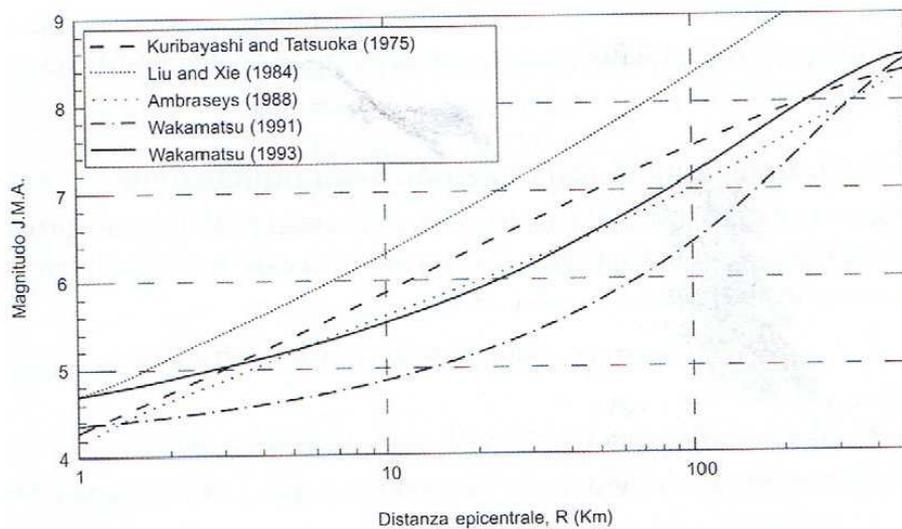


Figura 26: Relazione tra distanza epicentrale dove sono registrati episodi di liquefazione e magnitudo delle onde superficiali in JMA (Japan Meteorological Agency)

Si nota che, per terremoti di magnitudo Richter 6.6 (caratteristica della sorgente sismica più prossima) corrispondente indicativamente al grado 5 sup-6 inf della JMA, la distanza critica oscilla arriva a 20 Km considerando i principali metodi (Ambraseys, Kuribayashie Tatsuoka; Wakamatsu 1993).

Da ultimo, si riporta quanto prescritto dalle specifiche Linee Guida nazionali della CTMS (2017) circa "i livelli di approfondimento per l'individuazione delle zone potenzialmente interessate da liquefazione, descritti nel presente documento, sono:

- livello 1 (Carta delle MOPS) per l'individuazione di Zone di Attenzione per la liquefazione ( $Z_{A_{LQ}}$ ), nel quale vengono utilizzati elementi informativi minimi<sup>1</sup> (litostratigrafia, profondità della falda, elementi paleogeografici, ecc.);
- livello 3 (Carta di MS) nel quale vengono distinte due modalità di approfondimento delle analisi in funzione di due tipologie di zone previste:
  - Zone Suscettibili di liquefazione ( $Z_{S_{LQ}}$ ), da identificare con elementi informativi specifici e metodi di calcolo semplificati;
  - Zone di Rispetto per la liquefazione ( $Z_{R_{LQ}}$ ), da identificare con elementi informativi specifici e metodi di calcolo avanzati.

Le stime dell'Indice del potenziale di Liquefazione medio della zona (IL) si svilupperanno nel livello 3. Questo parametro richiede, infatti, specifiche analisi e indagini più approfondite. I risultati degli studi con approfondimenti di livello 2 (abachi), in particolari condizioni di assetto geologico del sottosuolo, possono invece essere utilizzati limitatamente al calcolo dell'accelerazione massima in superficie ( $a_{max}$ ) e saranno utilizzati nelle Carte di MS per la caratterizzazione delle  $Z_{S_{LQ}}$  e delle  $Z_{R_{LQ}}$ ".

### **Zone suscettibili a frane sismoindotte**

Per la  $Z_{A_{FR}}$  presente principalmente lungo la principale arteria stradale (Gardesana) e in Val Volpara, il suo grado di attività soprattutto in concomitanza con i sismi è stato valutato anche utilizzando non solo i dati censiti dai vari enti preposti (es. Autorità di bacino, etc), ma anche dalla stima dell'Indice Q di Barton (1988) ricavato sulla base di rilevamenti pregressi di vari autori. Si è definita la suscettibilità di frana sismoindotta per crollo, facendo riferimento all'approccio di Harp e Noble (1993), relativo ad aree interessate da fenomeni di crollo/ribaltamento indotti da un terremoto  $M = 6,0$ .

Dal valore di qualità dell'ammasso roccioso Q, valutato in sito attraverso la classificazione di Barton modificata (1998), è possibile determinare indicativamente il numero di crolli/ribaltamenti attesi attraverso la relazione:

$$LnM = 1.81 - (0.49 \times Q)$$

dove M rappresenta il numero medio di eventi di crollo/ribaltamento.

In realtà si è dovuto arrivare alla Q trasformando la BRMR o RMR della Classificazione di Bieniawski con la relazione:

$$RMR = 9 \ln Q + 44 \text{ oppure } BRMR = 9 \ln Q' + 44;$$

dove Q' deriva dall'indice Q, ponendo il rapporto  $J_w/SRF = 1$

Dall'applicazione della relazione Harp e Noble (1993) proposta a casi reali ne deriva la discretizzazione in classi di suscettibilità crescente a fenomeni di crollo in funzione di Q dell'ammasso roccioso considerato:

<b>categoria A</b>	Q = 0,10 - 1,41	molto suscettibile
<b>categoria B</b>	Q = 1,42 - 2,83	suscettibile
<b>categoria C</b>	Q = 2,84 - 3,87	moderatamente stabile
<b>categoria D</b>	Q > 3,87	stabile

Tabella 6: Suscettibilità al crollo di ammassi rocciosi in funzione di Q.

Da ciò, facendo fede i dati di campagna assunti e derivanti da indagini geomeccaniche pregresse eseguite da altri, risulta che le pareti soggette a crollo appartengono generalmente alla *categoria A* e talora B.

### **Cedimenti differenziali**

I tipi di cedimenti legati all'azione sismica sono quelli dovuti a densificazione di terreni insaturi, quelli dovuti a liquefazione dei terreni saturi e quelli dovuti a collasso di cavità sotterranee. La densificazione in condizioni insature è un tipo di cedimento, anche differenziale, che può avvenire nei terreni sabbioso-limosi, sia naturali che di riporto, messi in posto piuttosto recentemente.

Cedimenti per densificazione possono avvenire in corrispondenza di limiti tra terreni a caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse. Per avere indicazioni sulla granulometria e lo stato di addensamento dei terreni è necessario avere almeno dati di indagini in situ (es. prove penetrometriche, SPT, etc) o in laboratorio.

*Nel Comune di Torri del Benaco si sono classificate come zone a cedimenti differenziali le aree caratterizzate da sedimenti residuali presenti nei campi di dolina e nelle singole doline.*

### **Forme di superficie e sepolte**

Si considerano le morfologie che in presenza di scosse sismiche danno luogo ad amplificazione per concentrazione delle onde sismiche stesse in corrispondenza delle superfici di tali forme.

<b>Forme</b>	<b>Presenza nel territorio</b>
Conoidi alluvionali	Si
Falde detritiche ai piedi dei versanti	Si
Scarpate dei rilievi con altezza variabile tra circa 10 m e 20 m e maggiore di 20 m	Si
Scarpate dei terrazzi con altezza variabile tra circa 10 m e 20 m e maggiore di 20 m	Si
Assi di valli sepolte strette ( $C > 0.25$ )	Si
Dorsali o Creste	Si

Picchi morfologici isolati	Assenti
Cavità sepolta, sinkhole, dolina	Si
Aree con cavità sepolte	No
Faglia attiva trascorrente certa o incerta	No
Faglia non attiva trascorrente certa o incerta	Si

### 6.3.3 AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA

Il fenomeno dell'amplificazione topografica è legato alla focalizzazione delle onde sismiche in corrispondenza di particolari elementi topografici e morfologici quali: creste, rilievi isolati, scarpate superficiali e/o sepolte, orli di terrazzo, incisioni vallive, conoidi alluvionali e falde detritiche.

Partendo dal D.M. 14.01.2008 si ricava che l'altezza minima degli elementi geomorfologici da considerare ai fini sismici è di 30 m; in accordo con le indicazioni degli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica..." del Dipartimento della Protezione Civile nazionale. Tuttavia è bene valutare anche le forme con altezza compresa tra 10 e 30 m.

Le scarpate, che comprendono sia quelle di tipo strutturale che di erosione o degradazione che i pendii in genere, nonché le pareti di cave e di dighe in terra, vengono considerate ai fini sismici se hanno altezza superiore a 10 m e pendenza superiore a 15°. Inoltre, sono considerate sia le scarpate superficiali che quelle sepolte.

Per i terrazzi l'altezza minima è 10 m, come per le scarpate. Si devono considerare sia i terrazzi naturali, quali quelli fluviali o fluvioglaciali; sia quelli artificiali in terreni riportati o nell'ambito di cave.

In particolare le creste, per essere significative ai fini dell'amplificazione devono avere larghezza della sommità sensibilmente inferiore rispetto alla base.

La stima è la risposta dello scenario considerato, nel caso peggiore, cioè nel caso in cui l'incidenza del treno d'onde avvenga perpendicolarmente alla direzione di allungamento della cresta o della scarpata. In tutti i casi in cui il treno d'onde associato al movimento sismico non sia perpendicolare allo sviluppo della cresta o della scarpata, è lecito attendersi effetti di amplificazione morfologica attenuati rispetto a quanto riportato più avanti. Gli elementi da considerare nella definizione dell'effetto di amplificazione locale, dal punto di vista morfologico sono:

*Nel Comune di Torri del Benaco sono presenti strutture e forme ricadenti in tale tipologia di amplificazione sismica, che sono state oggetto di analisi in questo livello di approfondimento in chiave sismica. Per la loro descrizione si rimanda alla Carta Geologico-Tecnica precedentemente illustrata.*

#### **6.4 DEFINIZIONE DELLE ZONE STABILI ED INSTABILI SISMICAMENTE**

Di seguito si definiscono, come indicato dalle Normative vigenti in materia e dalle Linee Guida nazionali e regionali, le zone con le quali si suddivide il territorio in relazione alla pericolosità o meno di amplificazione sismica.

##### **6.4.1 ZONE STABILI NON SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONE SISMICA**

Si tratta di zone caratterizzate da morfologia sub-pianeggiante ( $<15^\circ$ ) o, comunque, con pendenza regolare; sono suoli di tipo A, cioè non amplificabili ( $V_s > 800$  m/s); sono prive di elementi che possono risentire di amplificazione topografica e sono prive di fenomeni di instabilità quali: frane di vario tipo, cedimenti legati a collasso di cavità sotterranee o densificazione di terreni insaturi o liquefazione di terreni saturi e non sono soggette a rischio di rotture della superficie topografica per riattivazione di faglie capaci.

*In queste zone la risposta sismica è quella attesa, ossia non si ipotizzano effetti di alcuna natura se non lo scuotimento, che è funzione della magnitudo e della distanza ipocentrale del terremoto.*

##### **6.4.2 ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONE SISMICA**

Queste zone non sono soggette a fenomeni di instabilità quali: frane di vario tipo, cedimenti legati a collasso di cavità sotterranee e/o a densificazione di terreni insaturi; oppure a liquefazione di terreni saturi. Parimenti, non sono soggette a rischio di rotture della superficie topografica per riattivazione di faglie capaci.

*Tali zone, tuttavia, presentano caratteristiche litologiche che le rendono soggette a possibile amplificazione stratigrafica (suoli  $\neq$  A) e/o elementi morfologici che possono essere soggetti ad amplificazione topografica (creste, dorsali, scarpate, etc.).*

##### **6.4.3 ZONE INSTABILI PER AZIONE SISMICA**

Le zone instabili per azione sismica possono essere soggette, in seguito ad un sisma, a: **1)** instabilità di versante quali frane di crollo, colate, scivolamenti; **2)** cedimenti per liquefazione di terreni saturi o per densificazione di terreni insaturi; **3)** cedimenti per crollo di cavità sotterranee; **4)** rotture in superficie per riattivazione di faglie capaci. Di queste zone si è detto o si dirà più avanti.

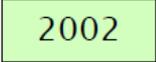
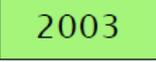
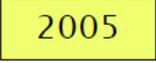
#### **6.5 DESCRIZIONE DELLA CARTA MOPS**

Il territorio del Comune di Torri del Benaco ricade in due classi della zonizzazione sismica: **1)** zone stabili suscettibili di amplificazione sismica e **2)** zone instabili per azione sismica. Non sono presenti nel territorio suoli di tipo A, non amplificabili, che definiscono zone stabili e non suscettibili di amplificazione sismica.

### 6.5.1 ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONE SISMICA

Sono, invece presenti *aree stabili ma suscettibili di amplificazione sismica ed aree instabili*.

Le zone stabili sono state suddivise in sei tipologie o Zone di seguito descritte:

-  **Zona 1:** è la roccia affiorante o subaffiorante con spessore dei depositi sciolti <3 m. Viene inserita in questa classe e non nella classe stabile poiché l'ammasso roccioso presenta elevato grado di fratturazione, giacitura a franapoggio con pendenze del versante medio-alte, spesso concordi con la giacitura.
-  **Zona 2:** sono i depositi quaternari che caratterizzano il sottosuolo del capoluogo, rappresentato in genera da ghiaie ± sabbiose, alternate a sabbie limoso-ghiaiose nella parte più superficiale, e con spessore di alcune decine di metri.
-  **Zona 3:** rappresentano i materiali ghiaiosi sabbiosi che formano le conoidi di deiezione allo sbocco delle valli principali; nonché le falde detritiche che coprono il substrato roccioso tra la gardesana orientale e la riva lacuale.
-  **Zona 4:** sono i depositi morenici che coprono il versante a plaghe ed a differenti quote, formati da ghiaie poligeniche ed eteropiche miscelate a matrice sabbiosa-limosa e a livelli limoso argillosi, localmente. Gli spessori sono generalmente pulidecametrici (~10÷30 m).
-  **Zona 5:** sono depositi fluvioglaciali che caratterizzano le valli inframoreniche e gli scaricatori glaciali. Sono ubicati soprattutto nella parte medio alta del versante tra Albisano, Val Volpara, Ca' Bre. Il loro spessore è mediamente decametrico.
-  **Zona 2099:** si tratta del substrato carbonatico molto fratturato e tettonizzato presente presso Acque Fredde sulla gardesana

### 6.5.2 ZONE INSTABILI PER AZIONE SISMICA

Sulla base della Cartografia del PAT comunale, delle ri-analisi degli elementi geologici precedentemente descritti presenti nel territorio di Torri del Benaco ed in funzione delle stime basate sulle indagini geologiche pregresse ed attuali, di tipo diretto (prove penetrometriche, sondaggi, trincee) e indiretto (sismiche) si è ritenuto di perimetrare:

-  Zone caratterizzate da possibili cedimenti differenziali (**CD**) nell'intorno delle cavità carsiche.
-  "Zone di attenzione **ZALQ**" per Liquefazione, legate a presenza di livelli di litologie sabbioso-limose, specie in matrice, con soggiacenza della falda minore di 15 m. Si è identificata come Zona con questo tipo di instabilità il fondo della Val Volpara e il fondo della valle a Est di C. Calzolagne, caratterizzate da terreni della Zona 5, ossia fluvioglaciali. Il fondo di val Volpara, anche se i risultati del codice numerico sono favorevoli, si è cautelativamente posto come area soggetta a liquefazione.



"Zone di Attenzione **ZAFR** " per instabilità di versante". Riprendono, nello sfondo del retino, la colorazione della Zona alla quale corrispondono. Si ha instabilità di versante: 1) nei terreni della Zona 1, ossia sulle pareti degli affioramenti rocciosi lungo la gardesana e sotto i Monti Toel e Luppia;



2) nei terreni della Zona 2099 di substrato molto fratturato in loc. Acque fredde;



3) nei terreni della Zona 3 in corrispondenza del conoide di Piaghen, considerato un corpo di colata, con attività non definita.

Queste ora descritte sono zone intese come "zone suscettibili di instabilità" previste dalle Linee Guida ICMS (2008). Si tratta di zone nelle quali i dati a disposizione non sono sufficienti, in quantità e/o tipologia, per definire se l'instabilità si verificherà effettivamente in caso di evento sismico.

In particolare, le Linee standard per gli studi di microzonazione sismica vigenti definiscono tali ZA come zone, che nel Livello 1 e 2, non possono essere ancora classificate come zone effettivamente instabili, fintanto che non vengano esperiti i necessari approfondimenti propri del Livello 3. In questo modo le ZA vengono differenziate in maniera esplicita dalle "zone suscettibili di instabilità" (ZS), che possono essere identificate solo nel momento in cui vengono effettuati approfondimenti di tipo quantitativo.

Infatti, nel Livello 3 per le zone suscettibili di instabilità (instabilità di versante, liquefazioni, cedimenti differenziali, faglie attive e capaci) si dovranno definire a quale dei due tipi è inseribile la zona in studio:

- ZS: Zone di Suscettibilità
- ZR: Zone di Rispetto

Per entrambi i tipi di zone sarà possibile riportare un parametro che quantifichi il fenomeno.

Concettualmente il significato dei due tipi di zone è il seguente:

- *Zone di Suscettibilità (ZS)*: sono zone nelle quali, a seguito di una raccolta dati specifici per l'instabilità in esame e l'applicazione di specifici metodi di calcolo, anche semplificati, è possibile definire la pericolosità in termini quantitativi.
- *Zone di Rispetto (ZR)*: sono zone nelle quali, a seguito di una raccolta dati specifica per l'instabilità in esame e l'applicazione di specifici metodi di calcolo, anche avanzati, è possibile quantificare con maggior accuratezza la pericolosità. Tale quantificazione è finalizzata all'analisi dettagliata di aree limitate sulle quali possono essere presenti opere vulnerabili.

Per le faglie attive e capaci il parametro quantitativo richiesto è la dislocazione massima (DISL).

## 7 ELABORATI DEL 2° LIVELLO

### 7.1 PRINCIPI DI BASE

Il Livello di analisi di tipo 2°, in riferimento alle Linee Guida Regionali (Allegato A) della DGR 1572/2013 è applicabile, nella prospettiva del Piano degli Interventi facente parte del Piano Regolatore Comunale (PRC), a tutte le parti del territorio suscettibili di amplificazione sismica individuati nel Livello 1 e per le quali si prevedono trasformazioni urbanistiche del territorio od incremento dei carichi urbanistici e per il territorio compreso nel perimetro del “centro abitato” così come previsti dalla normativa vigente.

Si rammenta, anche come dettato dalla stessa DGR 1572/2013, che è richiesto e ritenuto sufficiente nelle aree prive di particolari complicazioni, nelle quali sono attesi solo effetti di amplificazione (P3, P4c, P4d, P4e; P1c, P2, P4a). Esso permette la caratterizzazione semiquantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi e l'individuazione, nell'ambito degli scenari qualitativi suscettibili di amplificazione, di aree in cui la normativa nazionale risulta sufficiente o insufficiente a tenere in considerazione gli effetti sismici. Per questi tipi di valutazioni si eseguono indagini geofisiche e geognostiche ed una stima dei Fattori di amplificazione tramite formule ed abachi messi a disposizione dal Dipartimento nazionale di Protezione Civile.

Illustrati, nei Capitoli precedenti, i risultati conseguiti con il Livello 1° dello studio di microzonazione sismica comunale, si passa ad elencare, sinteticamente, le procedure dello studio di Livello 2°.

Sulla base della Carta della microzonazione sismica omogenee in prospettiva sismica (MOPS) si sono individuate le classi di approfondimento di studio ed il relativo livello, come mostrato nella Tabella 1 e nelle Linee Guida regionali e nazionali.

Come previsto dalla normativa vigente, e già descritto nel capitolo precedente, la procedura di 2° Livello è obbligatoria, per le zone suscettibili di effetti di 1) *amplificazione morfologica* e 2) *amplificazione litostratigrafica*.

Gli approfondimenti di 2° Livello sono stati effettuati in queste morfologie quando interessano o possono interessare aree edificate o zone edificabili.

### 7.2 AMPLIFICAZIONE MORFOLOGICA

La normativa prevede che le possibili zone di amplificazione morfologica vengano valutate per mezzo di procedure semplificate con l'impiego di abachi o schede che si riferiscono a diverse situazioni tipo.

Gli abachi forniscono stime del valore del Fattore di amplificazione (**Fa**) su base statistica, anche se gli effetti di amplificazione morfologica risentono fortemente della direzionalità degli impulsi sismici.

La stima è la risposta dello scenario considerato, nel caso peggiore, cioè nel caso in cui l'incidenza del treno d'onde avvenga perpendicolarmente alla direzione di allungamento della cresta o della

scarpata. In tutti i casi in cui il treno d'onde associato al movimento sismico non sia perpendicolare allo sviluppo della cresta o della scarpata, è lecito attendersi effetti di amplificazione morfologica attenuati rispetto a quanto riportato più avanti.

La valutazione del grado di protezione per le situazioni morfologiche (scarpata e cresta rocciosa e/o cucuzzolo), viene effettuata in termini di contenuti energetici, confrontando i valori di Fa ottenuti dalle Schede di valutazione con il valore di St delle Norme Tecniche per le Costruzioni, che si riporta nella Tabella seguente.

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

Tabella 7: Categorie topografiche (da NTC 2008)

Il valore St è il valore di soglia, oltre il quale lo spettro proposto dalla normativa risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito.

### **Pendenza**

La pendenza del territorio è stata derivata dal modello digitale del terreno costruito appositamente per il presente studio dai punti del DTM regionale con celle di 5 m.

La pendenza, valutata insieme agli altri elementi litologici e morfologici in chiave sismica, è servita come base per la zonizzazione in prospettiva sismica e per ricavare la "susceptibilità" del territorio alle sollecitazioni sismiche appartenenti a tale area.

### **Scarpate in materiali sciolti**

Si considerano, per le zone di scarpata, fronti di altezza (H) uguale o superiore a 10 m ed inclinazione ( $\alpha$ ) del fronte principale uguale o superiore ai  $10^\circ$ .

In relazione alla tipologia del fronte superiore si distinguono, di norma:

- scarpate ideali con fronte superiore orizzontale;
- scarpate in pendenza con fronte superiore inclinato nello stesso senso del fronte principale;
- scarpate in contropendenza con fronte superiore inclinato nel senso opposto a quello del fronte principale.

La misura dell'altezza H è la distanza verticale dal piede al ciglio del fronte principale, mentre il fronte superiore è da definire come distanza tra il ciglio del fronte principale e la prima evidente irregolarità morfologica.

Sono da considerare scarpate solo quelle situazioni che presentano:

- un fronte superiore di estensione paragonabile al dislivello altimetrico massimo (H) o comunque non inferiore ai 10 m;
- l'inclinazione ( $\beta$ ) del fronte superiore inferiore o uguale ad un quinto dell'inclinazione ( $\alpha$ ) del fronte principale, nel caso delle scarpate in pendenza (per  $\beta > 1/5\alpha$  la situazione è da considerarsi pendio);
- il dislivello altimetrico minimo (h) minore ad un terzo del dislivello altimetrico massimo (H), nel caso di scarpate in contropendenza (per  $h \geq 1/3H$  la situazione è da considerarsi una cresta appuntita).

Si riporta lo schema delle situazioni di scarpata:

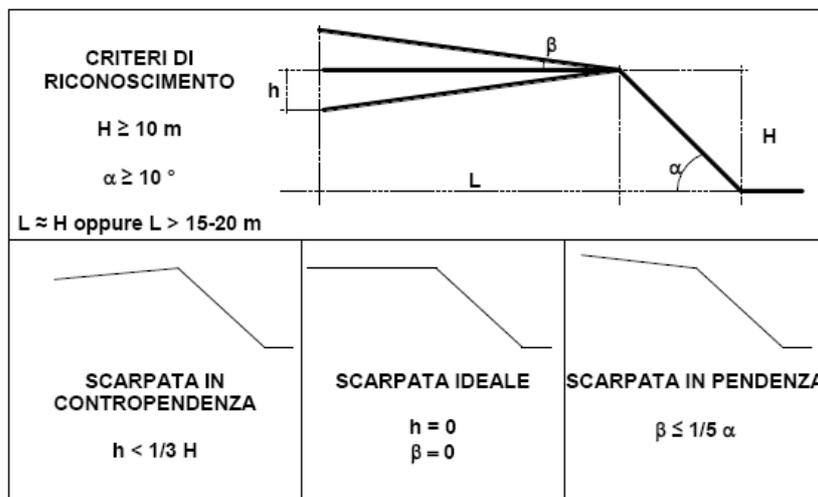


Figura 27: Schemi di riferimento per la scarpata e criteri di riconoscimento

In relazione alle geometrie della scarpata in studio si definisce il valore di  $F_a$  caratteristico per ogni tipologia di scarpata individuata e la relativa estensione della relativa area di influenza ( $A_i$ ), utilizzando l'abaco seguente:

Classe altimetrica	Classe di inclinazione	Valore di $F_{a_{0.1-0.5}}$	Area di influenza
$10 \text{ m} \leq H \leq 20 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	1.1	$A_i = H$
$20 \text{ m} < H \leq 40 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	1.2	$A_i = \frac{3}{4} H$
$H > 40 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 20^\circ$	1.1	$A_i = \frac{2}{3} H$
	$20^\circ < \alpha \leq 40^\circ$	1.2	
	$40^\circ < \alpha \leq 60^\circ$	1.3	
	$60^\circ < \alpha \leq 70^\circ$	1.2	
	$\alpha > 70^\circ$	1.1	

Tabella 8: - Scenari di pericolosità sismica locale

Il valore di  $F_a$  determinato è assegnato al ciglio del fronte principale; il valore è scalato in modo lineare nell'area di influenza e lungo il pendio fino al raggiungimento del valore unitario alla base. La Figura sotto esemplifica quanto detto per un  $F_a$  risultato maggiore della soglia.

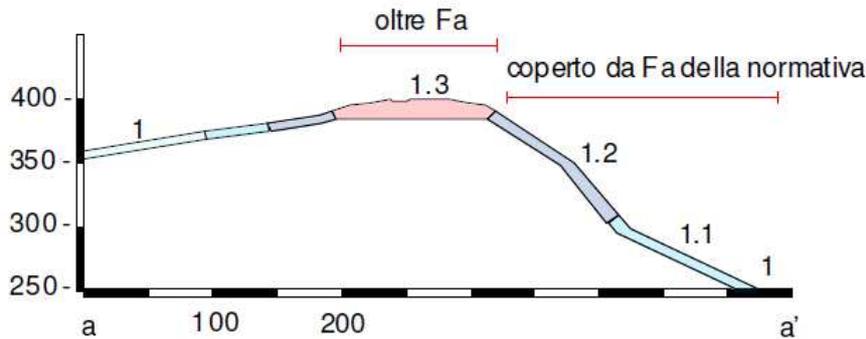


Figura 28: Reazione orientativa tra intensità macrosismica, effetti e magnitudo strumentali

Definiti tali parametri, per la metodologia di calcolo si sono utilizzati gli abachi messi a disposizione nell'Allegato A della DGR1572/2013 che riprendono quelli delle Linee Guida del Dipartimento di Protezione Civile nazionale. Per le scarpate si è l'abaco utilizzato tratto sempre dalle Linee Guida ora citate. Vedasi sotto.

Come detto, al fine di valutare il grado di protezione per le situazioni morfologiche (scarpata e cresta rocciosa e/o cucuzzolo), in termini di contenuti energetici, si confrontano, poi, i valori di  $F_a$  ottenuti dalle Schede di valutazione con il valore di  $S_t$  delle Norme Tecniche per le Costruzioni. Per queste ultime.

Si veda la **Figura 29**.

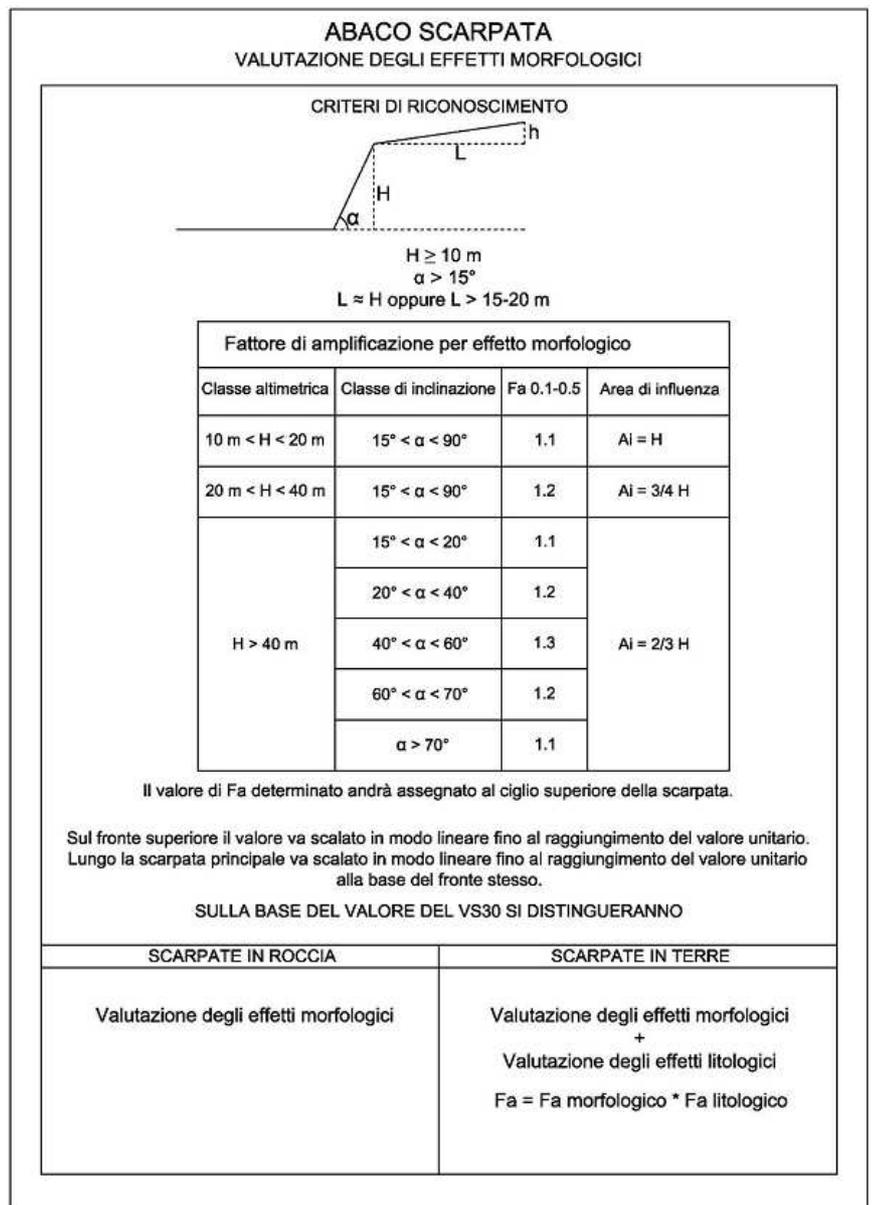


Figura 29: Abaco per la valutazione degli effetti morfologici delle scarpate.

Lo scenario zona di scarpata (P3a) identifica le aree caratterizzate dalla presenza di scarpate tipo bordi di cava, nicchie di distacco, terrazzi fluviali e scarpate antropiche.

Si sono considerate le scarpate più significative nel territorio comunale. Tra queste la principale è quella sulla quale poggia il centro di Albisano. Sono state poi valutate scarpate, per i motivi che saranno esposti sotto, anche i poggi sui quali insistono i nuclei di Pai Alto, quelli del residence Elisabetta e di Pian delle Betulle.

Gli approfondimenti di 2° Livello sono stati effettuati per queste zone in quanto aree edificate.

Nei casi di scarpate in terre od in presenza sul fronte superiore di una coltre detritica suscettibile di amplificazione (copertura di almeno 3 metri di spessore) si è valutato anche il fattore di amplificazione per effetti litologici, secondo le procedure descritte nel paragrafo 3.2.2 delle Linee Guida regionali 2013. La situazione finale sarà rappresentata dal valore di Fa dato dal prodotto di Fa per effetti litologici e Fa per effetti topografici.

Sempre dalle L.G. regionali, sono state considerate le scarpate caratterizzate da fronti di altezza (H) maggiori o uguali a 10 m, inclinazione del fronte principale ( $\alpha$ ) maggiore o uguale a 15° ed estensione del fronte superiore (L) almeno pari all'altezza H o comunque non inferiore ai 15-20 metri.

L'altezza H è da intendersi come distanza verticale dal piede al ciglio del fronte principale, mentre il fronte superiore L è identificato dalla distanza tra il ciglio del fronte principale e la prima evidente irregolarità morfologica.

Si è utilizzato l'abaco delle scarpate che fornisce per ciascuna classe altimetrica (H) e classe di inclinazione ( $\alpha$ ) il valore di Fa per l'intervallo di periodo 0,1-0,5 s e il valore della relativa area di influenza (Ai). Il valore di Fa determinato è assegnato al ciglio del fronte superiore, mentre all'interno della relativa area di influenza, il valore è scalato in modo lineare fino al raggiungimento del valore unitario.

#### 1. Albisano sez via Ronchetti - Cimitero:

Geomorfologia:	Versante
Litologia:	Detrito morenico su substrato carbonatico
Tipo di Amplificazione:	Topografica
Tipo di Amplificazione:	Litologica (spessore detriti >3 m)
Altezza (H) m:	72 m (H>40 m)
Larghezza (L):	110 m
Angolo alfa:	$\alpha$ (lato ovest) = 25°; quindi $15^\circ < \alpha < 90^\circ$
Angolo beta:	$\beta < 1/5\alpha$
V <sub>S30</sub> :	da 420 a 734 m/s
ST fattore di amplificazione topografica:	1.2
Fa amplificazione litologica:	da 1.3 (valle) a 1.8 (monte)
Area di influenza dal ciglio (m):	3/4 H corrispondente.

Vedasi la **Figura 30**.

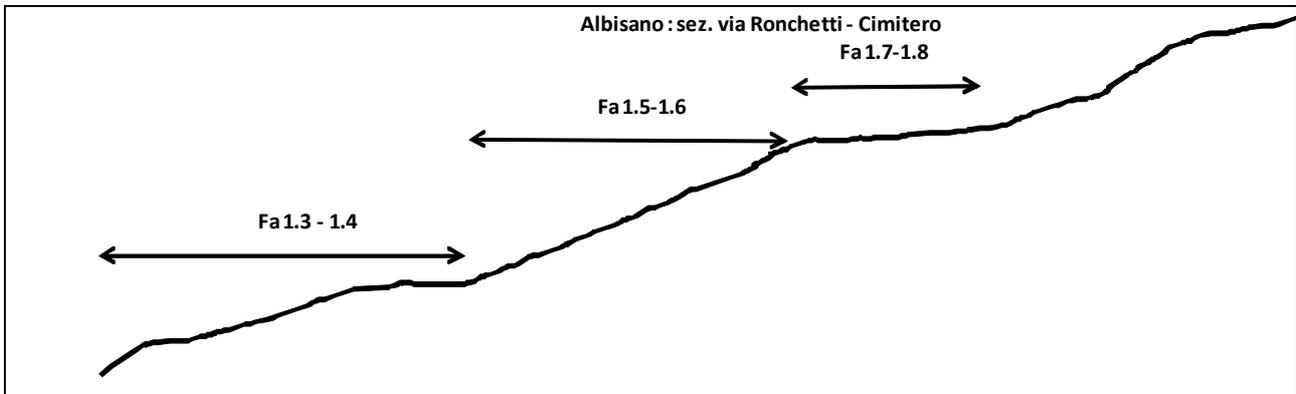


Figura 30: Scarpata in terra su versante - Fattori St

### **Verifica preliminare di 3° Livello sul versante di Albisano**

Si è valutata la condizione di stabilità del versante immediatamente sottostante l'abitato di Albisano compreso tra il pianoro morenico di quota ~310 m slm sino a quota ~270 m slm al fine di valutare l'entità degli spostamento orizzontali soprattutto del pacco morenico che supporta l'edificato.

L'analisi ha previsto un approccio di tipo quantitativo ed uno studio di maggior dettaglio in cui la valutazione della pericolosità sismica locale è stata effettuata ricorrendo a metodologia che può essere classificata come numerica. La metodologia numerica consiste nella modellazione di situazioni reali mediante un'appropriate e dettagliata caratterizzazione geometrica e meccanica del sito e nella valutazione della risposta sismica locale tramite codici di calcolo matematico più o meno sofisticati.

Le NTC2008 (Cap. 3.2.2) propongono, come via ufficiale, un approccio numerico (monodimensionale o bidimensionale a seconda dei casi) per la valutazione della reale Risposta Sismica Locale (RSL) del terreno alla scala del singolo sistema geotecnico.

Le indicazioni generali emerse con le analisi dei dati acquisiti sia in campagna sia da bibliografia permettono di scrivere che i terreni, qui aa Albisano, risultano affetti da problematiche di carattere bidimensionale. Si è, pertanto, eseguita un'analisi numerica bidimensionale risultando, essa, un ottimo strumento di analisi.

L'analisi numerica per la valutazione della risposta sismica locale, oltre ad essere più accurata rispetto all'approccio semplificato descritto dalle NTC2008 (categorie di sottosuolo), consente di identificare l'amplificazione stratigrafica nel caso specifico, individuando intervalli di periodo più limitati rispetto a quelli di normativa e di conseguenza ottenere dimensionamento strutturale più economico.

L'elaborazione ha permesso di valutare l'amplificazione dell'impulso sismico al suolo e di quantificare gli spettri di risposta sulla base di terremoti di riferimento (TR 475 anni con smorzamento pari al 5%).

La scelta degli accelerogrammi utili è stata compiuta sulla base dei distretti sismici dell'area d'interesse e, sulla base della posizione in ciascuno di essi, dalla distanza dall'epicentro, dalle PGA, dalle intensità sismiche previste etc.

L'estrazione dalla banca dati accelerometrica di eventi con le caratteristiche ora elencate è stato fatto mediante il software REXEL (Iervolino et al. 2009), che contiene un elevato numero di terremoti e consente di effettuare ricerche di eventi sismici compatibili, per numero e caratteristiche, con le indicazioni NTC2008. Si sono definiti 7 accelerogrammi di input. L'utilizzo di 7 accelerogrammi permette la validazione statistica del procedimento, conferendo una robustezza di calcolo accettabile

Il modello di Risposta Sismica Locale (RSL) è stato implementato mediante il codice di calcolo LSR2D. Tale codice, prodotto dalla ditta Stacec srl, consente di effettuare un'analisi di risposta sismica locale di tipo monodimensionale o bidimensionale, lineare equivalente, con il metodo agli elementi finiti. Il deposito viene discretizzato in una mesh di elementi di forma triangolare o, preferibilmente, quadrangolare, consentendo una efficace modellazione della variazione geometrica del contatto deposito-basamento, così come delle irregolarità della superficie topografica e dei contatti stratigrafici.

La verifica bidimensionale dell'amplificazione locale, tramite l'utilizzo di LSR2D si compone di due fasi: elaborazione del modello e simulazione degli effetti indotti dal sisma di progetto. La prima fase consiste nel costruire il profilo topografico e la stratigrafia del sottosuolo di riferimento, rappresentata da strati (layer) a differente tessitura e da diversi valori delle onde di taglio S (Vs). Il modello geologico si è basato sugli esiti delle indagini geognostiche pregresse per altri lavori e sui risultati delle indagini sismiche eseguite per codesto lavoro (MASW e HVSR "agganciate" alla stratigrafia locale.

Dall'implementazione del modello all'interno del codice di calcolo, si ottengono diverse informazioni relative ad alcuni parametri fondamentali quali: pseudoaccelerazione spettrale (PSA), pseudovelocità spettrale (PSV), spostamento spettrale (SD).

Si rammenta che la PSA è utilizzata nella modellazione per diversi valori di periodo, da 0 a 4 secondi (valori equiparabili ad edifici di altezza variabile da un piano fino a torri molto alte). La PSV, compresa tra 0 e 4 secondi, nei diversi strati della colonna litologica è utilizzabile per il calcolo del fattore SI, Intensità Spettrale di Housner.

L'intensità di Housner (SI) è un indicatore della pericolosità sismica ed è definito come l'area sottesa dello spettro di risposta di pseudovelocità in un intervallo prefissato di frequenze. Questa grandezza è direttamente correlabile all'energia che viene dissipata nelle strutture durante un terremoto, e quindi espressione del possibile grado di danneggiamento subito dagli edifici.

Lo spostamento spettrale SD è un parametro utilizzato per la valutazione del danno strutturale a cui è soggetta una costruzione dopo il sisma.

Nelle Figure che seguono sono riportati alcuni output del software LSR2D. In particolare, si riportano in ordine i valori massimi di spostamento (Ds - m) riscontrati.

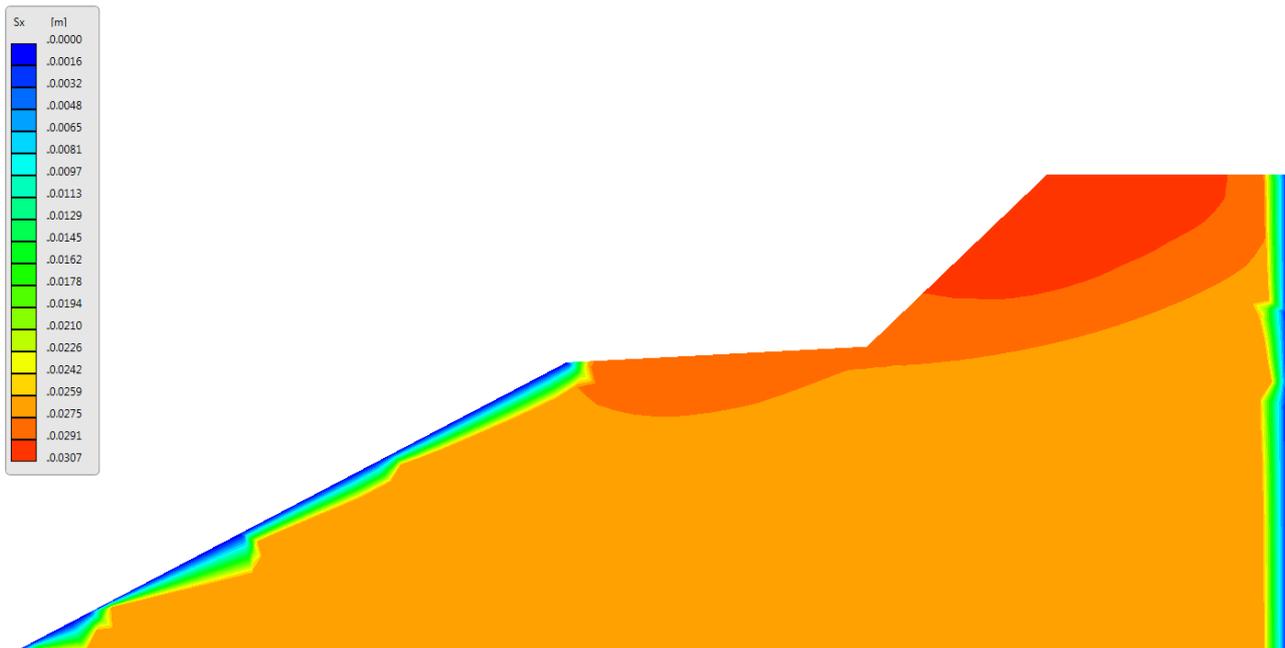


Figura 31: Distribuzione degli spostamenti indotti da sisma D (m)

Emerge che la zona più deformabile è, come immaginabile, quella del ciglio di terrazzo con  $D = 0.03$  m, valore che come da Tabella sottostante porta alla I° classe di danno: Irrilevante.

Per la definizione delle soglie di spostamento corrispondenti a diversi livelli di danno si sono utilizzati i criteri di Idriss (1985) e Miles - Keefer (2001) - Tabelle sotto:

Classe	Livello di Danno	D (cm)
I	Irrilevante	< 3
II	Modesto	15
III	Medio	30
IV	Elevato	90
V	Catastrofico	300

Tabella 9: Correlazione tra spostamenti indotti dal sisma e livelli di danno (Idriss, 1988)

Livello di rischio	D (cm)
Irrilevante	0 - 2
Basso	2 - 5
Modesto	5 - 10
Medio	10 - 20
Elevato	20 - 50
Molto elevato	50 - 100

Tabella 10: Correlazione tra spostamenti indotti dal sisma e livelli di rischio sismico (Miles e Keefer, 2001)

Chiaramente questi valori sono di tipo puntuale e non comprendono l'intero versante, infatti, le soglie di spostamento dipendono dalle caratteristiche del pendio, dalle opere interagenti con esso. Per pendii urbanizzati queste sono generalmente comprese tra 5 cm e 15 cm (Bondi et alii, 2011)

### **Scarpate in roccia**

Gli approfondimenti di 2° Livello sono stati effettuati in queste morfologie quando interessano o possono interessare aree edificate o zone edificabili o le infrastrutture. Rispetto ai fenomeni "in terra", queste necessitano di una maggiore attenzione.

Per la valutazione della pericolosità delle frane in roccia in caso di sisma si può utilizzare il metodo, indicato nell'Allegato "A" alla DGR 1572/2013. Questo prevede l'utilizzo di due distinte modalità di calcolo in base all'altezza relativa della base della parete rocciosa ed al ciglio della stessa: metodo del cono d'ombra e metodo dell'angolo equivalente. I due diversi metodi sono utilizzati in base al rapporto tra le due altezze  $Z_1$  e  $Z_2$  il cui significato visibile nella Figura sottostante.

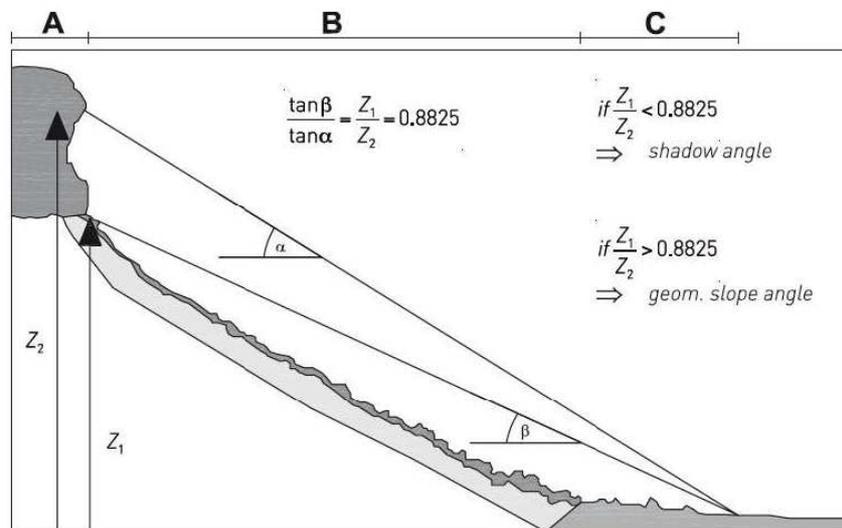


Figura 32: Schema della modalità di scelta del metodo di calcolo per scarpate in roccia

- se  $Z_1/Z_2 < 0,8825$  si utilizza l'angolo d'ombra;
- se  $Z_1/Z_2 > 0,8825$  si utilizza l'angolo di attrito equivalente

Per completare le valutazioni, è stato eseguito un sopralluogo sulle pareti rocciose che potrebbero coinvolgere le aree urbanizzate, al fine di definire la morfologia locale e l'altezza delle pareti stesse, confrontandole, poi con i dati della CTR e del DTM regionale.

I sopralluoghi e l'analisi sono state fatte anche tenendo conto della viabilità strategica che interessa la Val Volpara.

Come già detto in precedenza, il territorio comunale si sviluppa su una monòtona base monoclinica, con strati immergenti verso Ovest, quindi a franapoggio, al netto di locali diversioni tettoniche.

Si sono analizzate 2 "scarpate":

- la prima interessa l'abitato di Albisano fino a quota ~230 m s.l.m., dove a metà affiora una paretina rocciosa (q. ~260 m s.l.m) affioramento del substrato che sostiene il morenico di Albisano e dalla quale potrebbero staccarsi elementi invadenti il piccolo pianoro presso il

nucleo "Rossone".

- la seconda è stata fatta in Val Volpare, che pur non essendo molto abitata, presenta una direttrice viabilistica che collega bene Albisano con Garda.

Nella **Figura 33** sono riportate le sezioni considerate e riferite alla **Carta MOPS** allegata a codesto scritto, con la scala dell'altezza della scarpata (dove geometricamente definibile), la distanza probabile di raggiungimento, il valore del rapporto tra Z1 e Z2.

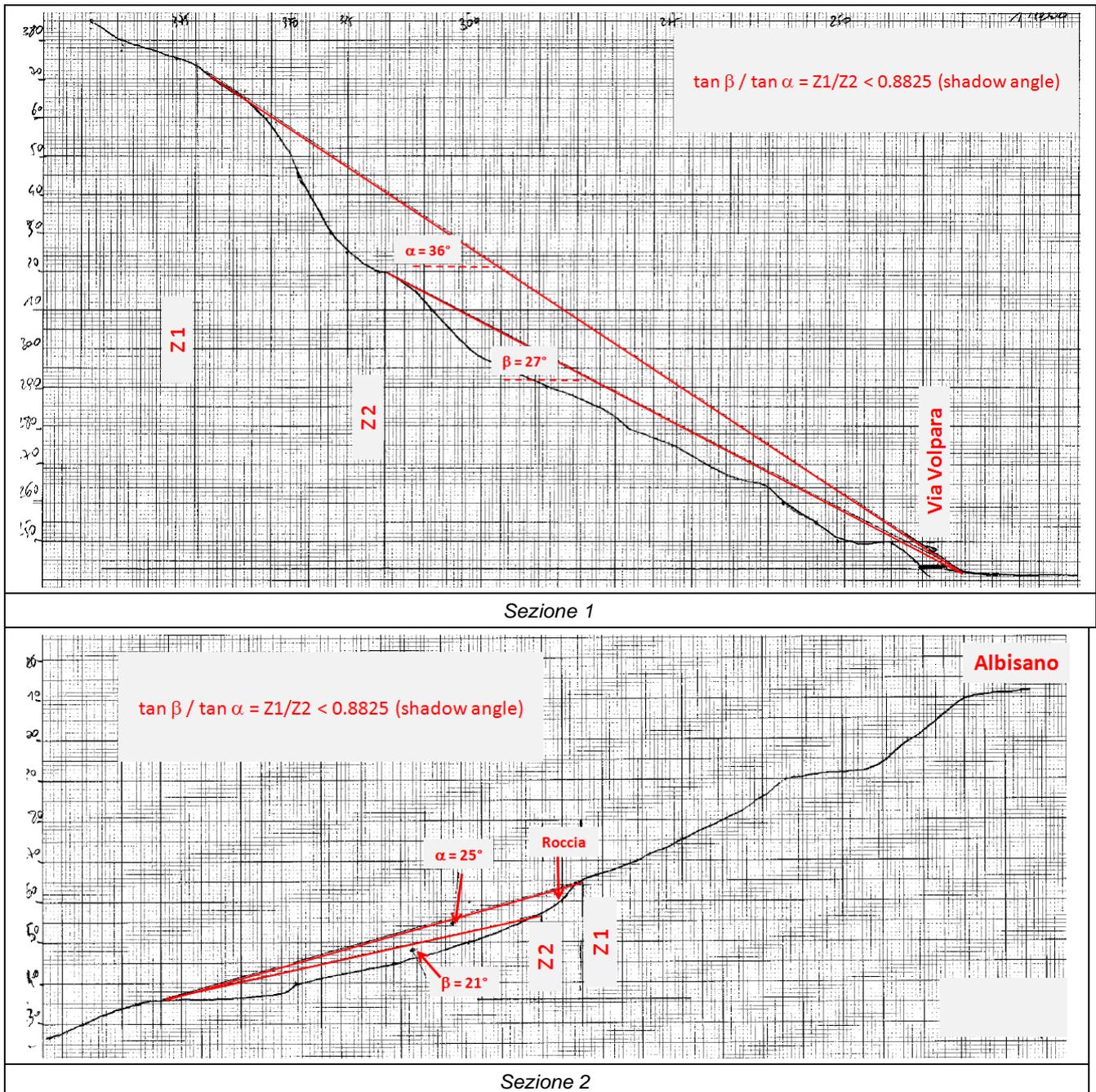


Figura 33: Sezioni analizzate

La potenzialità di innesco è derivata da dati ricavati da inventari, da osservazioni di rilevamento geologico e geomorfologico su forme e depositi legati a precedenti fenomeni di crollo (area sorgente, area occupata dai depositi di precedenti frane in roccia, area di arresto di singoli blocchi); dall'analisi della Carta Geologico-tecnica e da dati basati su eventi sismici passati.

Soprattutto con i rilievi e sopralluoghi in situ si è potuto avere una valutazione semiquantitativa delle traiettorie attese e delle massime distanze percorse dai blocchi soggetti a crollo, basata sulla stima dei massimi avanzamenti potenziali (*runout distance*).

Per le pareti analizzate il rapporto Z1/Z2 è sempre inferiore a 0,8825, di conseguenza si applica il metodo del cono d'ombra, poiché l'angolo definito tra il possibile punto di massimo avanzamento e l'apice del cono detritico, corrispondente alla base della parete rocciosa, è risultato sempre inferiore al valore di 28°, considerato in letteratura come statisticamente significativo. In entrambe le sezioni, la pendenza del detrito a valle dell'affioramento roccioso risulta inferiore al limite fissato (28°), pertanto è ipotizzabile che i punti di arrivo scelti e corrispondenti a superfici poco acclive a valle non siano interessati dal raggiungimento dei massi staccabili. Ciò risulta importante, soprattutto, per la viabilità di Val Volpara..

In ogni caso, cautelativamente, si è proceduto a valorizzare tali sezioni prendendo in considerazione la quota del piano campagna alla base del cono di detrito; l'angolo in gradi definito nell'ambito del metodo del cono d'ombra ed infine la classe di attribuzione FRR basata sulla distanza di rotolamento. Nella Tabella sotto sono riportate la località, la tipologia di urbanizzazione interessata, l'altezza della scarpata (dove geometricamente definibile), i due valori di Z1 e Z2, il valore del rapporto tra Z1 e Z2, il metodo conseguente di stima, la quota del piano campagna alla base del cono di detrito o della variazione significativa di pendenza, l'angolo in gradi definito nell'ambito del metodo del cono d'ombra ed infine la classe di attribuzione FRR, seguendo la Tabella sottostante.

<i>Distanza rotolamento</i>	<i>Codice</i>
Da 0 a 50 metri	FRR1
Da 50 a 100 metri	FRR2
Da 100 a 150 metri	FRR3
Oltre 150 metri	FRR4

Tabella 11: Classi FRR delle frane potenziali in roccia

Per i due siti risulta:

Nr.	Sito	Zona interessata	Altezza scarpata	Z1 (min)	Z2 (max)	Z1/Z2	Metodo di stima	Quota di base	Distanza	Angolo	Classe FRR
1	Albisano	Nudeo residenziale	7	21	29	0.72	Cono d'ombra	265	160	13	*
2	Val Volpara	Viabilità	50	76	130	0.58	Cono d'ombra	243	150	13	FRR3

\* Per questa scarpata il sopralluogo non ha evidenziato pareti rocciose affioranti, ma sub-affioranti e con solo variazioni morfologiche del pendio. La scarpata è stata ugualmente censita e valorizzata, ma poiché mancando l'elemento fondamentale rappresentato da una parete libera non è stata riportata la relativa classe FRR.

Tabella 12: Parametri e classi relative ai due siti

Gli studi di MS con approfondimenti di Livello 2, poiché richiedono particolari condizioni di assetto geologico del sottosuolo (strati del sottosuolo piano paralleli e morfologia piatta), non sono compatibili con le caratteristiche geologiche e geomorfologiche dei versanti instabili e, quindi, come si dirà in dettaglio più avanti, non sono utilizzabili per questo tipo di instabilità permanente cosismica. Pertanto, nelle carte di MS con approfondimenti di livello 2 si riporteranno le  $ZA_{FR}$  definite nel livello 1.

Pertanto, per le analisi delle 2 sezioni riportate la stabilità deve essere valutata in sede successiva mediante singole ed appropriate indagini geomeccaniche per ogni parete e/o porzione di parete. Infatti, i parametri relativi alle quote ed alle distanze delle sezioni sono state ricavate dalla CTR, con le evidenti approssimazioni relative a tale documentazione. Le valutazioni e le stime riportate devono quindi essere considerate come tali e non possono essere considerate come valutazioni geomeccaniche dell'ammasso roccioso e delle traiettorie di caduta dei massi. Queste necessitano di indagini, sia geologiche che topografiche, più approfondite e precise.

### **Cresta rocciosa o cocuzzolo**

Sono considerate zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo quelle formate da pendii con inclinazione maggiore o uguale ai 15° e altezza minore del fianco  $h > 1/3H$ . Il rilievo è stato fatto basandosi sulla base di cartografie (CTR) e sulle classi di pendenza definite con lo studio di 1° Livello. La larghezza alla base è scelta in corrispondenza di evidenti rotture morfologiche.

La normativa (vedasi Linee Guida del Dipartimento di Protezione Civile e quelle regionali) indica che sono da considerare creste solo quelle situazioni che presentano il dislivello altimetrico minimo (h) maggiore o uguale ad un terzo del dislivello altimetrico massimo (H).

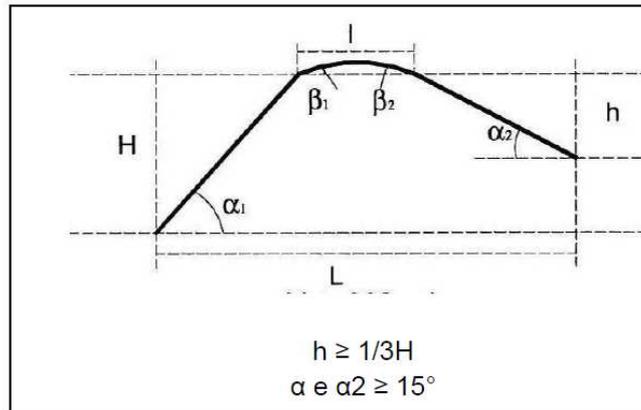
Parlando di creste si distinguono due condizioni:

- rilievo caratterizzato da una larghezza in cresta (l) molto inferiore alla larghezza alla base (L) (cresta appuntita);
- rilievo caratterizzato da una larghezza in cresta paragonabile alla larghezza alla base, ovvero pari ad almeno 1/3 della larghezza alla base; la zona di cresta è pianeggiante o subpianeggiante con inclinazioni inferiori a 10° (cresta arrotondata).

Inoltre è necessario conoscere la larghezza alla base del rilievo (L); la larghezza in cresta del rilievo (l); dislivello altimetrico massimo (H); il dislivello altimetrico minimo (h) dei versanti ed il coefficiente di forma (H/L).

Definiti tali parametri, per la metodologia di calcolo si utilizzano gli abachi messi a disposizione nell'Allegato A della DGR1572/2013, che riprendono quelli delle Linee Guida del Dipartimento di Protezione Civile nazionale.

Sotto è riportato lo schema per la valutazione dei parametri morfologici di riconoscimento di un cocuzzolo e/o cresta suscettibili di amplificazione topografica.



Altezza H	Valori di l
H fino a 20 m	1,5 H
H tra 20 e 40 m	1,2 H
H oltre 40 m	1,0 H

Figura 34: Abaco per la definizione di Fa (0.1-0.5s) da LG DGR 1572/13

In funzione della lunghezza "L" si possono ricavare i fattori di amplificazione Fa secondo le formule indicate nell'abaco sottostante.

	L > 350	250 < L < 350	150 < L < 250	L < 150
<b>Creste Appuntite</b>	$Fa_{0.1-0.5} = e^{1.11H/L}$	$Fa_{0.1-0.5} = e^{0.93H/L}$	$Fa_{0.1-0.5} = e^{0.73H/L}$	$Fa_{0.1-0.5} = e^{0.40H/L}$
<b>Creste Arrotondate</b>	$Fa_{0.1-0.5} = e^{0.47H/L}$			

Tabella 13: Categorie delle creste e Fa (da LG DGR 1572/2013)

Il rilievo è stato fatto basandosi sulla base di cartografie (CTR) e sulle classi di pendenza definite con lo studio di 1° Livello. La larghezza alla base è scelta in corrispondenza di evidenti rotture morfologiche.

La normativa (vedi Linee guida regionali) indica che sono da considerare creste solo quelle situazioni che presentano il dislivello altimetrico minimo (h) maggiore o uguale ad un terzo del dislivello altimetrico massimo (H).

Parlando di creste si distinguono due condizioni:

- Creste appuntite: rilievi caratterizzati da una larghezza in cresta (l) molto inferiore alla larghezza alla base ( $l < 1/3 L$ ).
- Creste arrotondate: rilievi caratterizzati da una larghezza in cresta paragonabile alla larghezza alla base, ovvero pari ad almeno 1/3 della larghezza alla base ( $l \geq 1/3 L$ ); la zona di cresta è pianeggiante o sub pianeggiante con inclinazioni inferiori a  $10^\circ$  ( $\beta_1$  e  $\beta_2 < 10^\circ$ ).

Nelle stesse L.G. sono riportati i valori limite di l (larghezza in cresta), in rapporto all'altezza H dei versanti, oltre i quali non siamo più in presenza di una morfologia tipo cresta ma di due singole scarpate per le quali si procederà come descritto precedentemente per le scarpate.

Altezza H	Valori di I
H fino a 20 m	1,5 H
H tra 20 e 40 m	1,2 H
H oltre 40 m	1,0 H

Tabella 14: Valori limite della larghezza in cresta (I) per il riconoscimento delle morfologie tipo cresta.

L'abaco relativo alle creste permette la valutazione del fattore di amplificazione topografica nell'intervallo di periodo 0,1 ÷ 0,5 s nelle situazioni di cresta appuntita e di cresta arrotondata.

I parametri necessari alla definizione del tipo di cresta ed alla determinazione del valore di Fa sono:

- larghezza alla base del rilievo L ;
- larghezza in cresta del rilievo I ;
- dislivello altimetrico massimo H ;
- coefficiente H / L .

In base al valore del coefficiente H/L, solo per le creste appuntite, ed alla larghezza alla base del rilievo L, si sceglie la curva più appropriata per la valutazione del valore di Fa.

Il valore di Fa topografico determinato andrà assegnato all'area corrispondente alla larghezza in cresta, mentre lungo i versanti tale valore è scalato in modo lineare fino al valore unitario alla base di ciascun versante.

In presenza di coltre detritica alla sommità del rilievo occorre stimare anche il fattore di amplificazione stratigrafico. Il valore di Fa sarà il prodotto di Fa litologico per Fa topografico. Per la determinazione di Fa litologico si procederà come descritto nel successivo paragrafo 3.2.2. .

*Per quanto riguarda il territorio in studio, applicando le regole dettate dalle L.G. regionali si sono riclassificate le zone di cresta/cocuzzolo, qualora abitate, in scarpate proprio perché i valori di "I" misurati erano "non conformi" all'altezza "H".*

## 7.3 AMPLIFICAZIONE LITOLOGICA

### 7.3.1 AMPLIFICAZIONE LITOLOGICA E GEOMETRICA

#### **Zona di fondovalle**

Escludendo la valle del "Fondo Brè" in quanto non abitata e inserita in un contesto di tutela ambientale, si è valutata la Val Volpara, unica incisione significativa nel contesto comunale urbanizzato. Essa, appartiene alla classe P4 dell'elenco degli scenari di pericolosità locale e, pertanto, si è valutato se si tratta di valle larga o stretta, come suggerito dagli "indirizzi e criteri per la microzonazione ..., 2008" cercando inizialmente il coefficiente  $C_v$  dato dal rapporto  $h/l$ , dove  $h$  è lo spessore della coltre alluvionale ed  $l$  la sua semiampiezza.

E' necessario, comunque, tenere in considerazione che il valore di Fa determinato con la procedura semplificata è valido per il centro della valle; allontanandosi dal centro della valle e avvicinandosi ai fianchi l'approssimazione diventa meno soddisfacente. Si è verificato se:

$$\frac{h}{l} > \frac{0,65}{\sqrt{C_v - 1}}$$

dove :

- h è lo spessore della coltre di copertura ;
- l la sua semiampiezza ;
- Cv rappresenta il rapporto tra la velocità Vs del substrato e la velocità Vs dei terreni di copertura.

Nelle valli strette la stratigrafia del sottosuolo può avere rapidi cambiamenti laterali, soprattutto del tetto del substrato rigido, e quindi si rende necessario ricorrere a stime dell'amplificazione sismica con analisi bidimensionali (quindi procedure di 3° Livello). Si veda anche l'abaco proposto nella sottostante **Figura 36**.

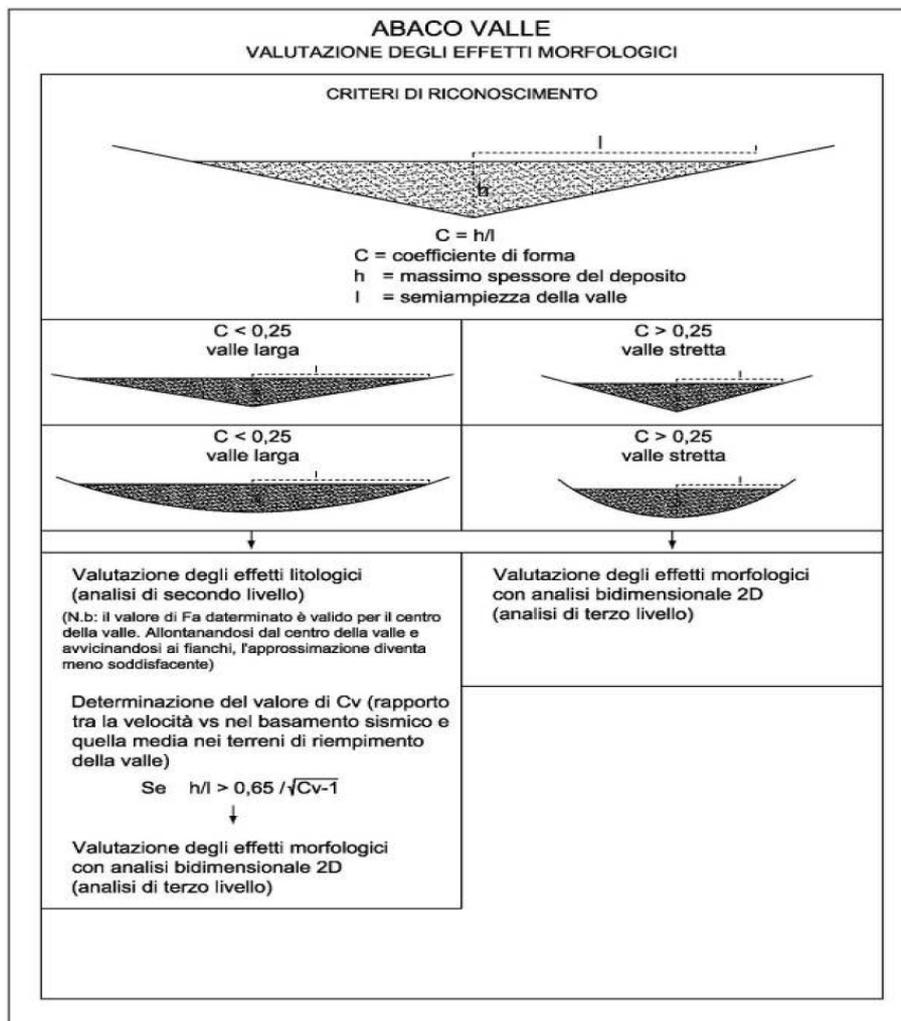


Figura 35: Abaco per la valutazione degli effetti morfologici delle valli.

Assumendo gli spessori della coltre in valle ricavati sia dalle indagini geognostiche e sismiche sia pregresse sia dalle quelle attuali, nonché i valori delle Vs per il materiale sciolto ed il sottostante substrato risulta che la Valle Volpara ha un valore "C" > 0.25 e, quindi, si tratta di "valle stretta" e ogni intervento urbanistico e/o di infrastrutture necessita di approfondimenti di 3° Livello.

### 7.3.2 AMPLIFICAZIONE LITOLOGICA

Relativamente alle possibili amplificazioni sismiche su base litologica, la procedura consiste in un approccio di tipo semiquantitativo e fornisce la stima quantitativa della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di amplificazione (**Fa**). Gli studi sono condotti con metodi quantitativi semplificati, validi per la valutazione delle amplificazioni litologiche e geometriche e sono utilizzati per "zonizzare" l'area di studio in funzione del valore di Fa.

La procedura semplificata richiede la conoscenza dei seguenti parametri:

- litologia dei materiali presenti nel sito (litologie ghiaiose e litologie argilloso limose);
- stratigrafia del sito;
- andamento con la profondità delle Vs fino a valori pari o superiori a 800 m/s; in mancanza del raggiungimento del bedrock ( $V_s \geq 800$  m/s) con le indagini è possibile ipotizzare un opportuno gradiente di Vs con la profondità sulla base dei dati ottenuti dall'indagine, tale da raggiungere il valore di 800 m/s.
- spessore, peso di volume e velocità di ciascun strato;
- sezioni geologiche, conseguente modello geofisico-geotecnico ed identificazione dei punti rappresentativi sui quali effettuare l'analisi.

Questa procedura semplificata prevede l'impiego di abachi di riferimento formulati dal Dipartimento di Protezione Civile - ICMS 2008 - reperibili nel Volume III degli "Indirizzi ...".

Gli ICMS (2008) definiscono, nell'ambito degli studi di Livello 2, una serie di abachi finalizzati all'individuazione di un valore che caratterizzi le microzone stabili suscettibili di amplificazioni locali in termini di fattori di amplificazione.

A differenza degli aspetti morfologici dove la procedura di 2° Livello fornisce valori di Fa solo per l'intervallo  $0.1 < T_0 < 0.5$ s, a causa codici di calcolo bidimensionale che sono influenzabili da moto di input nel periodo  $0.5 < T_0 < 1.5$ s; per gli effetti litologici la procedura dà valori di Fa per entrambi gli intervalli di periodo considerati.

Le amplificazioni dovute ad effetti litostratigrafici sono espresse con due fattori numerici (Fa e Fv) da applicare alle ordinate spettrali a basso periodo (Fa) e alto periodo (Fv).

Come detto, si sono utilizzati gli abachi degli ICMS (2008) mancando quelli definiti a scala regionale, che dovrebbero rappresentare la situazione sismotettonica regionale a seconda delle caratteristiche peculiari degli ambienti che le caratterizzano. Nello specifico, l'attribuzione di Fa e Fv è stata raggiunta utilizzando il software "SICcode" della Programgeo secondo il metodo ICMS2008. La tabella seguente esemplifica un abaco contenuto nelle Linee Guida 2008.

Fattore di amplificazione FA	Tipo di terreno Ghiaia	$a_s$ (g) 0.24g									
		Profilo di velocità Lineare pendenza intermedia									
		V <sub>s</sub> (m/s)									
		150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
K	5	-	1.80	1.74	1.60	1.38	1.11	1.10	1.05	1.01	1.01
	10	-	-	2.02	1.70	1.47	1.13	1.25	1.17	1.06	1.02
	15	-	-	-	1.93	1.69	1.11	1.37	1.25	1.12	1.04
	20	-	-	-	1.97	1.79	1.12	1.47	1.35	1.18	1.06
	25	-	-	-	1.87	1.79	1.14	1.51	1.39	1.21	1.08
	30	-	-	-	1.74	1.69	1.62	1.50	1.40	1.22	1.09
	35	-	-	-	1.59	1.60	1.54	1.48	1.39	1.22	1.09
	40	-	-	-	1.50	1.52	1.48	1.41	1.36	1.21	1.09
	50	-	-	-	1.42	1.39	1.32	1.31	1.27	1.17	1.07
	60	-	-	-	1.33	1.33	1.30	1.22	1.18	1.12	1.04
	70	-	-	-	-	1.27	1.26	1.22	1.15	1.06	1.00
	80	-	-	-	-	1.21	1.20	1.19	1.15	1.04	0.98
	90	-	-	-	-	1.14	1.15	1.15	1.12	1.04	0.96
	100	-	-	-	-	1.08	1.10	1.11	1.09	1.03	0.95
	110	-	-	-	-	1.02	1.06	1.06	1.05	1.01	0.95
120	-	-	-	-	0.97	1.01	1.03	1.03	0.99	0.93	
130	-	-	-	-	0.91	0.97	0.99	0.99	0.97	0.92	
140	-	-	-	-	0.91	0.94	0.96	0.97	0.96	0.91	
150	-	-	-	-	0.87	0.91	0.93	0.94	0.93	0.89	

Tabella 15: Esempio di utilizzo dell'abaco ICMS 2008 (Dip. Prot. Civ.)

Tutte le elaborazioni effettuate prevedono, da norma, la presenza di un bedrock sismico avente  $V_s = 800$  m/s al di sotto della profondità H.

Prima di passare alla descrizione dei risultati, qui, si fanno due precisazioni:

- Per ciascun spessore H si è anche calcolato il periodo proprio del sito T con la seguente equazione:

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

dove  $h_i$  e  $V_{s_i}$  sono lo spessore e la velocità dello strato  $i$ -esimo del modello stratigrafico

necessario qualora si voglia utilizzare le schede di valutazione di altre Regioni (es. Lombardia)

- Sia per gli abachi ICMS 2008 utilizzati, sia per le eventuali schede di valutazione regionale si fa riferimento, di norma, ad una stratigrafia, anche per T, fino alla profondità in cui il valore della velocità  $V_s$  è  $\geq 800$  m/s (suolo di tipo A). Si sottolinea, qui, che la condizione  $V_s \geq 800$  m/s è alquanto ottimistica per gran parte delle rocce del substrato roccioso italiano. Infatti, generalmente, i litotipi italiani pur avendo un comportamento classificabile come suolo di classe A, presentano una  $V_s < 800$  m/s. L'applicazione rigida della norma porterebbe a non classificare in classe A buona parte del territorio italiano, sia con rocce sedimentarie ma anche ignee e metamorfiche. Su tale base si è considerato bedrock sismico anche i terreni che presentassero  $V_s$  leggermente inferiori a 800 m/s (da 700 m/s in su).

Le tabelle ICMS 2008 contenute nelle Linee Guida nazionali sono ordinate per litotipo (Argille, Sabbie e Ghiaie) e, all'interno di ciascun litotipo, per tipo di profilo di velocità assunto (costante, variabile linearmente con la massima pendenza compatibile con il valore di  $V_s/H$ , e variabile linearmente con pendenza intermedia fra costante e massima).

La scelta del tipo di profilo va fatta sulla base delle conoscenze specifiche ottenute con il Livello 2: in generale quando lo spessore di sottosuolo diventa considerevole (diverse decine di metri), è poco probabile che il profilo di velocità si mantenga costante, ed è quindi preferibile orientarsi verso le tabelle riferite al profilo variabile linearmente con pendenza intermedia. Il profilo con pendenza massima fornisce in genere risultati più cautelativi e andrebbe utilizzato quando si può effettivamente ipotizzare che ci siano gradienti molto accentuati con la profondità.

I dati relativi a spessori  $H$  molto elevati (da 50 a 150 metri) sono inseriti per consentire di riferirsi a situazioni in cui è prevedibile che le proprietà dei terreni siano gradualmente crescenti con la profondità, senza contrasti di impedenza evidenti

Il valore di  $F_a$  determinato deve essere approssimato alla prima cifra decimale ed utilizzato per valutare il grado di protezione raggiunto al sito dall'applicazione della normativa sismica vigente.

La valutazione del grado di protezione viene effettuata in termini di contenuti energetici, confrontando il valore di  $F_a$  ottenuto dalle schede di valutazione con un parametro di analogo significato calcolato e valido per ciascuna zona sismica (zona 2, 3 e 4) e per le diverse categorie di suolo soggette ad amplificazioni litologiche (B, C, D ed E) e per i due intervalli di periodo  $0.1 \div 0.5$  s e  $0.5 \div 1.5$  s.

Si precisa che la scelta dei dati stratigrafici, geotecnici e geofisici, in termini di valori di  $V_s$ , utilizzati nella procedura di 2° Livello è stata motivata ed a ciascun parametro utilizzato è stato assegnato un grado di attendibilità, secondo il seguente schema:

<i>Dati</i>	<i>Attendibilità</i>	<i>Tipologia</i>
Litologici	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Alta	Da prove di laboratorio su campioni e da prove in sito
Stratigrafici (spessori)	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Media	Da prove indirette (penetrometriche e/o geofisiche)
	Alta	Da indagini dirette (sondaggi a carotaggio continuo)
Geofisici ( $V_s$ )	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Media	Da prove indirette e relazioni empiriche
	Alta	Da prove dirette (sismica in foro o sismica superficiale)

Tabella 16: Livelli di attendibilità da assegnare ai risultati

Si ribadisce, come riportato nel paragrafo 2.4.1 degli ICMS (2008), che le geometrie delle zone stabili e stabili suscettibili di amplificazioni locali, definite nel Livello 1, nella stesura delle Carte di microzonazione sismica di Livello 2 e 3, possono essere modificate.

## 7.4 RISULTATI DELLO STUDIO DI 2° LIVELLO

Lo studio, le valutazioni in situ e le conseguenti analisi dei dati acquisiti con le tipologie d'indagine elencate sopra hanno permesso di approfondire la zonizzazione sismica del territorio comunale, relativamente alle aree suscettibili ad amplificazione sismica, come da normativa, e già messe in luce con la procedura di 1° Livello.

La valutazione della congruità o meno dei fattori di amplificazione sismica tra risultati di campagna e valori soglia normativi si basa, come detto, su una serie di indagini sismiche (MASW e HVSR) distribuite sul territorio e che hanno anche compreso alcune zone classificate già con il 1° Livello come instabili.

Di seguito, si sono anche calcolati i seguenti parametri sismici che caratterizzano il territorio comunale.

### 7.4.1 CLASSE DI SUOLO

La Tabella sotto riporta in sintesi i risultati emersi con le 25 indagini MASW. Nella stessa sono riportati anche i risultati, poi, commentati nella descrizione della carta di Microzonazione sismica (MS).

Codice Indagine	Codice MASW	Vs30 (m/s)	Classe suolo	Fa ICM S	FV ICM S	Ss NTC
L17	1	589	B	1.56	1.56	1.2
L18	2	641	B	1.56	1.44	1.2
L19	3	681	B	1.44	1.32	1.2
L20	4	857	A	1.44	1.32	1.0
L21	5	522	B	1.80	1.68	1.6
L22	6	896	A	1.44	1.32	1.0
L23	7	856	A	1.44	1.32	1.0
L24	8	565	B	1.80	1.80	1.2
L25	9	646	B	1.68	1.56	1.6
L26	10	607	B	1.68	1.44	1.2
L27	11	420	B	1.92	1.80	1.2
L28	12	375	B	1.92	2.04	1.2
L29	13	409	B	1.92	1.80	1.2
L30	14	454	B	1.60	1.50	1.2
L31	15	518	B	1.50	1.40	1.6
L32	16	386	B	1.40	1.70	1.2
L33	17	767	B	1.92	1.80	1.2
L34	18	728	B	2.04	2.40	1.2
L35	19	1137	A	1.56	1.44	1.0
L36	20	990	A	1.80	1.56	1.0
L37	21	734	B	1.92	1.80	1.2
L38	22	807	A	1.68	1.56	1.0
L39	23	1076	A	1.68	1.56	1.0
L40	24	1039	A	1.68	1.56	1.0
L41	25	506	B	2.04	2.28	1.6

**Annotazioni:**  
 > Fa e FV calcolati con software SICcode della Programgeo con accelerazioni legate al sito di indagine  
 > Litologie prevalenti lungo la verticale: ghiaie ± sabbiose o ghiaie in matrice limoso-sabbiosa  
 > E' stato considerato anche il fattore St (NTC)

Tabella 17: Parametri ricavati per i siti indagati con MASW

I suoli sono classificabili come "B" per l' 68%, mentre i siti classificabili di tipo "A" sono il 32%. Si ribadisce che, essendo il territorio comunale, caratterizzato da versanti con pendenze maggiori di 15°, i parametri ricavati e mostrati in Tabella tengono conto del fattore "St".

Le categorie di suolo definite secondo la classificazione contenuta nelle Norme Tecniche delle Costruzioni (D.M. 14.01.2008), sono:

L'aver integrato le indagini HV e soprattutto avendo avuto la disponibilità di molti dati stratigrafici nuovi, ha permesso di ricavare in tali verticali di terreno non solo la frequenza di risonanza (Hz) del sito con le relative ampiezze, ma estrapolare anche la classe di sottosuolo mediante le Vs30 ottenute. Si riporta nella Tabella sotto la sintesi dei risultati

Codice Indagine	Nr HVSR	Frequenza fondamentale (Hz)	Vs 30	Classe suolo NTC	Fa ICMS 2008	Fv ICMS 2008
109		>20	834	A	1.7	1.4
114		8.59	417	B	1.9	1.8
125		>20	906	A	1.7	1.6
126		>20	855	A	1.7	1.6
127		>20	829	A	1.6	1.9
128		>20	726	B	1.6	1.2
138		>20	481	B	1.6	1.6
146	25	2.80	501	B	1.4	1.6
147	26	6.00	548	B	2.0	2.2
148	27	3.90	479	B	1.4	1.7
149	28	2.70	385	B	1.6	1.9
150	29	19.20	459	B	1.4	1.7
151	1	7.40	530	B	1.9	1.4
152	2	11.70	534	B	1.6	1.4
153	3	11.70	676	B	1.4	1.7
154	4	5.80	510	B	2.0	1.4
155	5	9.20	404	B	1.4	1.8
156	6	8.90	467	B	1.6	1.8
157	7	5.50	421	B	1.4	1.6
158	8	3.10	482	B	1.7	1.6
159	9	14.90	463	B	1.6	1.5
160	10	0.80	528	B	1.4	1.6
161	11	1.30	427	B	1.4	1.7
162	12	3.60	401	B	1.5	1.6
163	13	8.90	512	B	1.8	1.2
164	14	3.40	458	B	1.5	1.4
165	15	3.40	207	C	1.9	2.6
166	16	15.70	497	B	2.3	2.0
167	17	8.00	443	B	1.6	1.9
168	18	5.90	408	B	1.4	1.7
169	19	1.30	408	B	1.4	1.7
170	20	4.70	684	B	1.4	1.3
171	21	13.60	414	B	1.4	1.8
172	22	3.00	353	C	1.3	1.4
173	23	2.60	597	B	1.4	1.3
174	24	1.60	513	B	1.3	1.6
175	30	8.80	829	A	1.8	1.4
176	31	1.50	353	C	1.4	1.8
177	32	8.50	558	B	2.2	1.8
178	33	1.50	455	B	1.4	1.7
179	34	1.80	395	B	1.6	1.9
180	35	1.00	473	B	1.8	1.6
181	36	1.30	413	B	1.4	1.8
182	37	1.20	432	B	1.8	1.8
183	38	16.00	422	B	1.6	1.8
184	39	15.00	465	B	1.6	1.7
185	40	2.70	470	B	1.4	1.7
186	41	2.70	431	B	1.9	2.0
187	42	13.70	458	B	1.8	1.7
188	43	13.80	629	E	2.2	2.9
189	44	9.30	482	B	1.3	1.6
190	45	5.30	490	B	1.9	1.4
191	46	6.80	731	B	1.6	1.3
192	47	6.80	289	C	1.6	2.0
193	48	2.40	539	B	1.4	1.4
194	49	14.10	413	B	1.9	1.9

I valori di frequenza di risonanza sono ricavati da software GeoHVSR  
I parametrismi sismici da software SICcode  
Le indagini n. 109 ÷ 138 sono pregresse e con f0 >20 Hz  
E' stato considerato anche il fattore St (NTC)

Tabella 18: Parametri ricavati per i siti indagati con HVSR

Le classi di suolo, come da NTC2008 sono:

Classe	Descrizione	$S_E$
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s30}$ superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 3 m.	1.00
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, con spessori superiori a 30m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ , compresi fra 360 m/s e 800 m/s ( $N_{spt,30} > 50$ nei terreni a grana grossa o $c_{u30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).	$1.00 \leq 1.40 - 0.40 F_{0a_{bedrock}} \leq 1.20$
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ compresi fra 180 e 360 m/s ( $15 < N_{spt,30} < 50$ nei terreni a grana grossa, $70 < c_{u30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).	$1.00 \leq 1.70 - 0.60 F_{0a_{bedrock}} \leq 1.50$
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati oppure di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30} < 180$ m/s ( $N_{spt,30} < 15$ nei terreni a grana grossa, $c_{u30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).	$0.90 \leq 2.40 - 1.50 F_{0a_{bedrock}} \leq 1.80$
E	Terreni di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, giacenti su un substrato di riferimento ( $V_{s30} > 800$ m/s).	$1.00 \leq 2.00 - 1.10 F_{0a_{bedrock}} \leq 1.60$

$F_0$  è l'amplificazione spettrale massima, su bedrock orizzontale, e ha un valore minimo di 2.2; si ricava, come  $a_{bedrock}$ , dalla tabella allegata al D.M.14/1/08.

Tabella 19: Categorie di suolo (NTC 2008)

## 7.5 CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA MS2

Osservando la **Carta di Microzonazione sismica - MS** del territorio in studio si possono fare le seguenti osservazioni:

- La Carta MS illustra le condizioni geologico-sismiche, espresse attraverso il fattore di amplificazione  $F_a$  per i nuclei abitati nel territorio comunale.
- L'analisi, in chiave sismica, della risposta del sottosuolo valutata sia con misure in campo sia mediante software dedicati, ha confermato le condizioni di "stabilità suscettibile di amplificazione", che caratterizzano la quasi totalità del territorio, ad esclusione delle varie aree di "instabilità" già emerse con il 1° Livello.
- Il territorio studiato (vedasi la Carta MS) rientra nelle classi di amplificazione definite dagli indirizzi nazionali con Valori di  $F_a$  appartenenti alle classi: 1) **Fa 1.1÷1.2**; 2) **Fa 1.3÷1.4**, 3) **Fa 1.5÷1.6**, 4) **Fa=1.7÷1.8** e 5) **Fa=1.9÷2.0**.
- Le instabilità identificate sono le seguenti:
  - "Zone di Attenzione **ZA<sub>FR</sub>** " per instabilità di versante", corrispondente al Vallone di Valdana ed al sottostante conoide di Piaghen, al versante tra Loc. Canevini e Loc. Acque Fredde; Alla fascia sommitale del fianco destro di Val Volpara tra Monte Toel e Monte Luppia; Il versante Sud di Monte Are; nonché le pareti rocciose che costeggiano la strada Gardesana soprattutto tra il Capoluogo ed il confine meridionale comunale, nonché tra il capoluogo e Loc. La Pozza.
  - "Zone di attenzione **ZA<sub>CD</sub>** per cedimenti differenziali in corrispondenza di aree con terreni scadenti costituenti i siti caratterizzati da forme dolinali carsiche.
  - "Zone di attenzione **ZA<sub>LQ</sub>**" per Liquefazione, legate a presenza di livelli di litologie sabbioso-limose, specie in matrice, con soggiacenza della falda minore di 15 m. Si è identificata

come Zona con questo tipo di instabilità il fondo della Valle Volpara e quello della valle a SE del Monte Fontane

Si descrivono di seguito le zone indagate con il 2° livello, in funzione del **Fa**, inteso anche come prodotto di Fa stratigrafico e Fa topografico, quando esistenti le condizioni.

**Zona Pai e Pai Alto:** si sono riscontrati Fa compresi tra 1.5 e 1.8 in conseguenza degli elementi amplificatori litologici e topografici. Chiaramente i valori maggiori sono in cresta del rilievo o dove questo presenta acclività elevate. La fascia settentrionale della Gardesana Orientale a Nord di Pai presenta anche valori di Fa = 2.0; mentre verso Piaghen i valori trovati sono in genere nella classe 1.5÷1.6.

**Fascia Gardesana:** tra Frader ed il capoluogo; nonché tra questo e il depuratore comunale a Sud la fascia di rilievo è caratterizzata da un Fa compreso tra 1.9 e 2.0 in conseguenza degli elementi amplificatori litologici e topografici. Solo nella fascia soprastante ed in Loc. Eremitaggio si passa a Fa tra 1.5 e 1.6.

**Fascia di medio versante:** questa fascia è poco urbanizzata e quello che c'è ricade in parte nella sottostante Fascia, in parte in quelle di Albisano. I pochi nuclei urbanizzati normalmente sono risultati inaccessibili essendo proprietà private con referenti esteri. I valori testimoniano che, almeno dove è stato possibile fare delle indagini, i valori testimoniano una morfologia sotterranea del substrato di tipo "capricciosa".

**Albisano:** qui si sono riscontrati Fa oscillanti tra 1.7 e 1.8 nella porzione Nord dell'abitato, mentre quella meridionale presenta valori di Fa tra 1.5 e 1.6.

**Val Volpara:** il fondovalle presenta valori di Fa tra 1.3 e 1.4, ma per le motivazioni ampiamente scritte sopra ogni azione edilizia sarà soggetta ad approfondimenti di 3° Livello.

**Capoluogo:** i valori di Fa sono relativamente suddivisibili in due fasce: la prima, quella prospiciente al lago presenta Fa (somma di stratigrafia e morfologia) variabili. In particolare, i valori fa di 1.5÷1.6 caratterizzano i "bordi" lacuali e il centro sino a Ortoglie e in parte Crosetta. Il restante Capoluogo è caratterizzato da Fa appartenenti alla classe Fa = 1.9÷2.0.

## 7.6 SOTTOSUOLO E FREQUENZE

Nel territorio comunale sono state eseguite anche 56 misure di frequenza naturale dei terreni al fine di fornire indicazioni sull'azione sismica di progetto e di valutare la risposta sismica locale lungo la verticale indagata. Inoltre, è possibile individuare le discontinuità sismiche nel sottosuolo e la profondità del bedrock sismico, effettuando anche una stima delle onde di taglio Vs30.

I grafici riportati nell'**Allegato H** sono la trasformazione dei grafici del rapporto H/V – profondità, dove l'ampiezza del rapporto H/V descrive in modo relativo l'ampiezza del contrasto di impedenza tra i due mezzi ad una determinata profondità.

Ogni picco del grafico corrisponde ad una discontinuità sismica (contrasto di impedenza) che corrisponde ad una discontinuità stratigrafica. Chiaramente maggiore è il contrasto d'impedenza e maggiore è l'ampiezza del picco H/V pur non essendo lineare la loro relazione.

Resta, comunque, chiaro che, data l'elevata variabilità morfologica, geologica e litostratigrafica in ambito comunale, la Carta delle frequenze naturali dà solo delle indicazioni puntuali di tale parametro non potendo coprire totalmente, in questo studio, l'intero Comune, nonostante il numero di HVSR eseguito.

Si ritiene, pertanto utile che tali indagini vengano eseguite sui singoli siti interessati dalla progettazione. Sarà, poi, cura dell'ufficio tecnico comunale, o degli incaricati da esso, aggiornare costantemente la cartografia dedicata agli aspetti sismici del territorio.

I risultati H/V ottenuti nei 56 siti investigati con metodologia HVSR sono anche messi in grafico nella Figura sotto, per una maggiore comprensione.

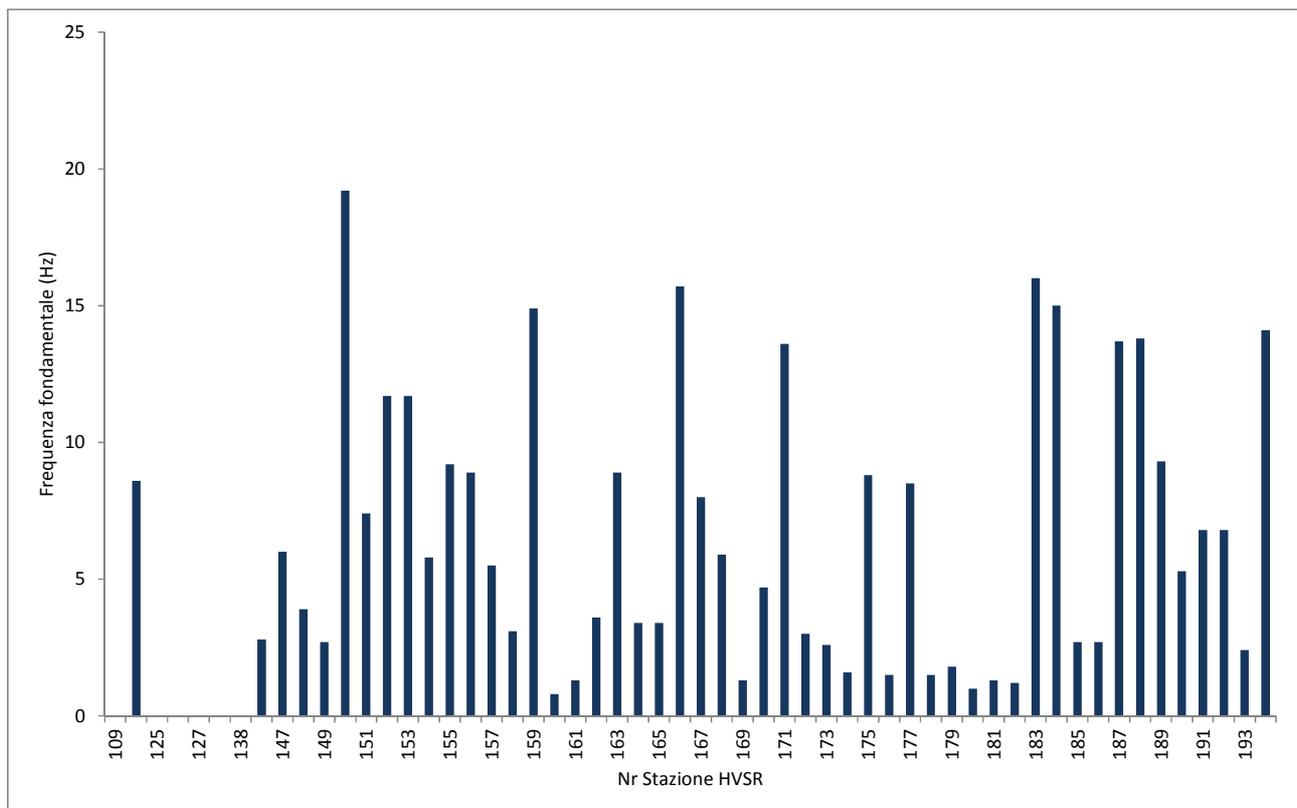


Figura 36: Grafico delle F0 registrate nei siti investigati

### 7.6.1 FREQUENZA NATURALE E STRUTTURE

Si fa cenno, qui, alle applicazioni che la conoscenza delle frequenze fondamentali ed i parametri da essa derivati può avere in relazione ai problemi di vibrazione delle strutture.

E' stato dimostrato che la vulnerabilità agli eventi sismici di un edificio di costruzione relativamente recente è solo marginalmente collegabile alle modalità costruttive dello stesso. Molto più gravoso è l'effetto dell'amplificazione sismica locale, che tende ad aumentare in maniera importante l'intensità delle forze sismiche agenti sulla struttura.

In particolare se la frequenza di risonanza dell'edificio è confrontabile con quella dei terreni di fondazione si verifica il fenomeno della risonanza accoppiata che comporta un'amplificazione delle sollecitazioni sismiche sull'opera.

Al fine di valutare tale rischio è, pertanto, necessario considerare se la frequenza di risonanza fondamentale dell'edificio corrisponde con uno dei picchi di risonanza del terreno di fondazione evidenziati con l'indagine HVSR.

E' risaputo che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza e può essere o calcolata secondo la formula seguente:

$$\text{frequenza naturale dell'edificio} \approx 10\text{Hz}/\text{numero di piani}$$

È la risonanza tra terreno e struttura data dalla relazione:

$$\text{frequenza naturale dell'edificio} \approx \text{frequenza naturale della copertura di terreno}$$

ad essere pericolosa perché induce alla massima amplificazione.

La combinazione delle due espressioni ora scritte porta alla relazione:

$$10\text{Hz}/\text{numero di piani} \approx V_s/4H$$

dalla quale si può ricavare una relazione di prima approssimazione tra il numero di piani dell'edificio e lo spessore delle coperture nel sito dell'edificio stesso che possono determinare situazioni pericolose e devono quindi essere oggetto di studi approfonditi.

Si veda anche il grafico sottostante:

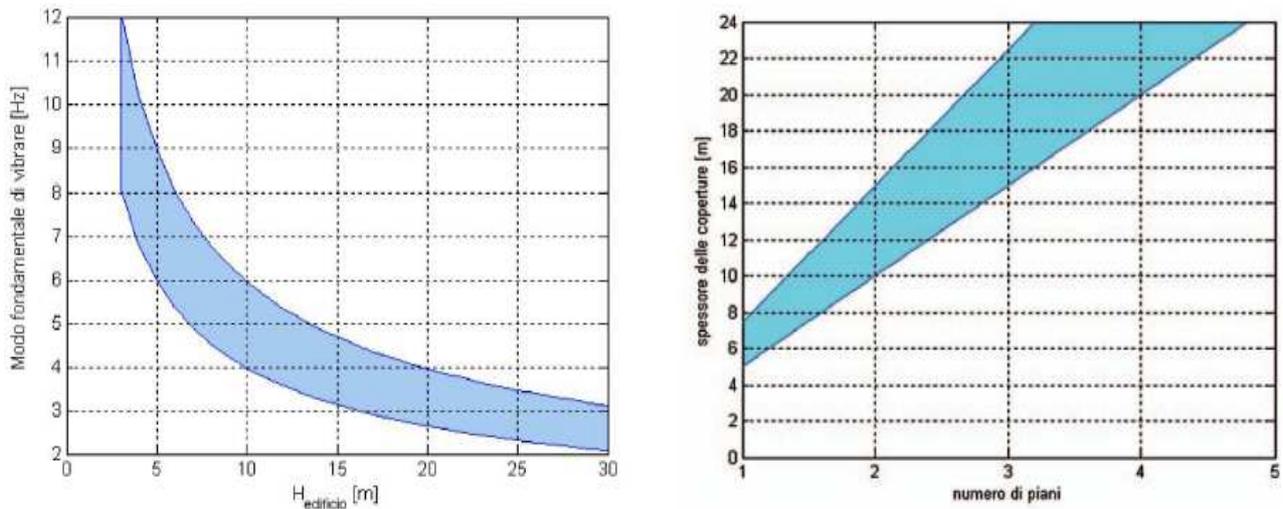


Figura 37: Relazione tra altezza di un edificio in c.a. e frequenza di risonanza del sito investigato. La zona in blu indica l'area più vulnerabile dal punto di vista dei fenomeni di doppia risonanza.

Osservando il grafico delle F0 sopra riportato si osserva che

- Il 46.9% dei picchi hanno una frequenza fondamentale inferiore a 5Hz (media 2.4Hz) con alcuni (10) che arrivano a 1÷2 Hz. Ciò significa che l'altezza critica degli edifici è >10÷15 metri.
- Il 32.6% dei picchi hanno una frequenza fondamentale tra 5Hz e 10Hz (media 7.6Hz). Ciò significa che l'altezza critica degli edifici è ~5÷6 metri o a due piani.
- Il 22.4% dei picchi hanno una frequenza fondamentale superiore a 10Hz (media 14.5Hz). Ciò significa che l'altezza critica degli edifici ad un solo piano.

In fase di progettazione esecutiva pertanto si dovrà aver cura di verificare che a tali picchi non corrisponda la frequenza di risonanza fondamentale degli edifici.

## 8 PRESCRIZIONI PER LA PIANIFICAZIONE URBANISTICA

Si premette che per ogni intervento in progetto ricadente delle diverse zone perimetrate e classificate in chiave sismica del territorio comunale si dovranno adottare le procedure di indagine previste alle Norme Tecniche per le Costruzioni ÷ D.M. 14.01.2008 del Ministero delle Infrastrutture (GU n.29 del 04/02/2008) e relativa Circolare esplicativa, aggiornamenti e modifiche.

In particolare, si dovrà fare riferimento alle seguenti paragrafi e/o capitoli: Capitolo 3: Azioni sulle costruzioni, §3.2 Azione sismica; Capitolo 7: Progettazione per azioni sismiche (strutture nuove); Capitolo 8: Costruzioni esistenti, §8.7 Valutazione e progettazione in presenza di azioni sismiche; Allegato A: Pericolosità sismica; Allegato B: Tabelle che definiscono l'azione sismica nel territorio italiano.

La classe di suolo dovrà essere definita preferibilmente attraverso la misura diretta dei parametri sismici del sottosuolo in numero adeguato alle caratteristiche dell'opera.

### 8.1 AREE STABILI SUSCETTIBILI AD AMPLIFICAZIONE SISMICA

In queste aree, dove si preveda di eseguire ristrutturazioni con modifiche strutturali, ampliamenti, nuove costruzioni ed opere infrastrutturali, si dovrà, oltre alle indicazioni normative citate sopra:

- A. Eseguire, in sede di P.I. e successive Varianti, uno studio di 2° per le zone dove si prevedono trasformazioni urbanistiche del territorio od incremento dei carichi urbanistici; nonché per il territorio compreso nel perimetro del "centro abitato". Questo Livello è richiesto e ritenuto sufficiente nelle aree prive di particolari complicazioni, nelle quali sono attesi solo effetti di amplificazione (P3, P4c, P4d, P4e; P1c, P2, P4a - ALL. A. della DGR 1572/2013).
- B. Caratterizzare il terreno mediante indagini geologiche e geofisiche spinte fino a profondità tali da qualificare il volume significativo influenzato, direttamente o indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che influenza il manufatto stesso.
- C. Valutare l'effetto della risposta sismica locale (RSL) mediante specifiche analisi o in rapporto ad un approccio semplificato che si basa sull'individuazione di Categorie di Sottosuolo di riferimento. Il D.M. 14.01.08 raccomanda la misura diretta delle velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_s$  e, per Categorie di Sottosuolo speciali o nel caso di specifiche analisi di risposta sismica locale, impone di approfondire le conoscenze del sottosuolo mediante specifiche indagini in sito e prove di laboratorio, nonché di eseguire analisi numeriche di RSL.
- D. Come previsto dal DM 14.01.2008, qualora si addotti un approccio semplificato, la classificazione può essere basata sulla stima dei valori della velocità media delle onde sismiche di taglio " $V_s$ " ovvero sul numero medio di colpi  $N_{spt}$  per terreni a grana grossa, e coesione non drenata media " $c_u$ ", per terreni a grana fine. Le misure in foro dovranno essere eseguite almeno ogni tre metri di profondità fino a quella prevista dal DM 14.01.2008. Le

misure dirette delle onde di taglio “Vs” acquisite con metodi geofisici di superficie sono da preferire ai metodi indiretti. Dovranno essere allegati alla relazione geologica i grafici di misura e d’interpretazione delle prove in sito.

- E. Produrre uno studio finalizzato alla determinazione della profondità del bedrock sismico in funzione della definizione del periodo proprio di vibrazione del sottosuolo.
- F. Valutare, sulla base delle cartografie redatte con il 1° e con il successivo 2° Livello di studio microsismico nonché dei fattori di amplificazione ottenuti con gli abachi, la scelta di eventuali approfondimenti da effettuare per l’identificazione delle categorie di sottosuolo. Tali risultati possono essere utilizzati per la progettazione se il sito interessato dalla costruzione presenta caratteristiche conformi alle ipotesi di base utilizzate all’elaborazione degli abachi di calcolo stessi: il sottosuolo deve essere assimilabile ad una successione di strati approssimativamente piano paralleli, con modeste irregolarità morfologiche. A partire dal confronto tra l’azione sismica ricavata dagli abachi con quella che si ottiene utilizzando la categoria del sottosuolo e lo spettro per essa previsto dalla normativa è possibile: 1) utilizzare l’azione più gravosa tra le due; 2) demandare al progettista la scelta o richiedere ulteriori approfondimenti.
- G. Evitare, d’accordo con il progettista, l’effetto di doppia risonanza suolo-struttura. Infatti, è ormai consolidata la tesi che le strutture subiscono le sollecitazioni sismiche maggiori quando c’è coincidenza tra la frequenza di vibrazione naturale del terreno investito da un’onda sismica e quella dell’edificio.
- H. Valutare le amplificazioni locali di carattere litostragrafico qualora il bedrock sia a profondità superiore ai 3 metri. L’amplificazione potrà essere determinata come indicato dall’Eurocodice 8 (vedasi anche Indirizzi e criteri di microzonazione sismica – Febbraio 2008 – conferenza Stato e Regioni). Parimenti sono da applicare le prescrizioni per gli effetti morfologici del sito.
- I. Nelle fasce di contatto tra litologie con caratteristiche elastiche molto diverse tra loro, oltre a quanto detto ora si dovrà verificare, attraverso prove in sito, se i contatti tra queste formazioni possono causare cedimenti differenziali. Si dovrà, anche, evitare di porre le fondazioni dei fabbricati “a cavallo” di litologie con caratteristiche marcatamente diverse.

## 8.2 AREE INSTABILI

Si premette, come indicato dagli Indirizzi nazionali che le zone classificate di “instabilità” della Carta di MS di Livello 2 saranno la riproduzione fedele di quelle riportate nella Carta delle MOPS ovvero le Zone di Attenzione (ZA), in quanto in questo Livello non si richiedono ulteriori approfondimenti.

Per i siti ricadenti in zone classificate sismicamente instabili si prescrive lo studio di approfondimento di tipo livello 3 con le più adatte verifiche in situ e in laboratorio e con modellazione adeguata del sottosuolo per la Risposta Sismica Locale (RSL).

Lo stesso approfondimento sarà da eseguire per le opere strategiche per fini di protezione civile o rilevanti, come da allegato A e B della DGRV 3645/2003.

Per le zone  $Z_{A_{LQ}}$ , alle  $Z_{A_{FR}}$  e  $Z_{A_{FAC}}$  quando a ridosso dei nuclei abitativi, essendo quelle maggiormente interessate dall'attività antropica e/o relativamente edificate, la normativa prescrive che queste zone potranno avere geometrie, descrizioni e indicazioni diverse e aggiuntive nella Carta di MS di Livello 3 rispetto al 1 Livello, essendo state, nel 3°; espletate indagini ed elaborazioni proprie di questo livello di approfondimento (ICMS, 2008).

Nel 3° Livello di approfondimento le zone suscettibili di instabilità (instabilità di versante, liquefazioni, faglie attive e capaci) potranno essere di 2 tipi:

- ZS: Zone di Suscettibilità
- ZR: Zone di Rispetto

Per entrambi i tipi di zone sarà possibile riportare un parametro che quantifichi il fenomeno. Concettualmente il significato dei due tipi di zone è il seguente:

- *Zone di Suscettibilità (ZS)*: sono zone nelle quali, a seguito di una raccolta dati specifici per l'instabilità in esame e l'applicazione di specifici metodi di calcolo, anche semplificati, è possibile definire la pericolosità in termini quantitativi.
- *Zone di Rispetto (ZR)*: sono zone nelle quali, a seguito di una raccolta dati specifica per l'instabilità in esame e l'applicazione di specifici metodi di calcolo, anche avanzati, è possibile quantificare con maggior accuratezza la pericolosità. Tale quantificazione è finalizzata all'analisi dettagliata di aree limitate sulle quali possono essere presenti opere vulnerabili.

I parametri per le instabilità di versante sono il massimo movimento ( $F_{RT}$ , in centimetri) di una frana in terra e il massimo spostamento di blocchi ( $F_{RR}$ , in metri) in una frana in roccia.

Il parametro che caratterizza una zona instabile per liquefazione è l'Indice del potenziale di liquefazione (IL), così come definito in Sonmez (2003). Relativamente alla Zone di Attenzione  $Z_{A_{LQ1}}$  presenti, le analisi di 2° Livello hanno permesso di confermare quanto definito con il 1° Livello, ampliando tale fenomeno anche ad una porzione in Località Pradal.

Per le faglie attive e capaci il parametro quantitativo richiesto è la dislocazione massima (DISL).

Rimane chiaro che, come indicato dalle L.G. nazionali, con il 2° Livello di approfondimento si arriva a semplici indicatori di danno dei manufatti, poiché le analisi si basano su metodi dinamici semplificati. Si deduce che ai fini urbanistici e pianificatori le zone devono essere studiate con il 3° Livello di approfondimento.

Il territorio comunale, nello specifico, presenta "zone di attenzione" *l.s.* quindi "suscettibili d'instabilità". Si danno le seguenti prescrizioni minime sotto gli aspetti di caratterizzazione sismica del sito, rimandando, comunque, a tutte le disposizioni normative inerenti le costruzioni come elencate all'inizio del capitolo, nonché come indicato nelle Linee Guida nazionali e regionali di

indirizzo per gli studi di microzonazione sismica. In particolare, si fa riferimento e si raccomanda di assumere nella pianificazione e progettazione futura quanto disposto dalle Linee Guida:

- Linee Guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazione (LQ) Vers. 1.0 Roma 2017.
- Linee Guida per la gestione del territorio in aree interessate da instabilità di versante sismoindotte FRG) Vers. 1.0 Roma 2017.
- Linee Guida per la gestione del territorio in aree interessate da faglie attive e capaci (FAC) Vers. 1.0 Roma 2016.
- Linee Guida per l'esecuzione di studi di microzonazione sismica (Allegato A DGR 1572/2013).
- Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica (parti 1-2-3) D.P.C. Roma 2008.

La pianificazione urbanistica e territoriale in zone interessate dalla presenza di ZA è chiamata a disciplinare gli usi del suolo e le previsioni di trasformazione urbana, tenendo conto della relazione tra la pericolosità sismica e i diversi contesti insediativi.

Le Linee Guida fanno riferimento convenzionalmente a tre categorie di aree urbanistiche:

1. Aree edificate (recenti o consolidate)
2. Aree non edificate (con previsione di trasformazione)
3. Aree non urbanizzate a trasformabilità limitata

"In particolare le tre categorie di aree urbanistiche possono essere definite nel modo seguente:

- *Aree edificate (recenti o consolidate)* : aree urbanizzate ed edificate di diverso livello di completamento, consolidamento e stratificazione. Comprendono centri storici, tessuti consolidati, aree in completamento con usi residenziali, produttivi, a servizio o misti.
- *Aree non edificate (con previsione di trasformazione)*: aree non edificate, parzialmente edificate o con previsione di nuovi insediamenti - residenziali, produttivi, a servizio o misti - di manufatti edilizi, di infrastrutture e reti. Tali aree possono trovarsi sia in adiacenza ad aree edificate, sia in contesti ancora non urbanizzati.
- *Aree non urbanizzate a trasformabilità limitata*: aree non edificabili o con limitate previsioni di edificabilità, per destinazione d'uso (aree agricole).

Queste tre categorie vanno riferite alle previsioni dello strumento di piano vigente e alle sue effettive condizioni di attuazione. Per quanto riguarda le specifiche articolazioni della normativa urbanistica nelle suddette aree, ogni Regione potrà predisporre opportune corrispondenze tra le tre categorie urbanistiche e le zone omogenee individuate dai rispettivi strumenti di pianificazione urbanistica."

La disciplina degli usi del suolo e delle previsioni di trasformazione nelle zone di faglia attiva e capace viene articolata in due tipi di indicazioni:

- indicazioni urbanistiche, che definiscono possibili regolamentazioni dallo strumento urbanistico anche in termini di categorie di intervento e di destinazioni d'uso<sup>4</sup> e modalità attuative;
- indicazioni edilizie, che definiscono per l'edilizia esistente e di nuova costruzione, con riferimento alla normativa tecnica antisismica, quali categorie di intervento sono possibili e su quali classi d'uso.

### 8.2.1 ZONE DI ATTENZIONE ZALQ

Nelle aree a *potenziale cedimento per liquefazione di terreni saturi (ZALQ)*, la suscettività a questo fenomeno dovrà essere valutata attraverso prove in situ adeguate (SPT, SCPTU, etc) oltre a analisi di laboratorio. Gli Indirizzi e criteri di microzonazione sismica – rapporto finale del Febbraio 2008 – conferenza Stato e Regioni prevedono che possa essere omessa tale verifica solo quando si presenta almeno una delle seguenti condizioni:

- sisma atteso con magnitudo inferiore a 5;
- accelerazione massime attese in superficie minori di 0,1g;
- accelerazione massima attesa in superficie minore di 0,15g e terreni ricadenti in una delle seguenti categorie:
  - frazione fine passante al setaccio 200 ASTM FC maggiore del 20% con Indice plastico IP >10
  - FC >35% e resistenza  $N_{160} > 20$
  - FC >5% e resistenza  $N_{160} > 25$
- profondità media della falda maggiore a 15 metri da piano campagna per superfici piane e fondazioni delle strutture superficiali
- distribuzione granulometrica esterna ai fusi granulometrici suscettibili a liquefazione.

Per superfici pianeggianti gli effetti sono trascurabili se lo spessore dello strato più superficiale "non liquefacibile" è maggiore dello spessore del sottostante strato "liquefacibile".

Inoltre le Linee Guida LQ raccomandano di:

- evitare che negli studi di MS si individuino zone suscettibili di liquefazione quando non siano stati raccolti dati sufficientemente affidabili;
- definire procedure standard per l'individuazione delle zone di liquefazione in funzione della tipologia, della qualità delle indagini svolte e dei metodi di analisi;
- specificare il grado di incertezza dei risultati;
- definire il sistema di rappresentazione delle zone di liquefazione.

I livelli di approfondimento per l'individuazione delle zone potenzialmente interessate da liquefazione, descritti nel presente documento, sono:

- **livello 1** (Carta delle MOPS) per l'individuazione di Zone di Attenzione per la liquefazione (ZALQ), nel quale vengono utilizzati elementi informativi minimi<sup>1</sup> (litostratigrafia, profondità della falda, elementi paleogeografici, ecc.);

- **livello 3** (Carta di MS) nel quale vengono distinte due modalità di approfondimento delle analisi in funzione di due tipologie di zone previste:
  - Zone Suscettibili di liquefazione (ZSLQ), da identificare con elementi informativi specifici e metodi di calcolo semplificati;
  - Zone di Rispetto per la liquefazione (ZRLQ), da identificare con elementi informativi specifici e metodi di calcolo avanzati.

Le stime dell'Indice del potenziale di Liquefazione medio della zona (**IL**) saranno sviluppate nel Livello 3. Questo parametro richiede, infatti, specifiche analisi e indagini più approfondite. I risultati degli studi con approfondimenti di livello 2 (abachi), in particolari condizioni di assetto geologico del sottosuolo, possono invece essere utilizzati limitatamente al calcolo dell'accelerazione massima in superficie ( $a_{max}$ ) e saranno utilizzati nelle Carte di MS per la caratterizzazione delle ZSLQ e delle ZRLQ.

Livello di MS	Carta	Zone di liquefazione	Elementi informativi	Metodi
1	MOPS	Zone di Attenzione (ZALQ)	Minimi	-
3	MS	Zone di Suscettibilità (ZSLQ)	Specifici	Semplificati ( <i>sensu</i> AGI, 2005)
3	MS	Zone di Rispetto (ZRLQ)	Specifici	Avanzati ( <i>sensu</i> AGI, 2005)

*Livelli, carte e corrispondenti tipi di zone di liquefazione.*

#### 8.2.1.1 AREE URBANISTICHE INTERESSATE DA ZALQ

I criteri definiti per indirizzare la disciplina d'uso del suolo in zone suscettibili alla liquefazione devono tener conto di due fattori:

- l'instabilità da liquefazione può interessare aree relativamente vaste del territorio (interessando talvolta anche il territorio di un intero comune);
- a differenza di altre forme di instabilità è possibile mettere in atto interventi puntuali di riduzione della pericolosità, attraverso interventi diretti sul suolo, e della vulnerabilità, attraverso interventi sull'edificio.

Categorie urbanistiche		Aree edificate (recenti o consolidate)	Aree non edificate (con previsione di trasformazione)	Aree non urbanizzate a trasformabilità limitata	Infrastrutture
Zone di liquefazione	ZALQ	Obbligo di approfondimento (5.1.1)	Obbligo di approfondimento (5.2.1)		Programma Infrastrutture (5.3)
	ZSLQ	Programma Zone Instabili (5.1.2)	Intervento limitato (5.2.2)		
	ZRLQ				

*Indicazione urbanistiche*

Nel caso di **aree edificate e non edificate**, come anche per le infrastrutture, valgono le prescrizioni elencate nelle Linee Guida LQ, che riprendo lo schema metodologico illustrato sopra per le FAC. Si rimanda, quindi, alle LG specifiche.

Di seguito uno schema sintetico delle azioni fattibili o meno per l'urbanizzazione (App. B2 LG).

**APPENDICE B2 – Schemi sintetici di classificazione**

A ciascuna indicazione urbanistica della Tab. B1 (qui riportata nuovamente) vengono associate una o più indicazioni sulla tipologia di intervento per l'edilizia esistente o di nuova costruzione riportate nella Tab. B2.

Categorie urbanistiche		Aree edificate (recenti o consolidate)	Aree non edificate (con previsione di trasformazione)	Aree non urbanizzate a trasformabilità limitata	Infrastrutture
Zone di liquefazione	ZALQ	Obbligo di approfondimento (5.1.1)	Obbligo di approfondimento (5.2.1)		Programma Infrastrutture (5.3)
	ZSLQ	Programma Zone Instabili (5.1.2)	Intervento limitato (5.2.2)		
	ZRLQ				

Tabella B2.1 - Indicazioni urbanistiche

Categorie urbanistiche		Aree edificate (recenti o consolidate)	Aree non edificate (con previsione di trasformazione)	Aree non urbanizzate a trasformabilità limitata	Infrastrutture
Zone di liquefazione	ZALQ	EL-NI	EL-NI		Programma Infrastrutture
	ZSLQ	EL-NI (EL-NL) (EO-NL)	EL-NL		
	ZRLQ	(EO-NI) (ED-NI)			

Tabella B2.2 – Indicazioni sulle tipologie di intervento per l'edilizia esistente e per la nuova edificazione.  
Legenda

Sigla	Edilizia	Tipo Intervento	Descrizione
EL	Esistente	Limitato	Con esclusione degli interventi di manutenzione ordinaria, degli interventi di adeguamento igienico-sanitario, o altri interventi obbligatori di settore, qualsiasi altro tipo di intervento deve prevedere interventi di miglioramento o di adeguamento e valutazione di eventuali interventi di riduzione della pericolosità (in conformità alla normativa vigente).
EO	Esistente	Obbligatorio	Non è obbligatoria la delocalizzazione, ma viene favorita. Interventi obbligatori (nei tempi definiti dalla Regione): interventi di miglioramento e/o adeguamento e/o rafforzamento locale e valutazione di interventi di riduzione della pericolosità (in conformità alla normativa vigente), indipendentemente da richieste di manutenzione o altri tipi di richiesta.
ED	Esistente	Delocalizzazione	Non è consentito alcun intervento sull'edilizia esistente, perché oggetto di delocalizzazione obbligatoria.
NL	Nuova costruzione	Limitato	E' consentita la nuova edificazione con valutazione di interventi di riduzione della pericolosità (in conformità alla normativa vigente).
NI	Nuova costruzione	Inibito	Non è consentita la nuova edificazione.

**8.2.2 ZONE DI ATTENZIONE PER FRANE SISMOINDOTTE ZAFR**

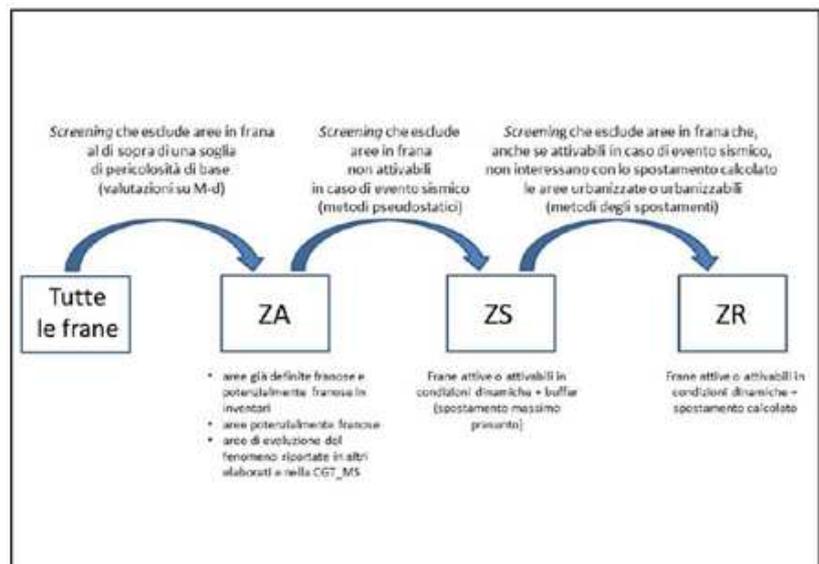
Nelle aree suscettibili ad instabilità” per potenziali smottamenti e/o frane sismo-indotte (ZAFR) in pendii naturali, oltre alle normali indagini e studi indicati da normativa, si provvederà a:

- Caratterizzare il sottosuolo con la misura delle Vs30, come previsto da DM 14.01.2008. Le misure dovranno essere eseguite almeno ogni metro lineare di profondità fino a quella prevista dal DM 14.01.2008. E' consigliabile acquisire i valori Vs<sub>30</sub> da misure dirette e non da quelle indirette (es. prove penetrometriche o SPT). Si dovrà anche produrre uno studio finalizzato alla determinazione della profondità del bedrock sismico in funzione della definizione del periodo proprio di vibrazione del sottosuolo.
- Valutare le amplificazioni locali di carattere litostragrafico, se il bedrock si trova a profondità superiore ai 3 metri, e topografico. L'amplificazione topografica potrà essere determinata come previsto dall'Eurocodice 8 e/o utilizzando quanto disposto negli "Indirizzi e criteri di microzonazione sismica 2008".
- Eseguire i calcoli stabilità del pendio a seguito dell'azione sismica, attraverso una specifica analisi dinamica. In alternativa potranno essere utilizzati appositi abachi, purché il sito d'intervento presenti caratteristiche conformi alle ipotesi di base utilizzate per l'elaborazione degli abachi stessi.

Stabilita la tipologia del fenomeno fisico delle instabilità di versante per le frane in terra e per le frane di crollo, valutandone le forme e dimensioni delle zone investite dal fenomeno, come indicato nella Parte Prima delle Linee Guida FR, si deve tener conto degli usi del suolo nelle zone investite dal fenomeno, sia dal punto di vista urbanistico che dal punto di vista delle classi d'uso dei manufatti (Parte seconda delle L.G.).

Si rammenta che la metodologia generale, adottata nelle L.G., si basa su procedure di screening successivi che, partendo da tutte le instabilità di versante segnalate in documentazione pregressa e in database (PAI, IFFI,...), consentono di individuare le frane attivabili con una forzante sismica e che interessano le aree urbanizzate e urbanizzabili (Figura sotto).

- Uno screening preliminare escluderà, solo sulla base della pericolosità sismica di base, le aree che, pur essendo in frana, non saranno soggette a forzante sismica tale da provocarne l'attivazione.
- Uno secondo screening, applicando metodi pseudostatistici che considerano dati geologici e geotecnici, consentirà di escludere altre aree.
- Il terzo e ultimo screening permetterà di definire solo le frane che potenzialmente possono interessare le aree urbanizzate e urbanizzabili, valutando e calcolando gli spostamenti.



I livelli di approfondimento delle ZA, ZS e ZR per le instabilità di versante (frane) e le carte per l'individuazione delle instabilità di versante, descritti nella LG FR, sono sintetizzati nella Figura sotto:

Livello di MS	Carta	Zone di instabilità di versante	Elementi informativi	Analisi e metodi
1	MOPS	Zone di Attenzione (Z <sub>A<sub>FR</sub></sub> )	Minimi Dati pregressi	-
2	MS	Zone di Attenzione (Z <sub>A<sub>FR</sub></sub> )	-	Non si effettuano studi sulle instabilità di versante
3	MS	Zone di Suscettibilità (Z <sub>S<sub>FR</sub></sub> )	Specifici	Semplificate (sensu AGI, 2005) Metodi pseudostatici per frane in terra Metodi semplificati per definire la suscettibilità e la runout distance per frane di crollo
3	MS	Zone di Rispetto (Z <sub>R<sub>FR</sub></sub> )	Specifici	Dinamiche semplificate o avanzate (sensu AGI, 2005). Metodi degli spostamenti e calcolo runout distance

e nello specifico:

Metodi	Parametro	ZONE	CARTA	LIVELLO MS
Analisi inventari		Z <sub>A<sub>FR</sub></sub> (Zona di Attenzione)	MOPS	1
Non si effettuano studi sulle instabilità		Z <sub>A<sub>FR</sub></sub> (Zona di Attenzione)	MS	2
Valutaz. attività Pseudostatici Buffer	FR <sub>int</sub> K <sub>c</sub> < K <sub>h<sub>4g</sub></sub> area	Z <sub>S<sub>FR</sub></sub> (Zona di Suscettibilità)	MS	3
Spostamenti	FRT	Z <sub>R<sub>FR</sub></sub> (Zona di Rispetto)	MS	3

Schema riassuntivo per la verifica delle condizioni per l'individuazione delle zone per le frane in terra.

Metodi	Parametro	ZONE	CARTA	LIVELLO MS
Analisi inventari	Runout distance	Z <sub>A<sub>FR</sub></sub> (Zona di Attenzione)	MOPS	1
Metodi empirici		Z <sub>A<sub>FR</sub></sub> (Zona di Attenzione)	MS	2
Non si effettuano studi sulle instabilità		Z <sub>A<sub>FR</sub></sub> (Zona di Attenzione)	MS	2
Valutaz. attività RHAP-MS	FR <sub>int</sub> Soglia	Z <sub>S<sub>FR</sub></sub> (Zona di Suscettibilità)	MS	3
Metodi empirici	Runout distance			
Spostamenti	Runout distance FRR	Z <sub>R<sub>FR</sub></sub> (Zona di Rispetto)	MS	3

Schema riassuntivo per la verifica delle condizioni per l'individuazione delle zone per le frane di crollo.

### 8.2.2.1 AREE URBANISTICHE INTERESSATE DA Z<sub>A<sub>FR</sub></sub>

I criteri definiti per indirizzare la disciplina d'uso del suolo in zone interessate da instabilità di versante sismo-indotte devono tener conto di alcuni fattori:

- per le instabilità di versante sismodotte l'area di studio da considerare non è solo quella che riguarda la parte urbanizzata e urbanizzabile, ma include anche quella a monte e a valle del centro abitato, interessata dal fenomeno.
- a differenza di altre forme di instabilità (FAC) è possibile mettere in atto opere di riduzione della pericolosità, attraverso interventi di stabilizzazione del suolo (cfr. NTC 2008 par.6.3.5).
- a differenza delle altre forme di instabilità (FAC e Liquefazioni), la disciplina urbanistica per le aree sottoposte a instabilità di versante (non sismoindotta) può essere già stata individuata in alcuni strumenti di pianificazione territoriale di settore (Piani di Assetto Idrogeologico - PAI) o dalla normativa regionale. Nell'Appendice B1 delle L.G. è riportata una sintesi di alcune normative PAI.

Si fa riferimento quindi alle normative già esistenti e agli orientamenti generali della disciplina.

Con riferimento alle tre categorie di aree urbanistiche sopra definite e alle zone interessate da instabilità di versante sismoindotte in cui esse ricadono, viene proposto un abaco di diverse tipologie di indirizzi. Nella Tabella viene riportata anche una colonna relativa alle infrastrutture, come ambito distinto e in questa sede non approfondito.

Nel caso di  $Z_{A_{FR}}$ , nelle **Aree edificate** (recenti o consolidate), per interventi di nuova edificazione (nei lotti vuoti) e per interventi sull'edificato esistente, devono essere espletati i necessari approfondimenti geologici e geotecnici, propri del Livello 3 di MS al fine di individuare le  $ZS_{FR}$  e le  $ZR_{FR}$ , oppure, per interventi puntuali, gli approfondimenti previsti dalla normativa tecnica vigente. E' prerogativa delle Regioni definire eventuali limiti temporali, in ragione delle risorse disponibili, per l'espletamento dei suddetti approfondimenti.

L'assenza di approfondimento determina la seguente disciplina d'uso:

Edilizia	Tipo Intervento	Descrizione
Esistente	Limitato	Con esclusione degli interventi di manutenzione ordinaria, degli interventi di adeguamento igienico-sanitario, o altri interventi obbligatori di settore, qualsiasi altro tipo di intervento deve prevedere interventi di miglioramento e/o di adeguamento e/o di rafforzamento locale e valutazione di eventuali interventi di riduzione della pericolosità (in conformità alla normativa vigente). Si rimanda alla normativa regionale o alla disciplina urbanistica del PAI di riferimento, qualora siano vigenti norme più restrittive.
Nuova costruzione	Inibito	Non è consentita la nuova edificazione

Le amministrazioni locali nell'ambito dei propri strumenti di pianificazione urbanistica e secondo le prescrizioni e gli indirizzi dei soggetti sovra-ordinati, individuano e perseguono uno o più obiettivi per il Programma Zone Instabili (PZI), assumendone i contenuti nelle forme opportune, al fine di mitigare le condizioni di rischio. Si vedano le Linee Guida FR pubblicate.

#### 8.2.2.2 ZONE DI ATTENZIONE PER CEDIMENTI DIFFERENZIALI ZA<sub>CD</sub>

Nelle aree suscettibili ad instabilità” per *cedimenti differenziali* legati a terreni riportati o di colmamento, anche naturale, si provvederà a caratterizzare il sottosuolo mediante adeguate indagini geognostiche in situ e in laboratorio al fine di esplorare la variabilità spaziale dei caratteri stratigrafici e meccanici del deposito; nonché dei parametri sismici con la profondità. E' consigliabile acquisire i valori Vs30 da misure dirette e non da quelle indirette

## 9 CONCLUSIONI

Codesta Relazione illustra le modalità ed i risultati ottenuti con lo studio di Microzonazione sismica comunale di 2° Livello soprattutto relativamente alle aree, che costituiscono l'attuale edificato e in quelle che saranno oggetto di futura espansione urbanistica.

Tutto questo studio si basa su i risultati dell'approfondimento di 1° Livello già approvato dal Dipartimento della Protezione Civile nazionale, ma aggiornato a causa di nuovi dati geologici e sismici attuati per questo studio.

Si ripete, in conclusione, che:

- le zone che ricadono nelle categorie di tipo "instabile" sono obbligatoriamente assoggettate all'esecuzione di studi specifici di 3° Livello, formato da studi di maggior dettaglio che richiedono di volta in volta l'impiego di strumentazione di tipo geotecnico, geofisico, modellazione numerica ecc. ecc. Pertanto queste aree vengono escluse dall'analisi di 2° Livello, in quanto si rimanda ai risultati di studi di maggior dettaglio che richiedono di volta in volta l'impiego di strumentazione di tipo geotecnico, geofisico, modellazione numerica, etc.
- le zone a "potenziale amplificazione morfologica e litologica" sono assoggettate all'esecuzione delle procedure di 2° Livello, per valutare mediante procedure semplificate semiquantitative, il grado di protezione che la normativa sismica nazionale può garantire nei confronti dei fenomeni di amplificazione sismica locale.

Nei Livelli di approfondimento superiori al 1°, la definizione del fattore di amplificazione "Fa" deducibile dalle indagini geofisiche specifiche dovrà essere eseguito e confrontato con quanto indicato negli *Indirizzi e criteri generali per la microzonazione sismica (2008)*, dove si definisce una scala di pericolosità areale relativa ad eventi sismici corrispondenti alle condizioni di progetto delle costruzioni ordinarie, dove si considera una probabilità di superamento del 10% in 50 anni. I risultati hanno valore significativo per la pianificazione di emergenza e per quella urbanistica perché vincolano, determinano, escludono zone urbanisticamente fruibili, ma

si tratta sempre di valori basati su dati relativi ad aree estese.

Questo deve essere sempre tenuto presente da parte di chi andrà poi a progettare strutture nel territorio. Infatti le NTC approvate con DM 14.01.2008 si riferiscono ad una specifica struttura e riguarda siti con limitata estensione planimetrica, diversamente dallo studio di Microzonazione sismica che opera su scala territoriale e che non può dare informazioni puntuali.

*Infine, si sottolinea la diversità circa la responsabilità civile tra chi cartografa zone omogenee nel fattore Fa e chi definisce il modello geotecnico del sottosuolo interessato dall'opera e sceglie il metodo di calcolo. Quest'ultimo deve essere il progettista come indicato dalle NTC/2008.*

Checchinato Raffaella, geologo

Parolo Elena, urbanista



Filippo Baratto

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Baratto Filippo".

## BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. Seismogenetic sources potentially responsible for earthquakes with  $M \geq 6$  in the Southern Alps (Thiene – Udine sector, NE Italy)” *Geophysical Journal International* (2005).
- AA.VV. “Modello sismotettonico dell’Italia Nord Orientale”, C.N.R., Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Rendiconto N. 1, Trieste, 1987.
- Camassi R. et alii , Il terremoto del 30 ottobre 1901 e la sismicità del versante occidentale del Garda, *Quaderni di Geofisica* nr. 88, INGV, Roma, 2011.
- Castaldini, D. & Panizza, M., 1991. Inventario delle faglie attive tra i fiumi Po e Piave e il Lago di Como (Italia settentrionale), *Il Quaternario*, 4, 333–410.
- Castellaro S., Mulargia F., Bianconi L. (2005): Stratigrafia sismica passiva: una nuova tecnica accurata veloce ed economica. *Geologia Tecnica & Ambientale*, n. 3, pp. 76÷102.
- D. Molin, M. Stucchi e G. Valensise: Massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani. GNDT. ING, SSN – 1996
- Galadini, F., Poli, M. E., Zanferrari, A., 2005. Seismogenic sources potentially responsible for earthquakes with  $M \geq 6$  in the eastern Southern Alps (Thiene÷Udine sector, NE Italy). *Geophys. J. Int.*, 161, 739÷762.
- Galadini, F., Meletti, C. & Vittori, E., 2001b. Major active faults in Italy: available surficial data, *Geol. en Mijn.* (Netherlands Journal of Geosciences), 80, 273–296.
- Idriss I.M., Evaluation seismic risk in engineering practice, Proc. 11° ICSMFE, S Francisco, 1985
- Meletti, C., Galadini, F., Valensise, G., Stucchi, M., Basili, R., Barba, S., Vannucci, G., Boschi, E., 2007. The ZS9 seismic source model for the seismic hazard assessment of the Italian territory. *Tectonophysics*.
- Poli M.E., P. Burrato, F. Galadini e A. Zanferrari, 2008 Seismogenic sources responsible for destructive earthquakes in north÷eastern Italy , INGV Roma
- Sirovich, L., Pettenati, F. & Bobbio, M., 2000. Inversione di intensità macro÷sismiche per le faglie di terremoti storici, in *Le ricerche del GNDT nel campo della pericolosità sismica (1996–1999)*, pp. 237–245, eds Galadini, F., Meletti, C. & Rebez, A., CNR—Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Roma, Italy.
- M. Sukan e L. Peruzza, Distretti Sismici del Veneto in *Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata* Vol. 52 n. 4 supplement., dicembre 2011
- Valensise, G., Pantosti, D. (Eds.), 2001a. Database of potential sources for earthquakes larger than  $M 5.5$  in Italy. *Annali di Geofisica*, 44(4), Suppl., 797–964, with CD÷ROM.

### Cataloghi sismici riportati nel testo:

Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani

CPTI15, a cura A. Rovida, M. Locati, R. Camassi, B. Lolli, P. Gasperini, Release v1.5, Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI>

DOM4.1 ÷ Monachesi G. e Stucchi M.: “DOM4.1, un database di osservazioni macrosismiche di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno”

DBMI04 ÷ Stucchi et alii. (2007). DBMI04, il database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI04. <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04/> *Quaderni di Geofisica*, Vol 49, pp.38.

DBMI15 ÷ M. Locati, R. Camassi e M. Stucchi (a cura di), 2016..

Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.0.4: A compilation of potential sources for earthquakes larger than  $M 5,5$  in Italy and surrounding areas, in I. N. d. G. e *Vulcanologia*, ed., <http://diss.rm.ingv.it/diss/>.

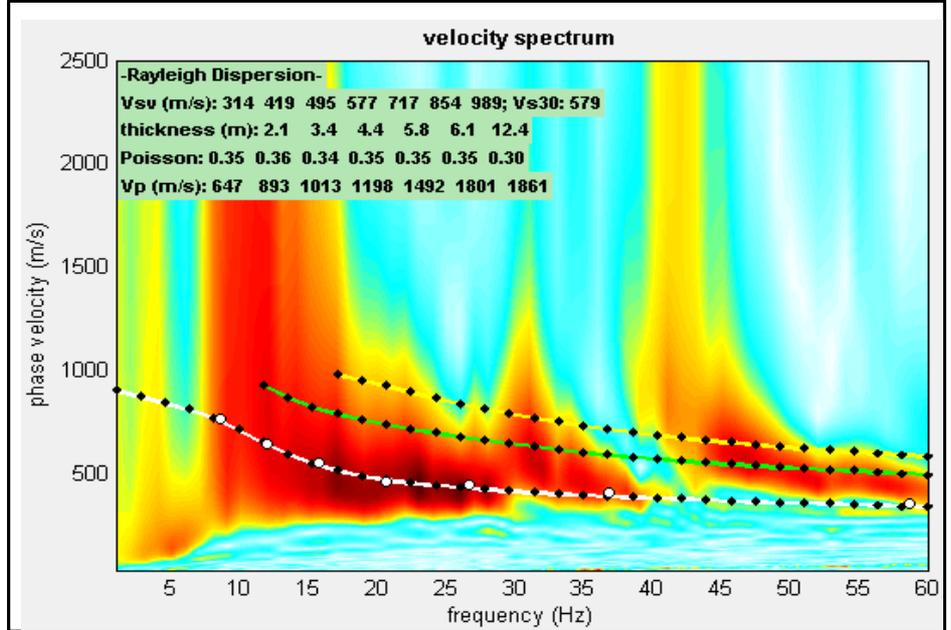
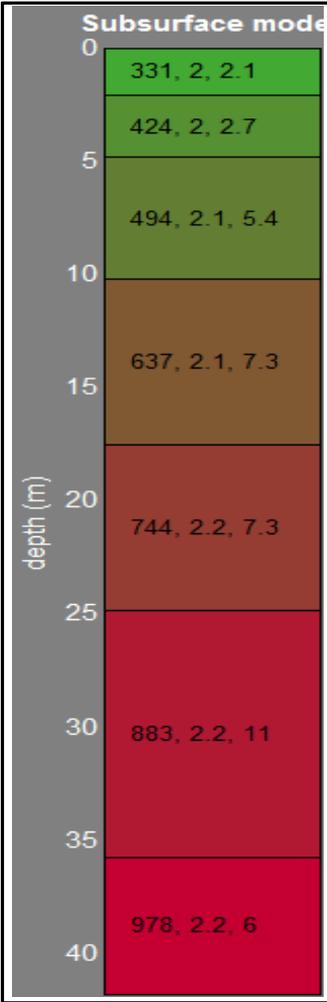
# ALLEGATO: H (Indagini I.s.)

## ET

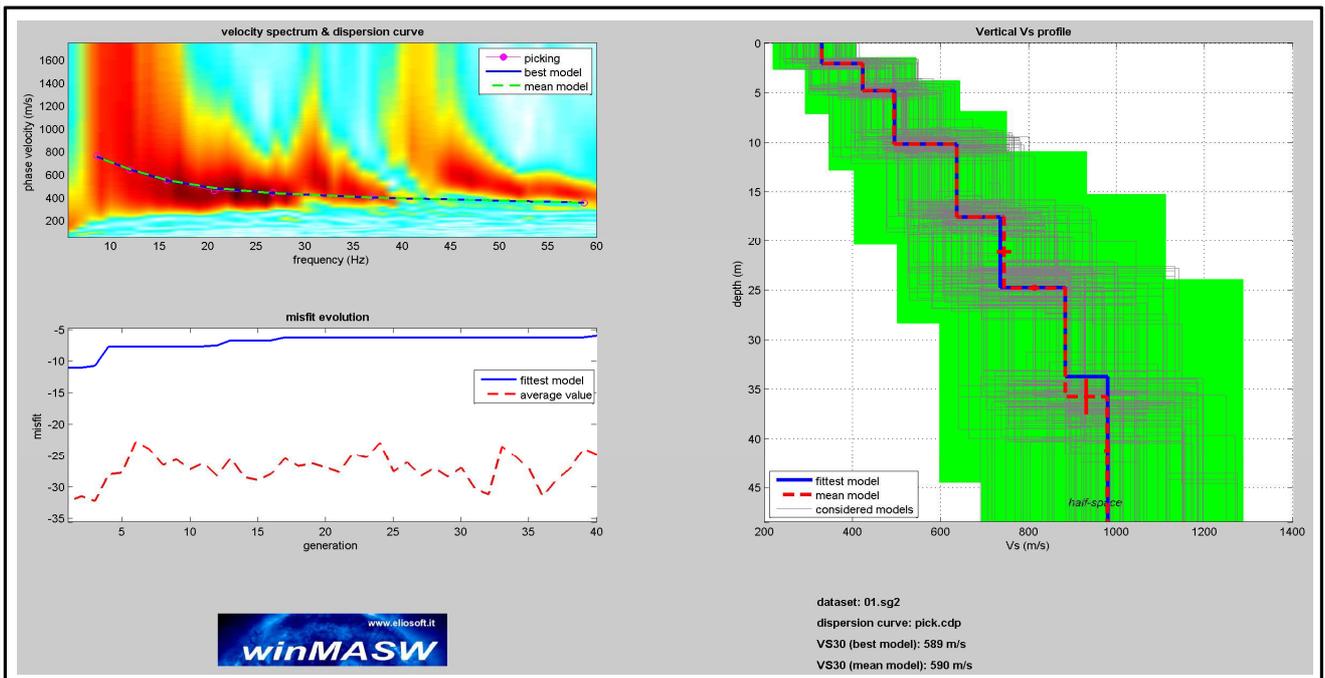
### CARTOGRAFIE: (FUORI TESTO)

- CARTA DELLE INDAGINI
- CARTA GEOLOGICO-TECNICA
- CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS)
- CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA

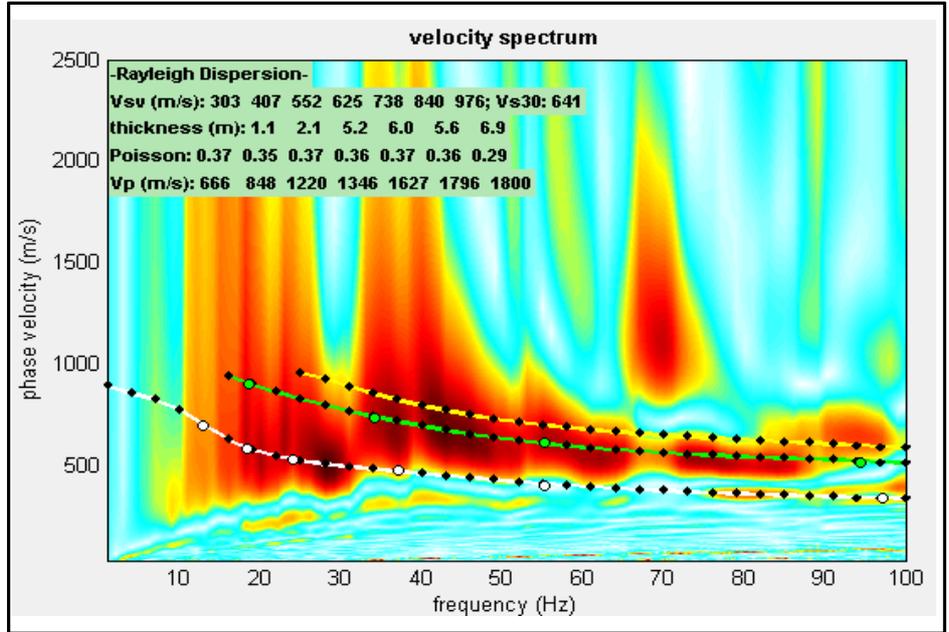
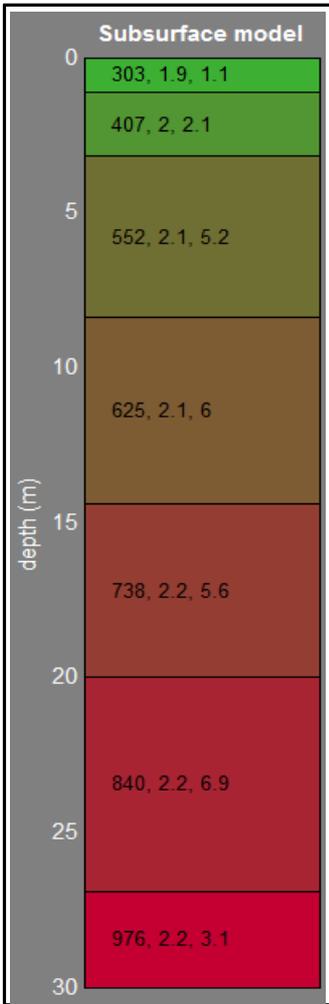
**ALLEGATO H:**  
**INDAGINI MASW**



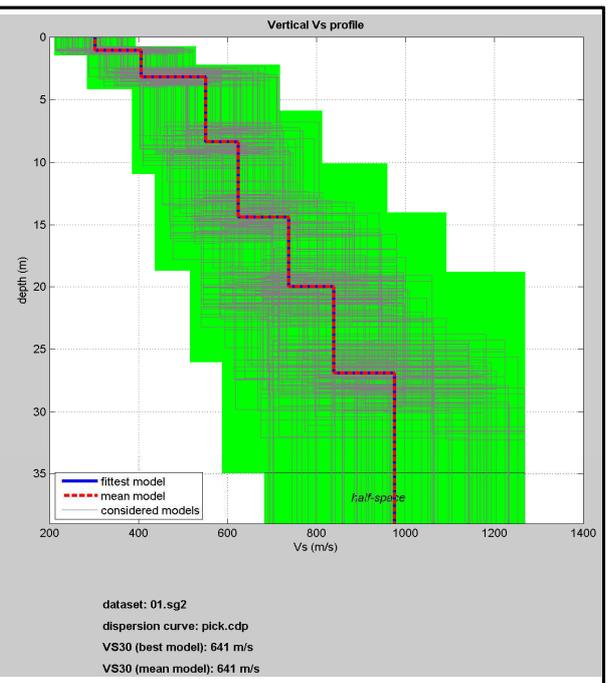
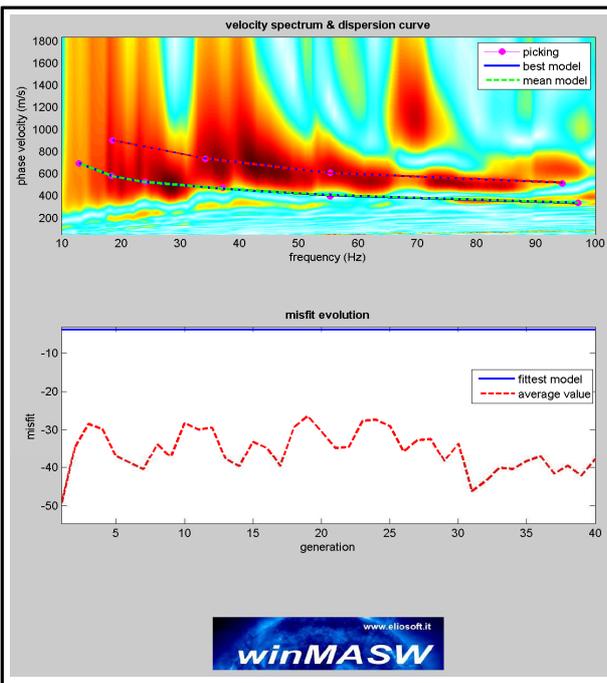
Vs30 = 589 m/s  
 Classe NTC2008 = B



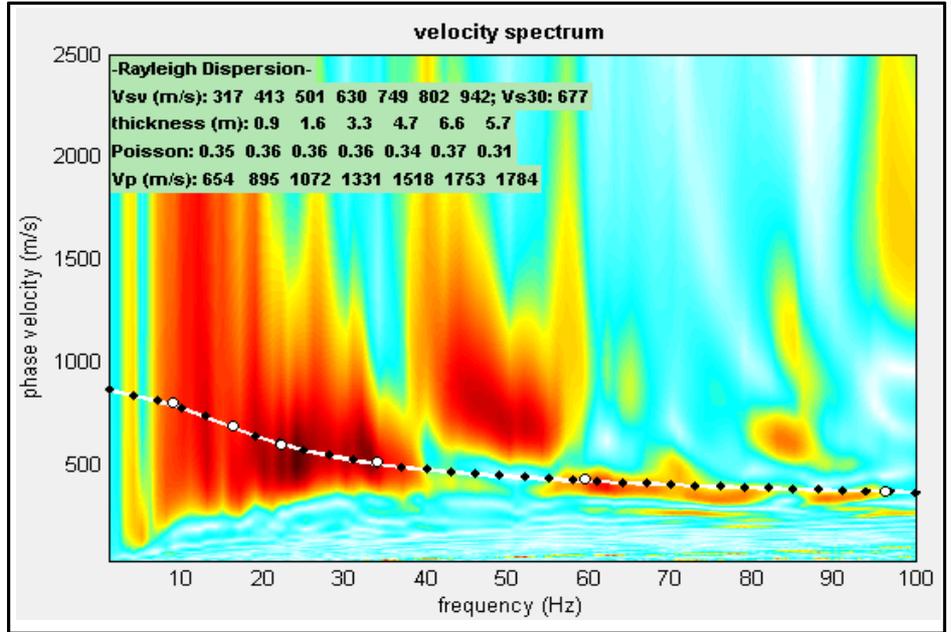
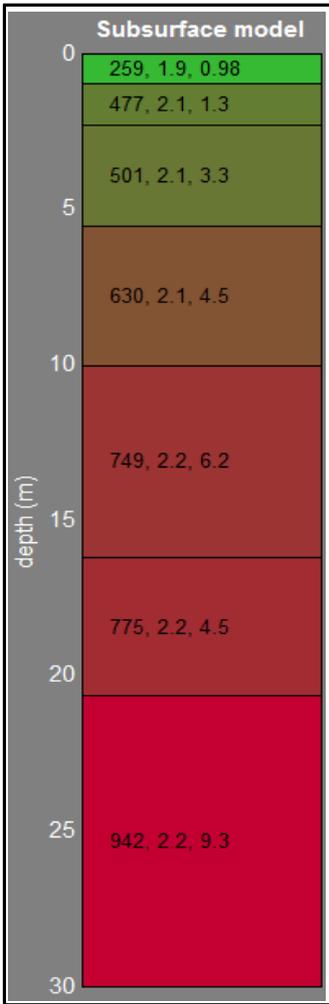
**Allegato M1**



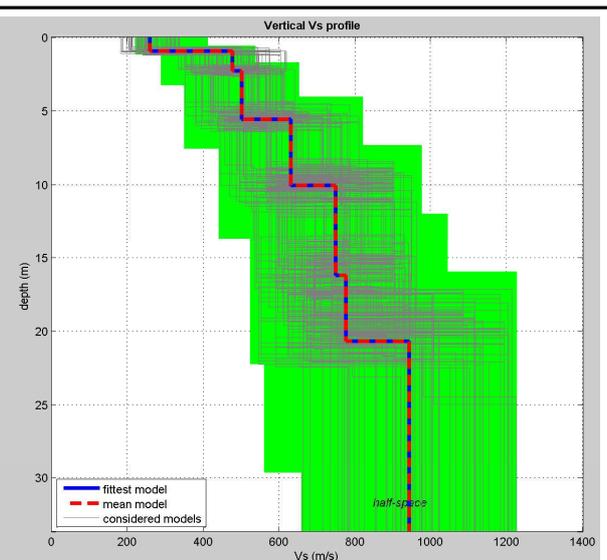
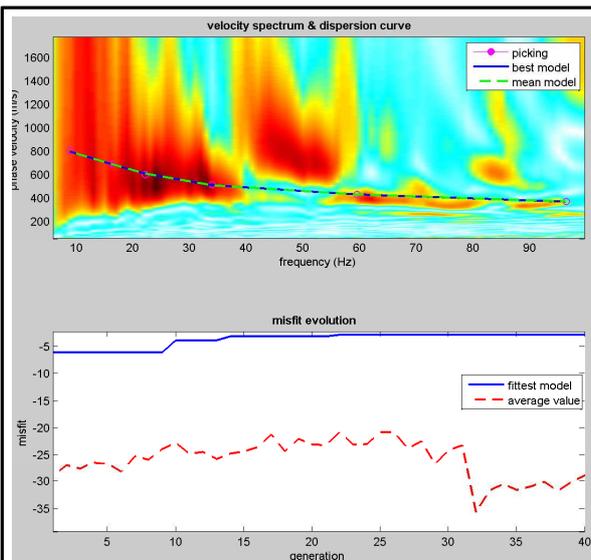
Vs30 = 641 m/s  
 Classe NTC2008 = B



**Allegato M2**



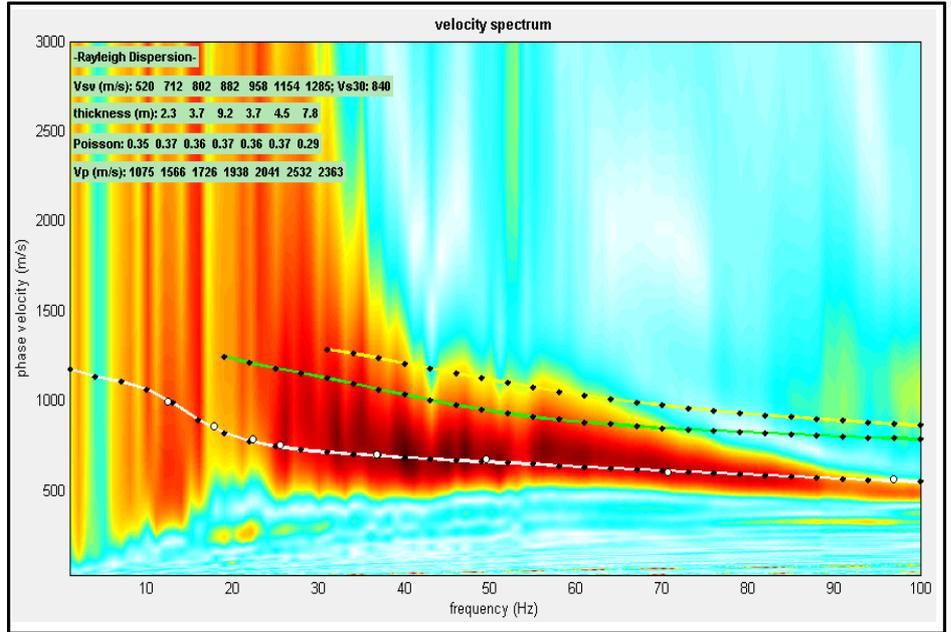
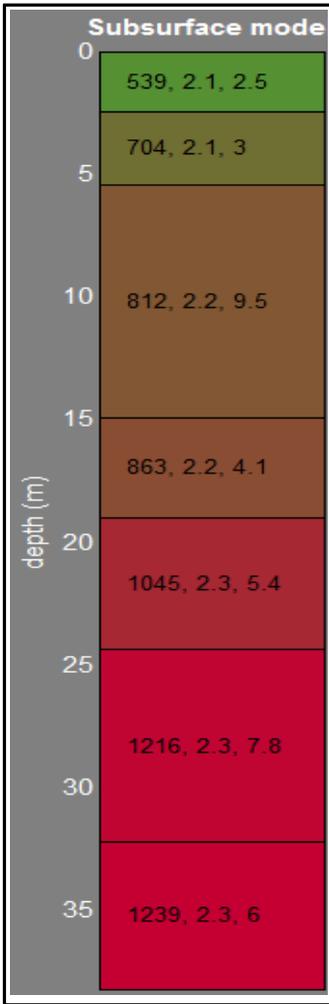
Vs30 = 681 m/s  
 Classe NTC2008 = B



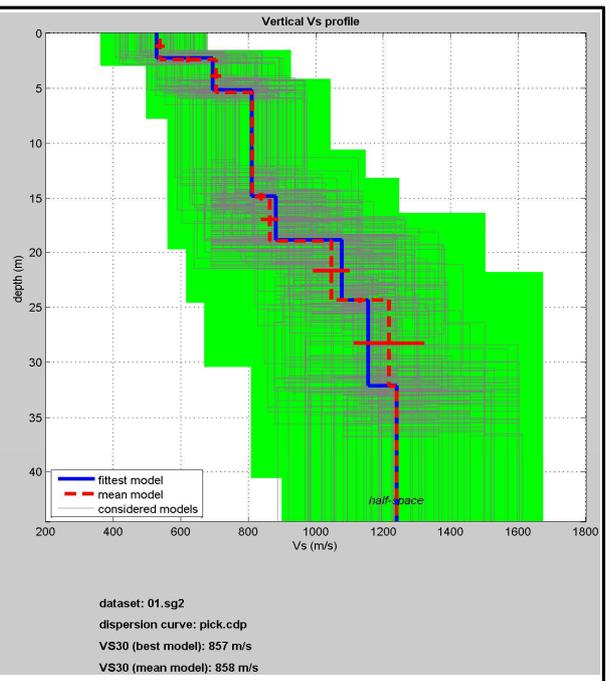
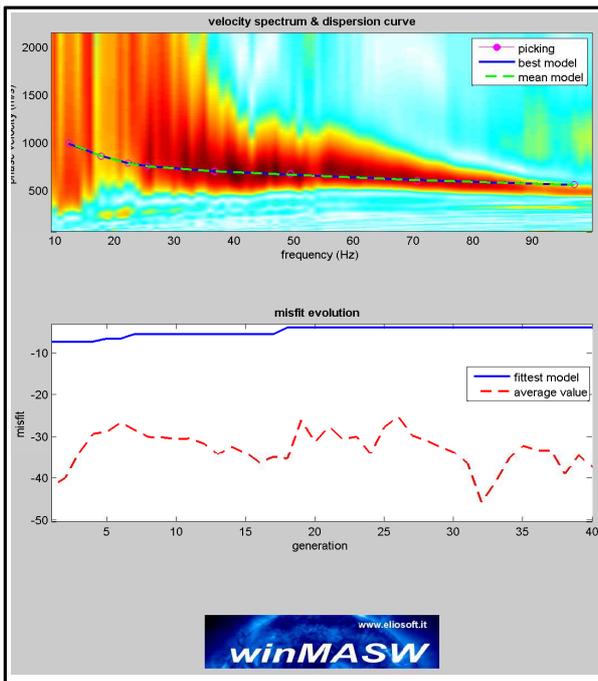
dataset: 02.sg2  
 dispersion curve: pick.cdp  
 VS30 (best model): 681 m/s  
 VS30 (mean model): 681 m/s



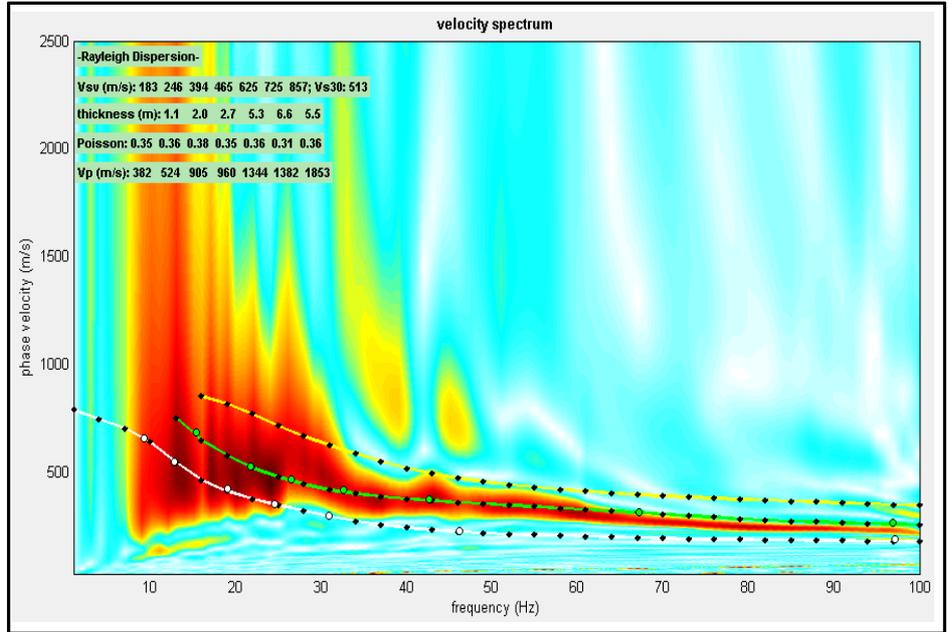
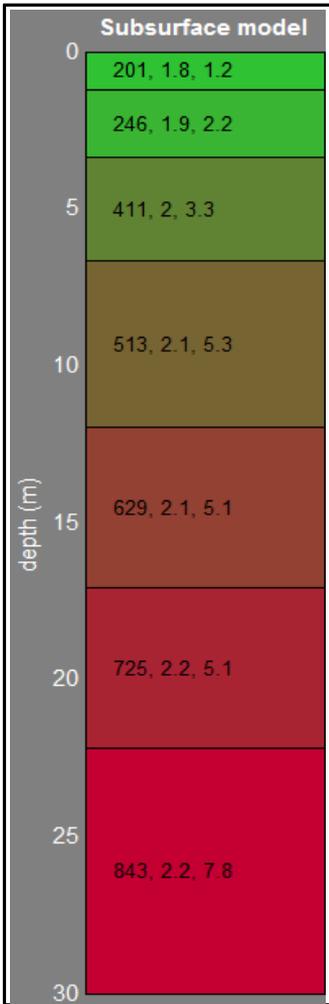
**Allegato M3**



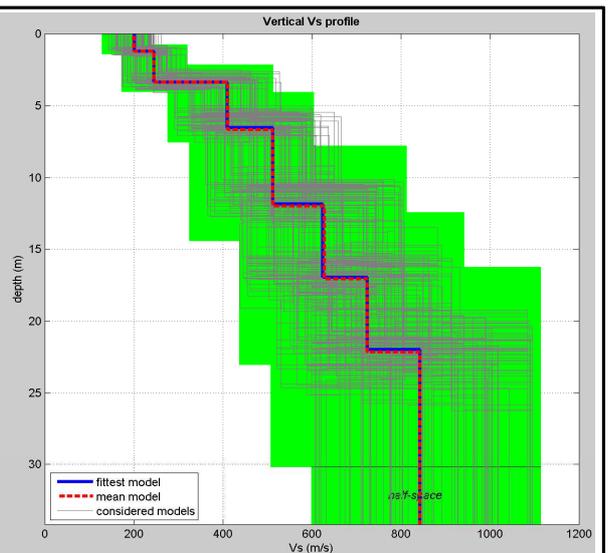
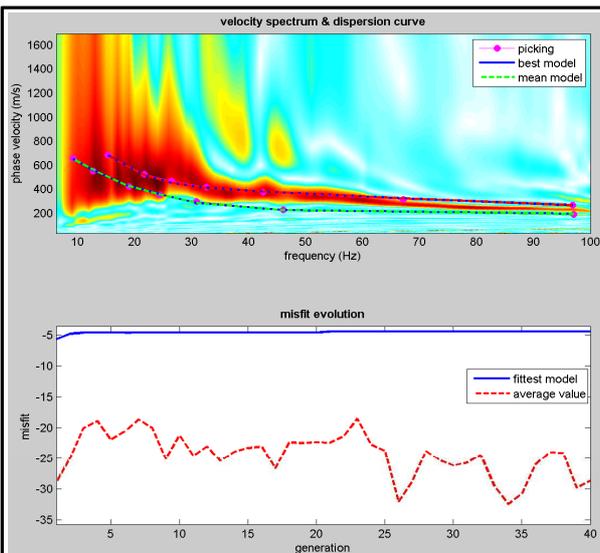
Vs30 = 857 m/s  
 Classe NTC2008 = A



**Allegato M4**

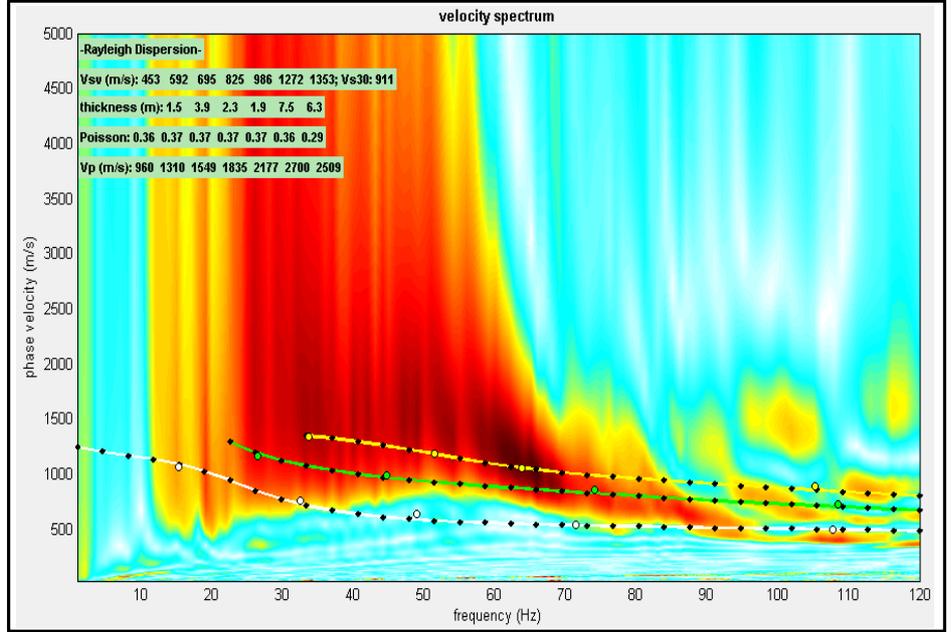
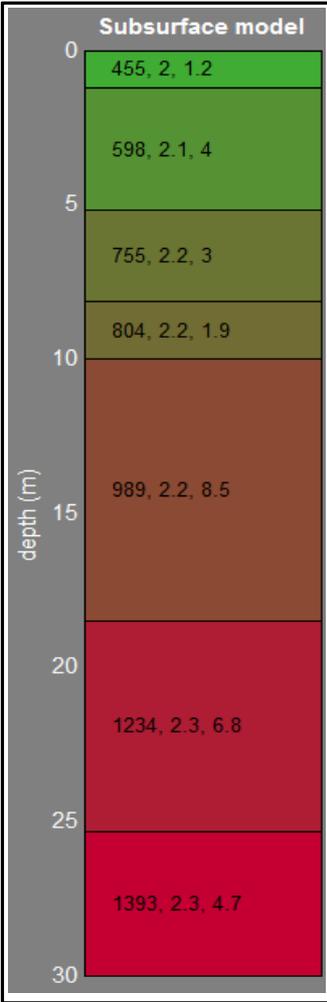


Vs30 = 522 m/s  
 Classe NTC2008 = B

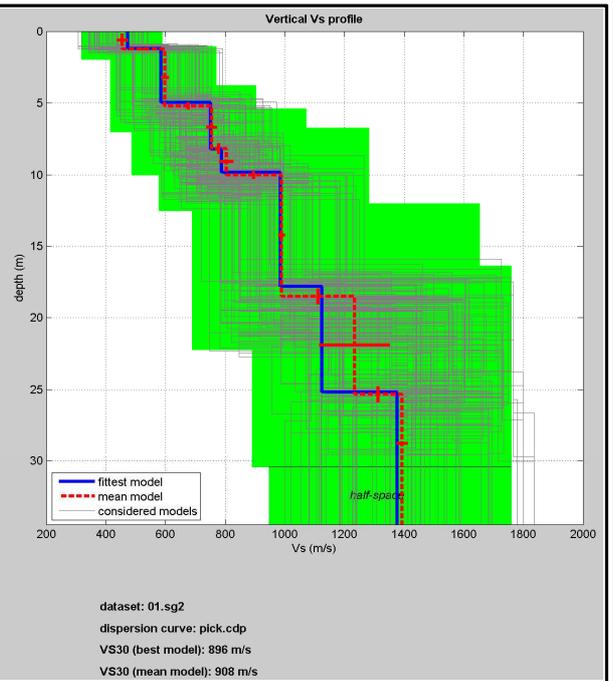
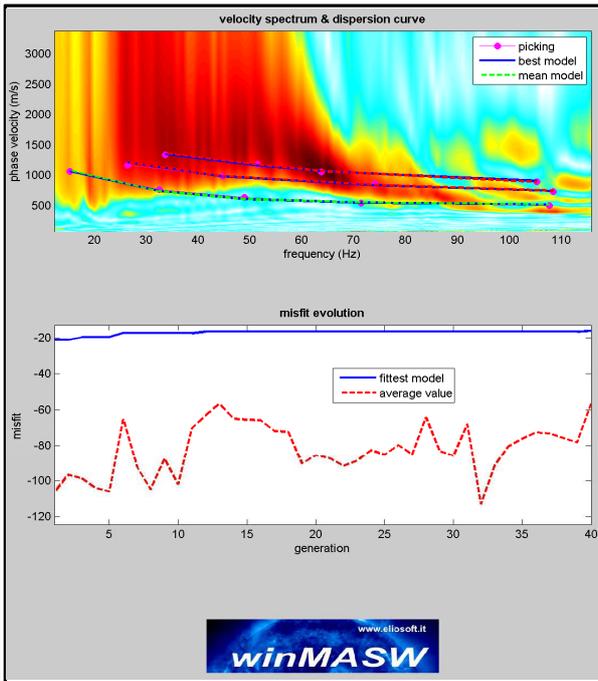


dataset: 01.sg2  
 dispersion curve: pick.cdp  
 VS30 (best model): 522 m/s  
 VS30 (mean model): 521 m/s

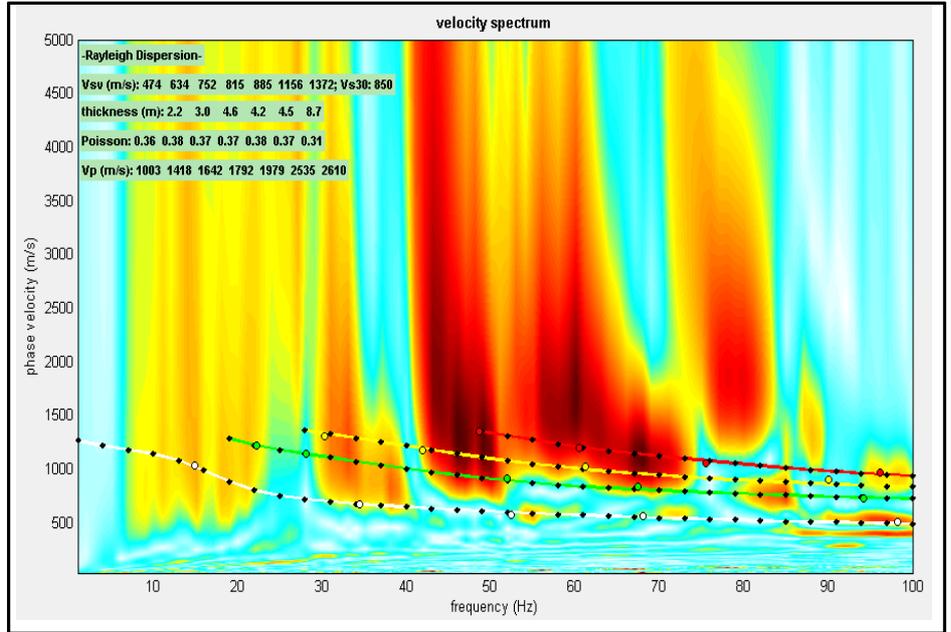
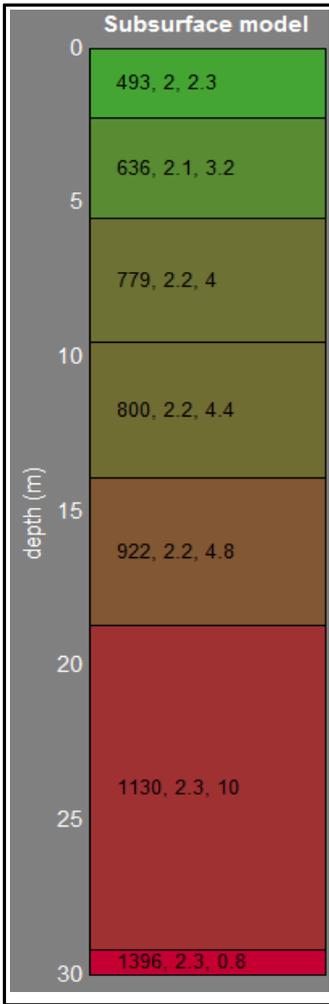
**Allegato M5**



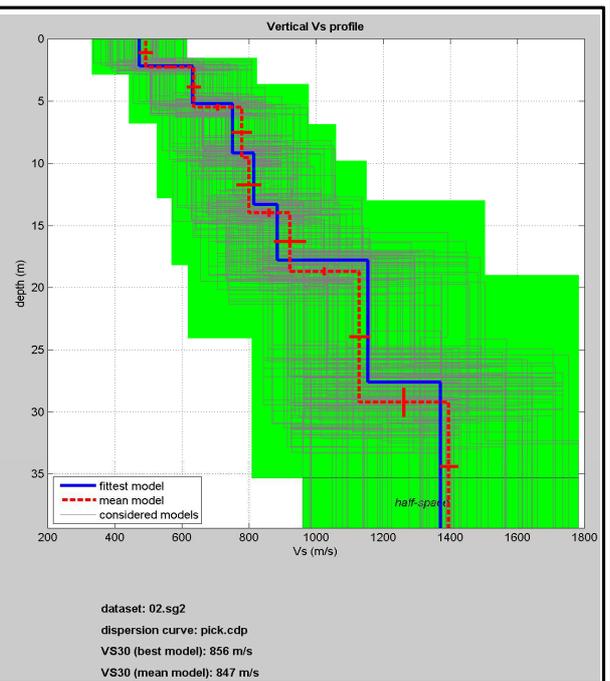
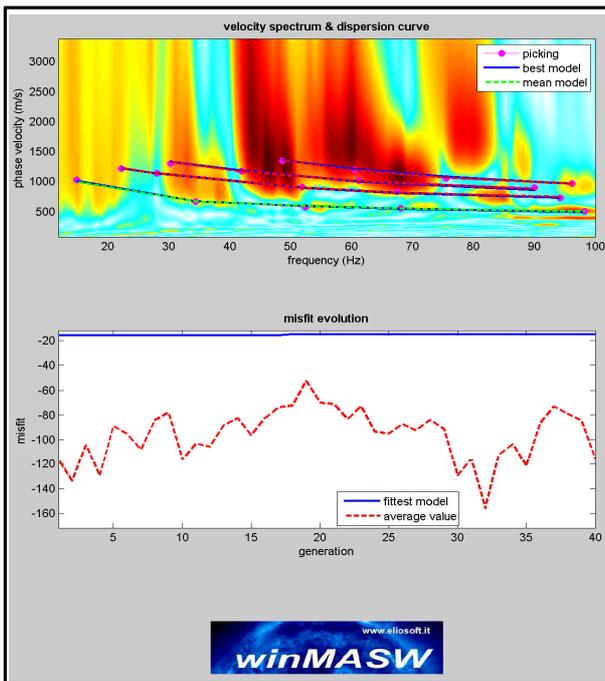
Vs30 = 896 m/s  
 Classe NTC2008 = A



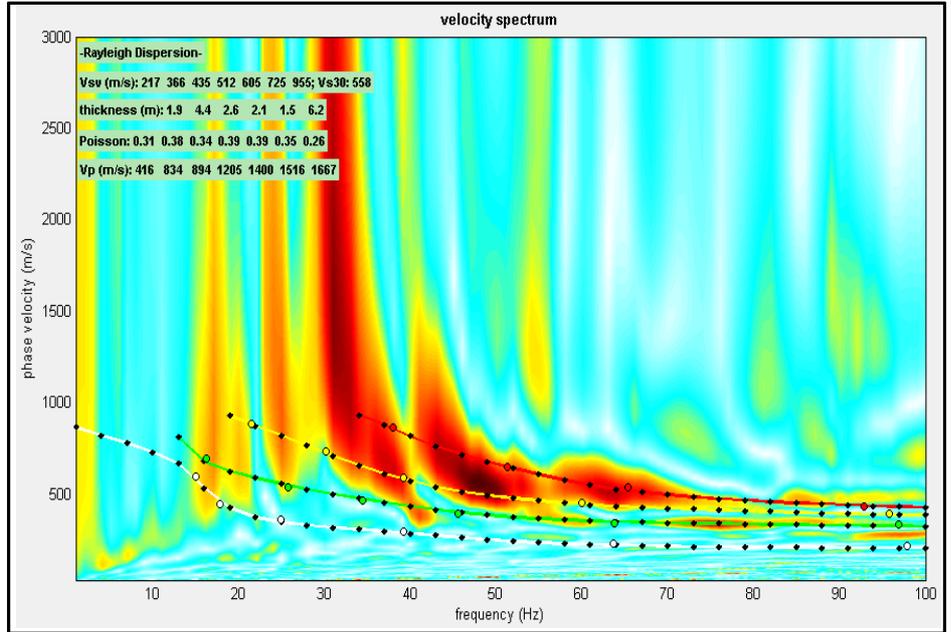
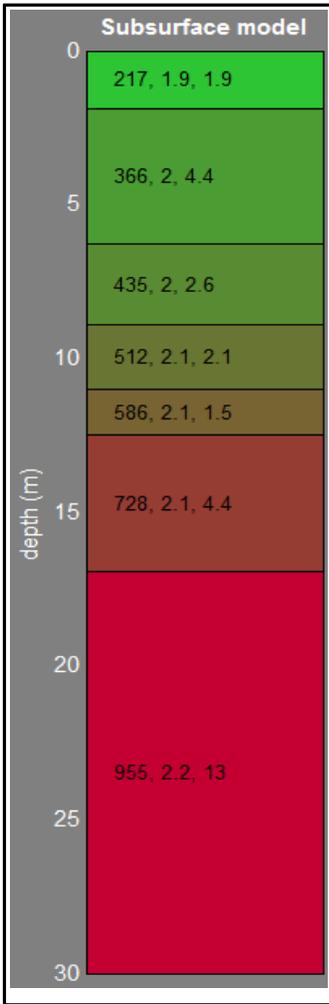
**Allegato M6**



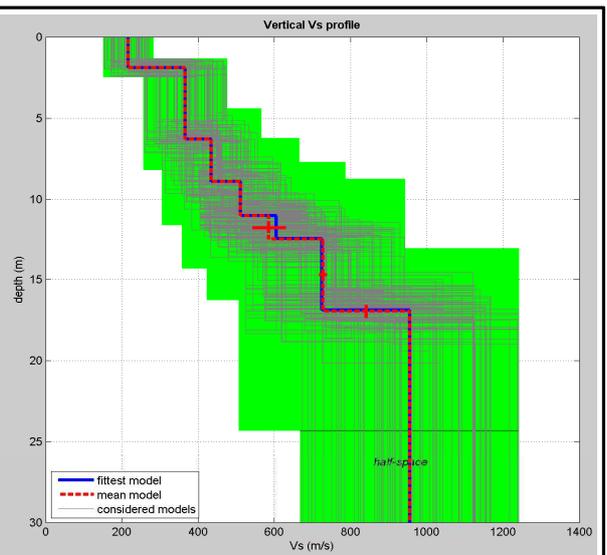
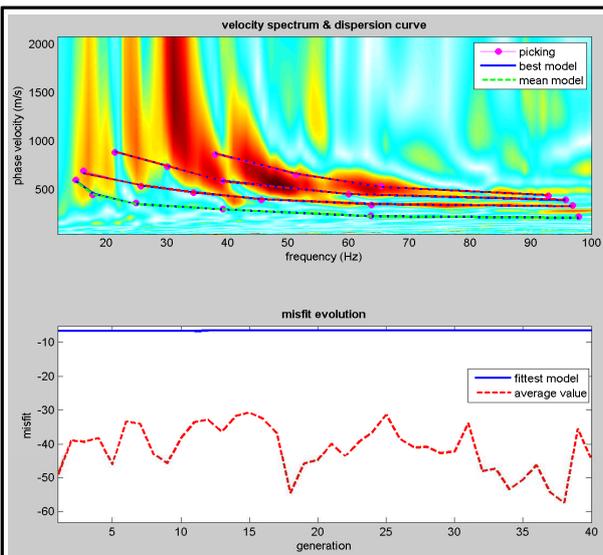
Vs30 = 856 m/s  
 Classe NTC2008 = A



**Allegato M7**



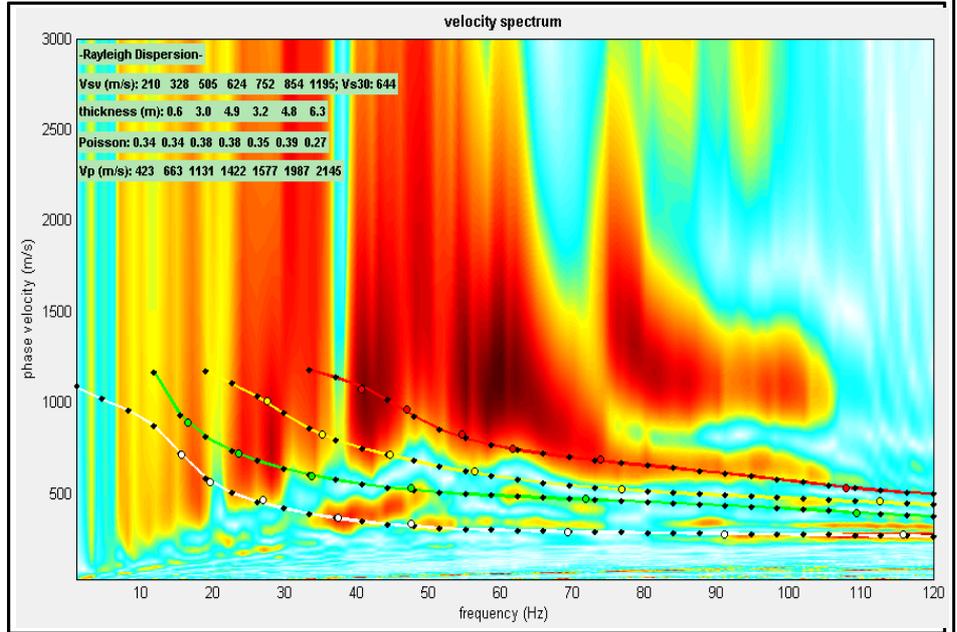
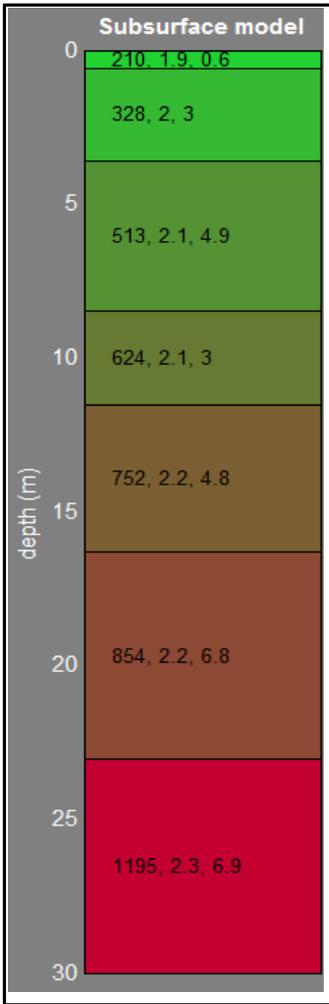
Vs<sub>30</sub> = 565 m/s  
 Classe NTC2008 = B



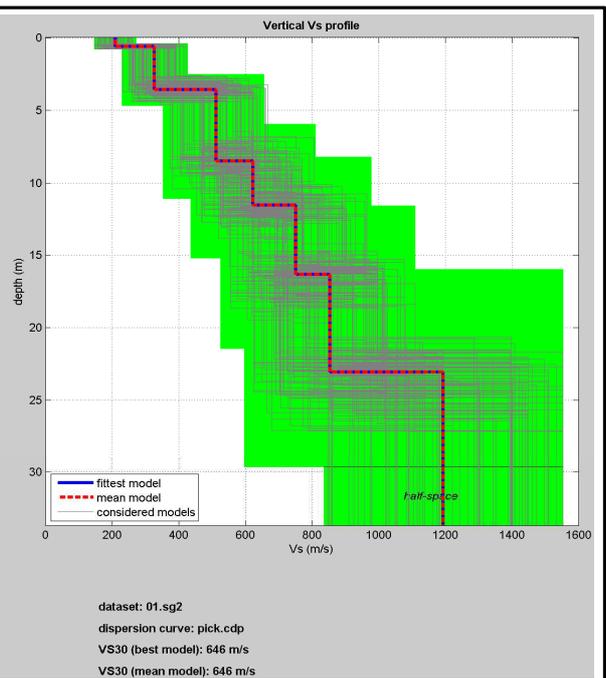
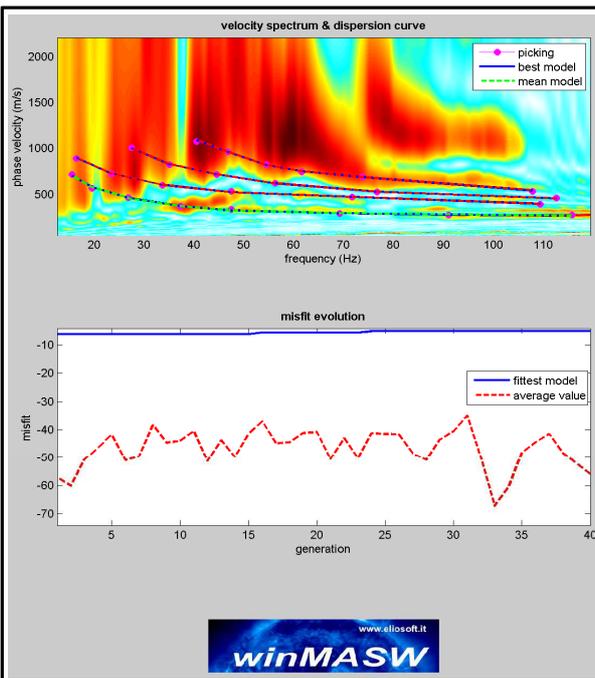
dataset: 02.sg2  
 dispersion curve: pick.cdp  
 VS<sub>30</sub> (best model): 565 m/s  
 VS<sub>30</sub> (mean model): 564 m/s



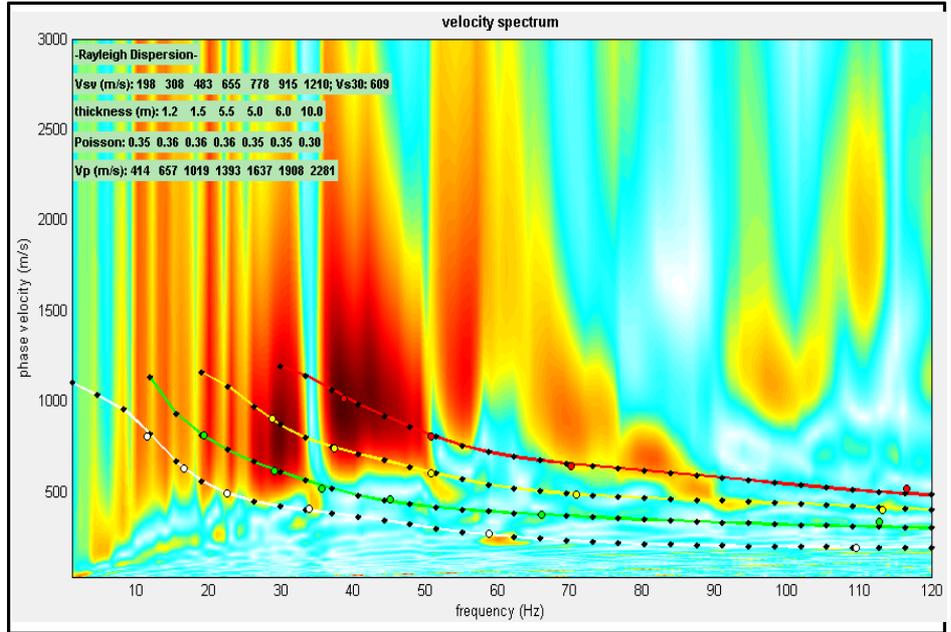
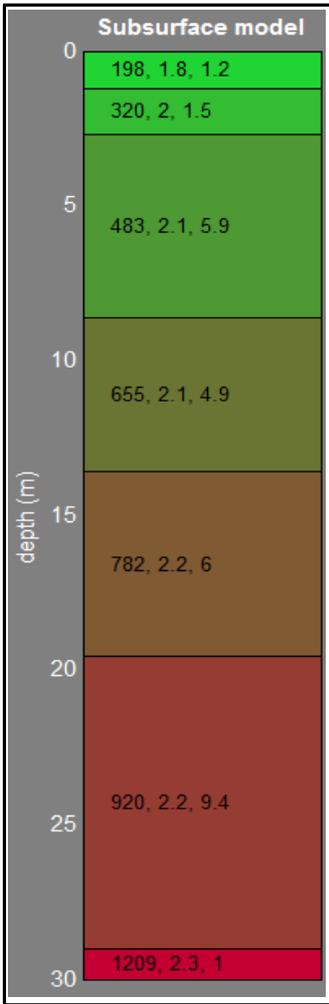
Allegato M8



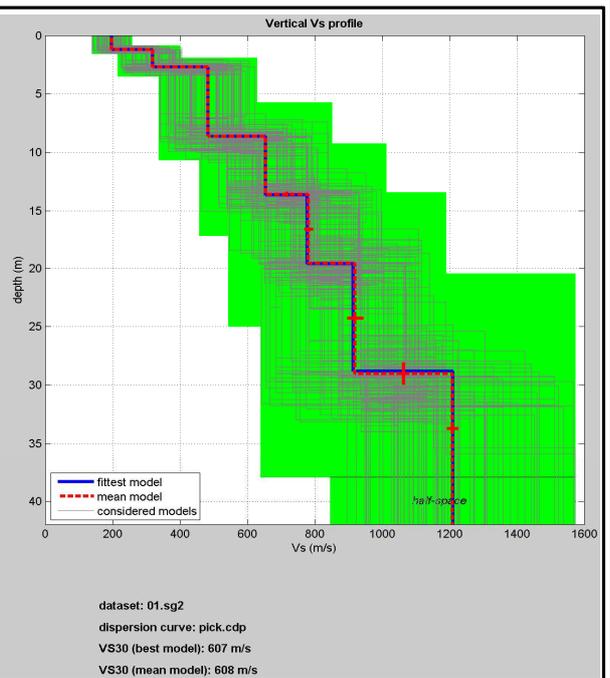
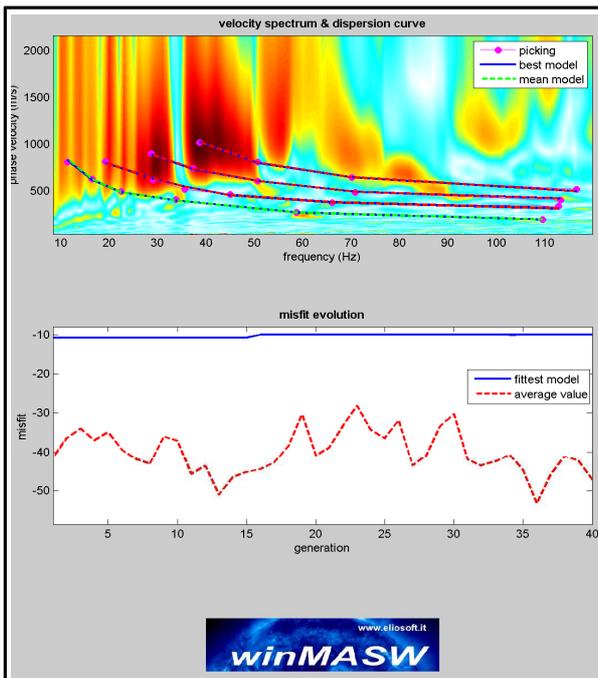
Vs30 = 646 m/s  
 Classe NTC2008 = B



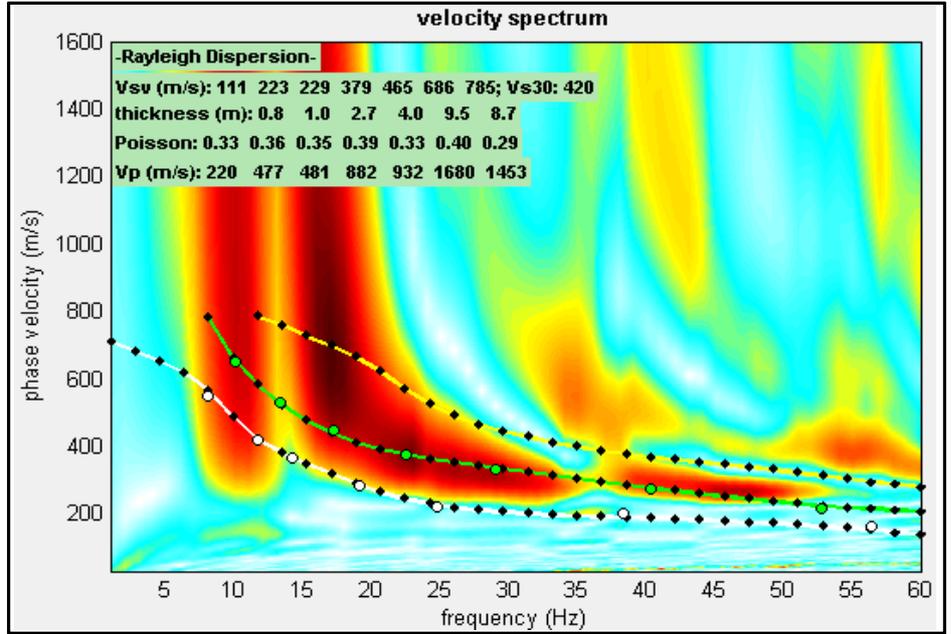
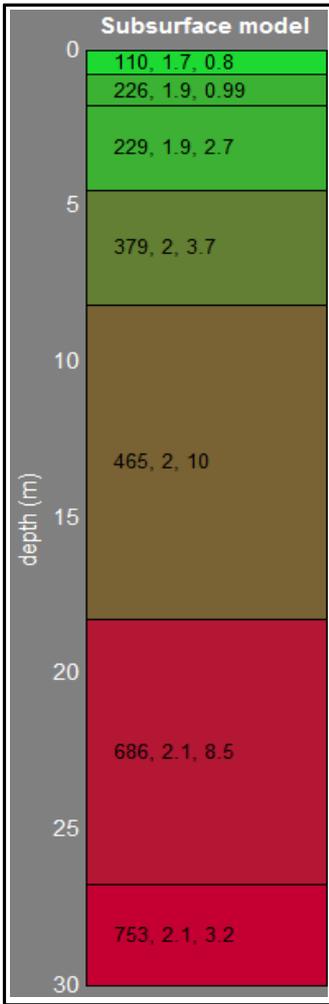
**Allegato M9**



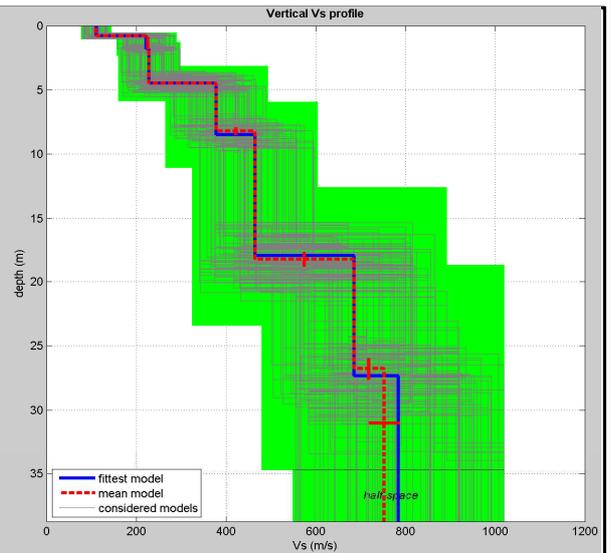
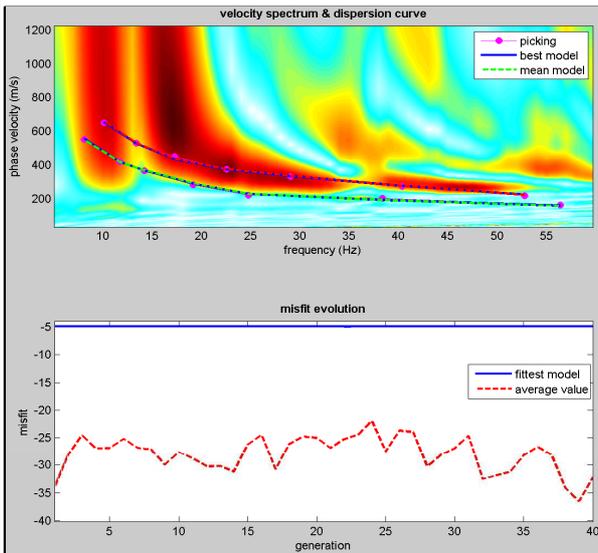
Vs30 = 607 m/s  
 Classe NTC2008 = B



**Allegato M10**

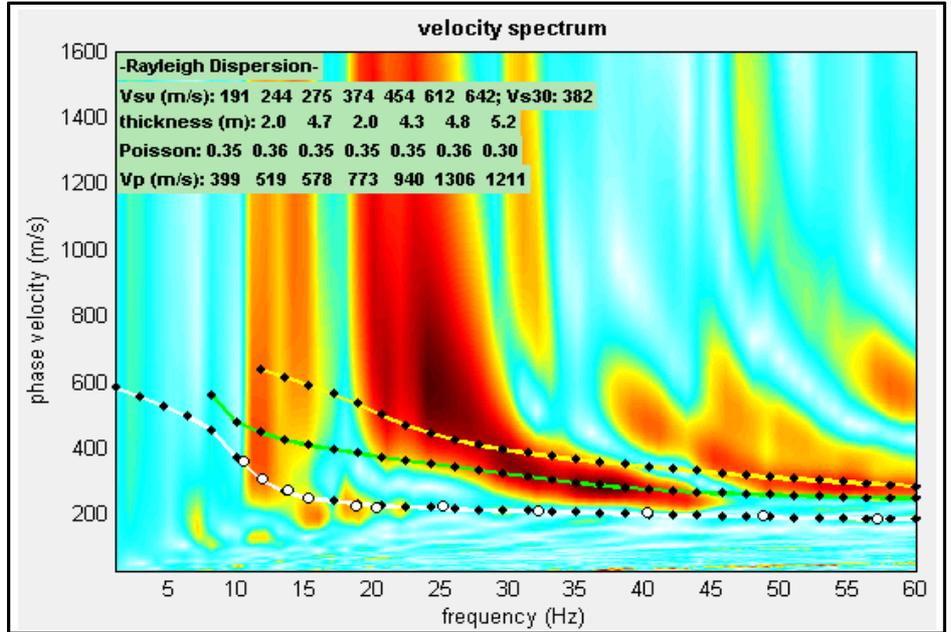
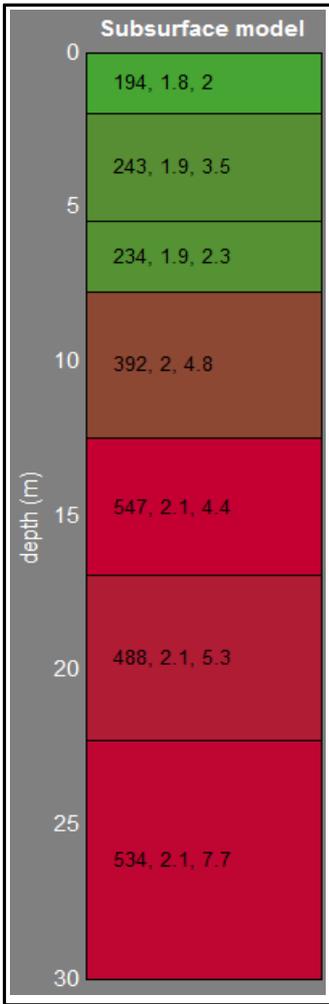


Vs30 = 420 m/s  
 Classe NTC2008 = B

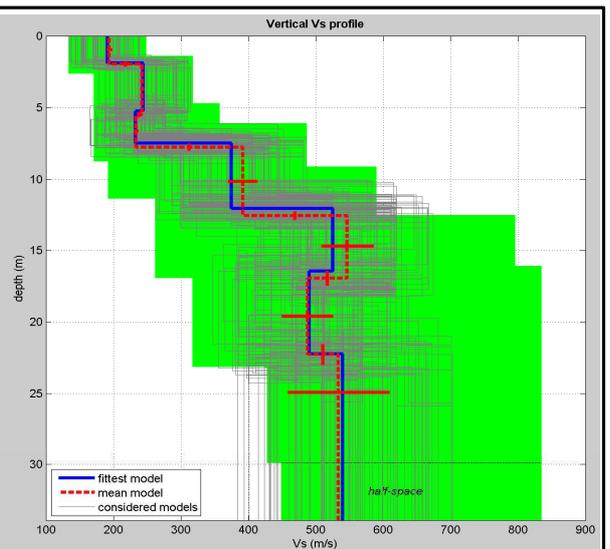
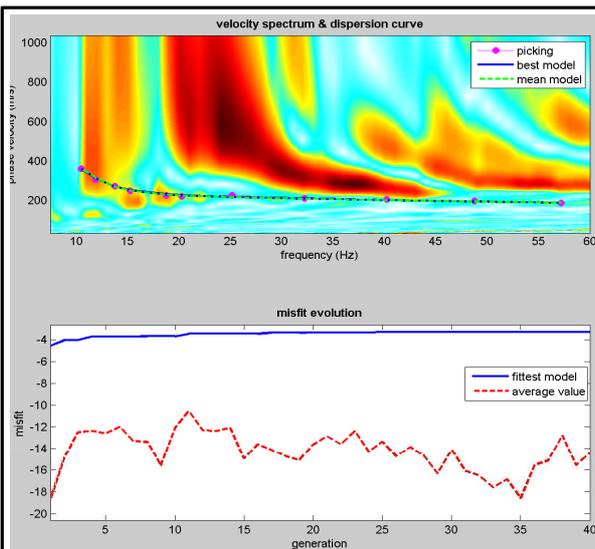


dataset: 01.sg2  
 dispersion curve: pick.cdp  
 VS30 (best model): 420 m/s  
 VS30 (mean model): 419 m/s

**Allegato M11**



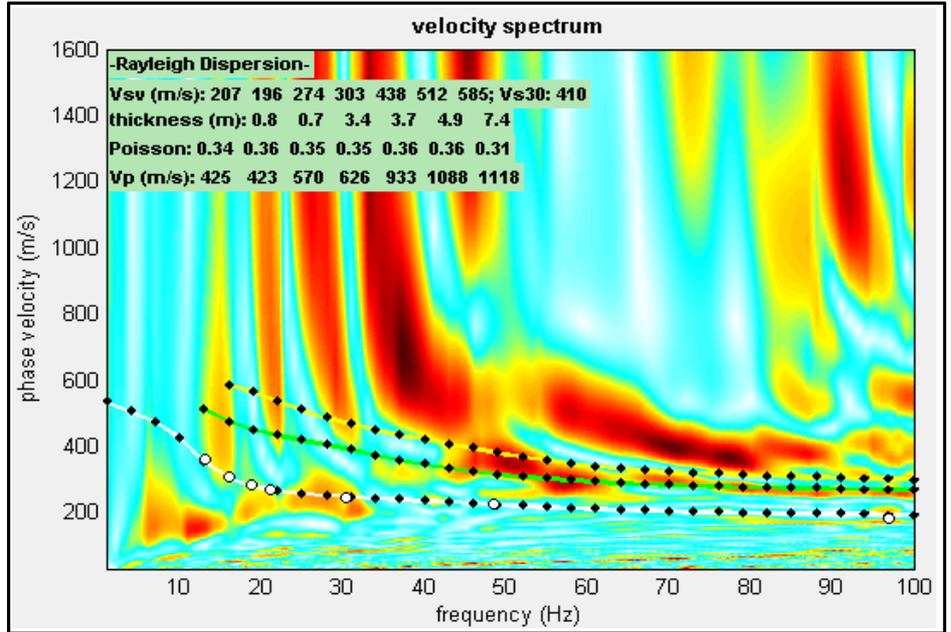
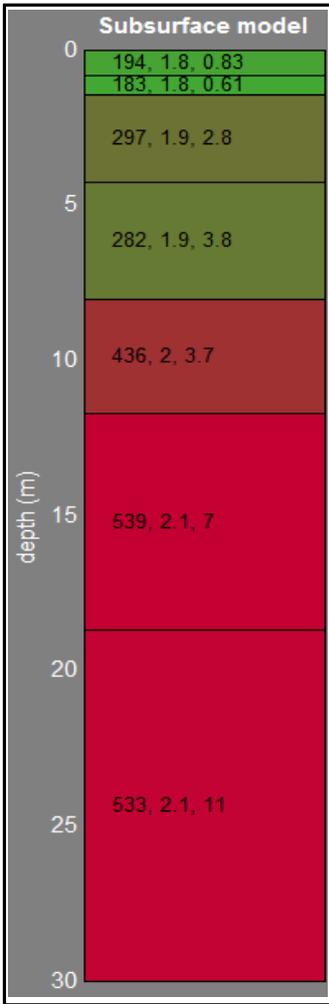
V<sub>s30</sub> = 375 m/s  
 Classe NTC2008 = B



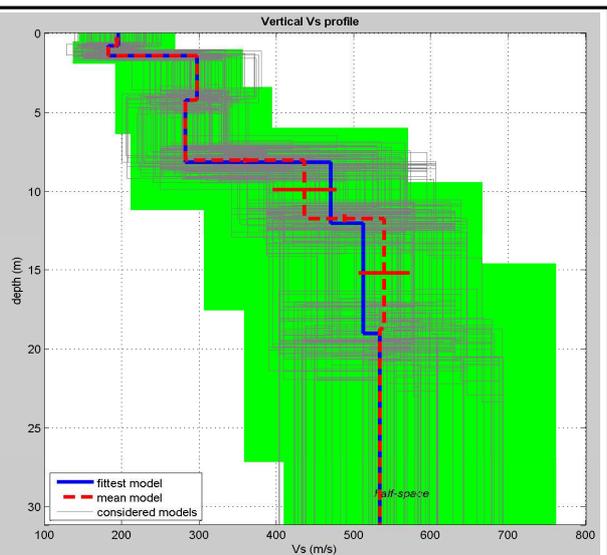
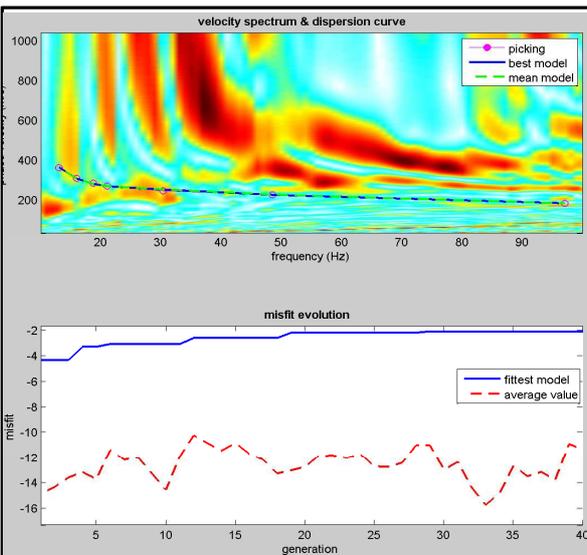
dataset: 01.sg2  
 dispersion curve: pick.cdp  
 VS30 (best model): 375 m/s  
 VS30 (mean model): 375 m/s



**Allegato M12**



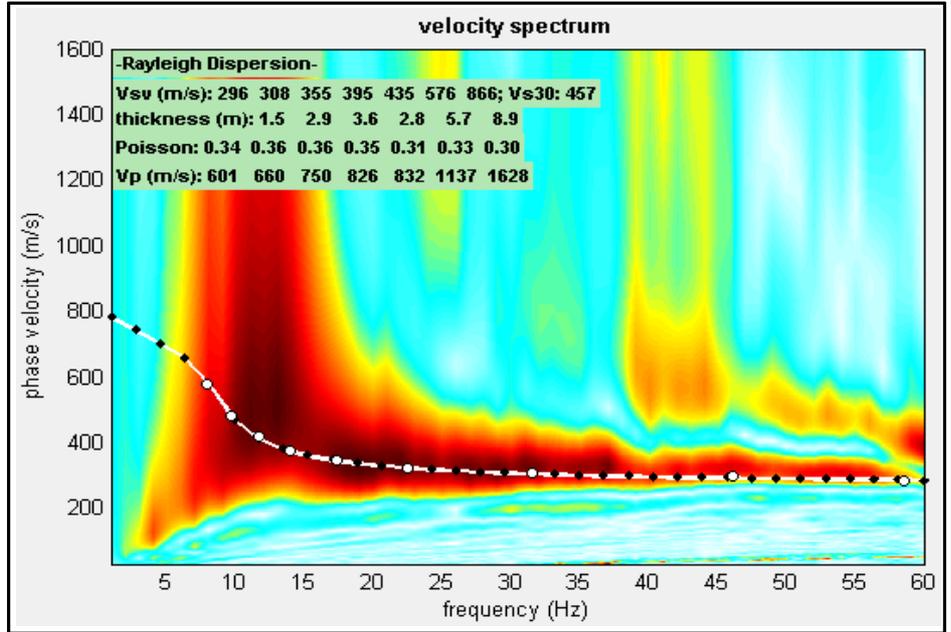
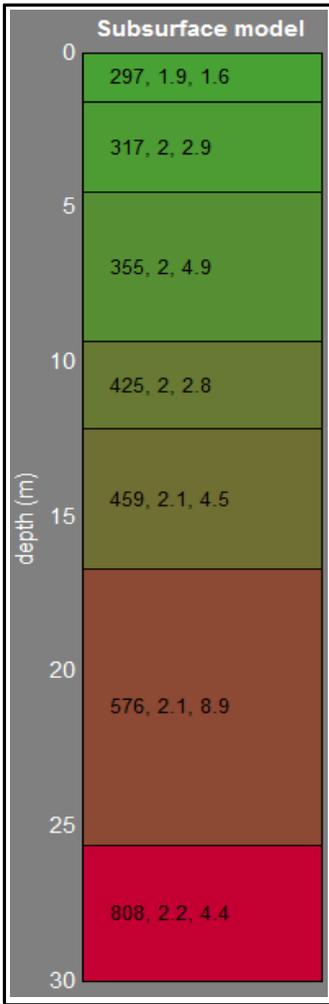
Vs30 = 409 m/s  
 Classe NTC2008 = B



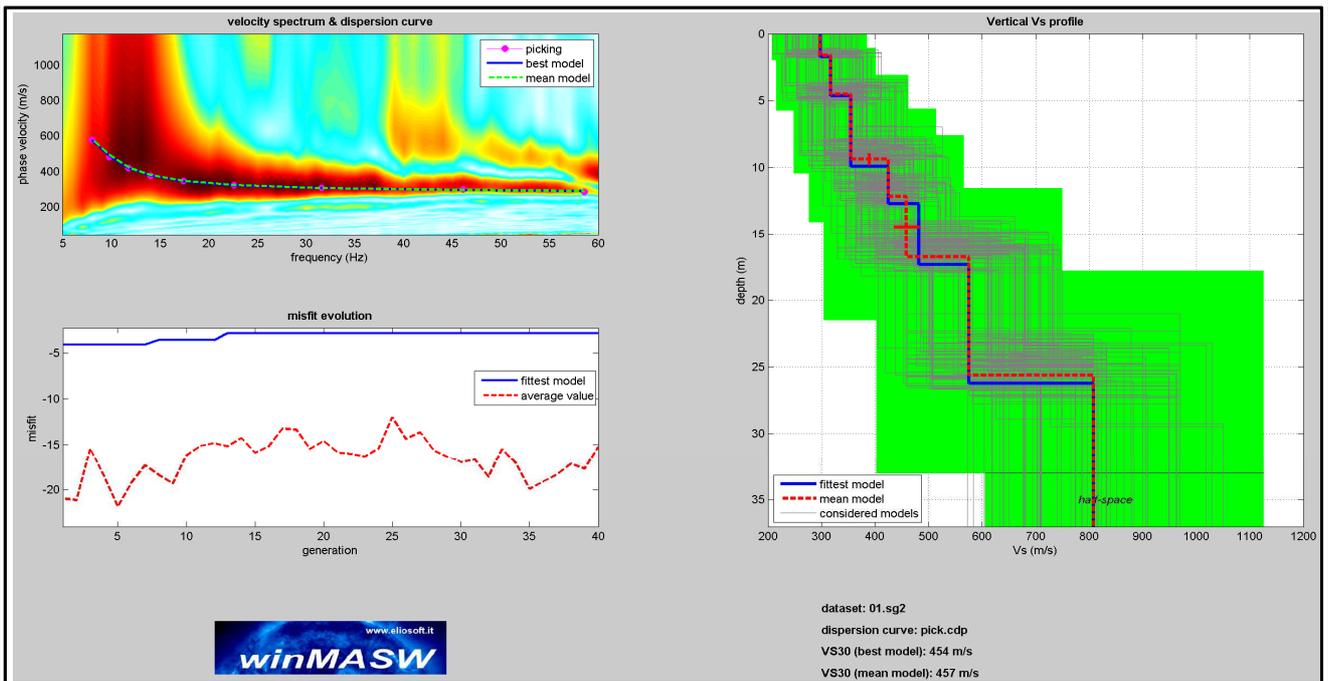
dataset: 01.sg2  
 dispersion curve: pick.cdp  
 VS30 (best model): 409 m/s  
 VS30 (mean model): 410 m/s



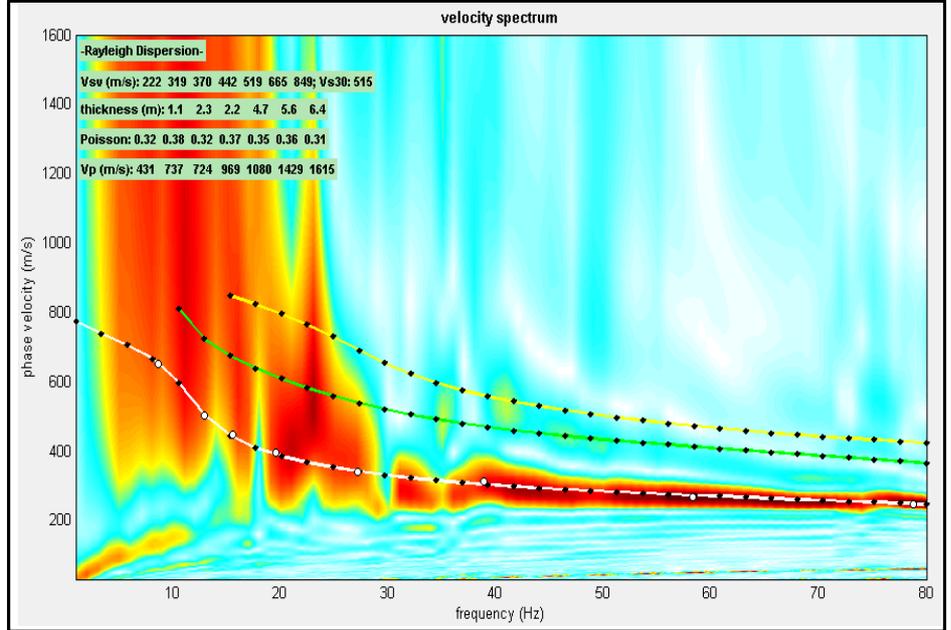
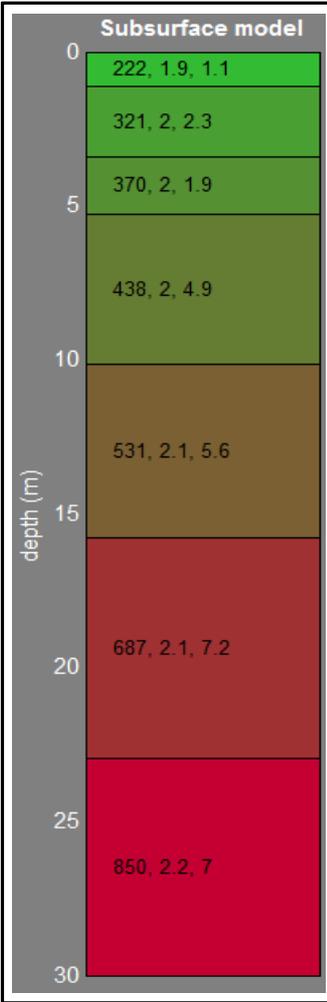
**Allegato M13**



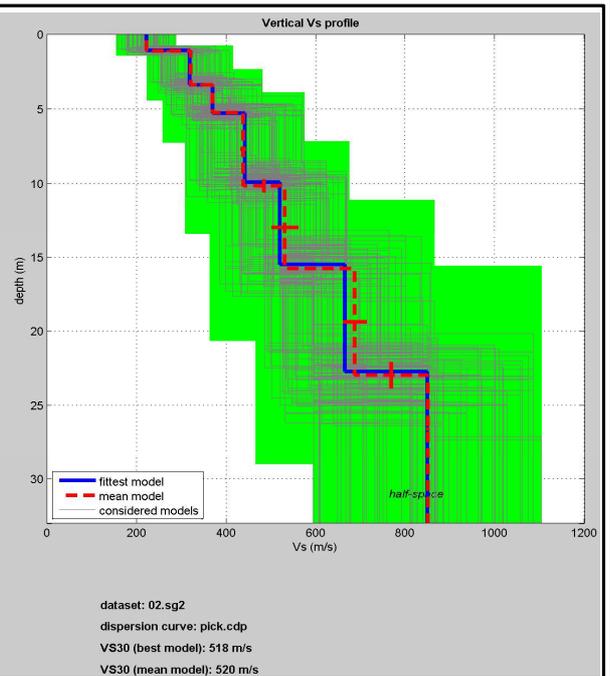
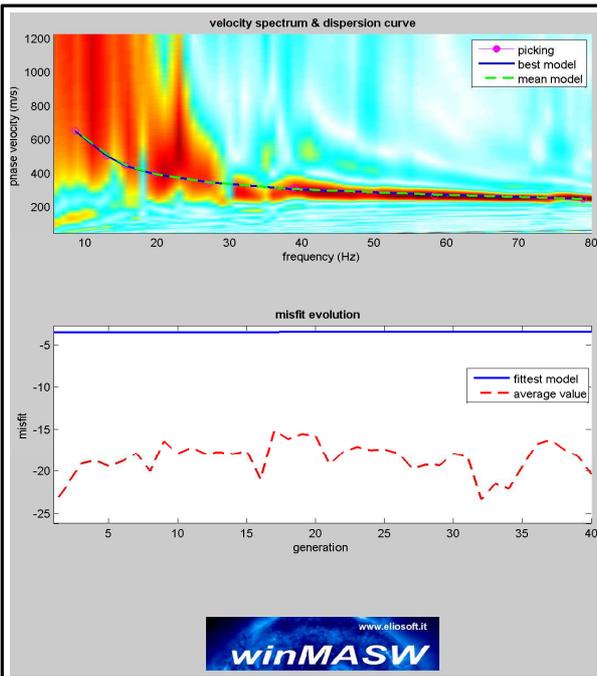
Vs<sub>30</sub> = 454 m/s  
 Classe NTC2008 = B



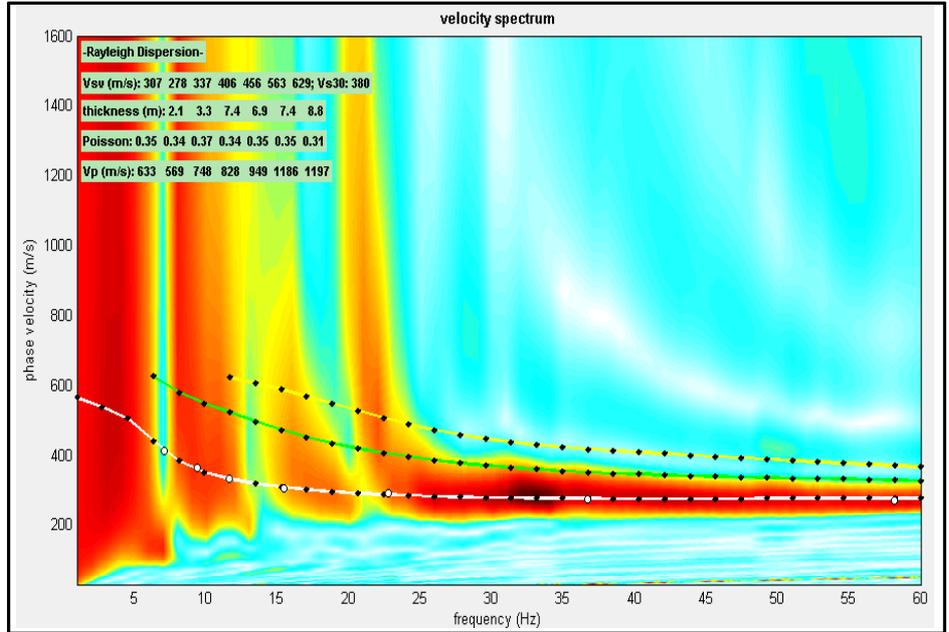
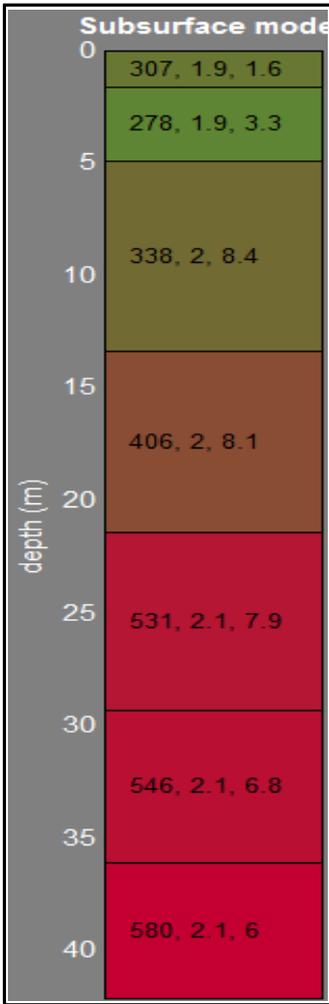
**Allegato M14**



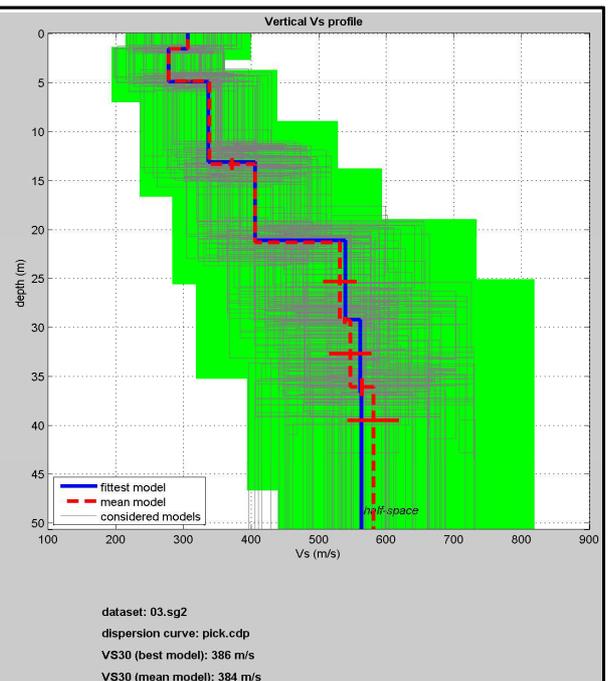
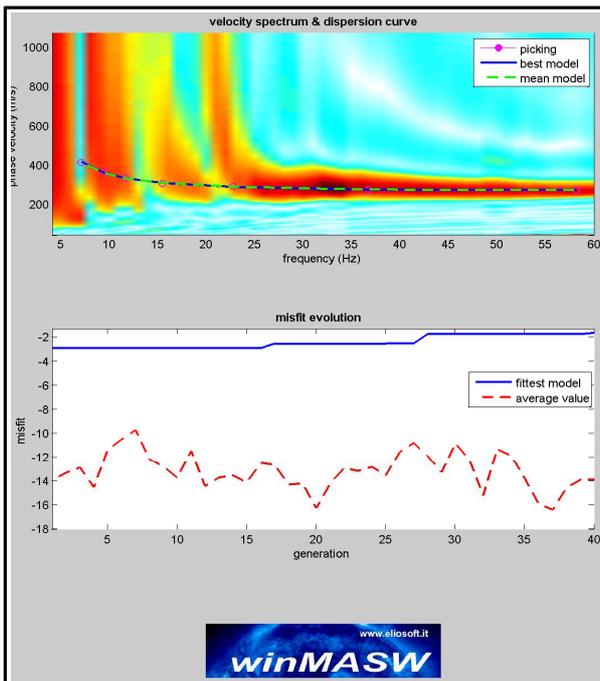
Vs30 = 518 m/s  
 Classe NTC2008 = B



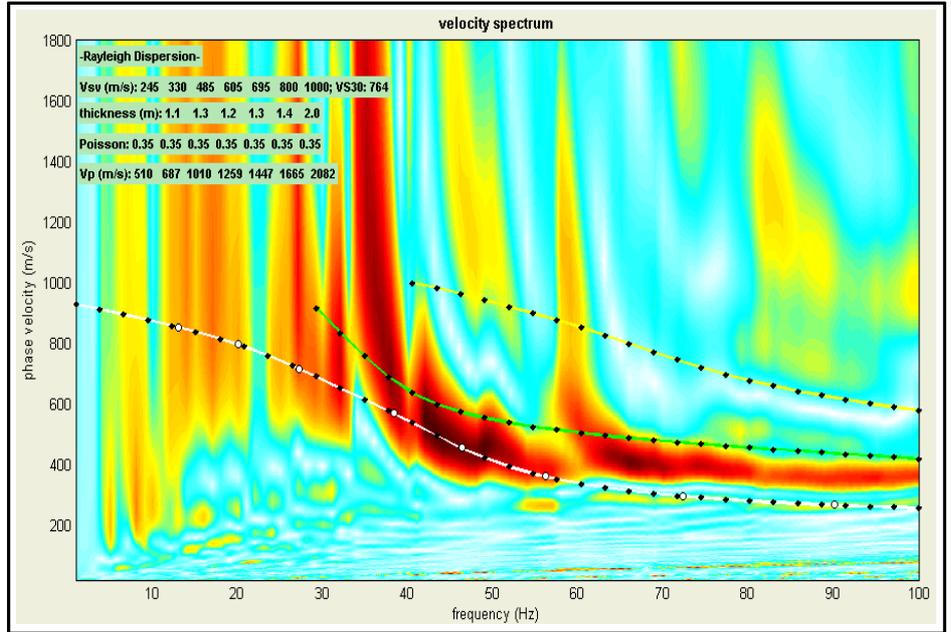
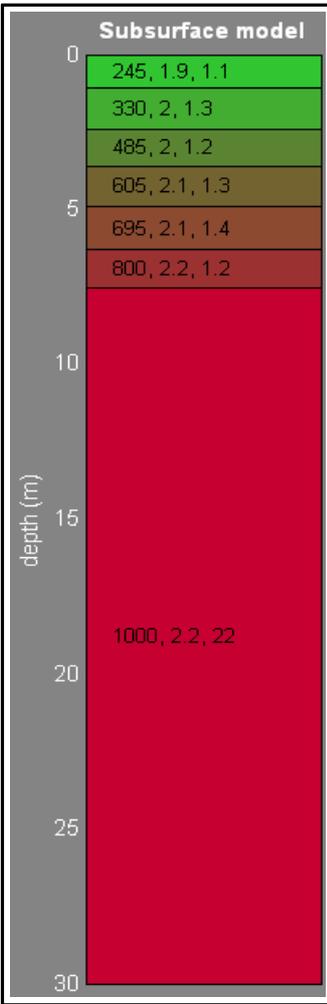
**Allegato M15**



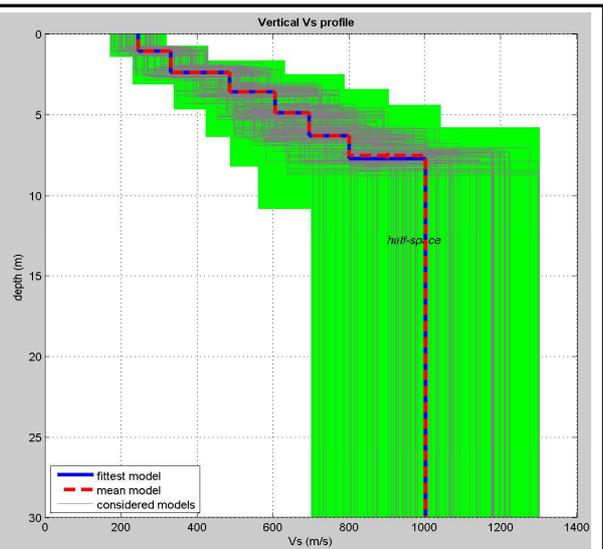
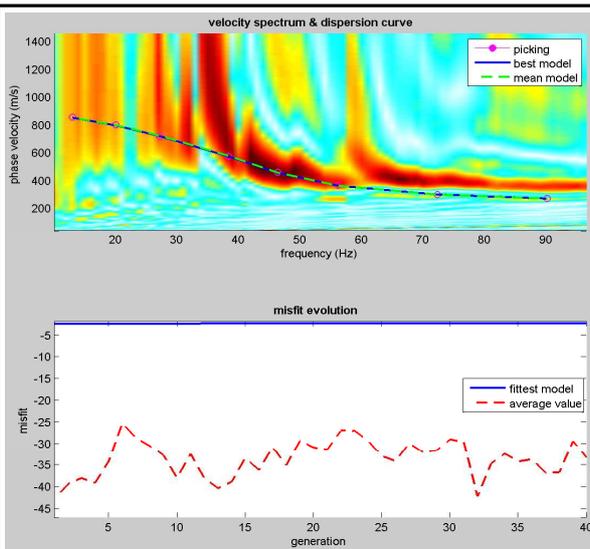
Vs30 = 386 m/s  
 Classe NTC2008 = B



**Allegato M16**



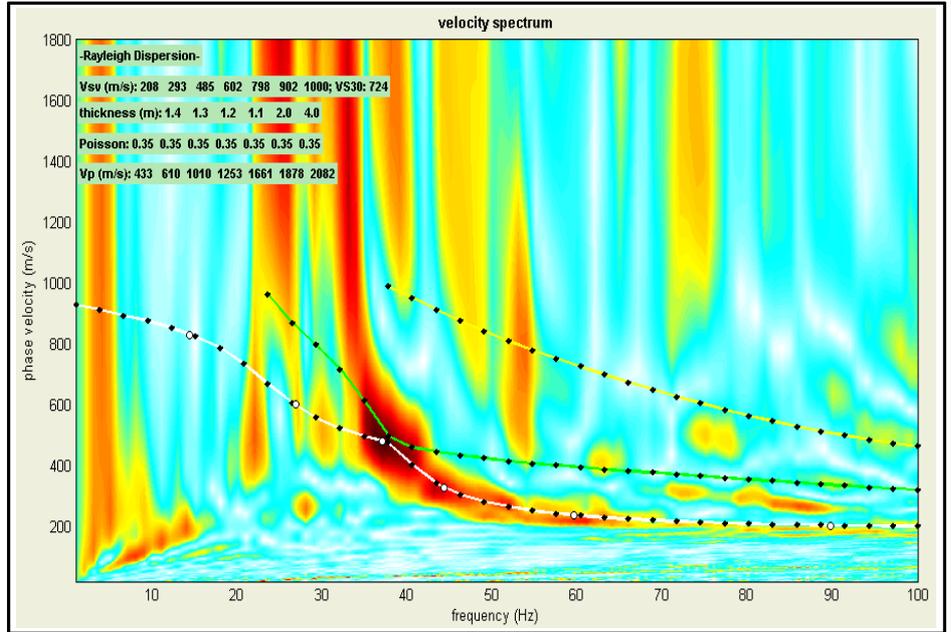
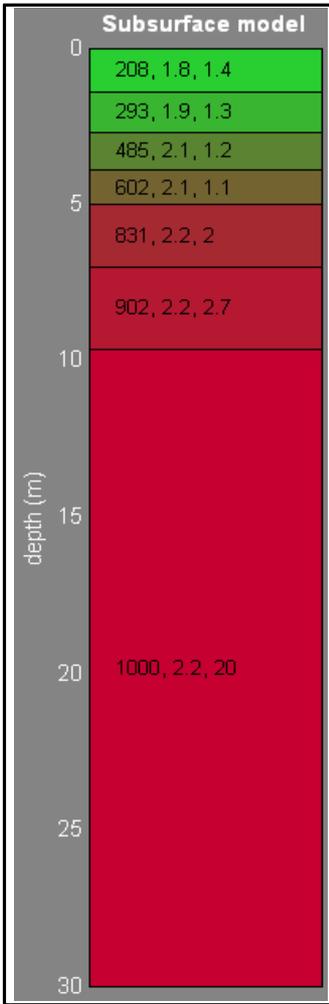
Vs30 = 767 m/s  
 Classe NTC2008 = B



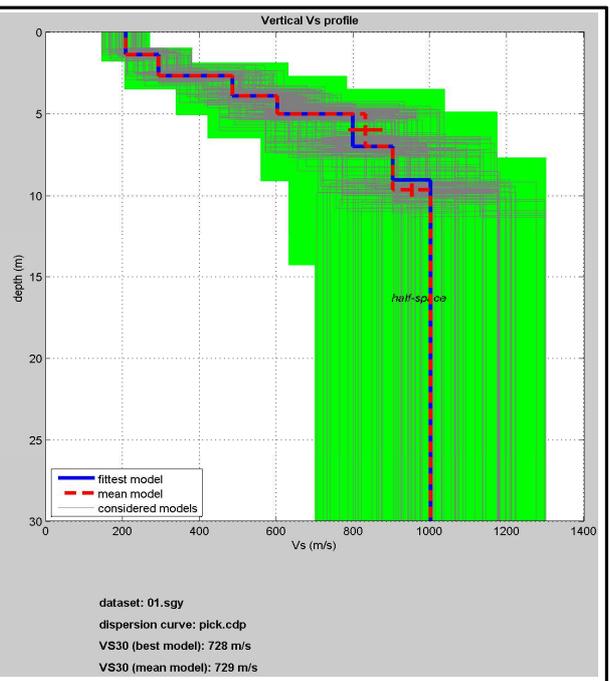
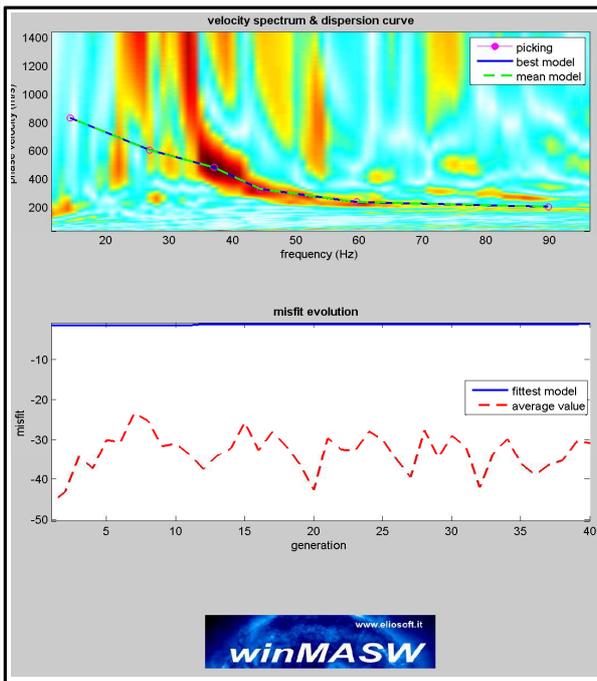
dataset: 01.sg2  
 dispersion curve: pick.cdp  
 VS30 (best model): 767 m/s  
 VS30 (mean model): 768 m/s



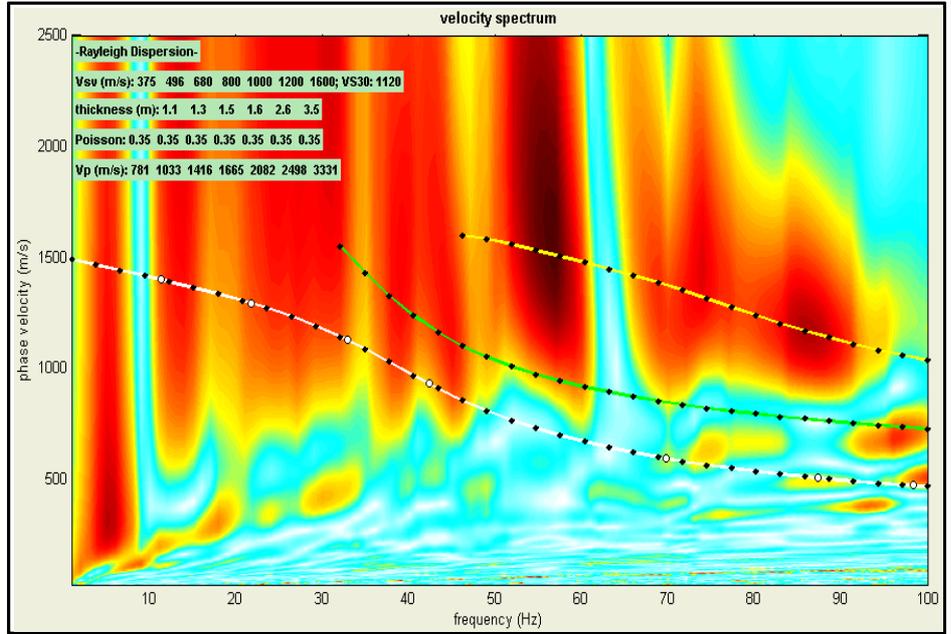
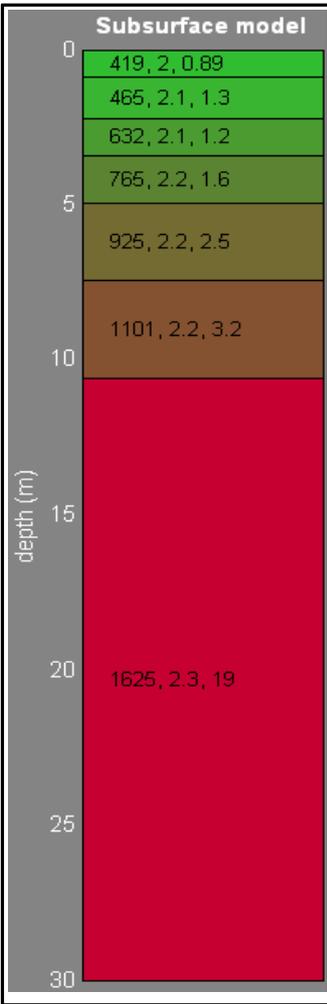
**Allegato M17**



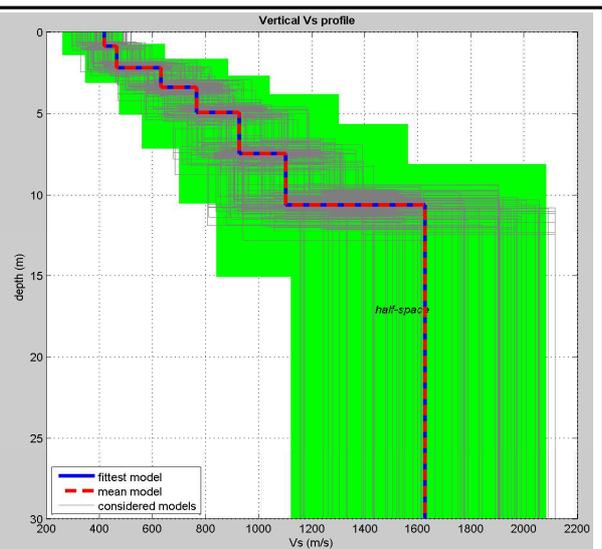
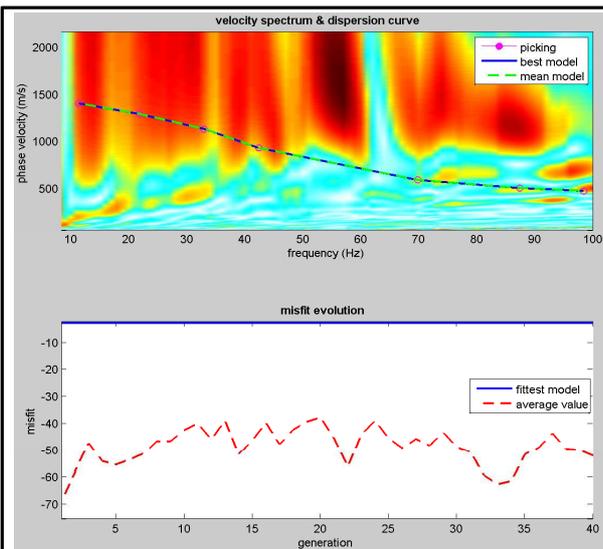
Vs30 = 728 m/s  
 Classe NTC2008 = B



**Allegato M18**



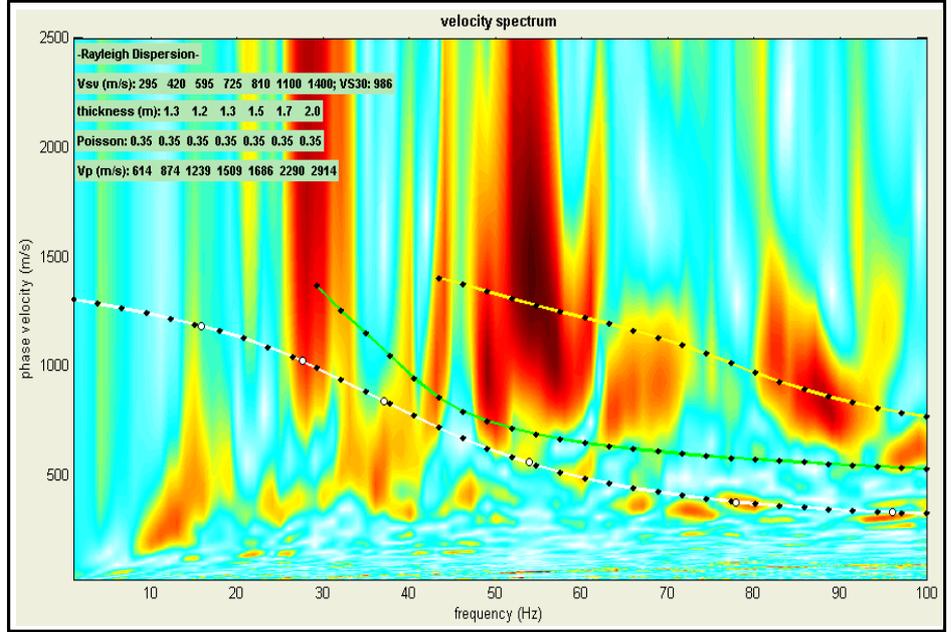
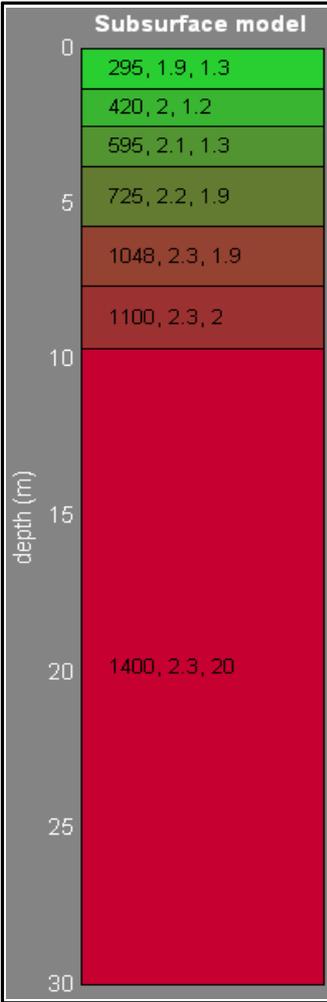
Vs30 = 1137 m/s  
 Classe NTC2008 = A



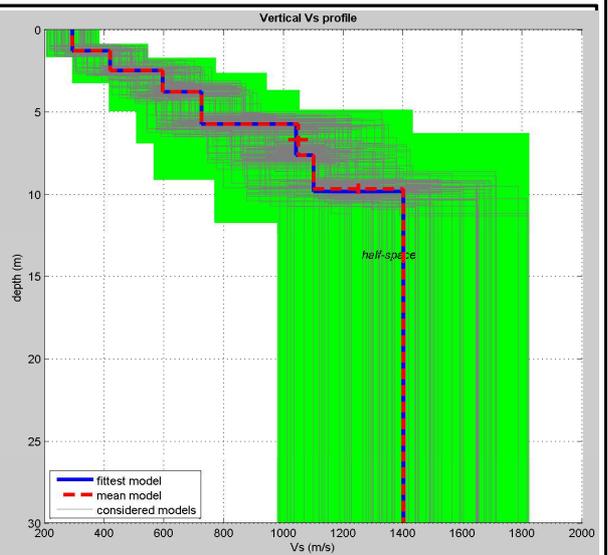
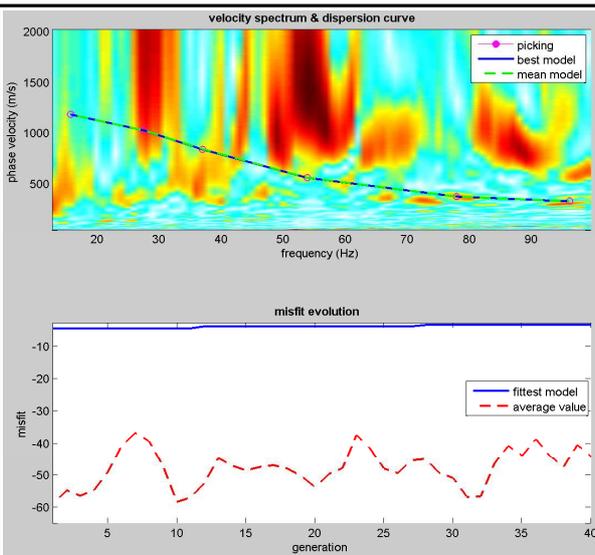
dataset: 01.sgy  
 dispersion curve: pick.cdp  
 VS30 (best model): 1137 m/s  
 VS30 (mean model): 1137 m/s



**Allegato M19**



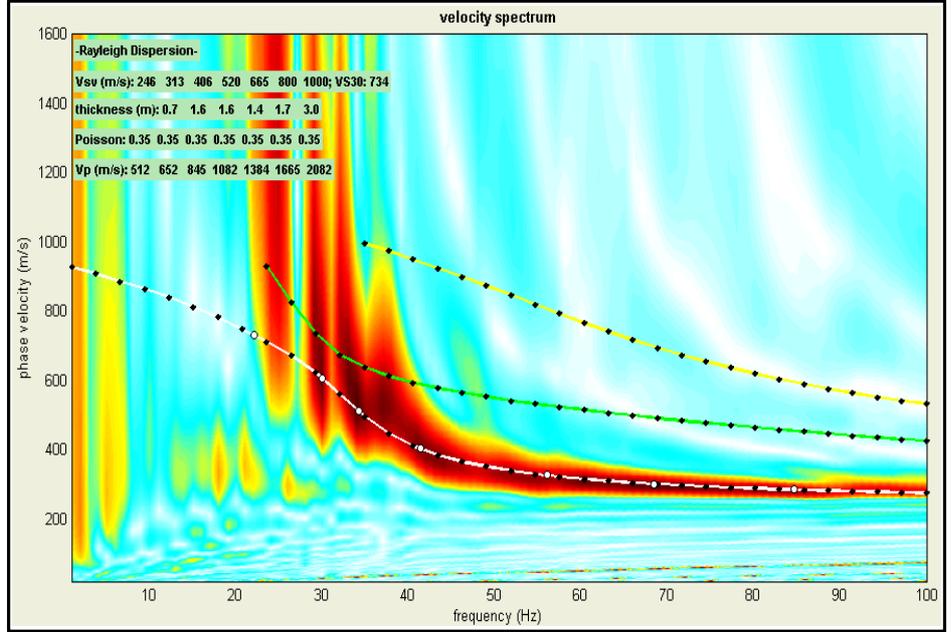
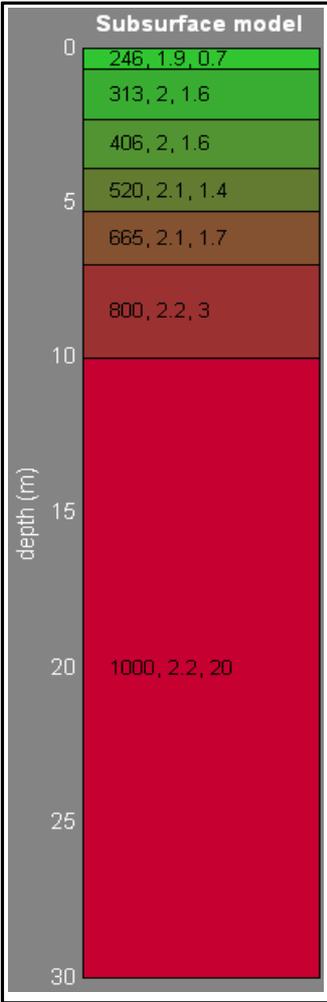
Vs30 = 990 m/s  
 Classe NTC2008 = A



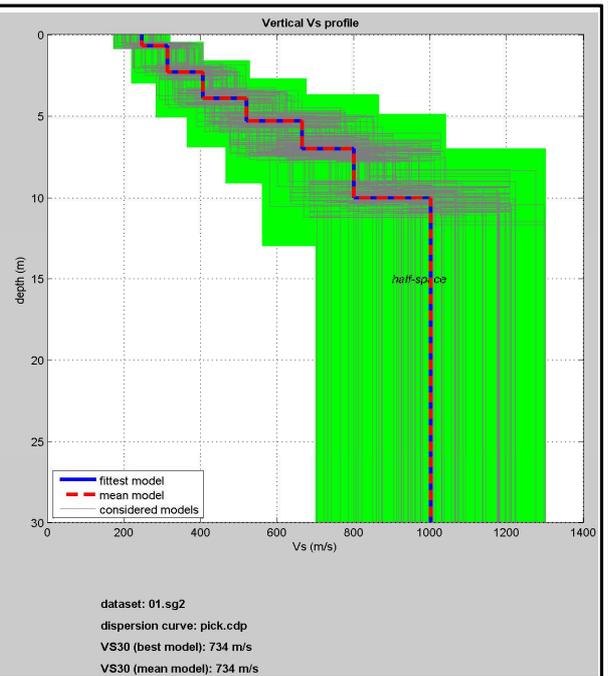
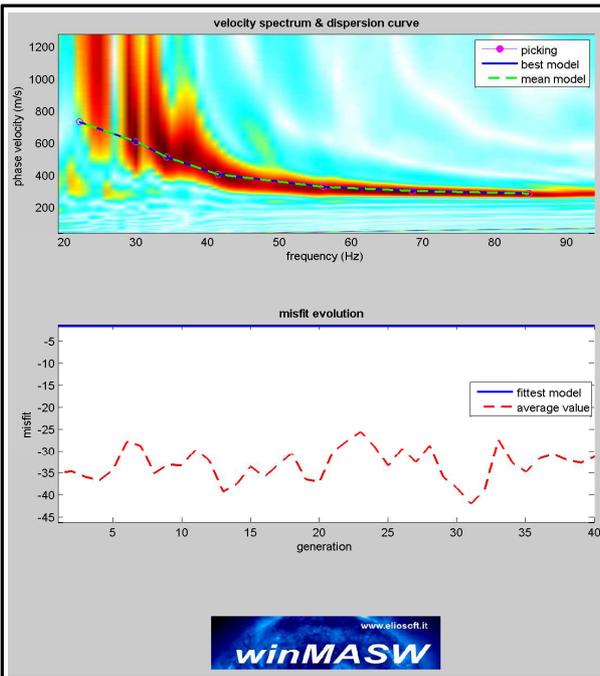
dataset: 03.sg2  
 dispersion curve: pick.cdp  
 VS30 (best model): 989 m/s  
 VS30 (mean model): 990 m/s



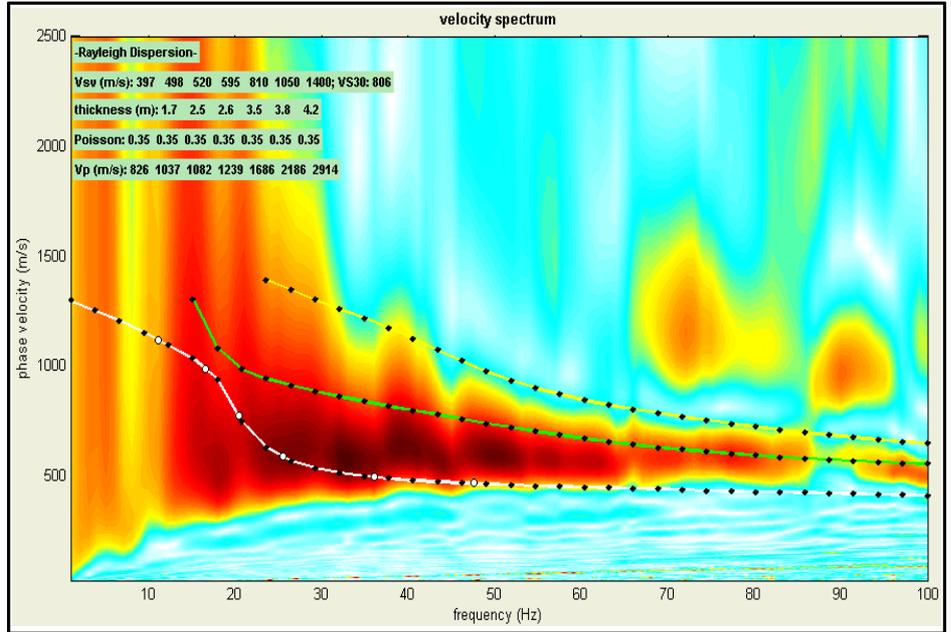
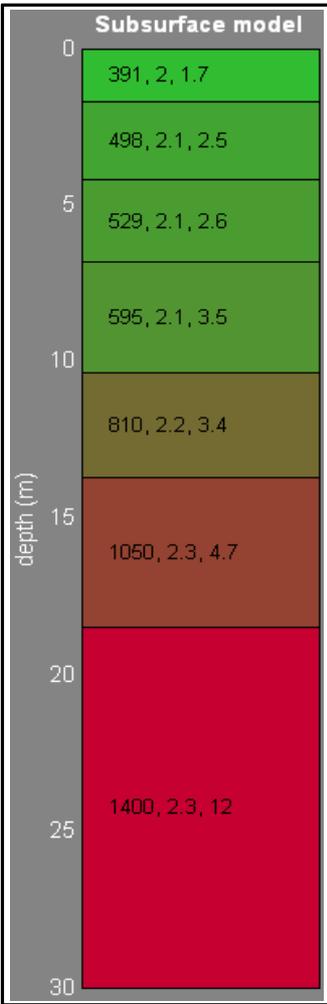
**Allegato M20**



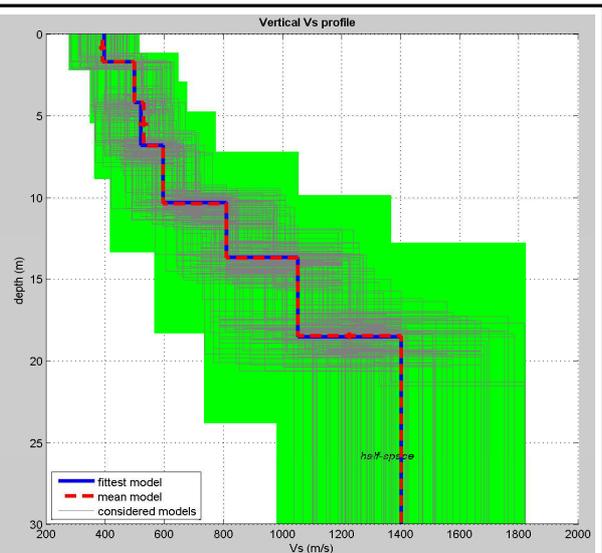
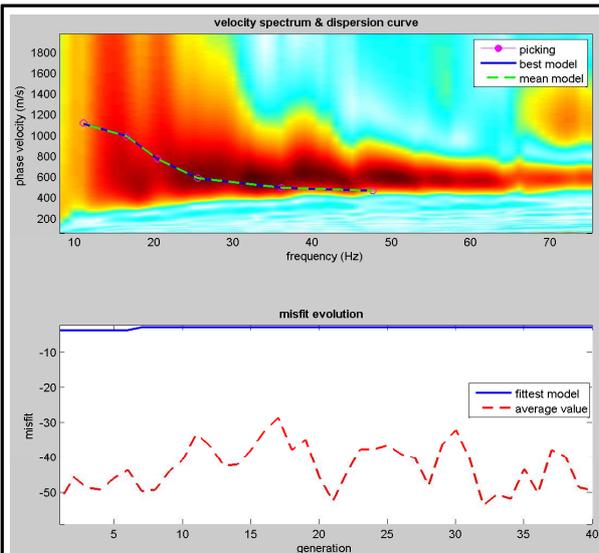
Vs30 = 734 m/s  
 Classe NTC2008 = B



**Allegato M21**

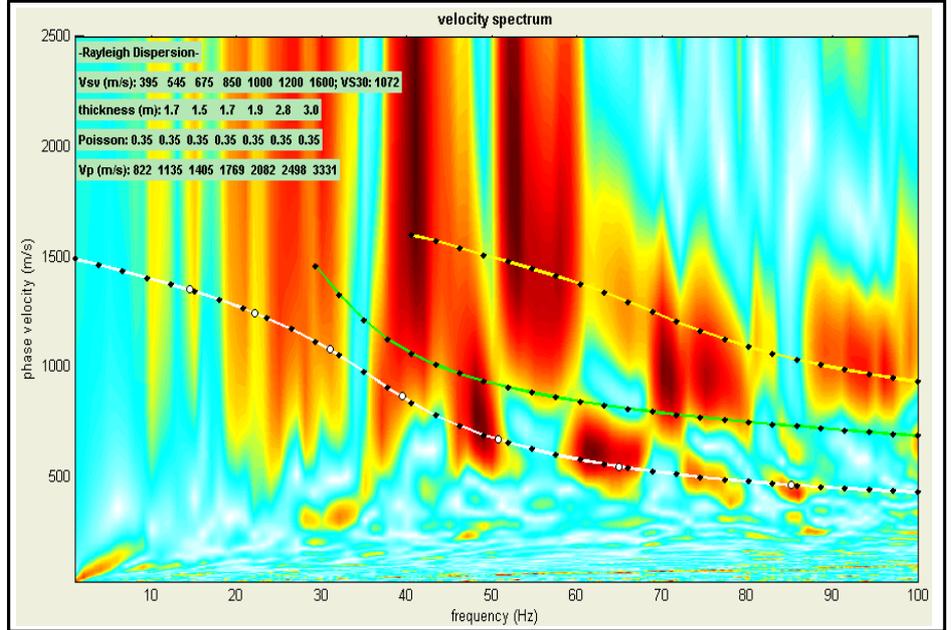
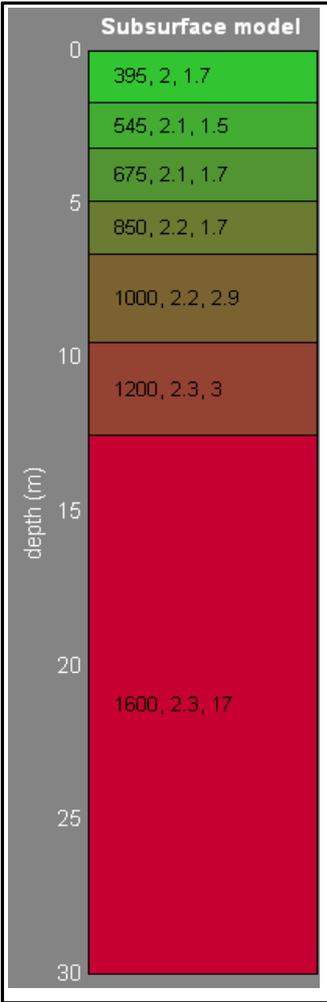


Vs30 = 807 m/s  
 Classe NTC2008 = A

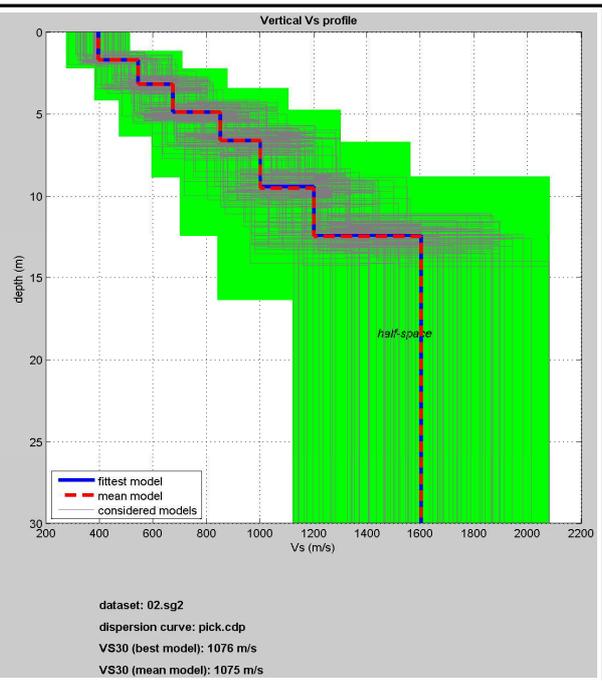
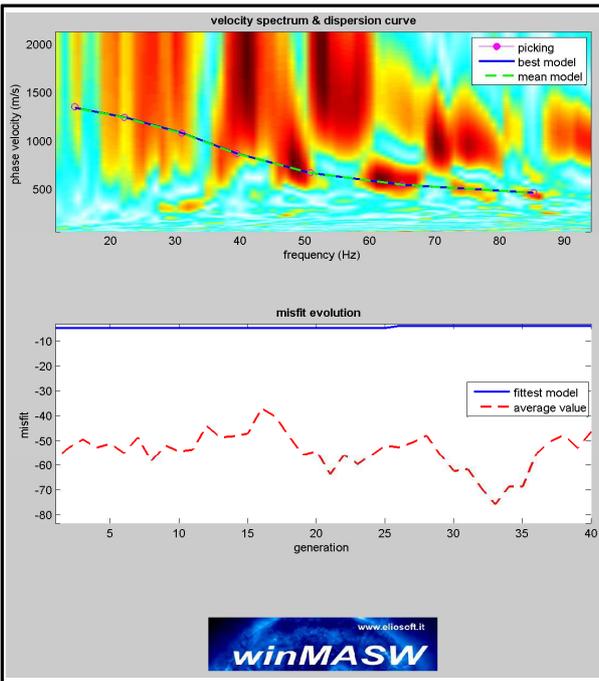


dataset: 01.sg2  
 dispersion curve: pick.cdp  
 VS30 (best model): 807 m/s  
 VS30 (mean model): 807 m/s

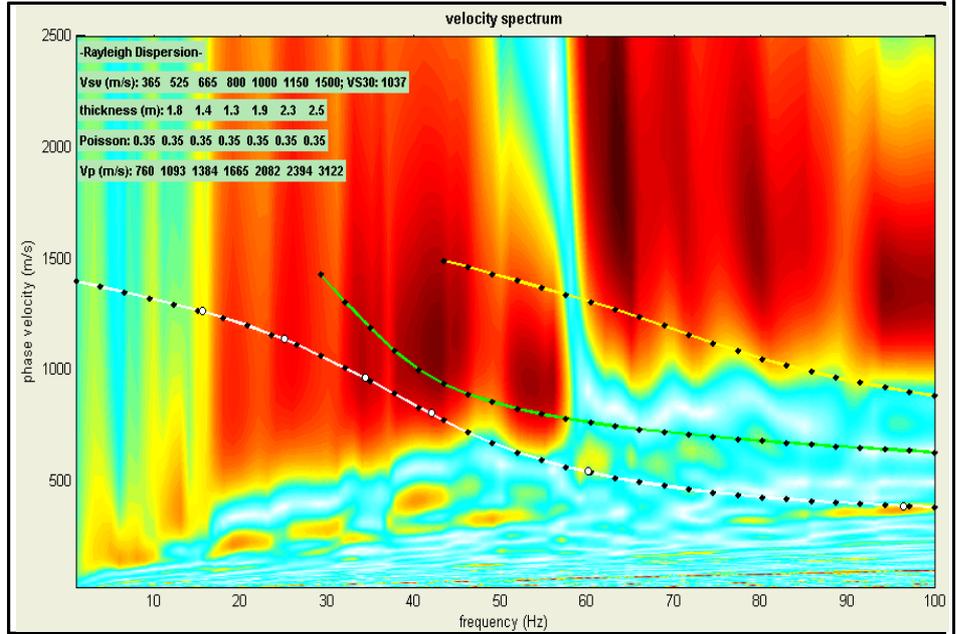
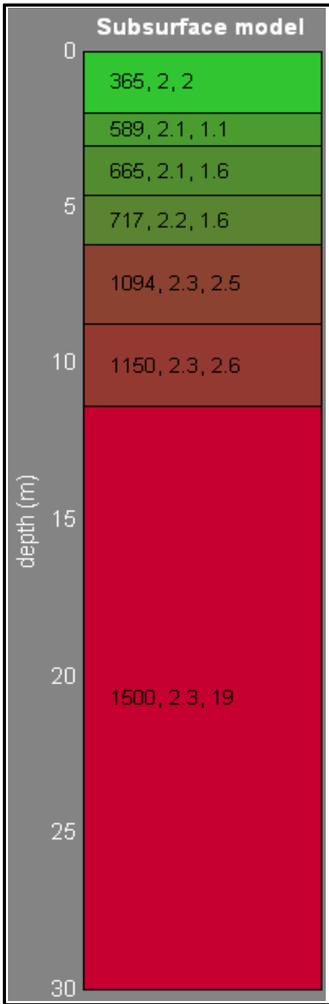
**Allegato M22**



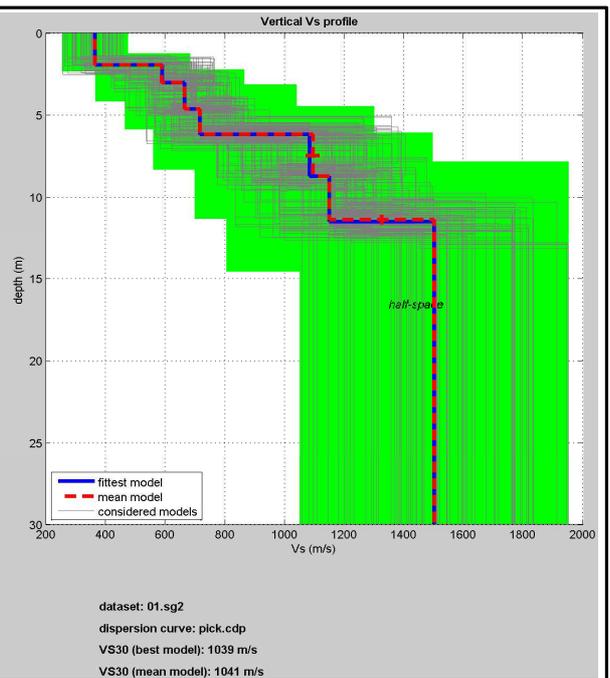
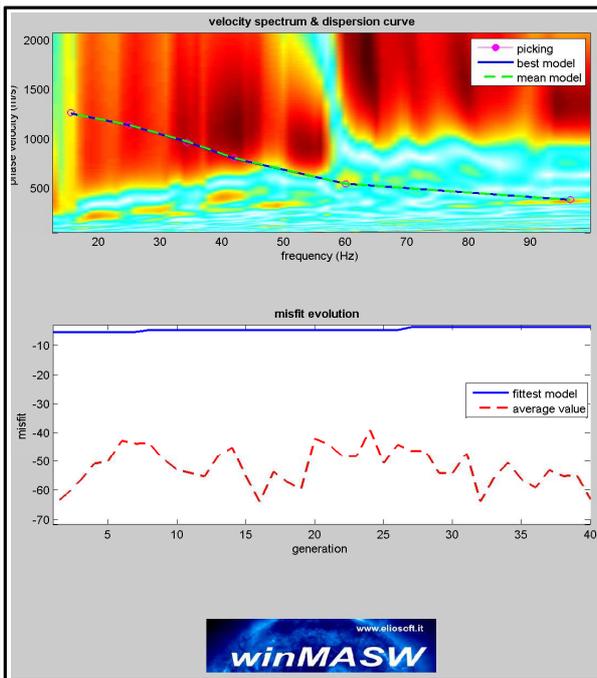
Vs30 = 1076 m/s  
 Classe NTC2008 = A



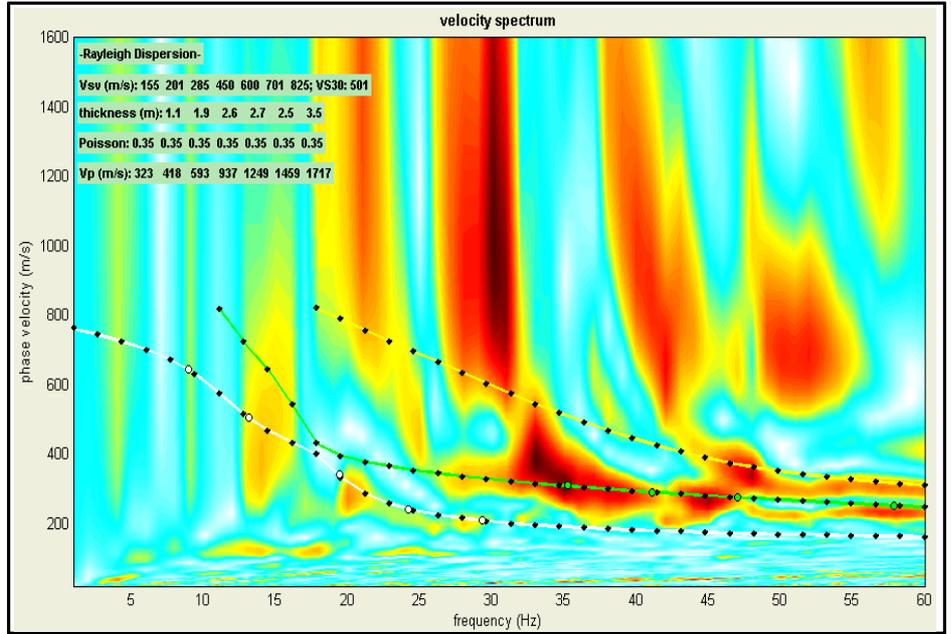
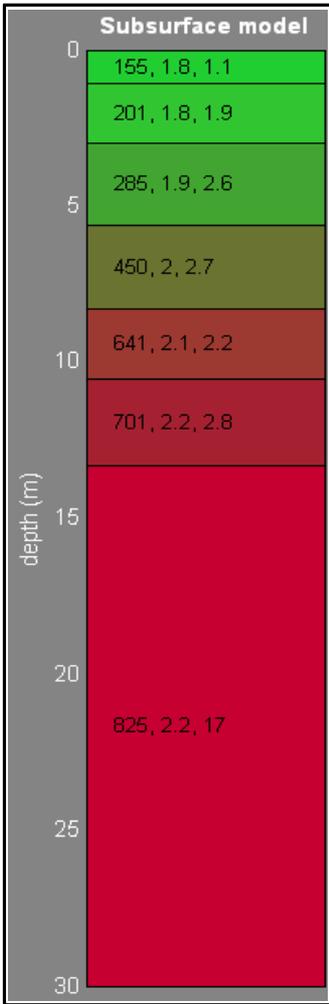
**Allegato M23**



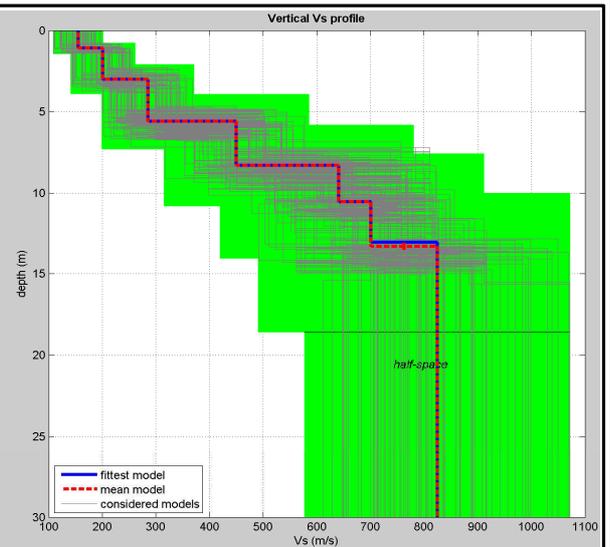
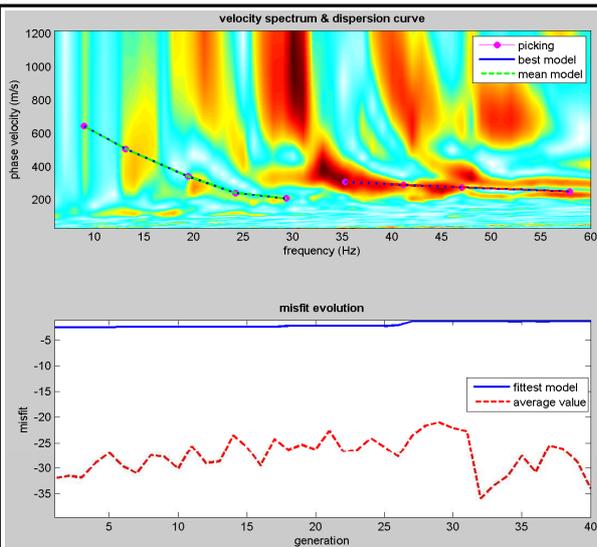
Vs30 = 1039 m/s  
 Classe NTC2008 = A



**Allegato M24**



Vs30 = 506 m/s  
 Classe NTC2008 = B



dataset: 05.sg2  
 dispersion curve: pick.odp  
 VS30 (best model): 506 m/s  
 VS30 (mean model): 505 m/s

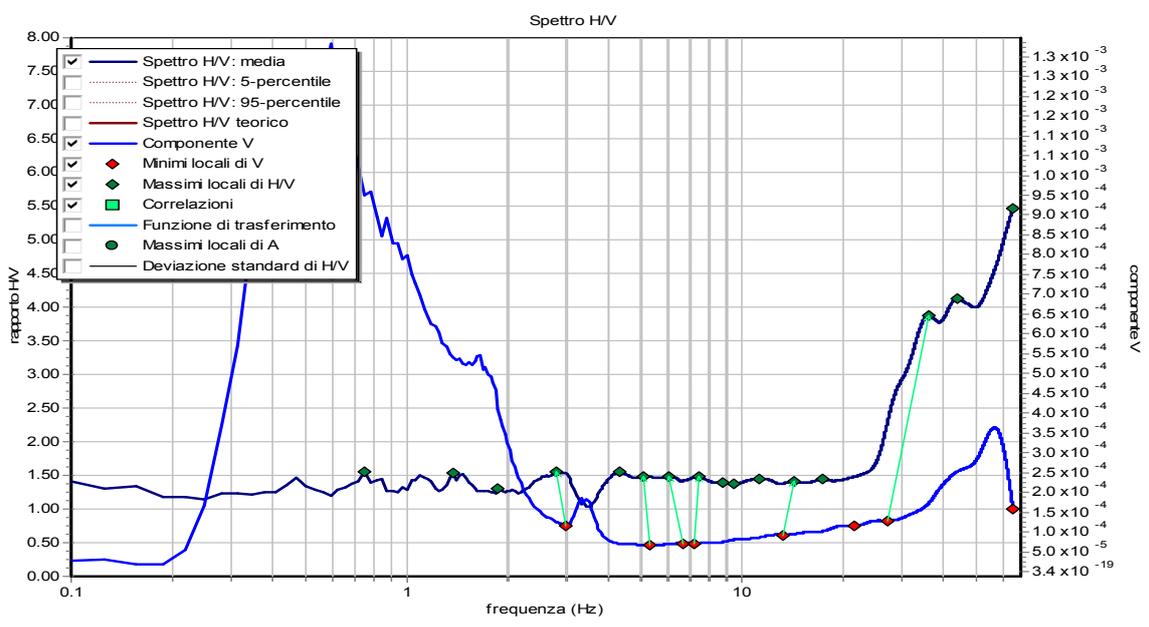
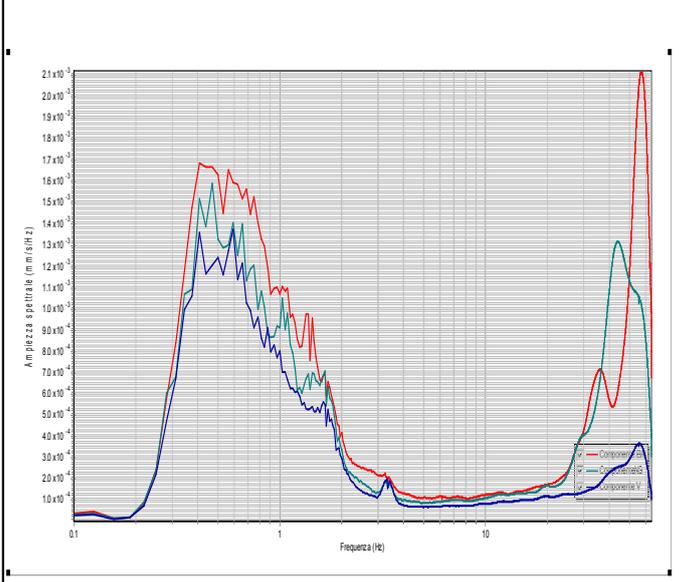
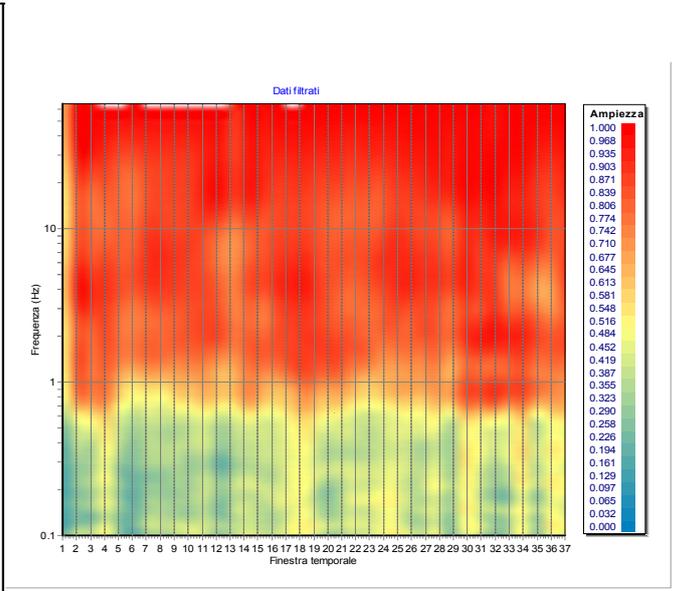
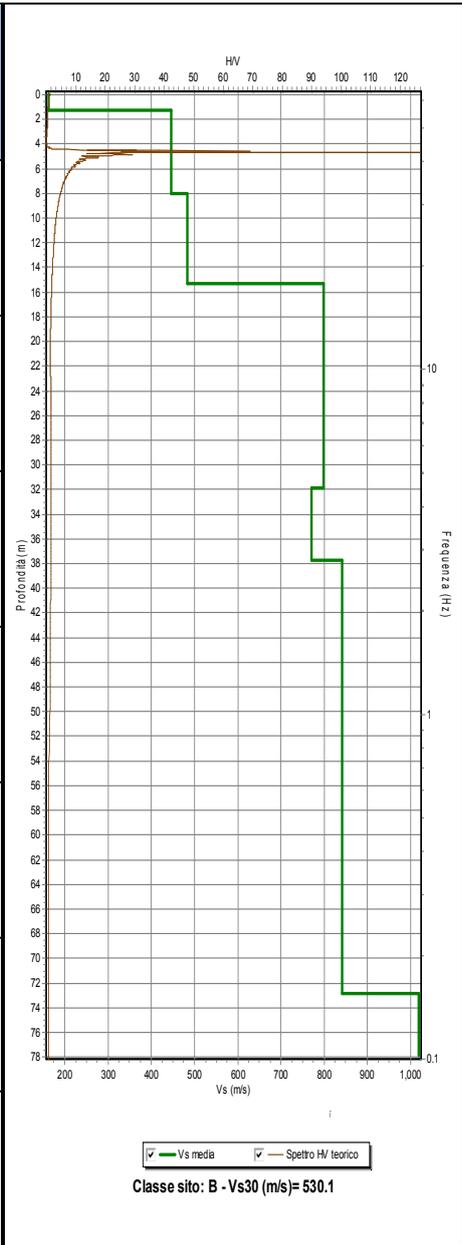


**Allegato M25**

**ALLEGATO H:  
INDAGINI HVSR**

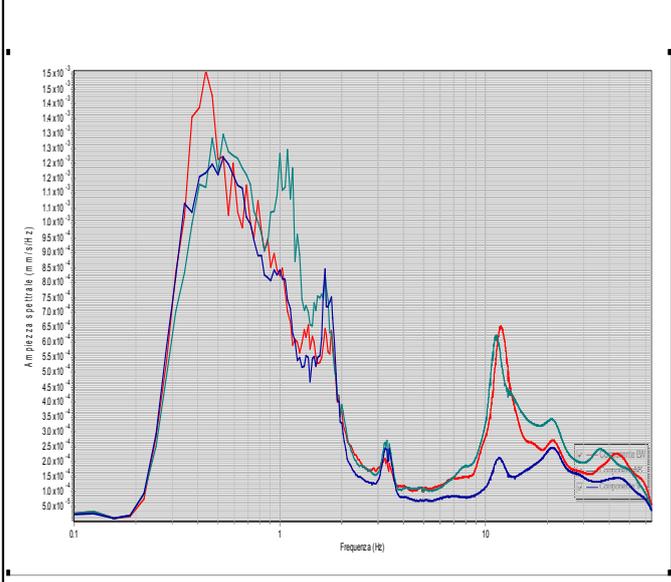
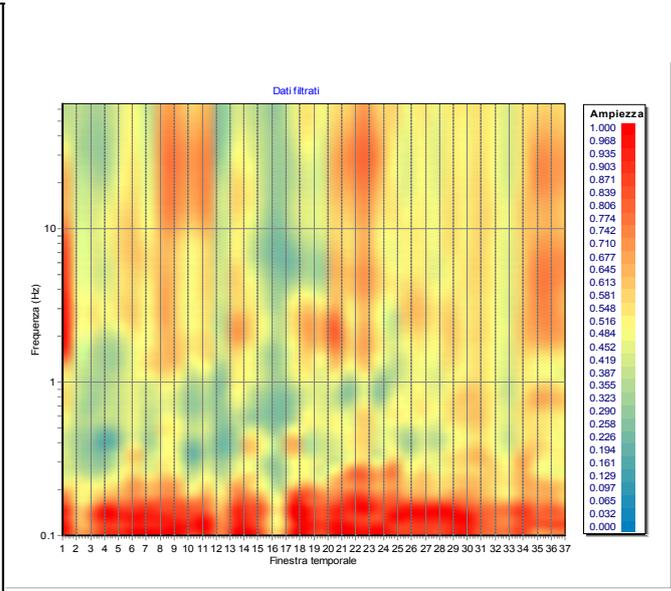
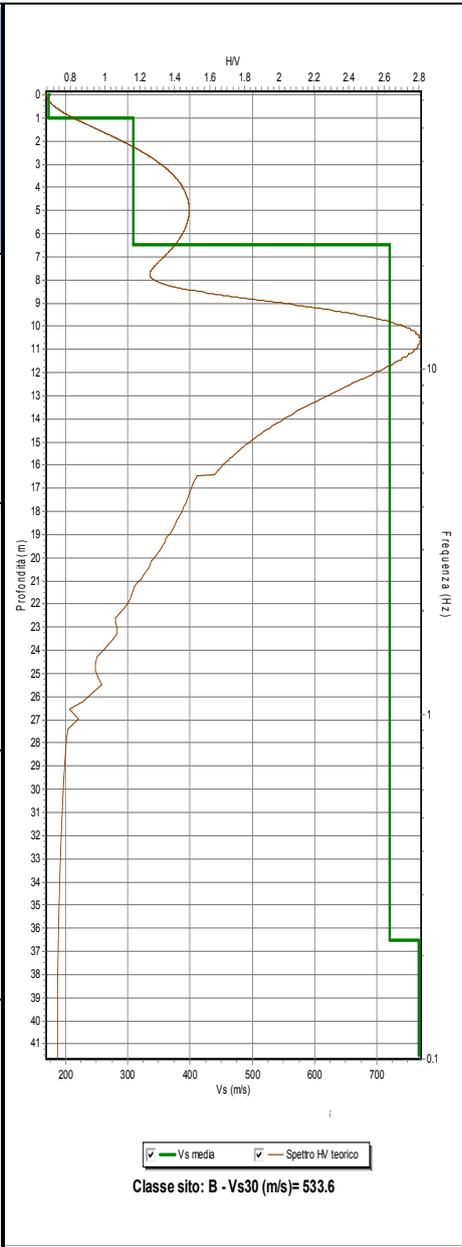
# Riassunto interpretazione HVSR TB001

N.	H(m)	Vs(m/s)
1	1.3	162
2	8.04	446
3	15.34	484
4	31.89	798
5	37.75	771
6	72.89	842
7	Oltre	1019

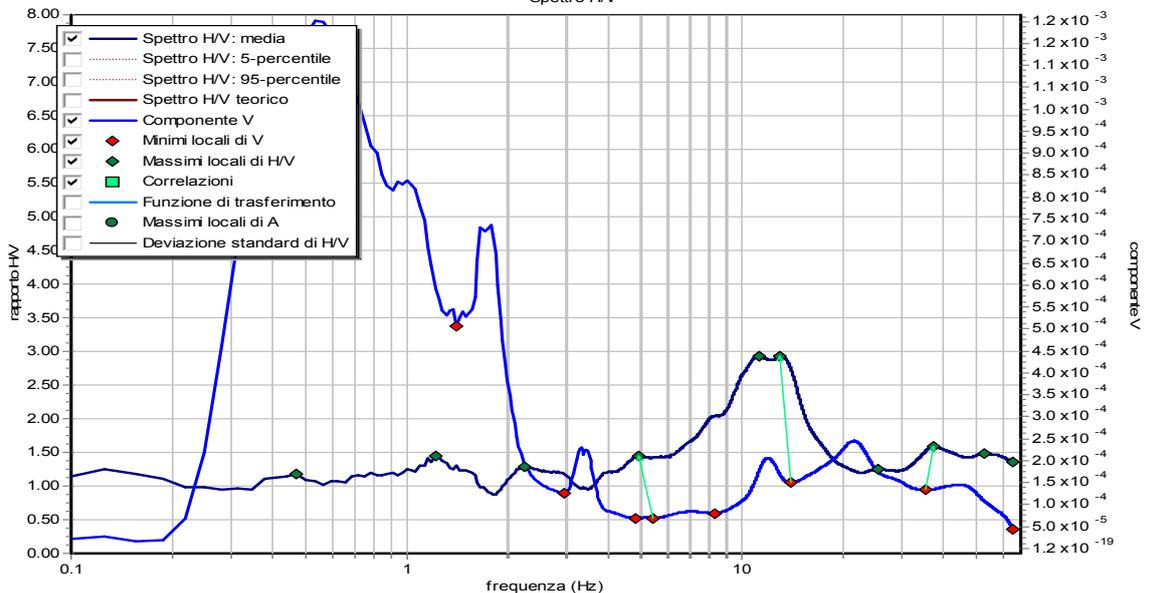


# Riassunto interpretazione HVSR TB002

N.	H(m)	Vs(m/s)
1	1.0	173
2	6.5	309
3	36.51	720
4	Oltre	767

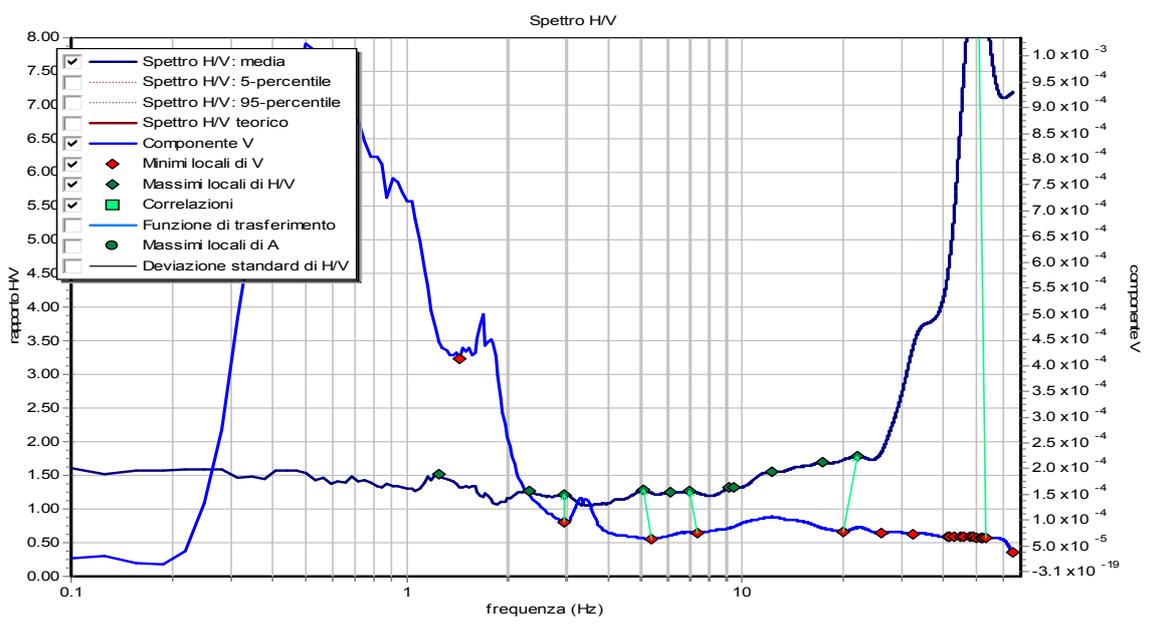
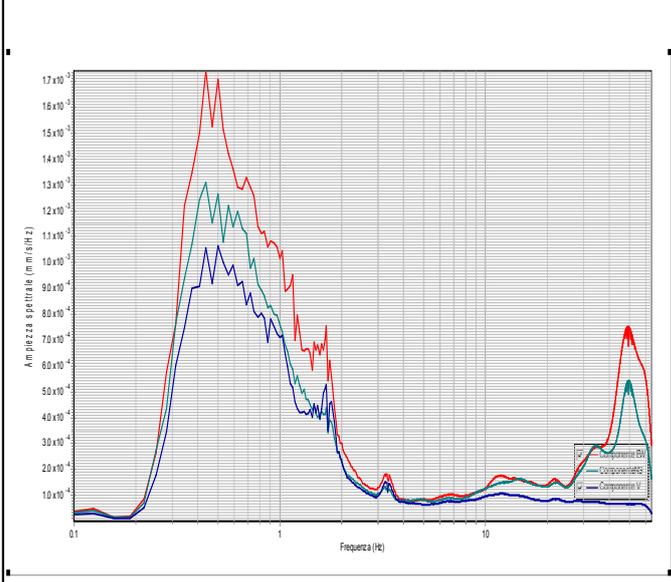
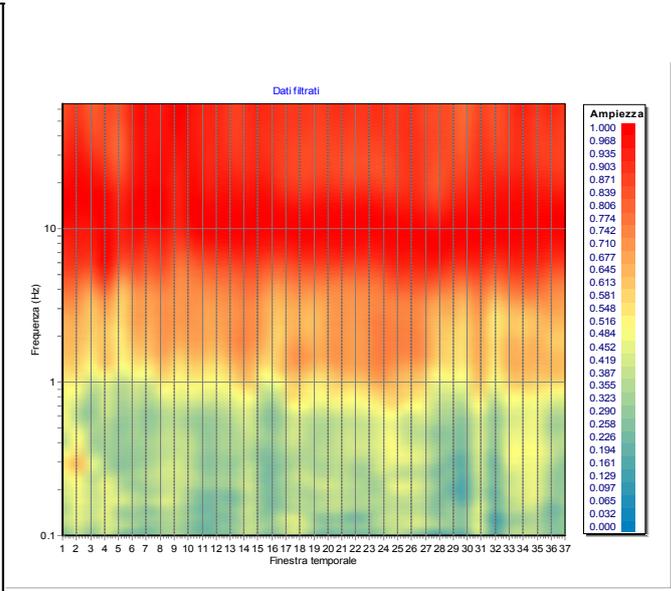
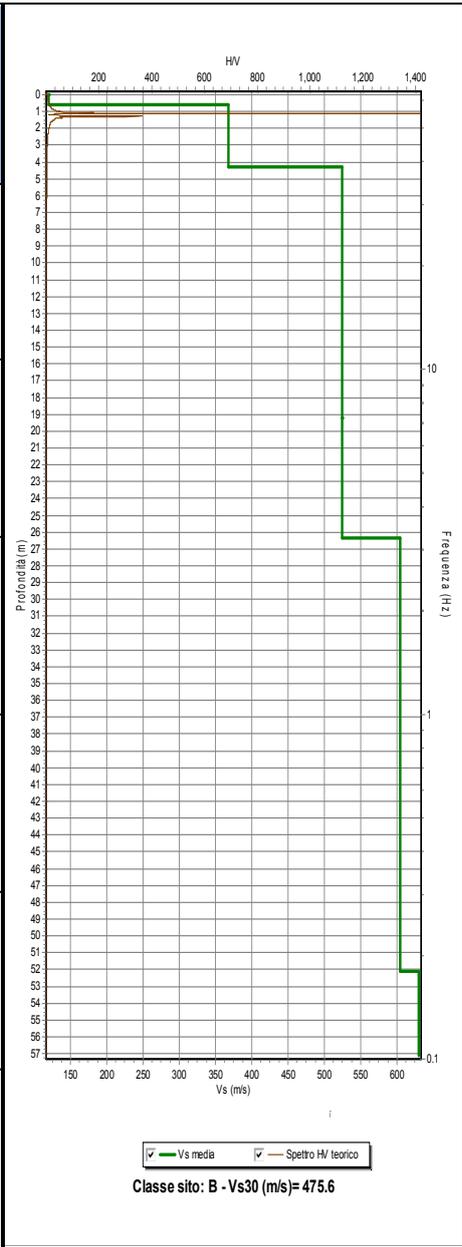


Spettro HV



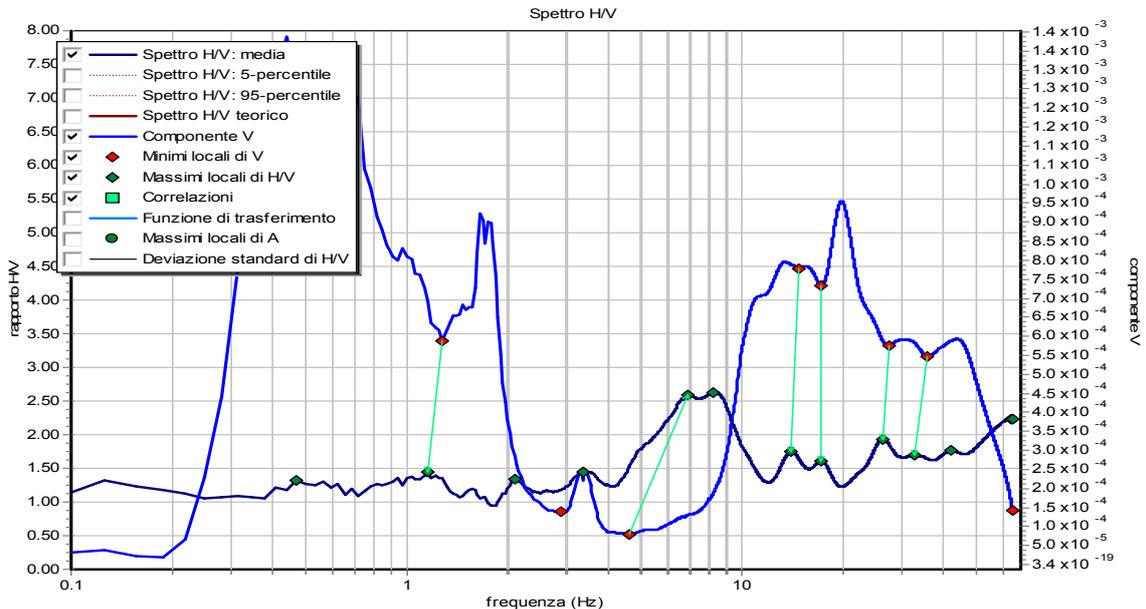
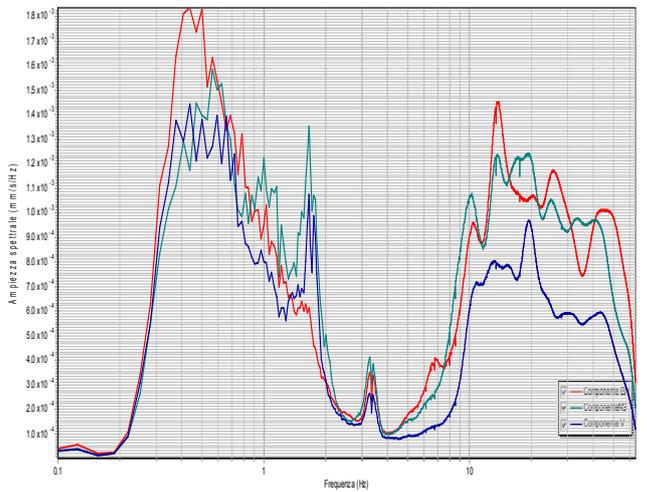
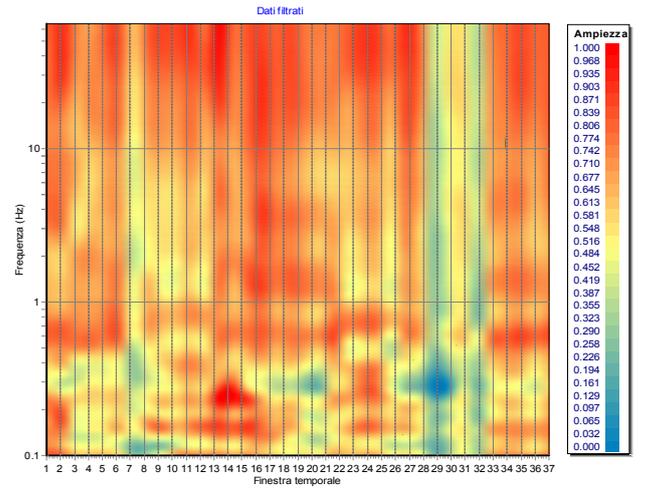
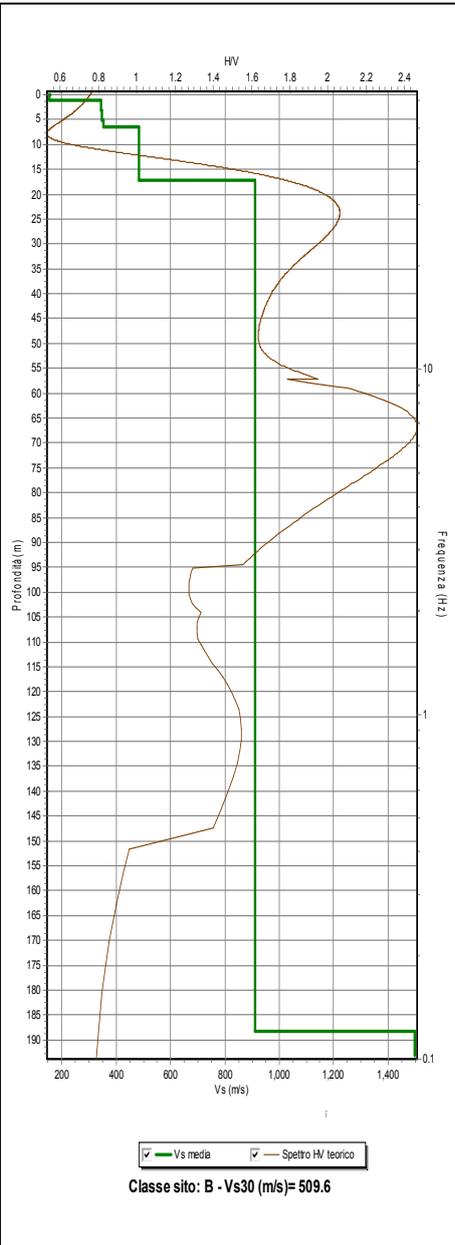
# Riassunto interpretazione HVSR TB003

N.	H(m)	Vs(m/s)
1	0.6	120
2	4.29	368
3	19.19	525
4	26.32	525
5	52.12	604
6	Oltre	630



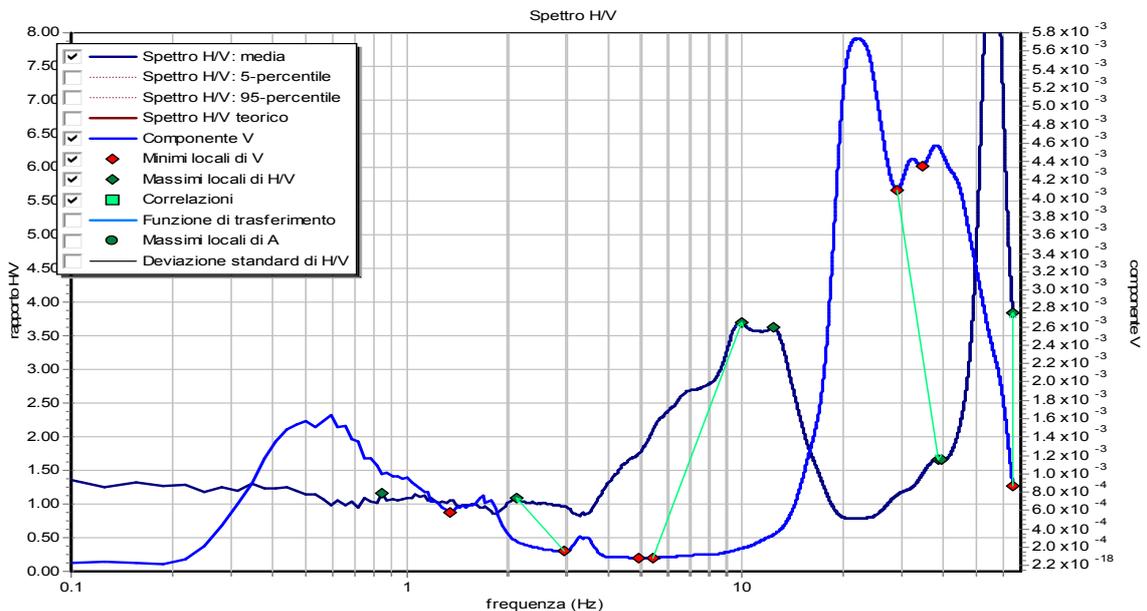
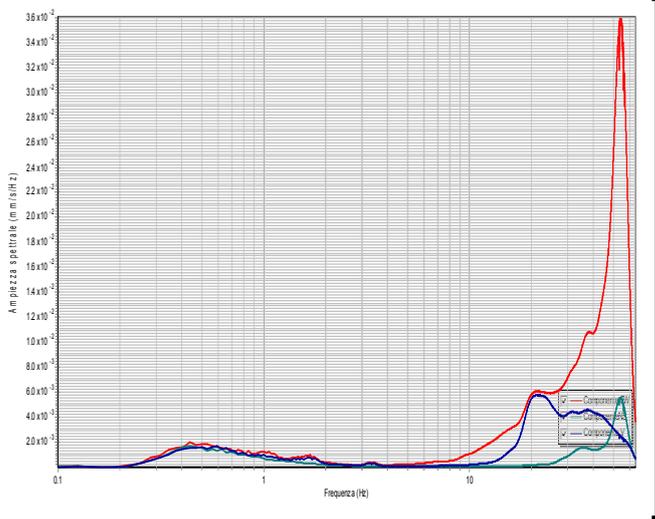
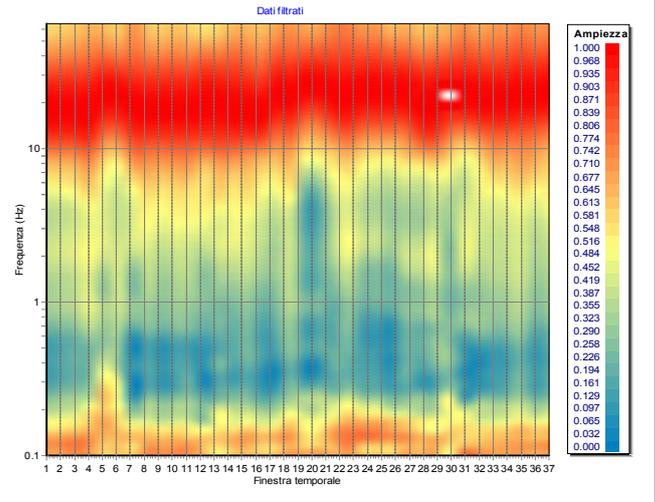
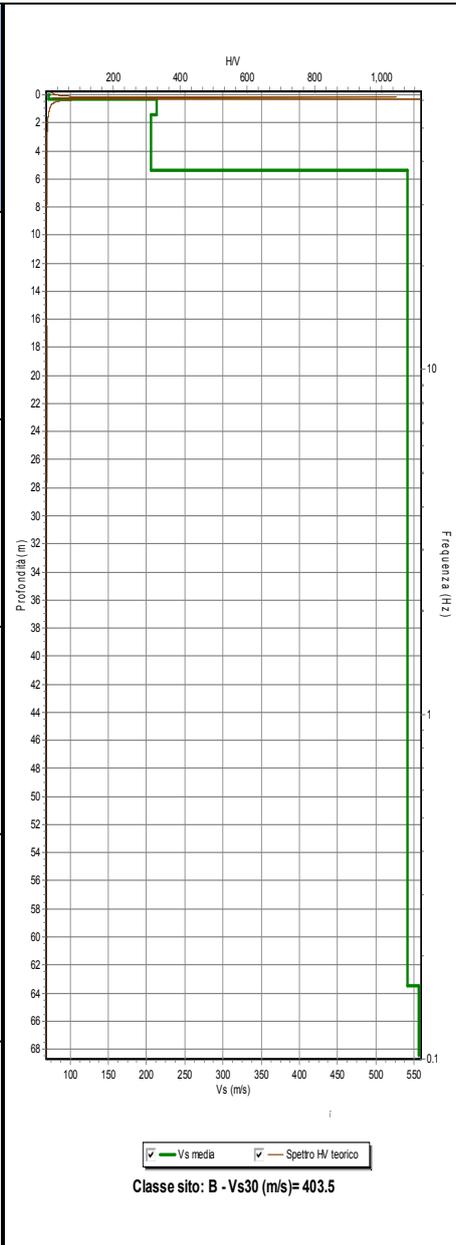
# Riassunto interpretazione HVSR TB004

N.	H(m)	Vs(m/s)
1	1.18	155
2	3.19	346
3	5.13	349
4	6.38	353
5	17.11	483
6	188.19	912
7	Oltre	1498



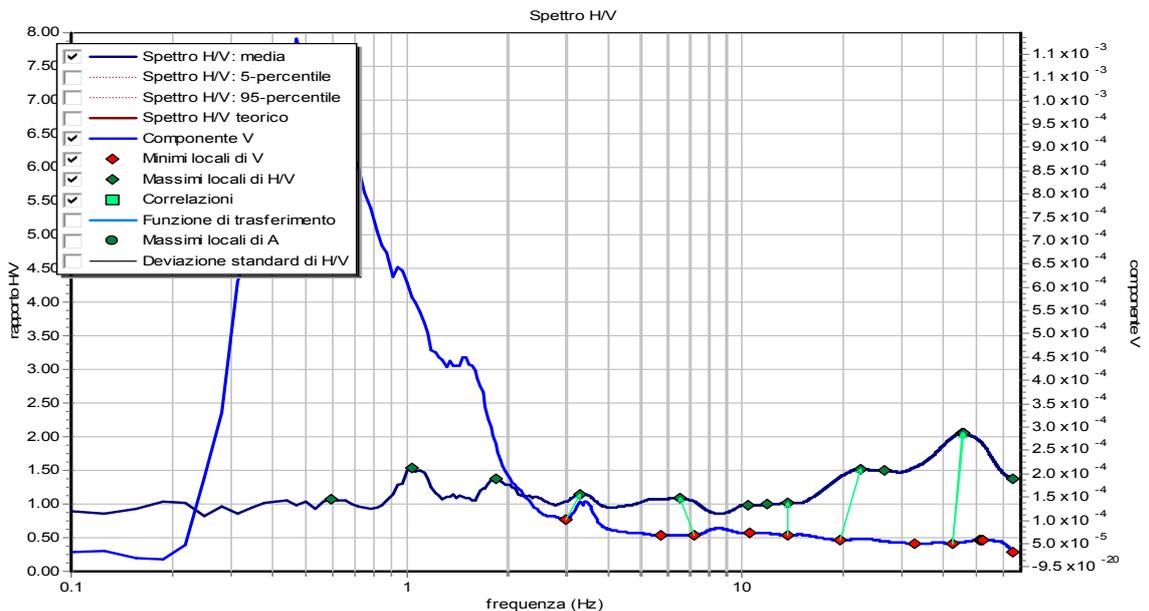
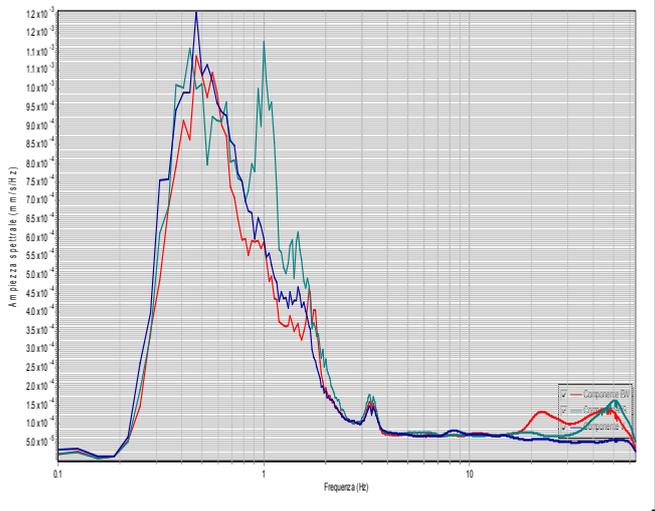
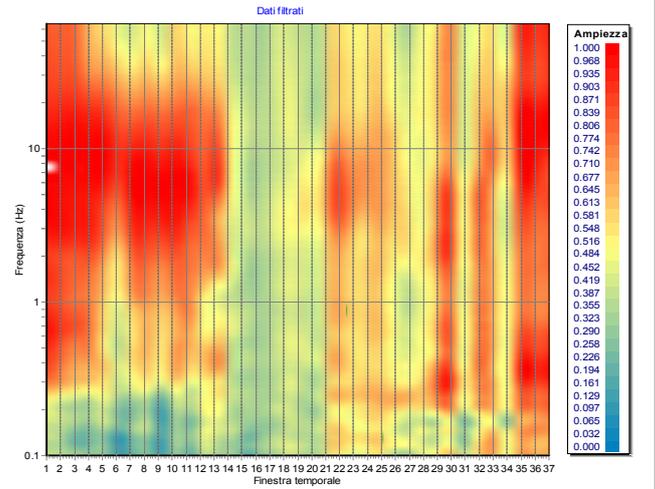
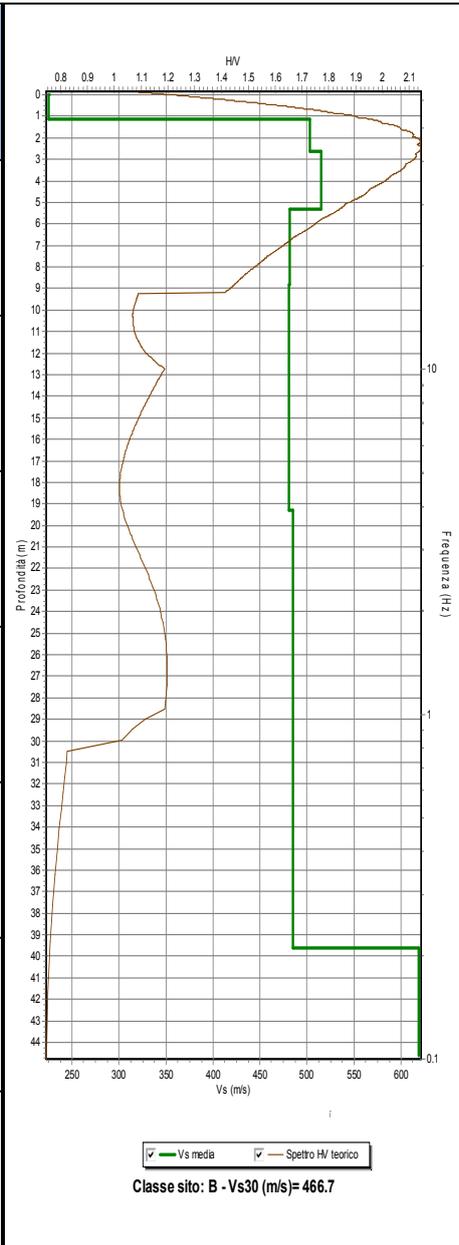
# RIASSUNTO INTERPRETAZIONE HVSR TB005

N.	H(m)	Vs(m/s)
1	0.33	72
2	1.43	213
3	5.35	206
4	63.47	541
5	Oltre	556



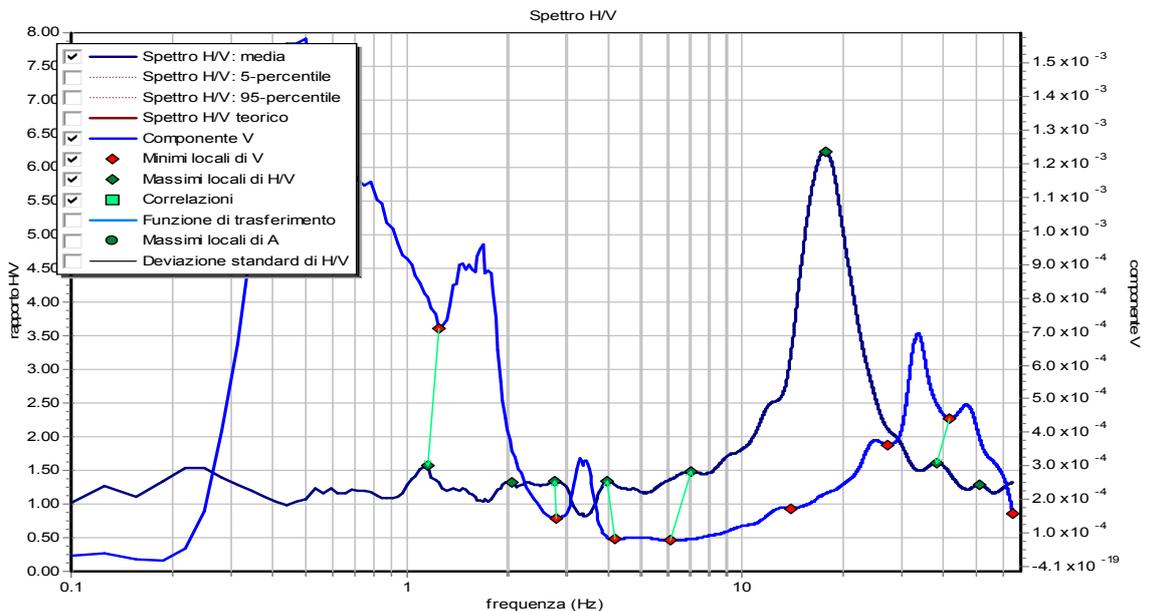
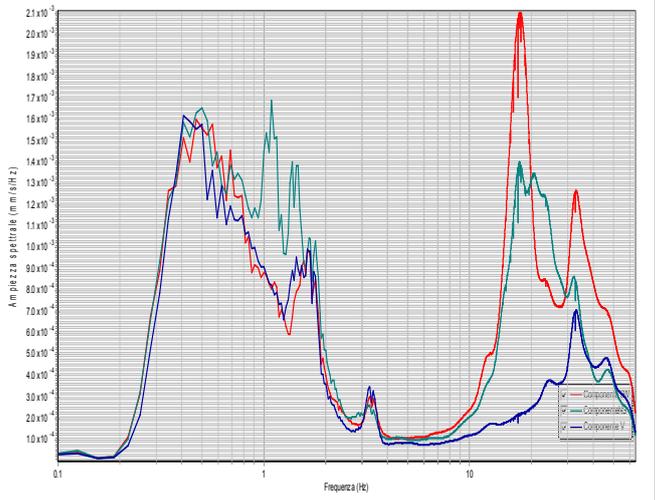
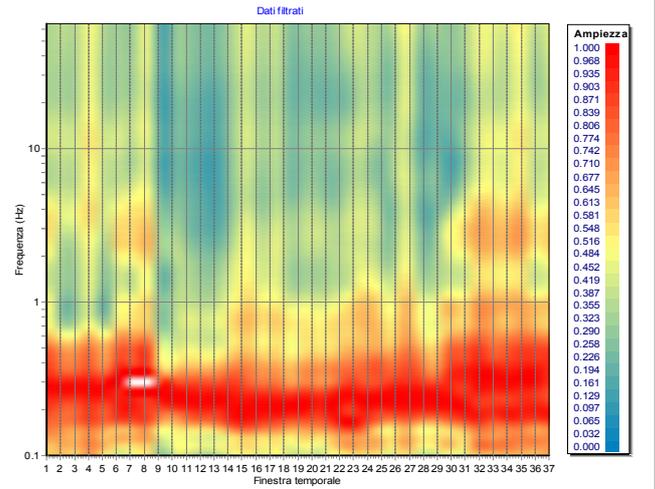
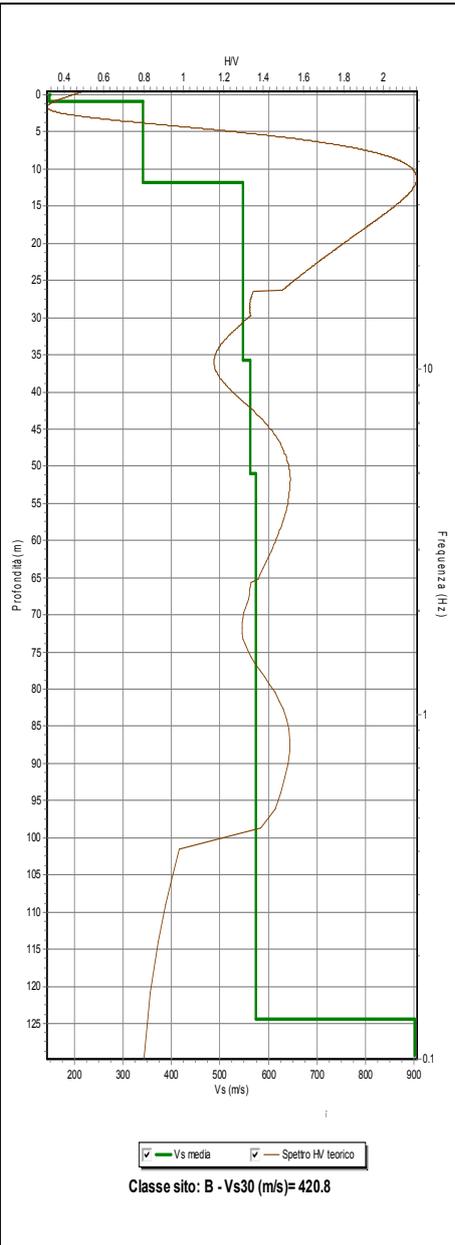
# Riassunto interpretazione HVSR TB006

N.	H(m)	Vs(m/s)
1	1.11	225
2	2.62	503
3	5.33	515
4	8.83	482
5	19.27	481
6	39.62	485
7	Oltre	619



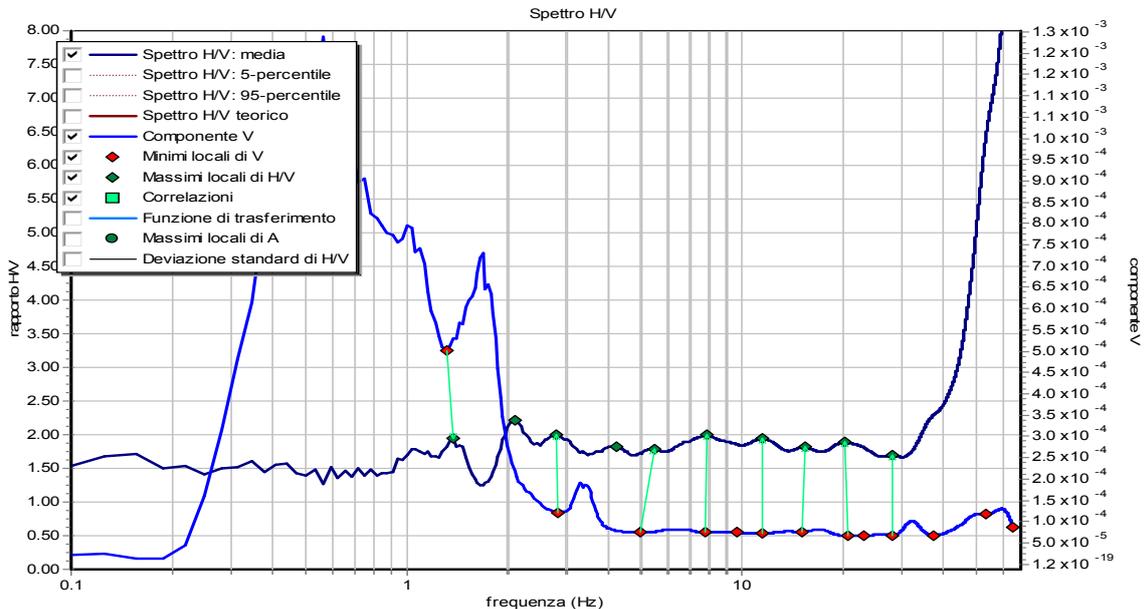
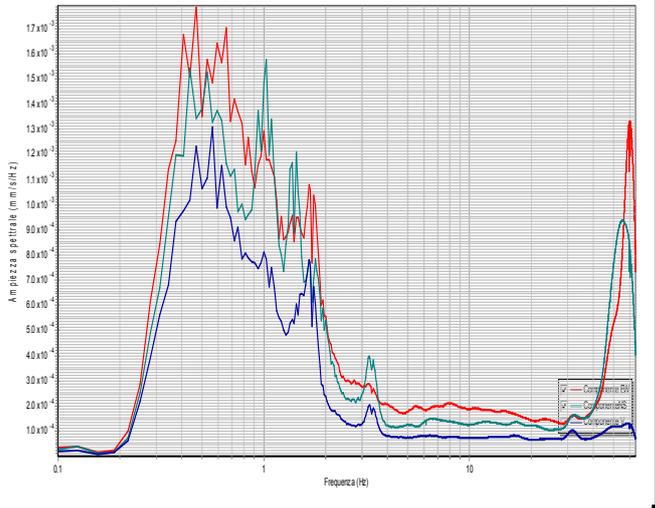
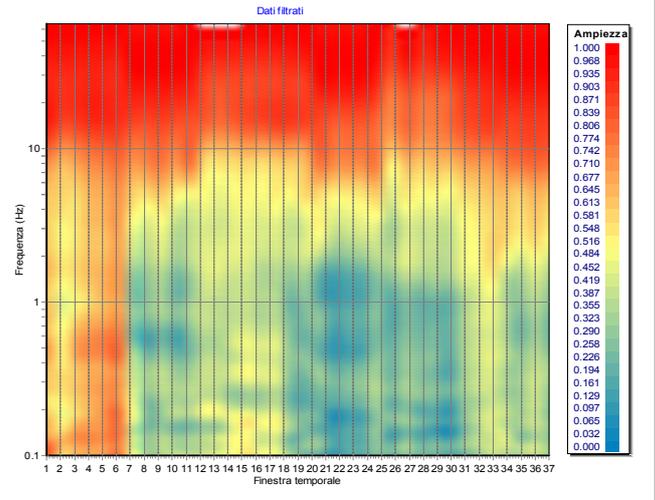
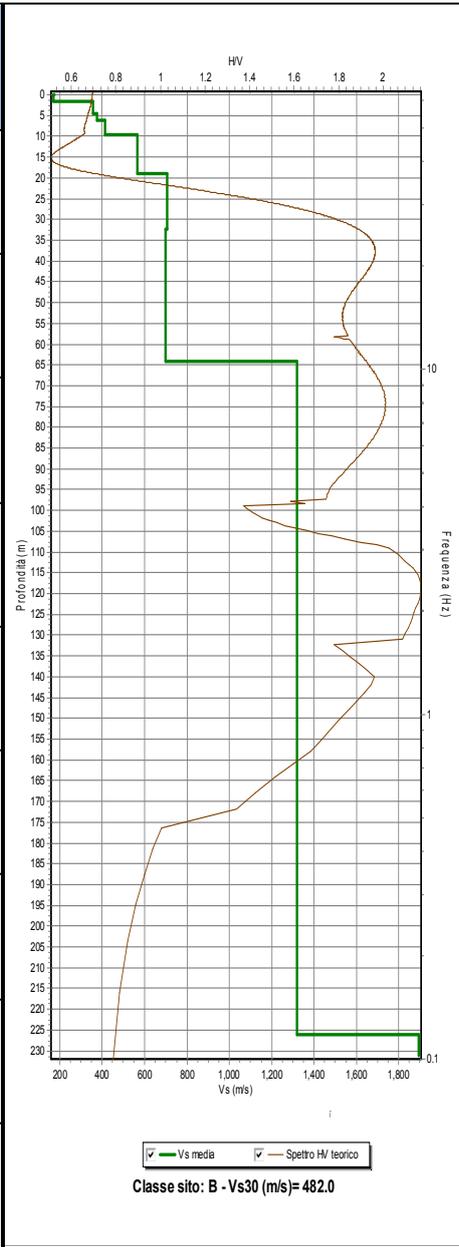
# Riassunto interpretazione HVSR TB007

N.	H(m)	Vs(m/s)
1	0.94	149
2	11.82	342
3	35.76	548
4	51.01	562
5	124.34	574
6	Oltre	901

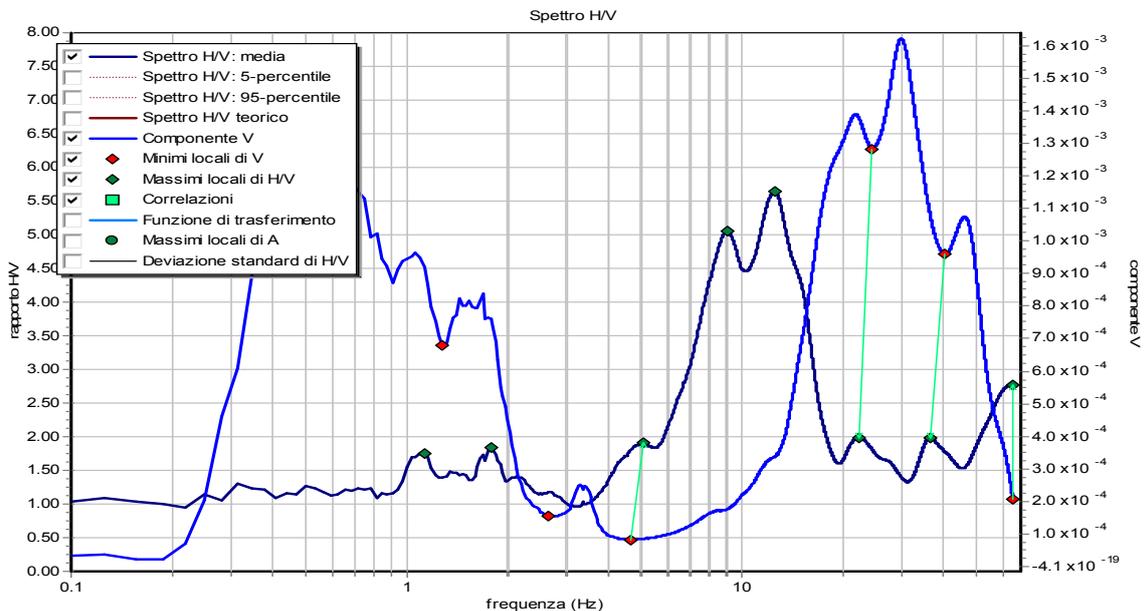
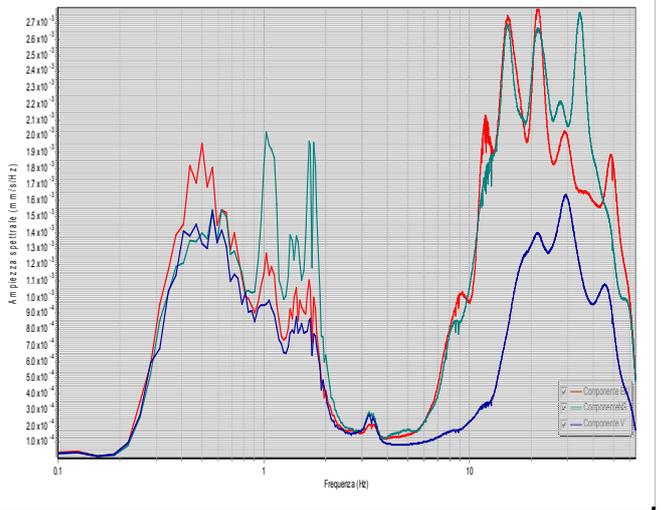
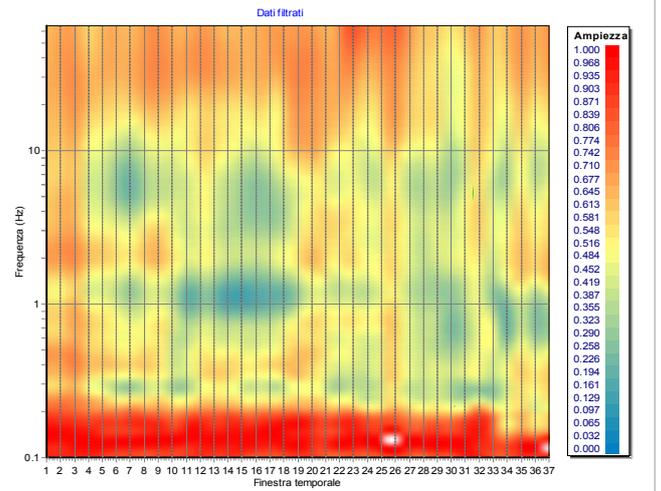
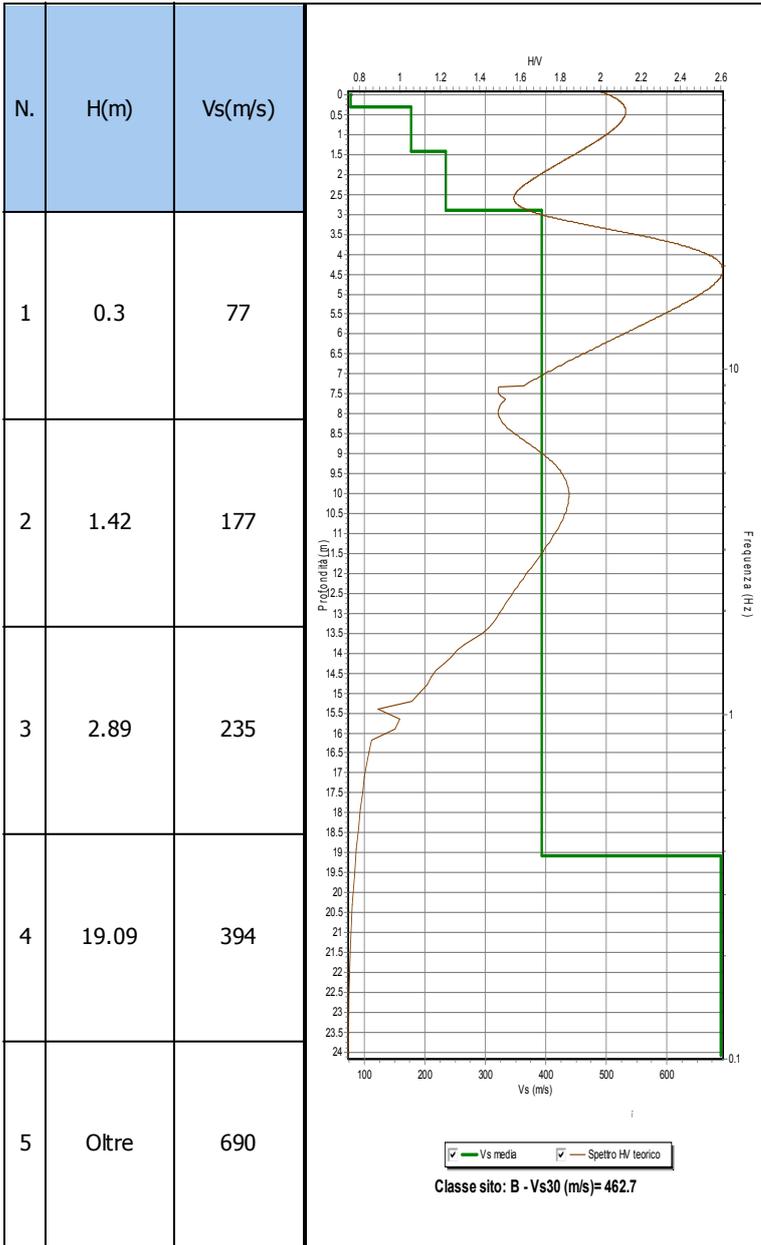


# Riassunto interpretazione HVSR TB008

N.	H(m)	Vs(m/s)
1	1.53	170
2	4.51	356
3	6.17	375
4	9.51	412
5	18.87	565
6	32.27	706
7	64.01	699
8	226.18	1321
9	Oltre	1894

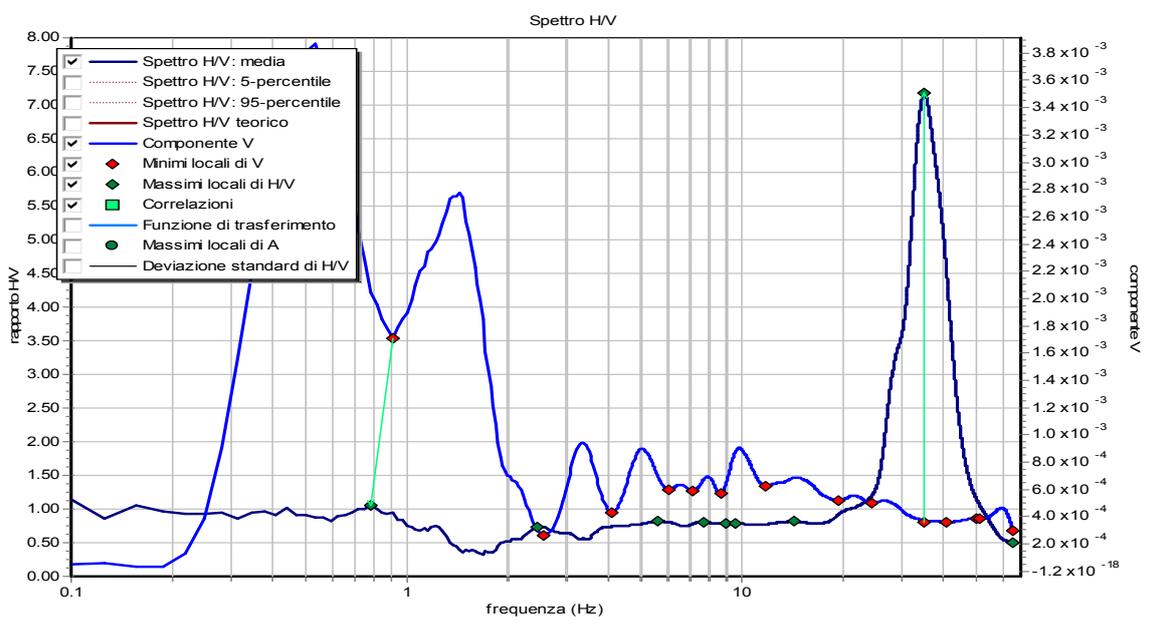
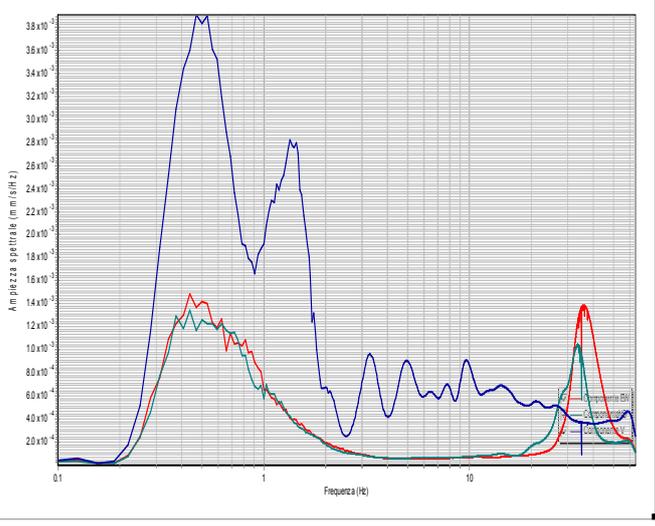
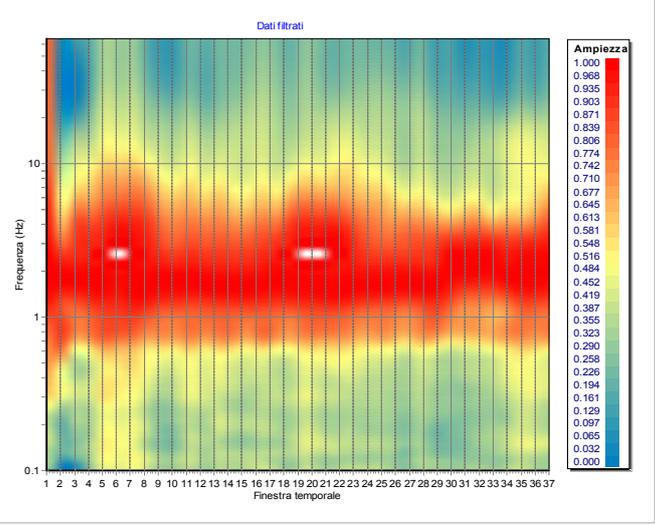
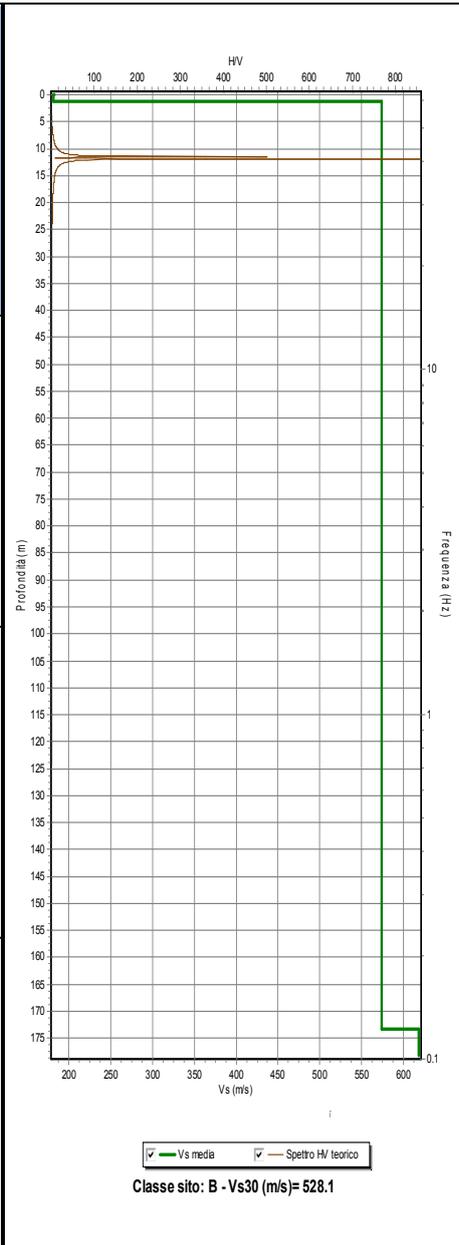


# Riassunto interpretazione HVSR TB009



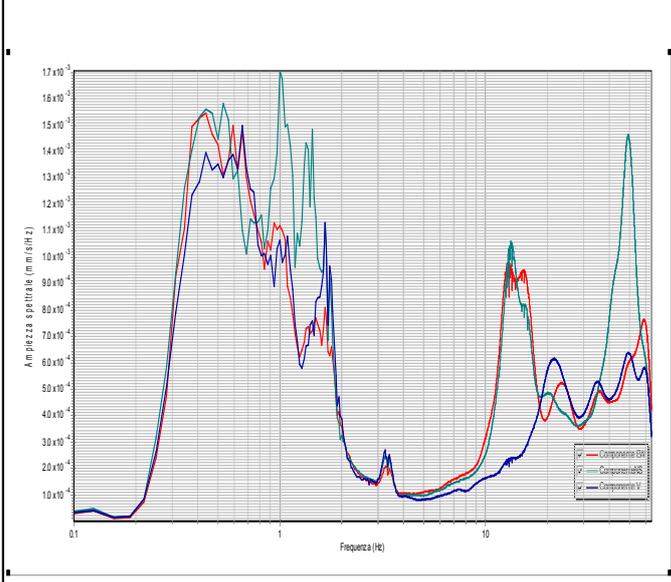
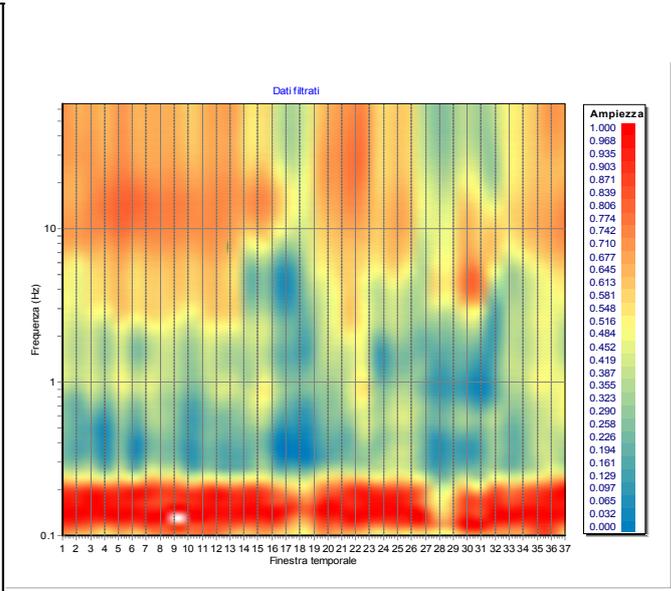
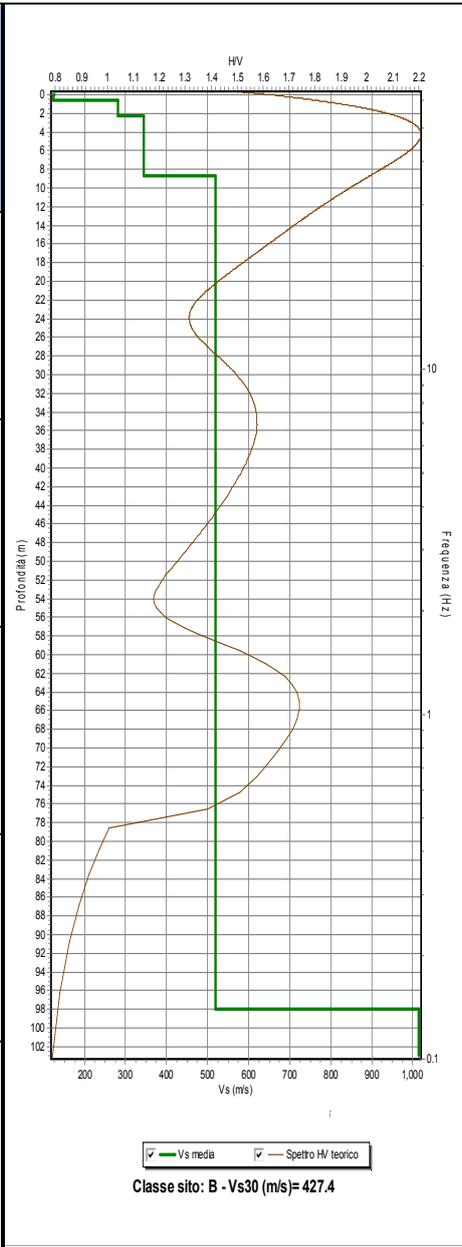
# RIASSUNTO INTERPRETAZIONE HVSR TB010

N.	H(m)	Vs(m/s)
1	1.21	182
2	173.25	574
3	Oltre	618

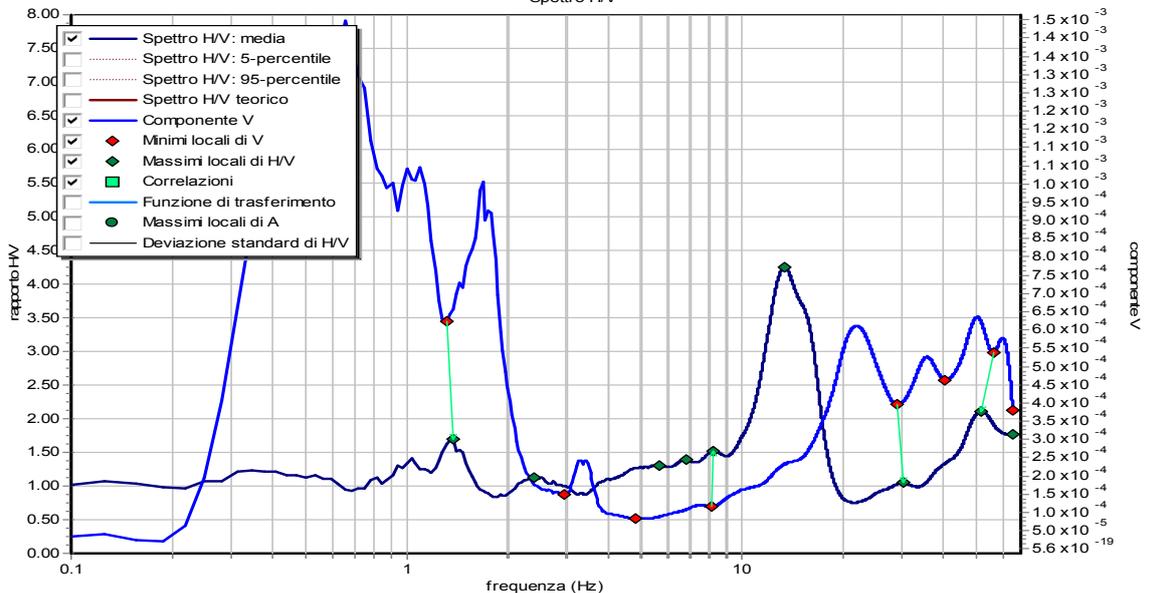


# Riassunto interpretazione HVSR TB011

N.	H(m)	Vs(m/s)
1	0.56	124
2	2.28	281
3	8.69	345
4	97.98	520
5	Oltre	1015

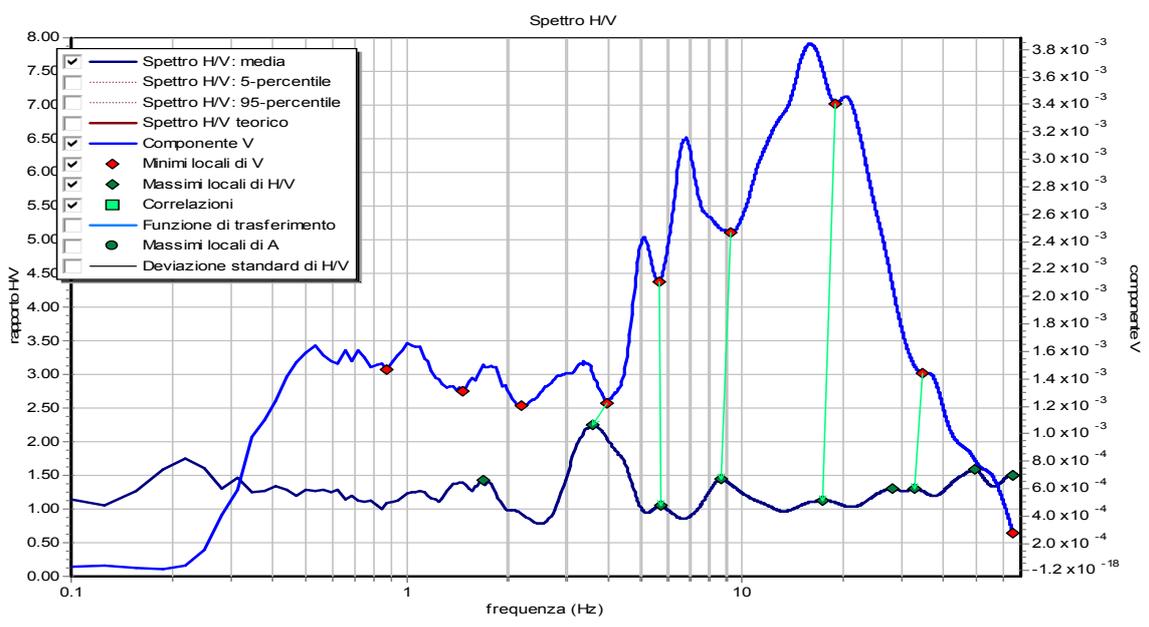
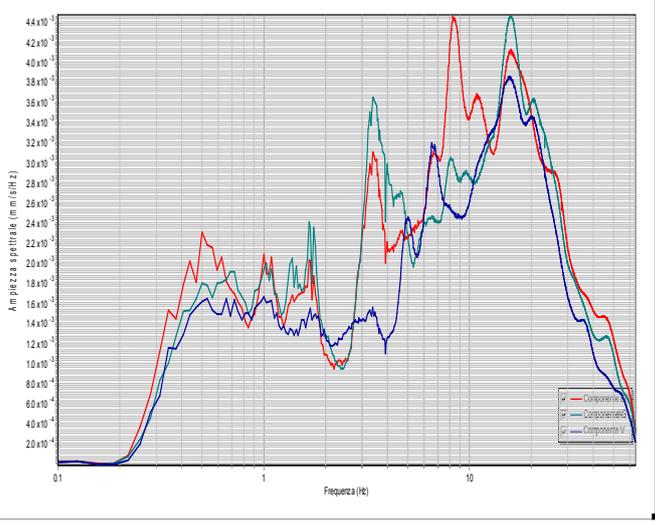
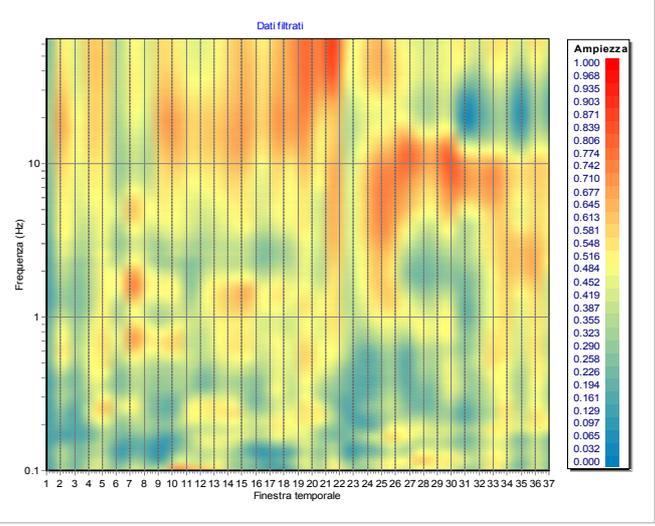
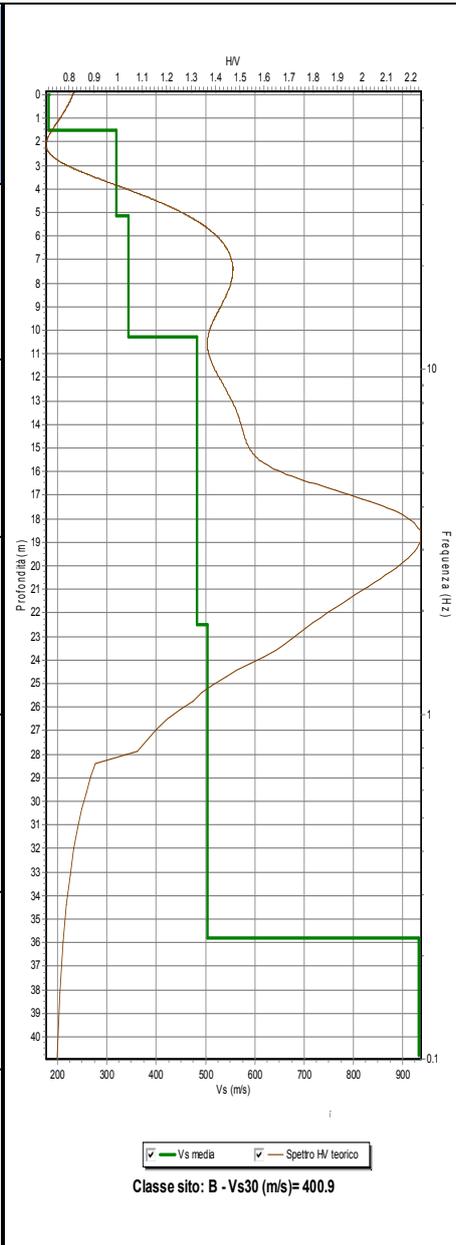


Spettro HV



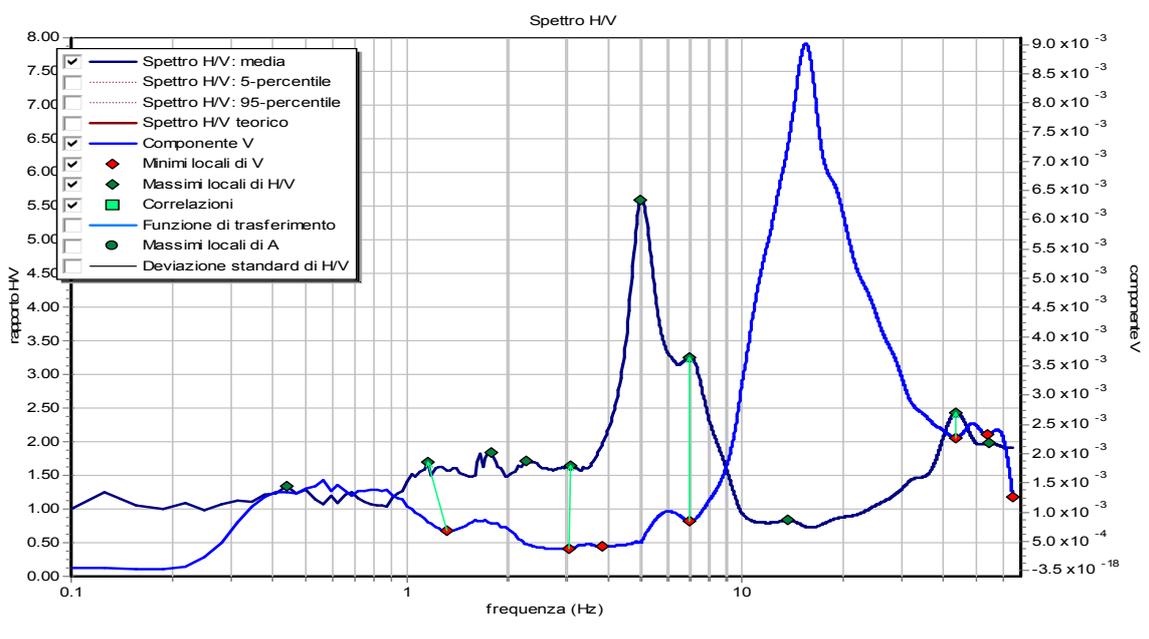
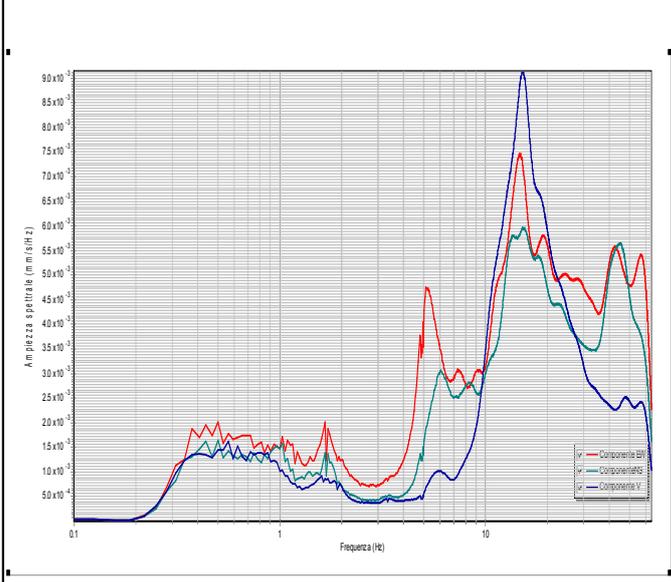
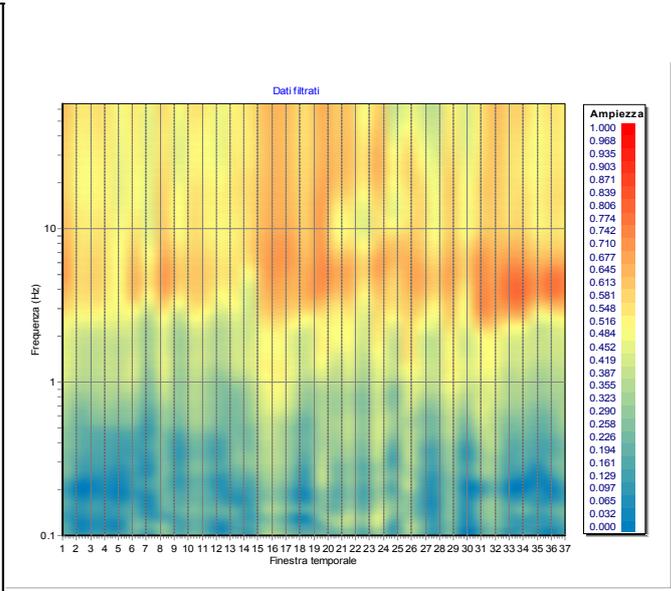
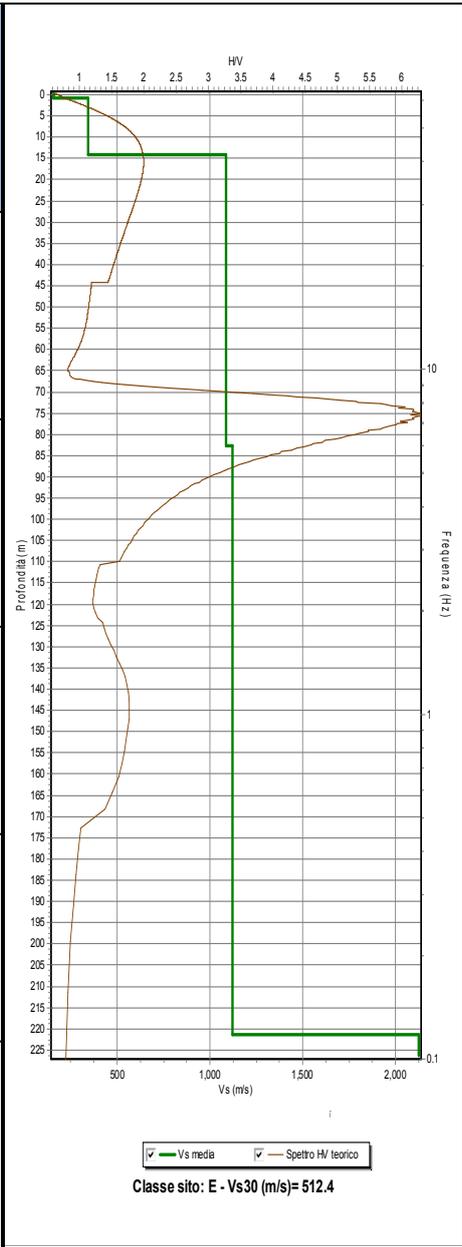
# Riassunto interpretazione HVSR TB012

N.	H(m)	Vs(m/s)
1	1.51	182
2	5.14	319
3	10.28	343
4	22.48	483
5	35.8	504
6	Oltre	932



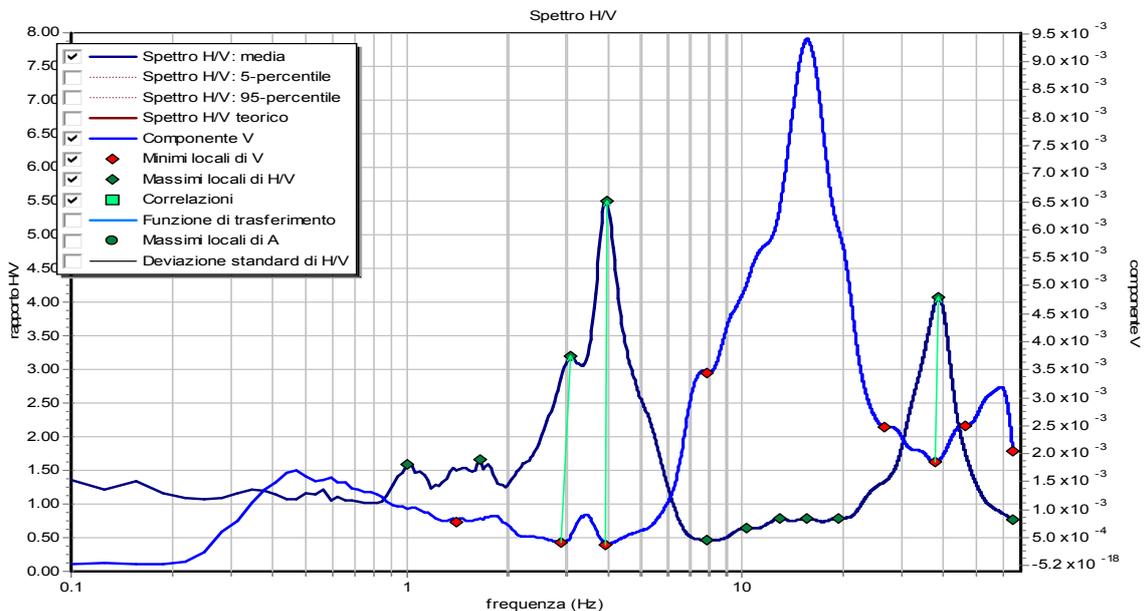
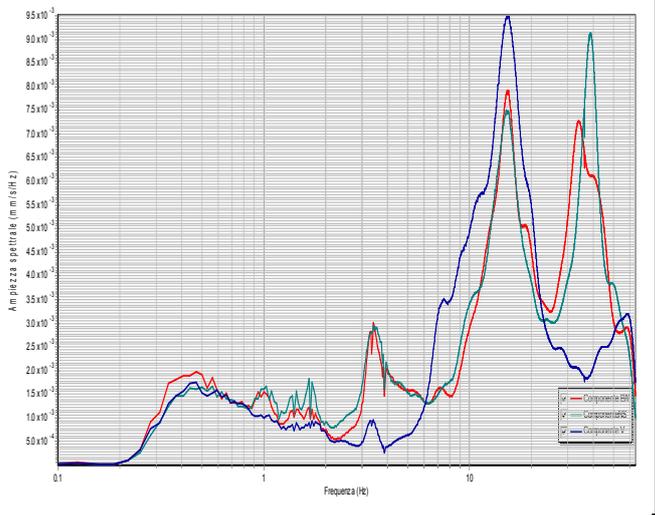
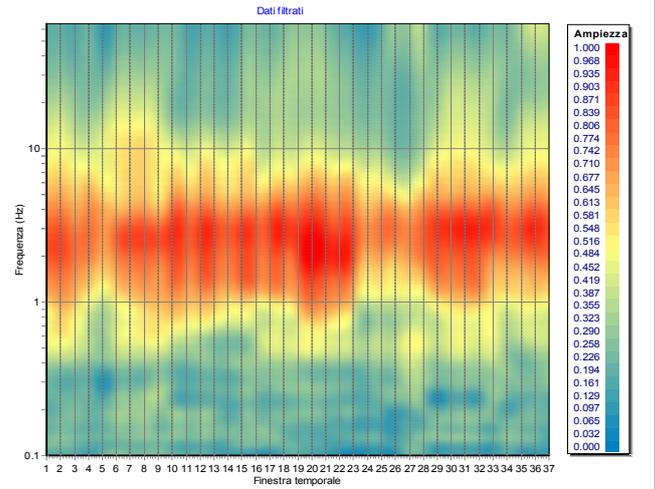
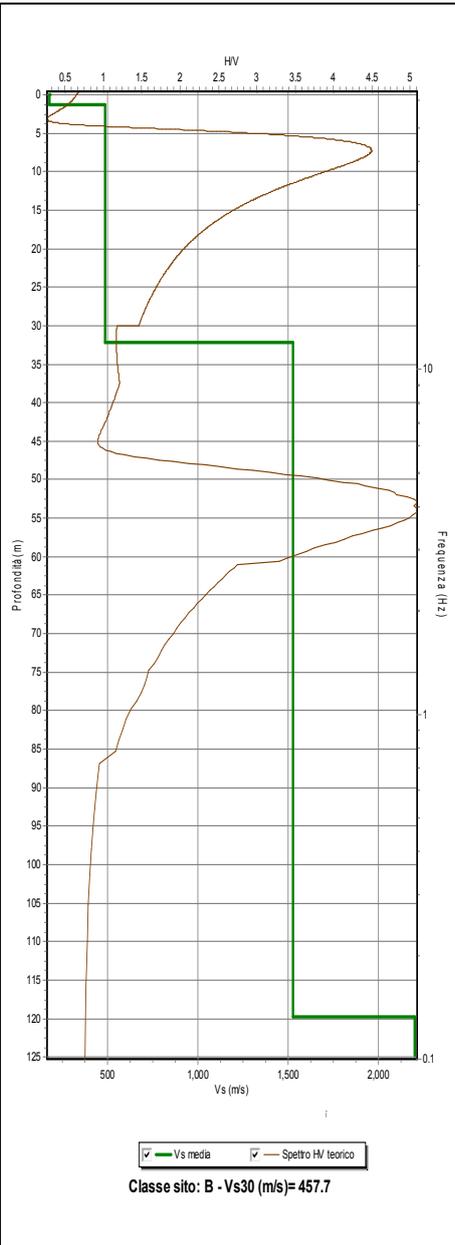
# Riassunto interpretazione HVSR TB013

N.	H(m)	Vs(m/s)
1	0.83	157
2	14.19	345
3	82.59	1088
4	221.35	1121
5	Oltre	2128



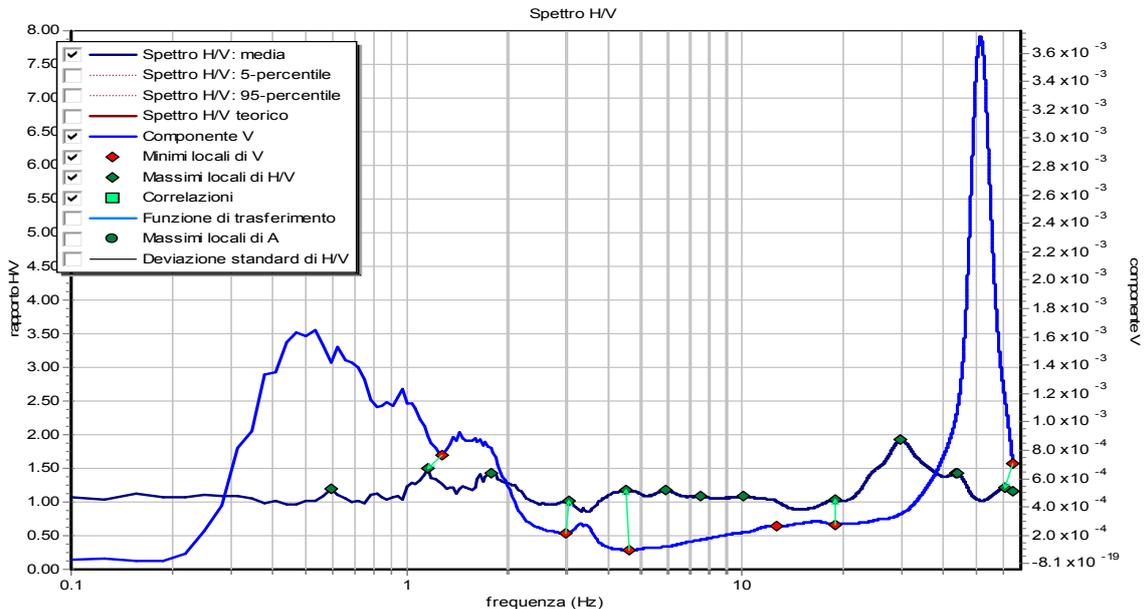
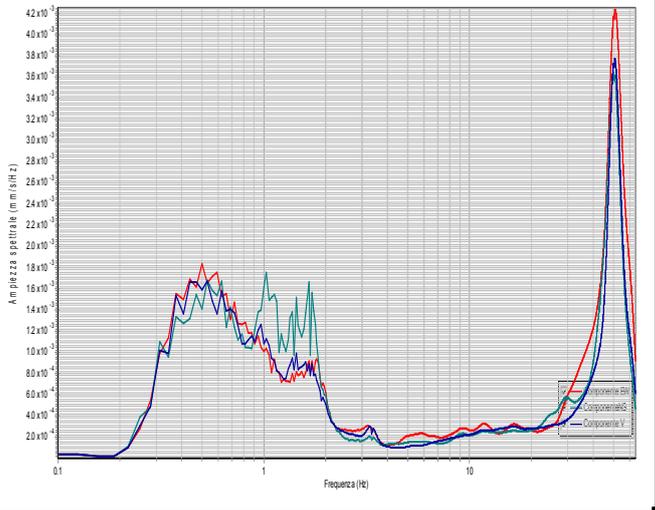
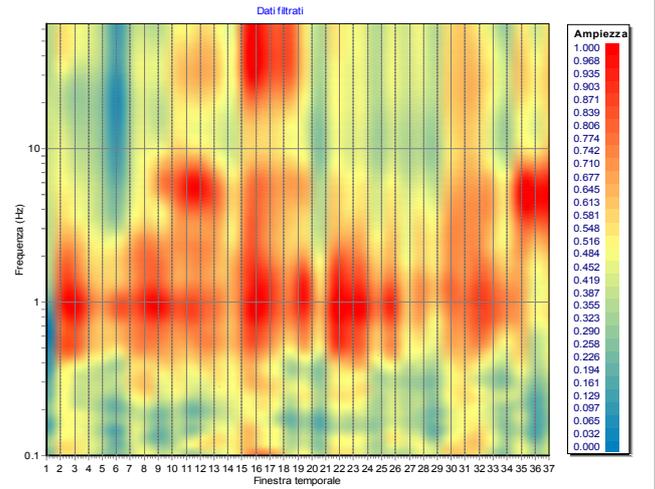
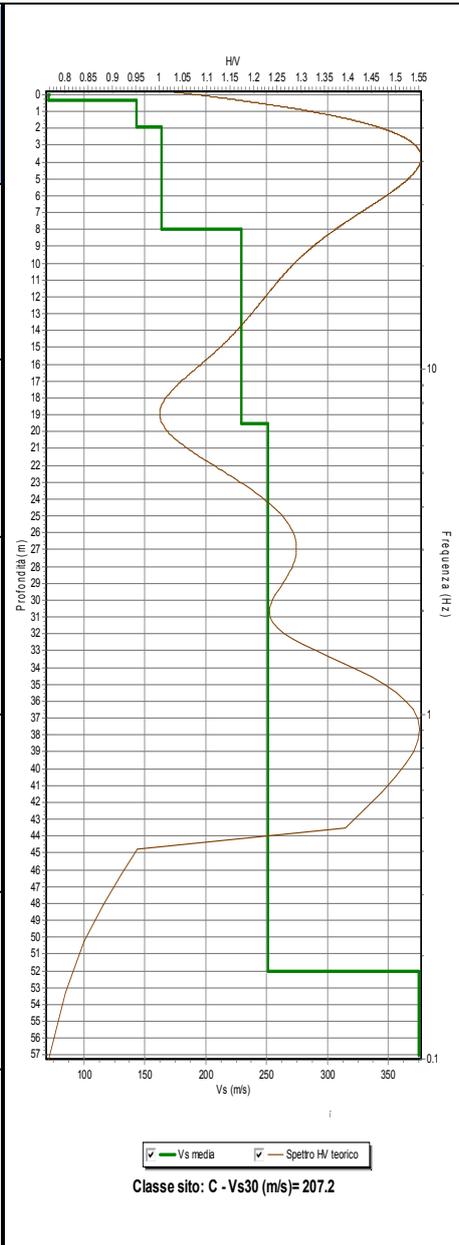
# Riassunto interpretazione HVSR TB014

N.	H(m)	Vs(m/s)
1	1.24	181
2	32.2	490
3	119.82	1527
4	Oltre	2201



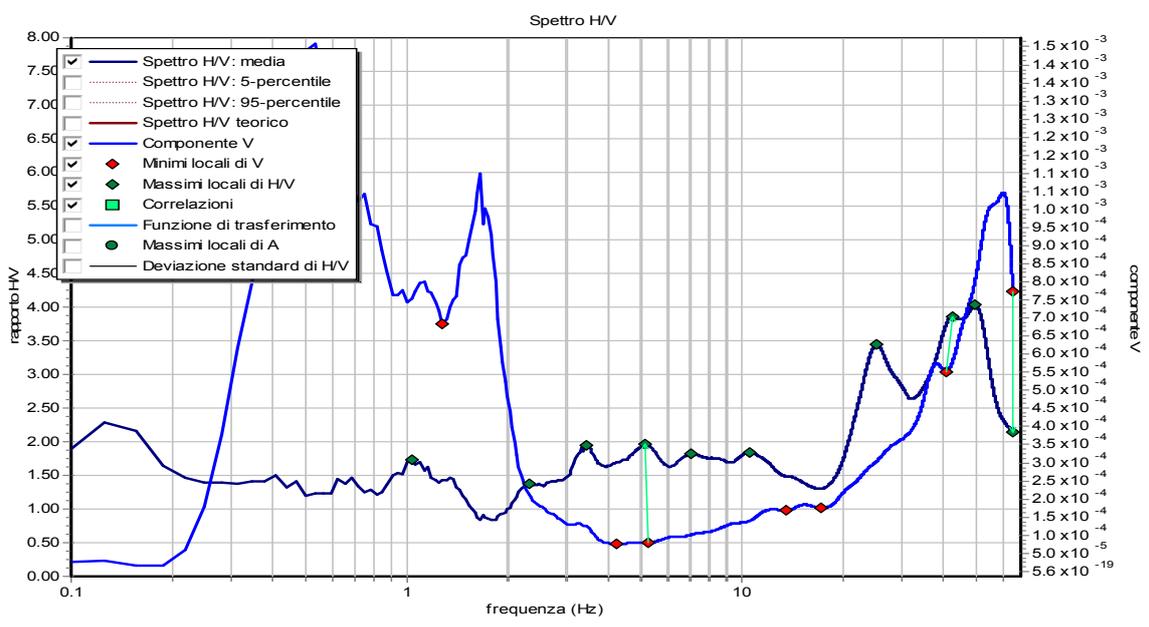
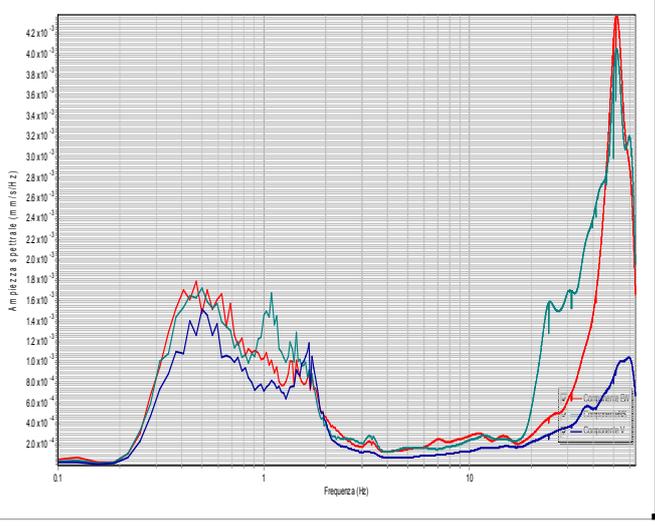
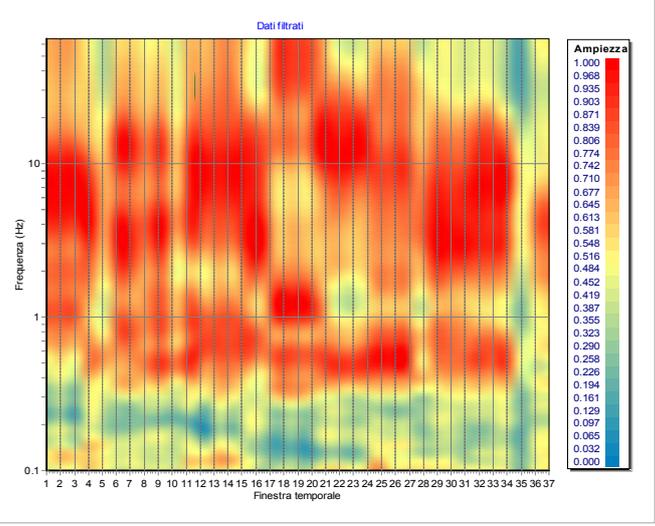
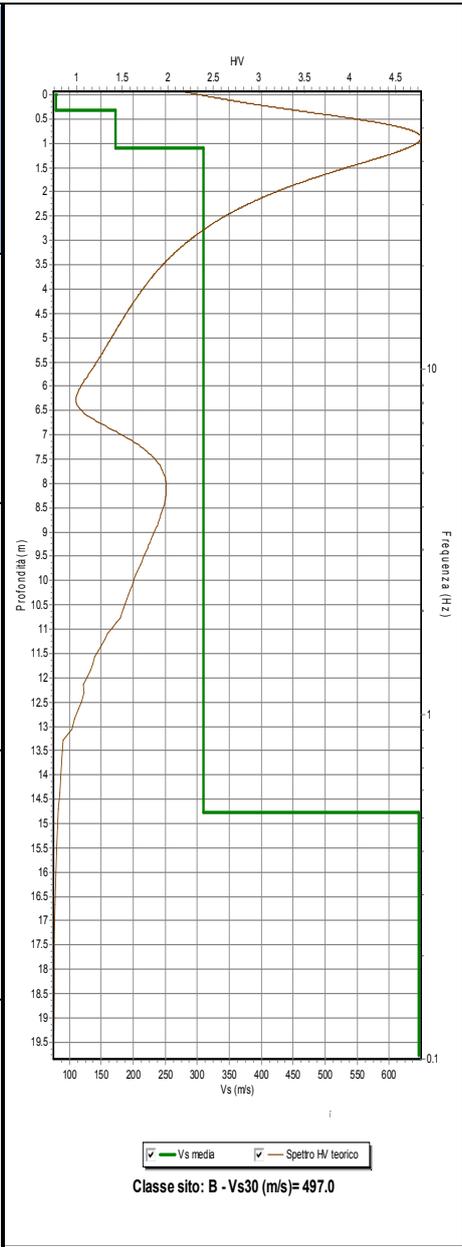
# Riassunto interpretazione HVSR TB015

N.	H(m)	Vs(m/s)
1	0.31	71
2	1.92	143
3	8.01	164
4	19.55	229
5	52.04	251
6	Oltre	375



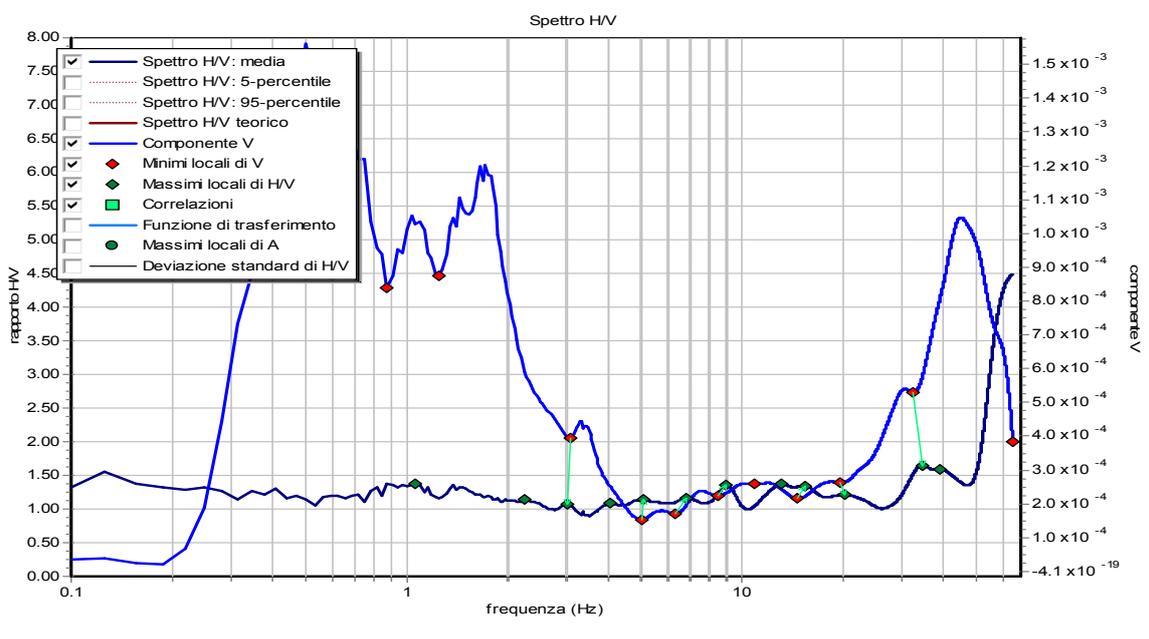
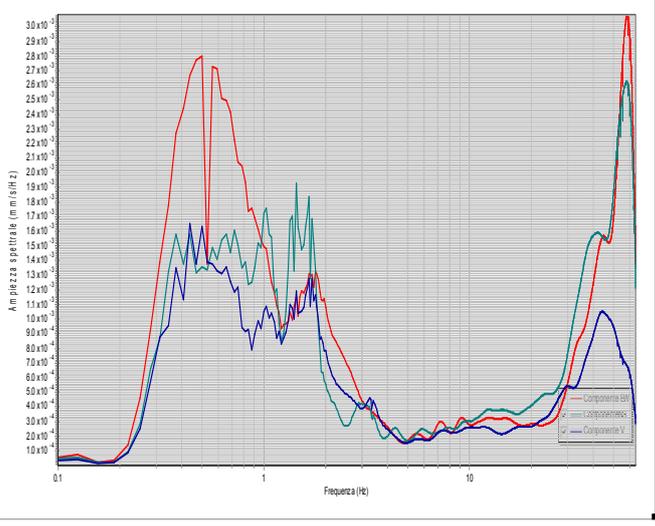
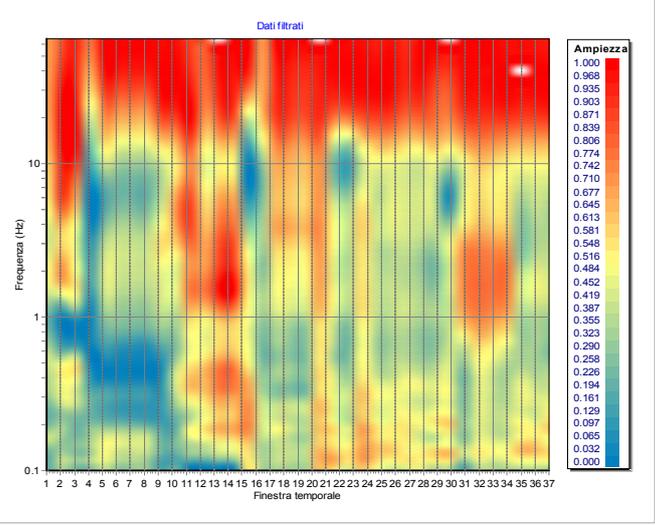
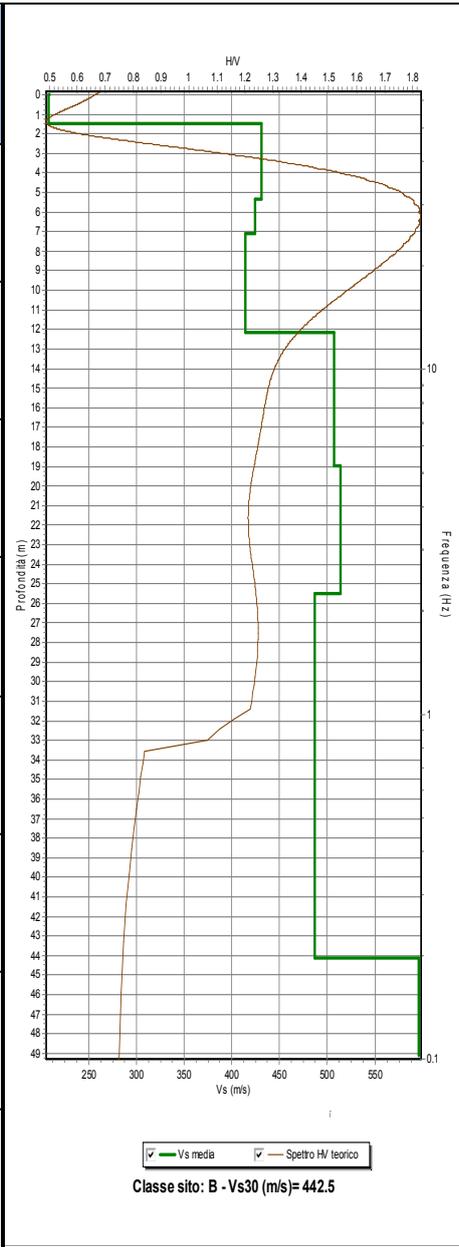
# Riassunto interpretazione HVSR TB016

N.	H(m)	Vs(m/s)
1	0.31	79
2	1.09	172
3	14.78	310
4	Oltre	646



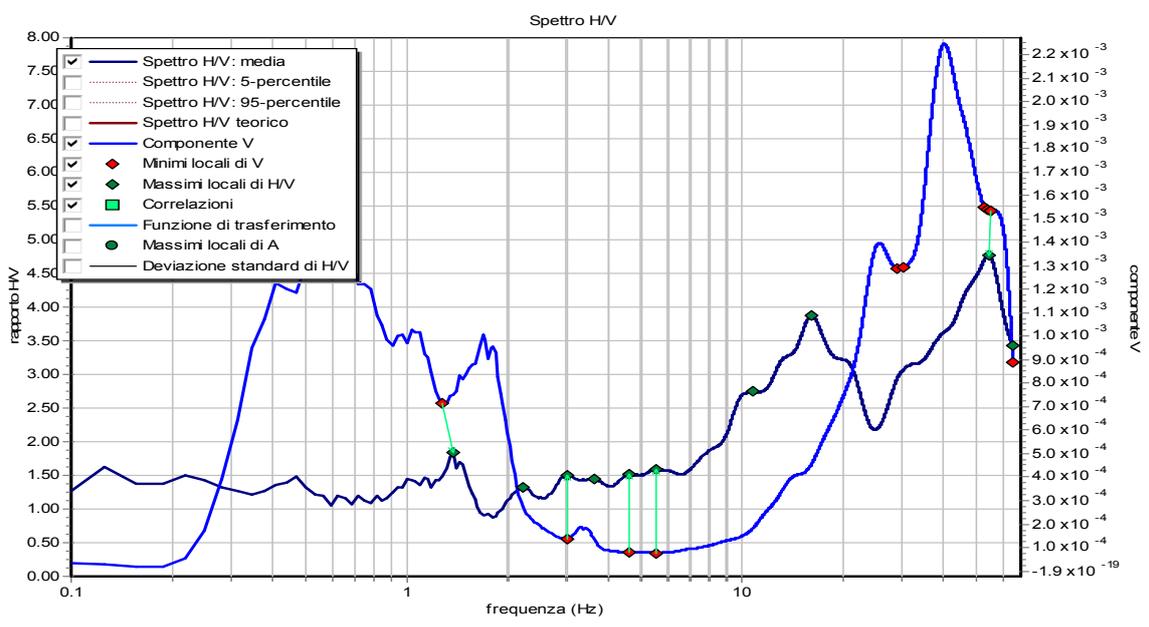
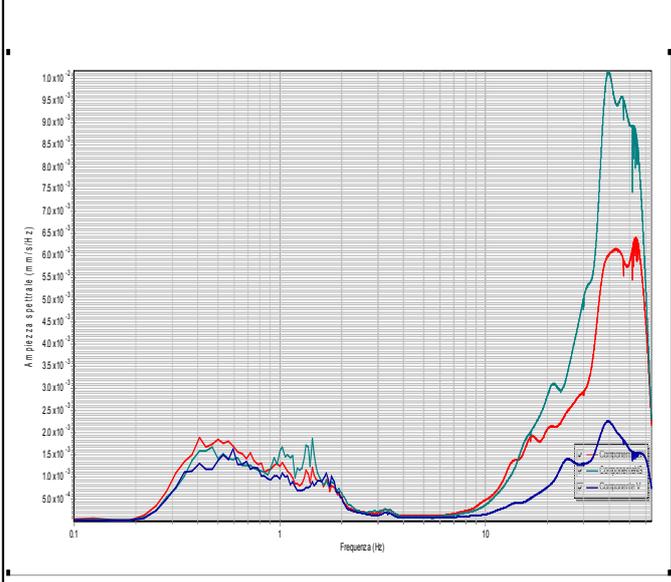
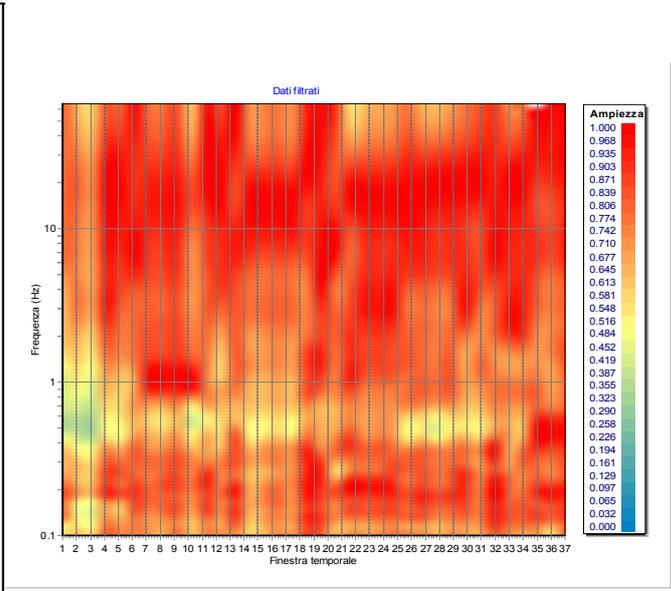
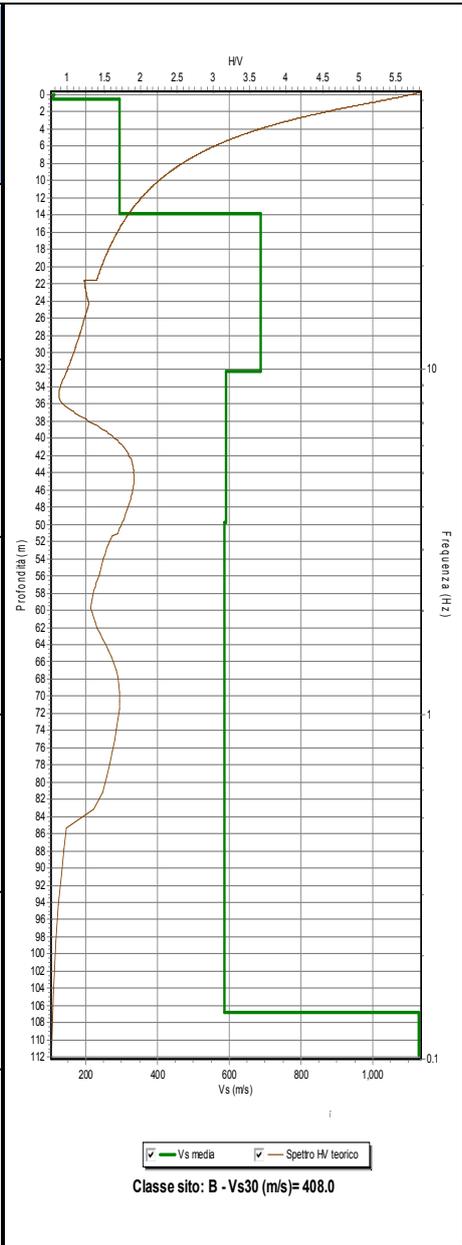
# Riassunto interpretazione HVSR TB017

N.	H(m)	Vs(m/s)
1	1.47	208
2	5.35	431
3	7.12	424
4	12.17	414
5	18.97	507
6	25.5	514
7	44.12	487
8	Oltre	596



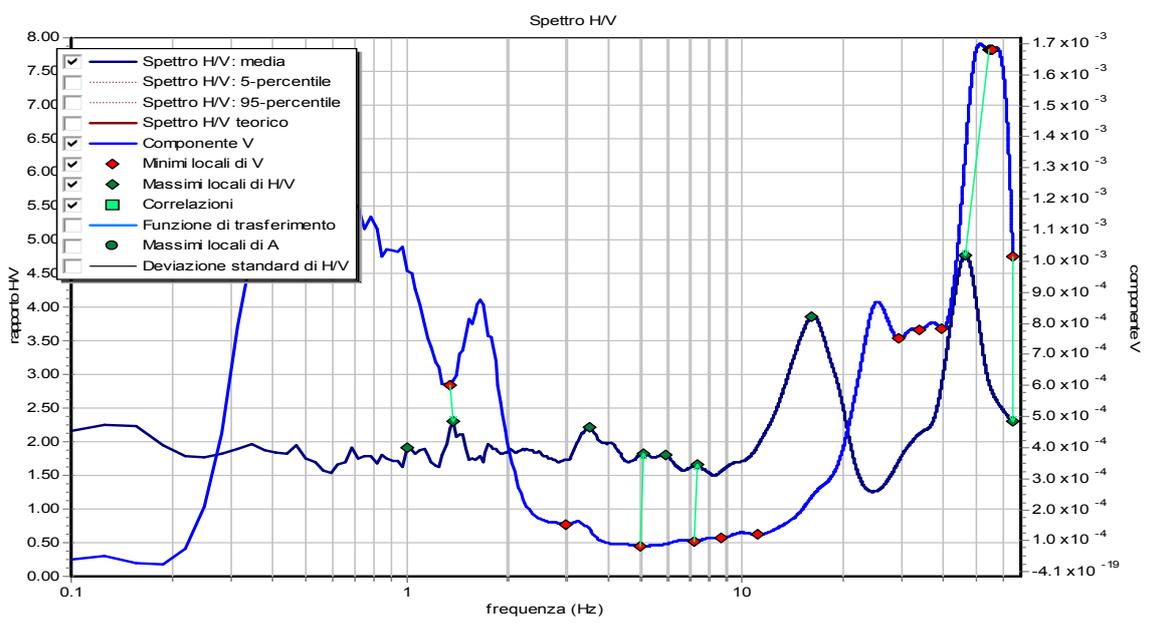
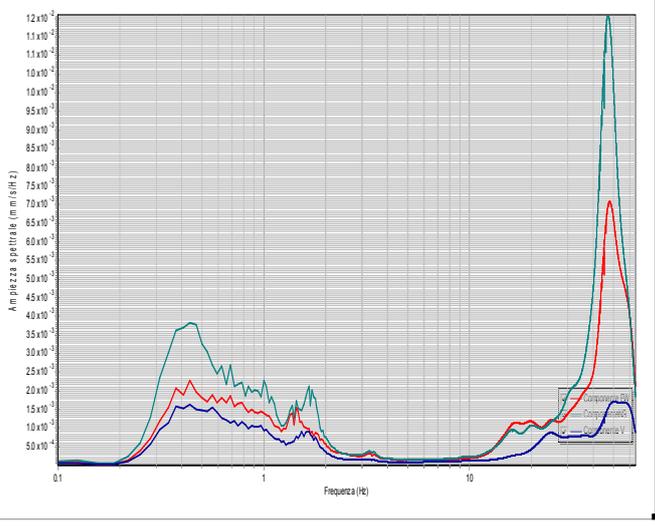
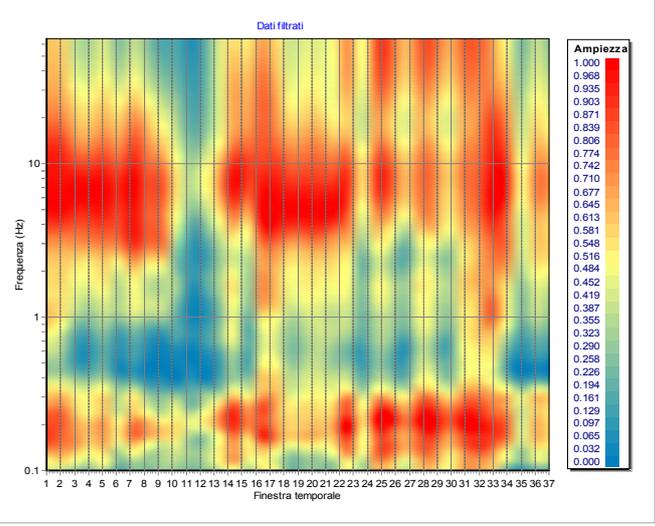
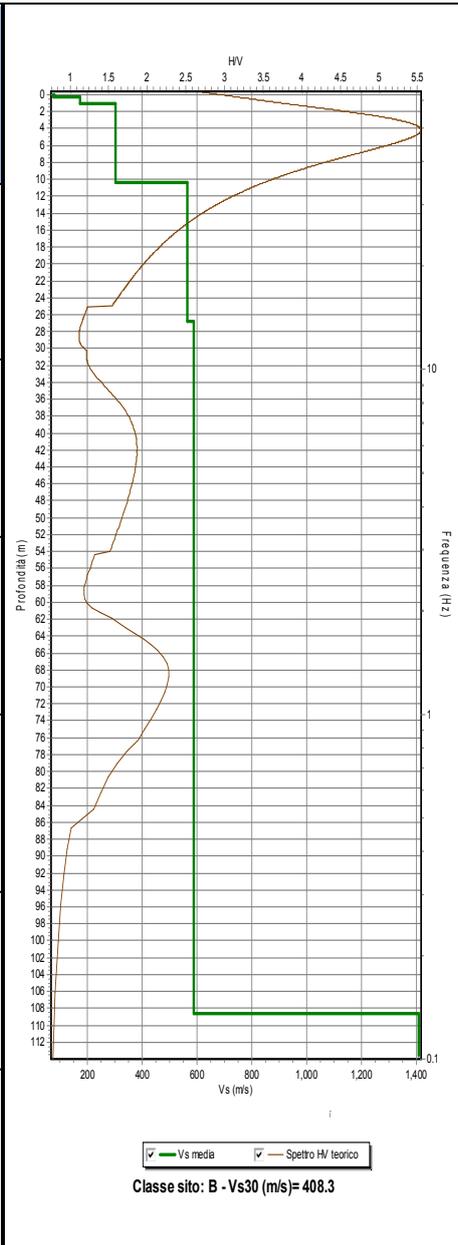
# RIASSUNTO INTERPRETAZIONE HVSR TB018

N.	H(m)	Vs(m/s)
1	0.52	109
2	13.8	294
3	32.19	687
4	49.81	591
5	106.84	585
6	Oltre	1127



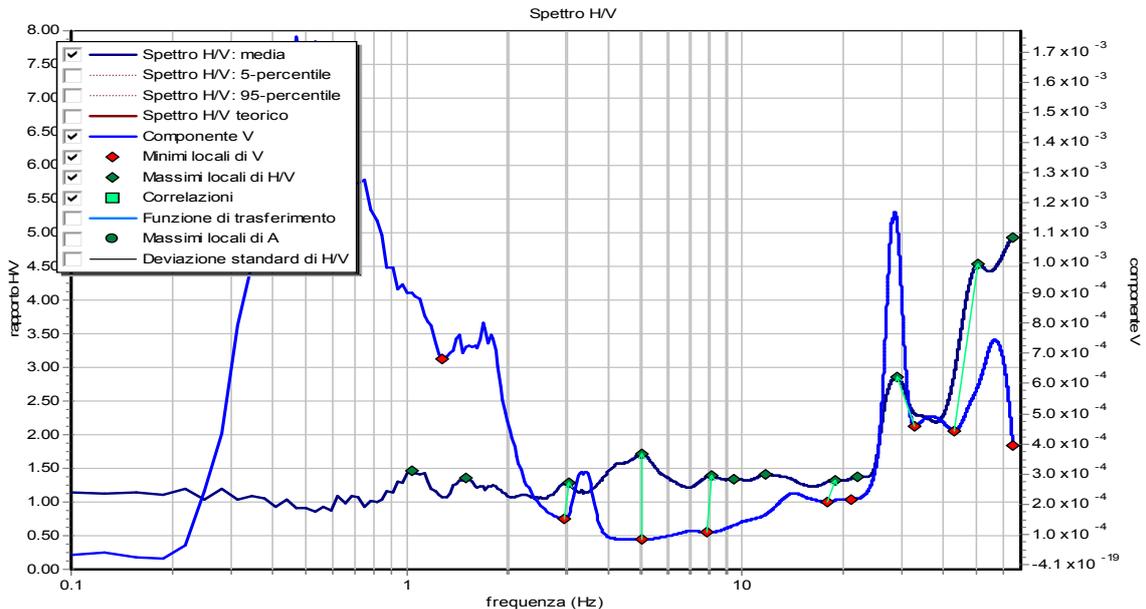
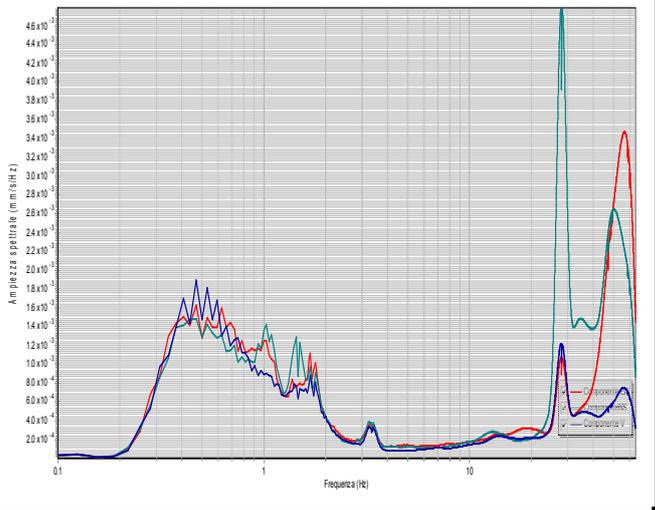
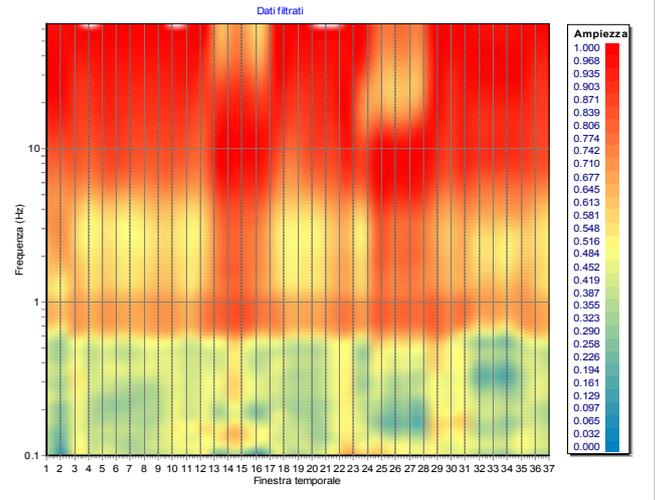
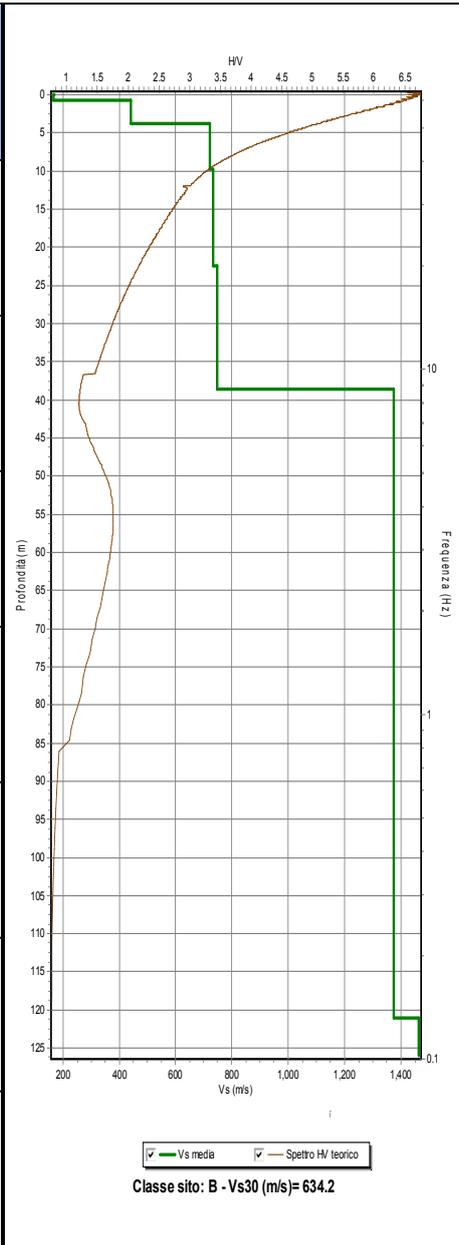
# Riassunto interpretazione HVSR TB019

N.	H(m)	Vs(m/s)
1	0.31	77
2	1.09	173
3	10.34	304
4	26.83	566
5	108.6	589
6	Oltre	1410



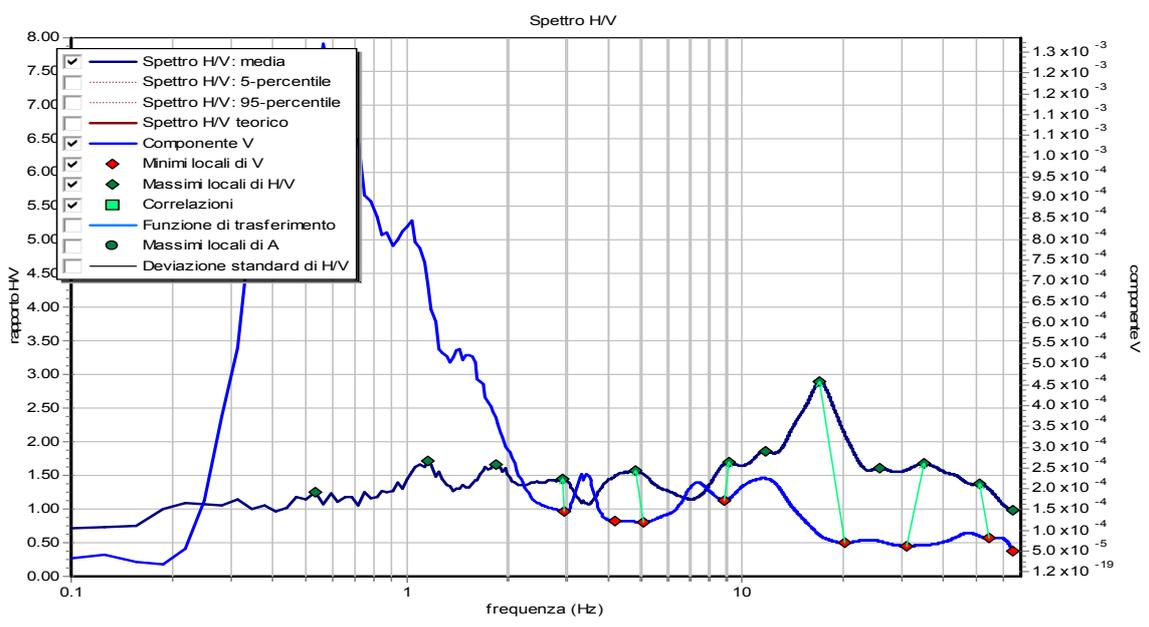
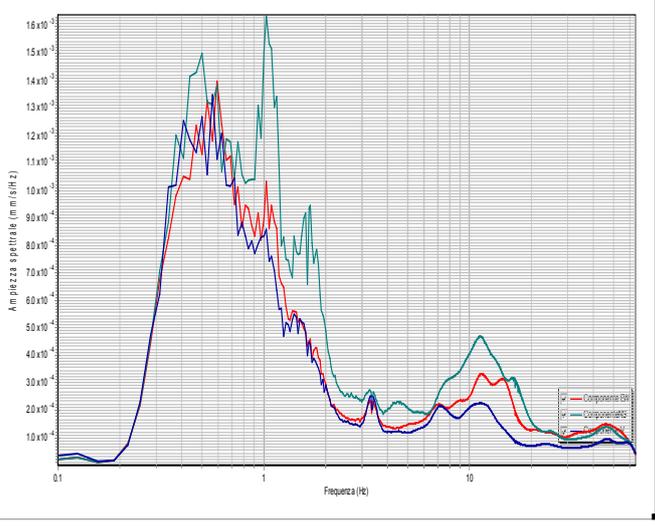
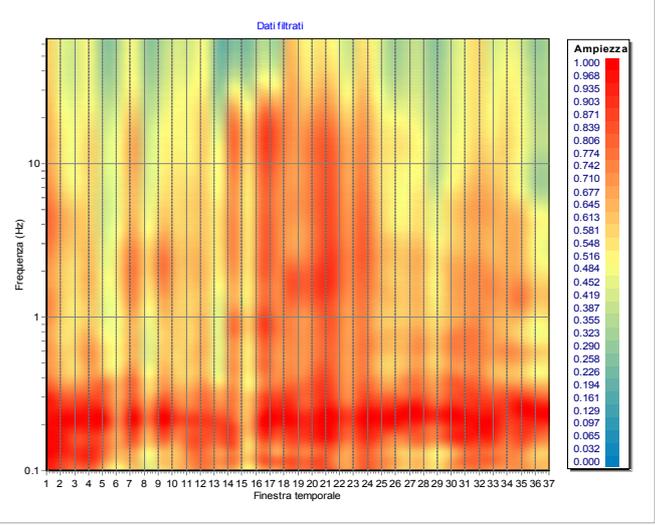
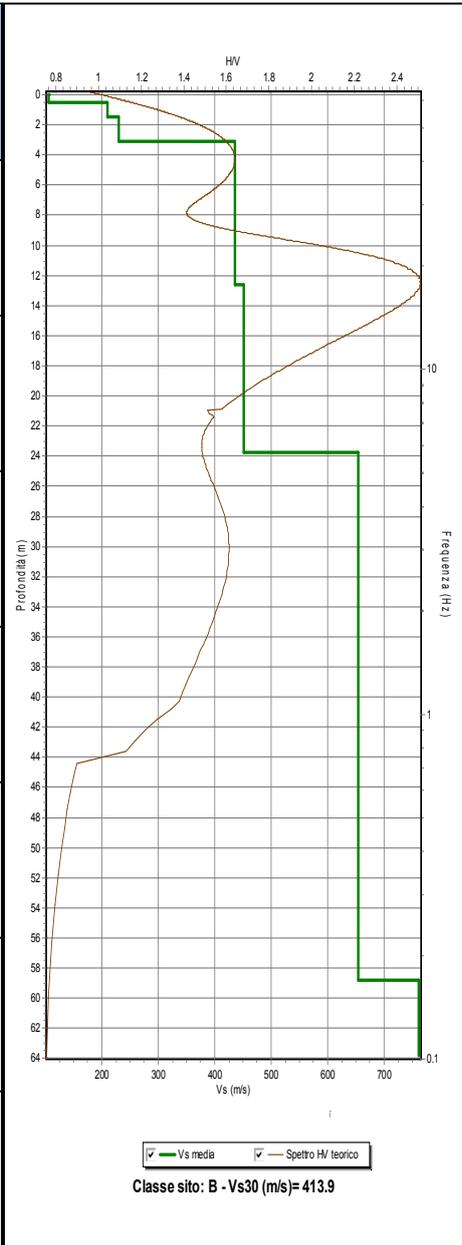
# Riassunto interpretazione HVSR TB020

N.	H(m)	Vs(m/s)
1	0.8	167
2	3.84	441
3	9.83	723
4	22.5	732
5	38.61	748
6	121.0	1373
7	Oltre	1462

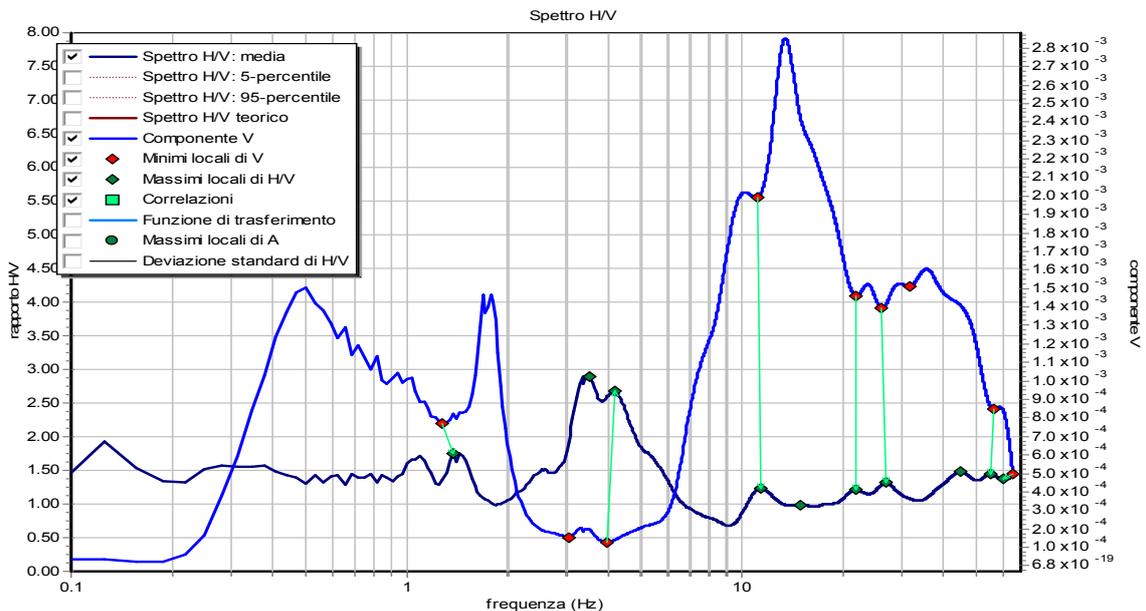
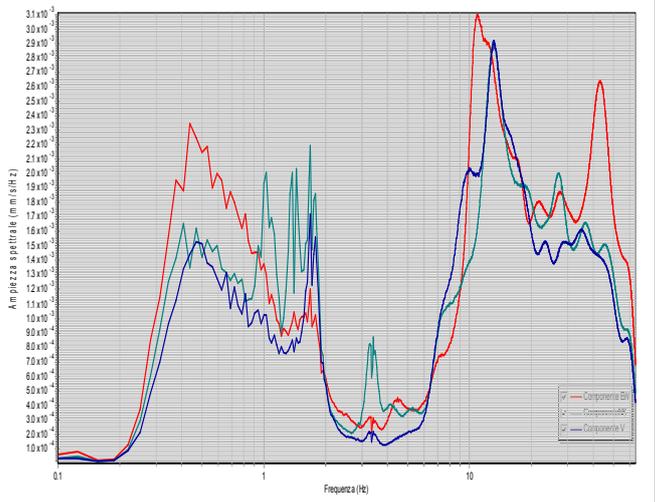
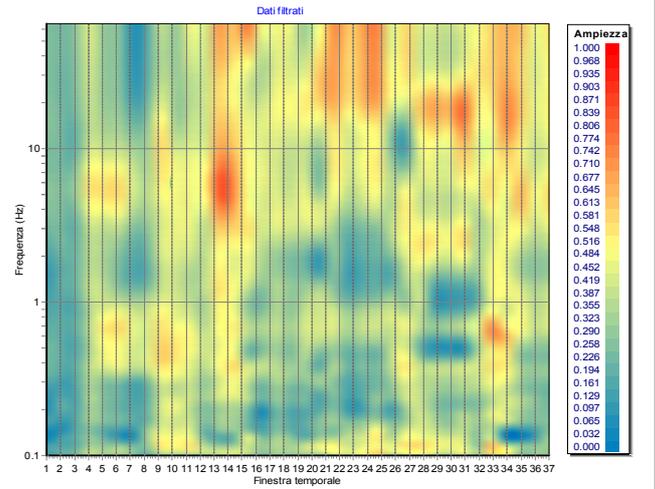
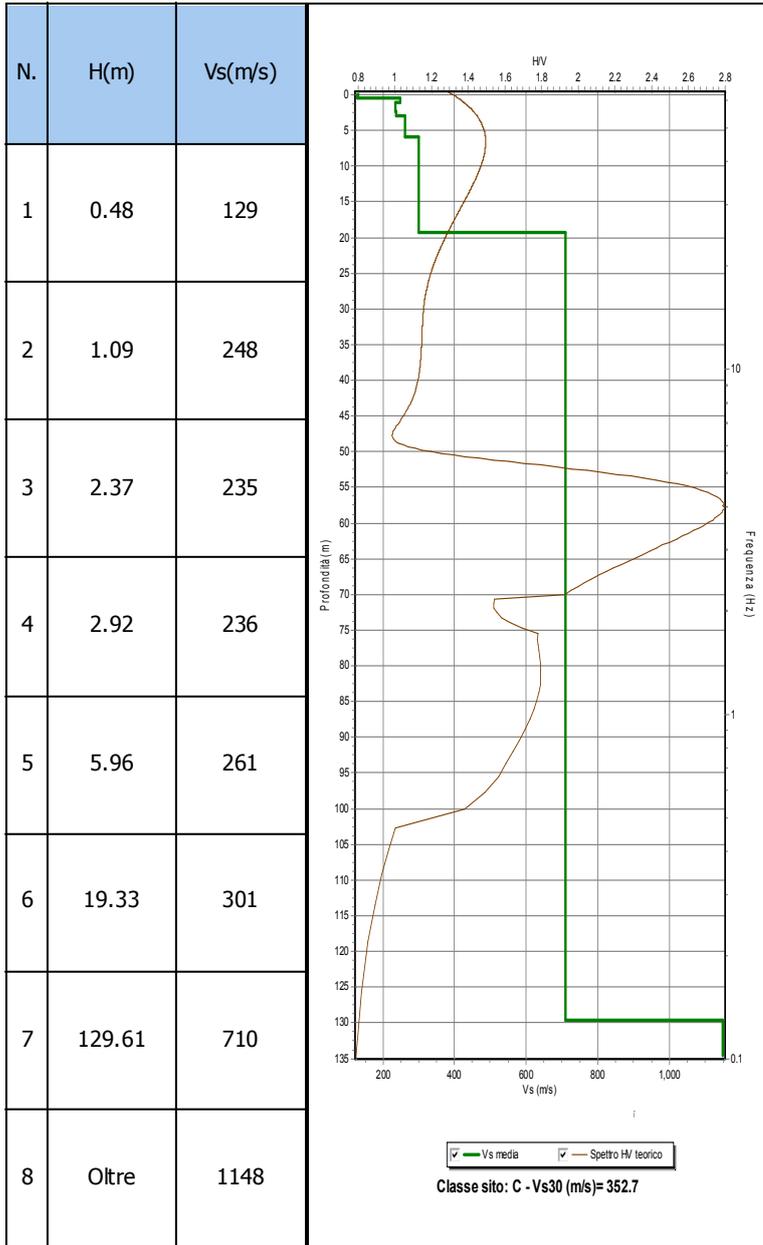


# Riassunto interpretazione HVSR TB021

N.	H(m)	Vs(m/s)
1	0.48	105
2	1.45	209
3	3.08	229
4	12.6	435
5	23.74	451
6	58.82	655
7	Oltre	762

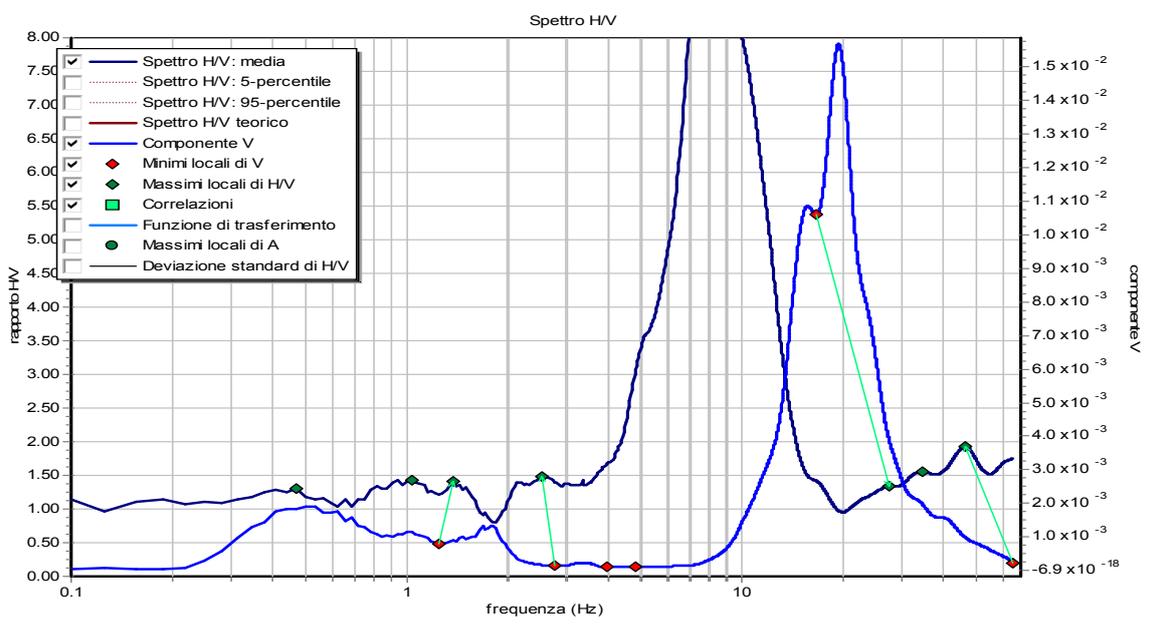
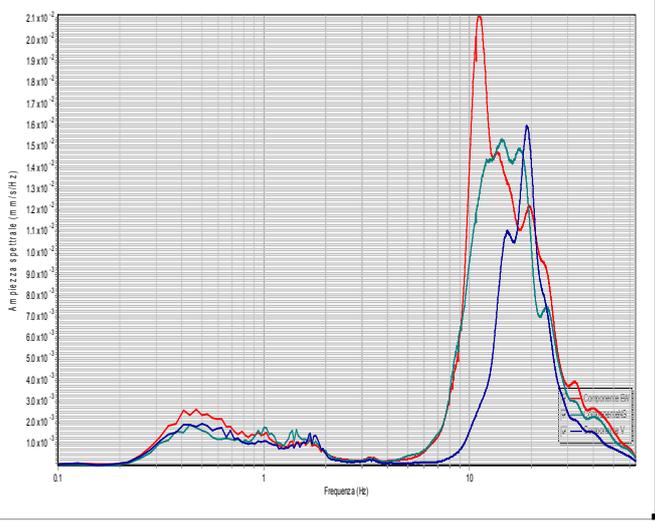
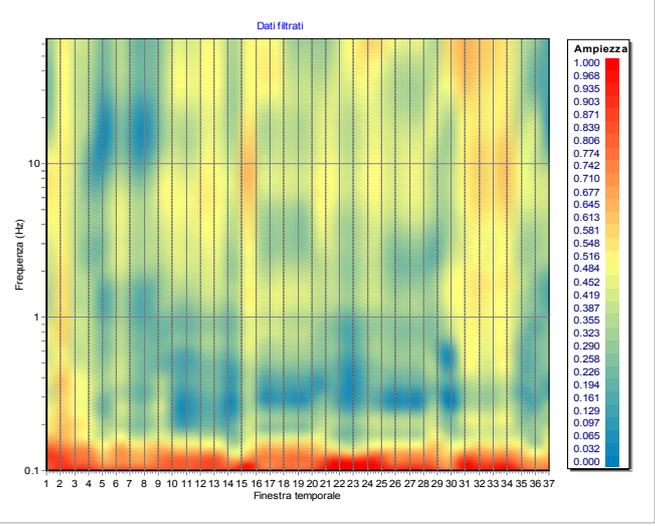
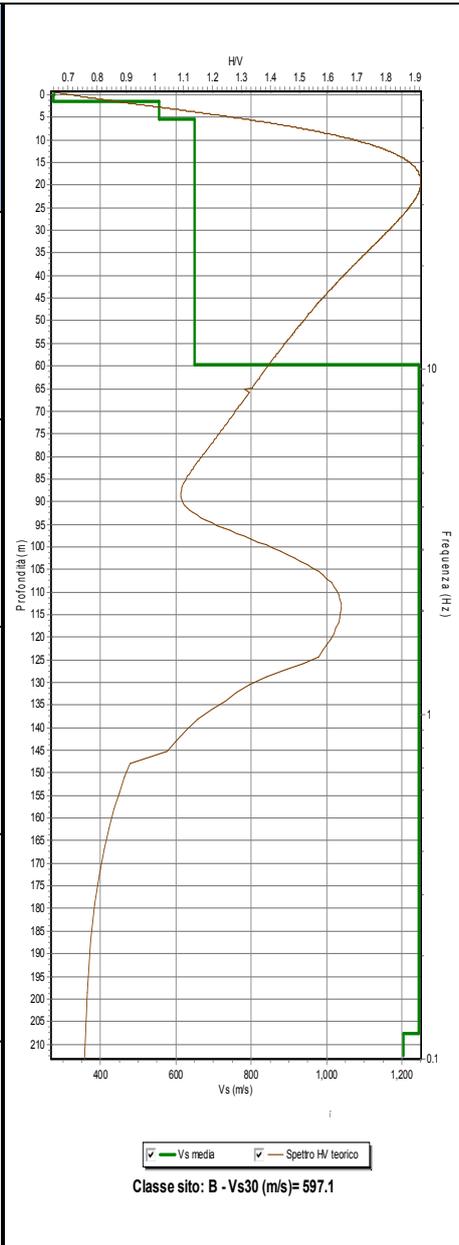


# Riassunto interpretazione HVSR TB022



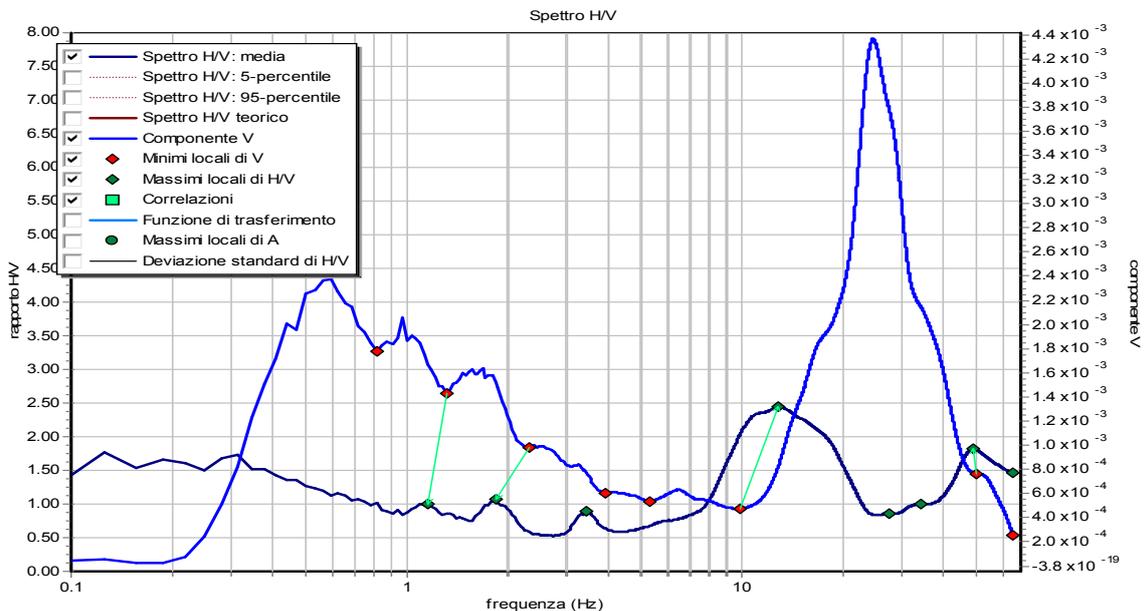
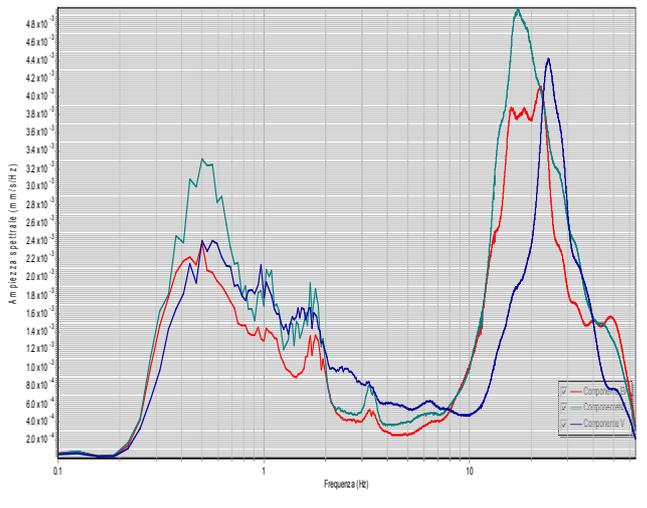
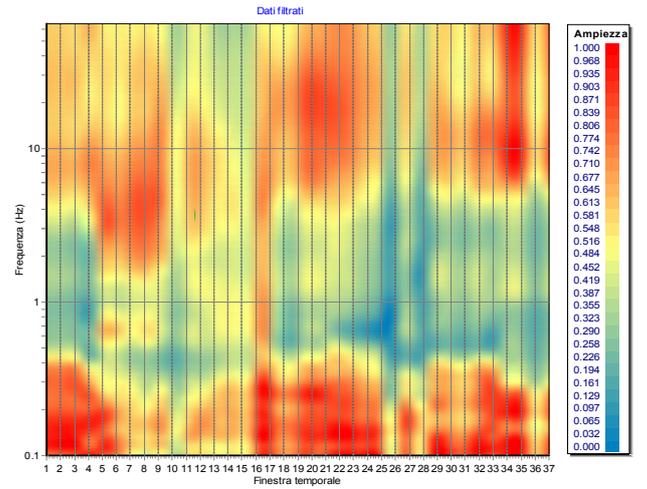
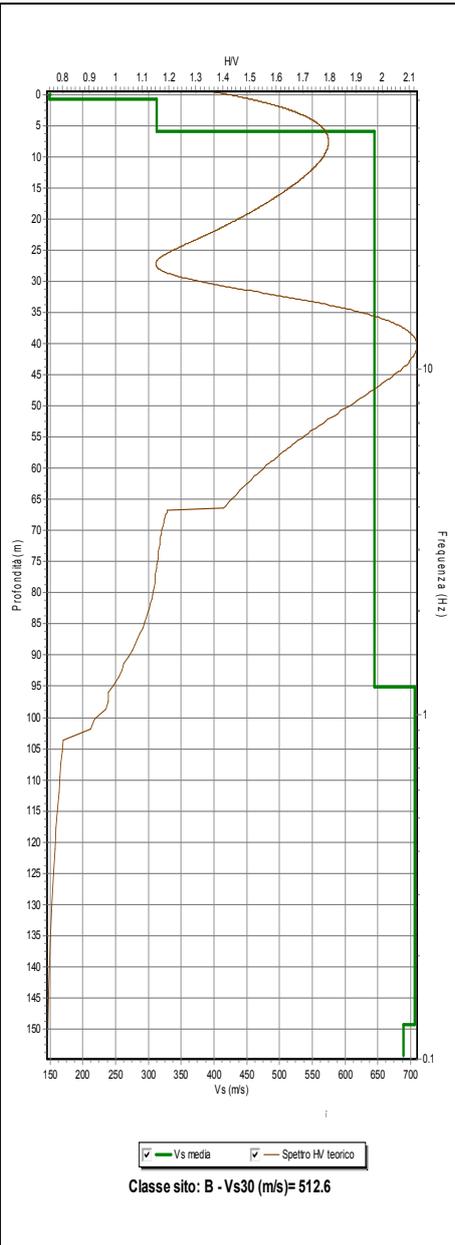
# Riassunto interpretazione HVSR TB023

N.	H(m)	Vs(m/s)
1	1.45	275
2	5.46	556
3	59.79	650
4	207.56	1244
5	Oltre	1204



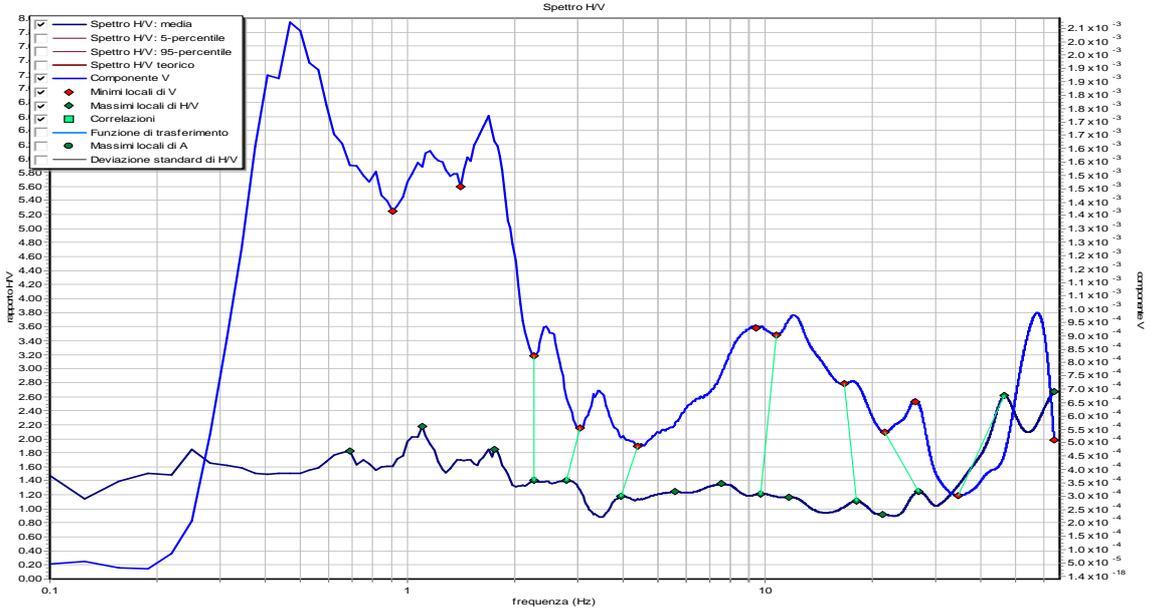
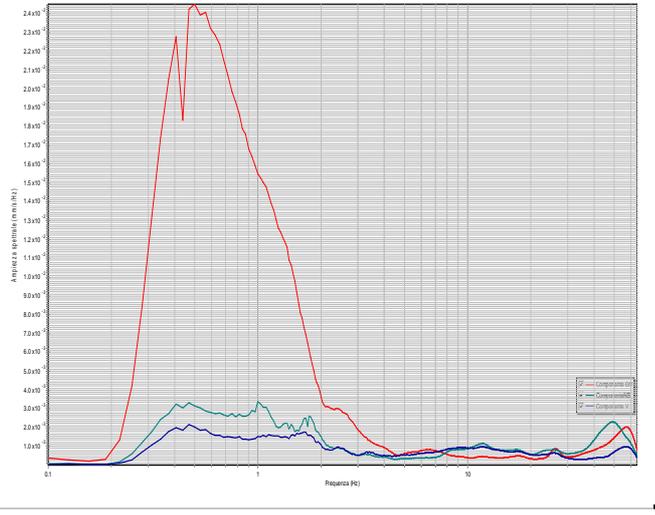
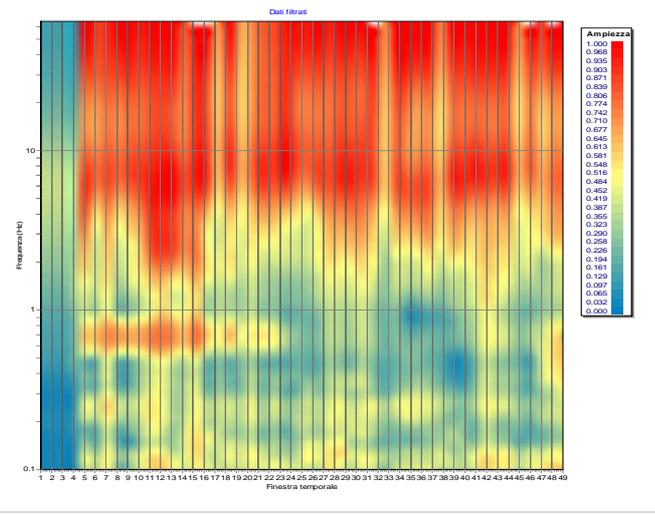
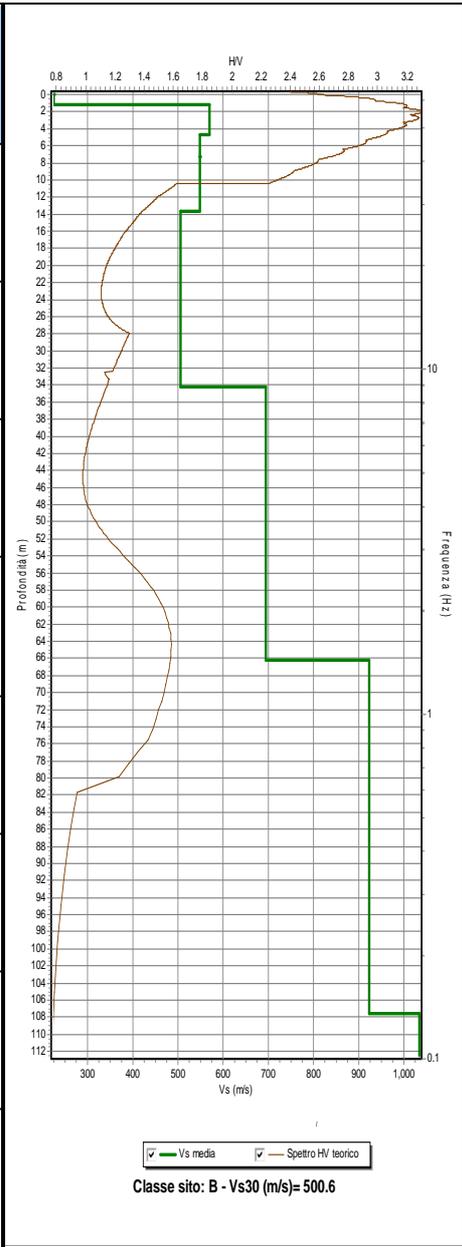
# Riassunto interpretazione HVSR TB024

N.	H(m)	Vs(m/s)
1	0.63	149
2	5.89	312
3	95.07	644
4	149.32	706
5	Oltre	689

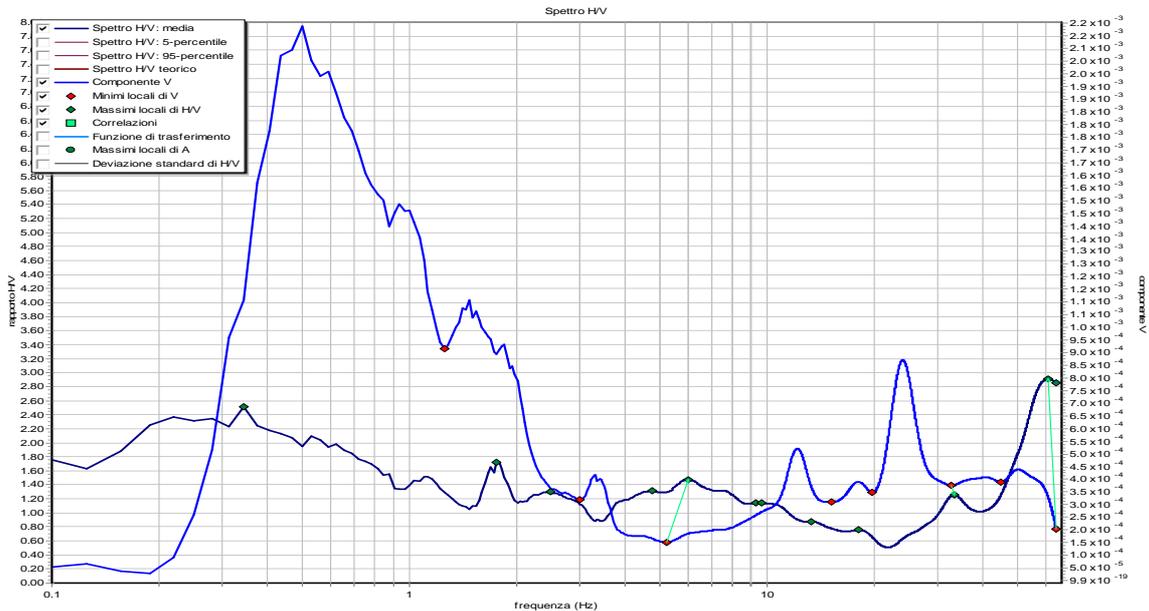
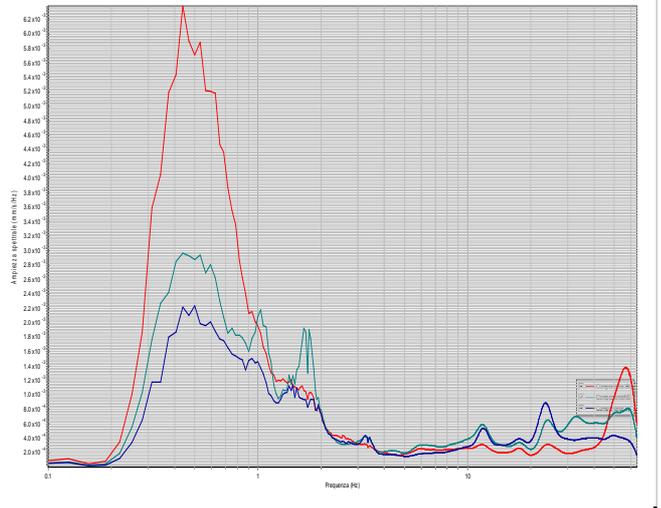
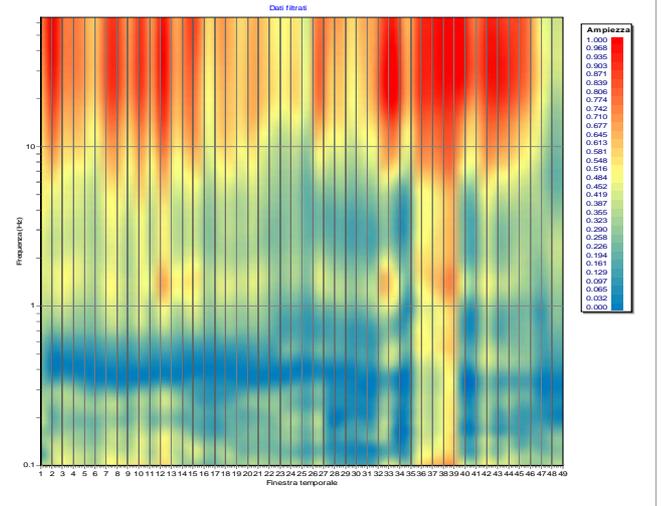
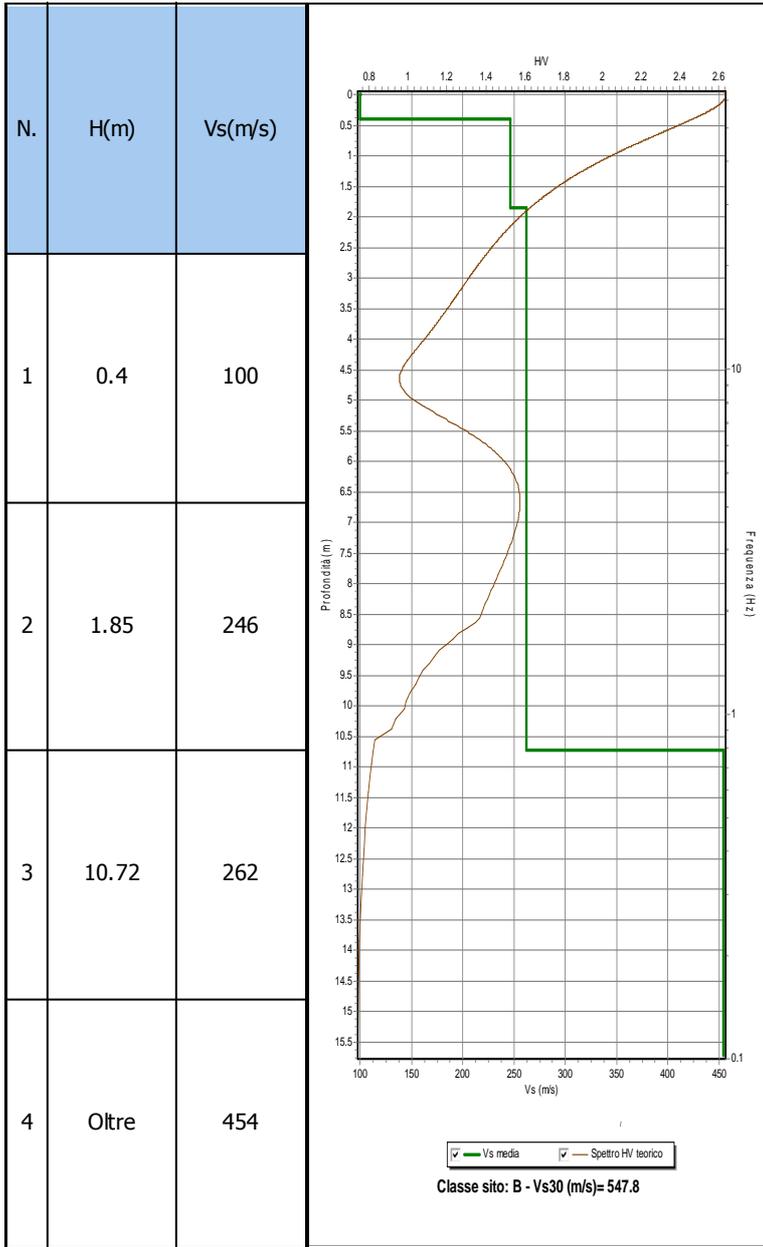


# Riassunto interpretazione HVSR TB025

N.	H(m)	Vs(m/s)
1	1.12	226
2	4.74	569
3	7.29	548
4	13.7	549
5	34.18	505
6	66.25	694
7	107.51	922
8	Oltre	1033

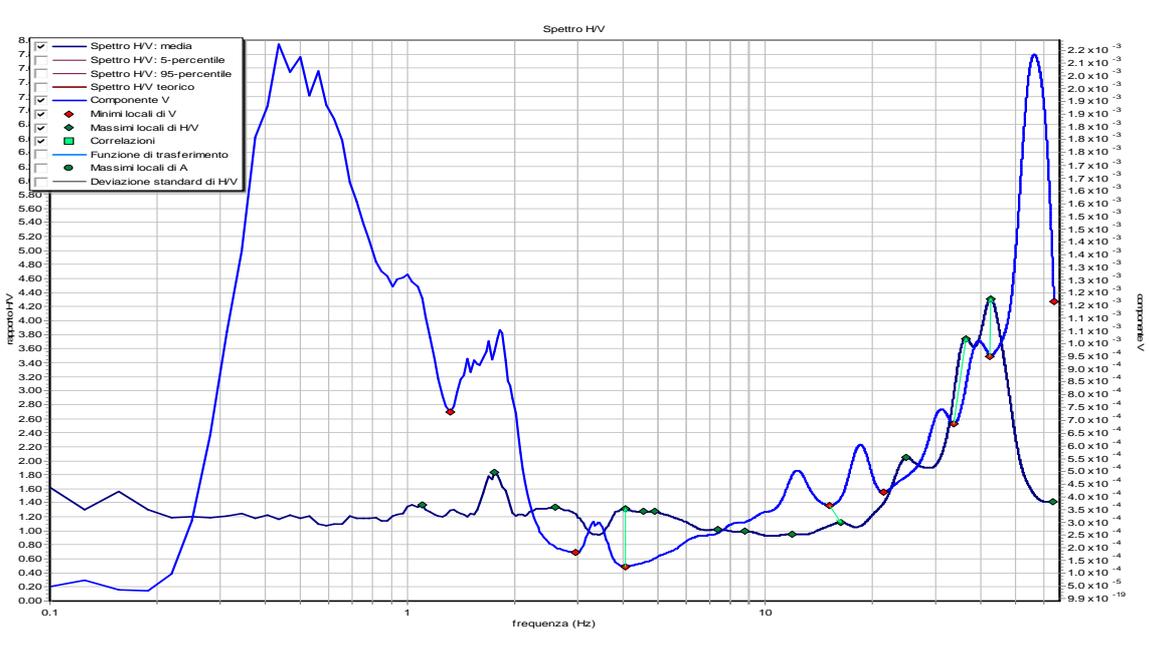
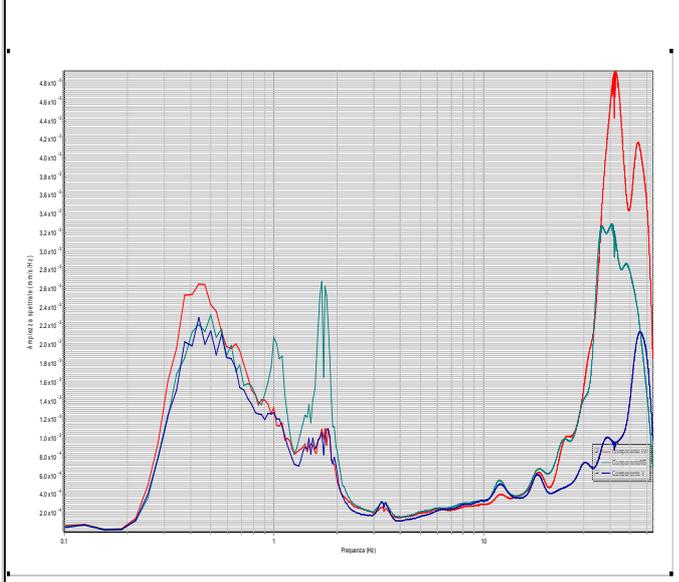
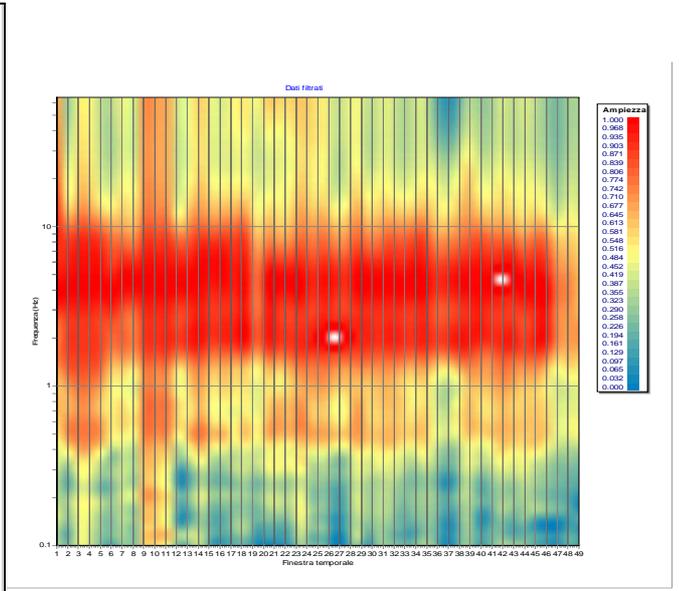
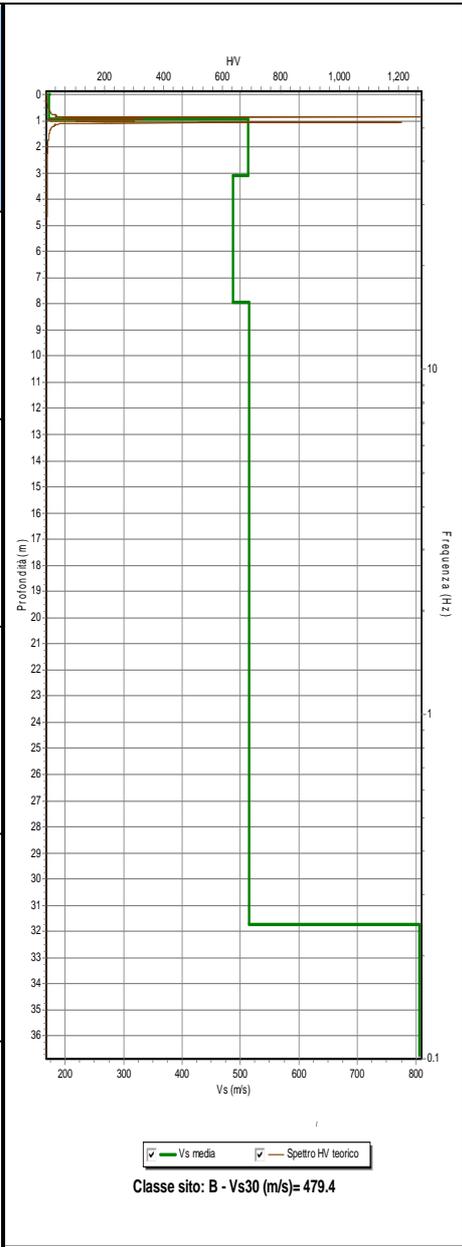


# Riassunto interpretazione HVSR TB026

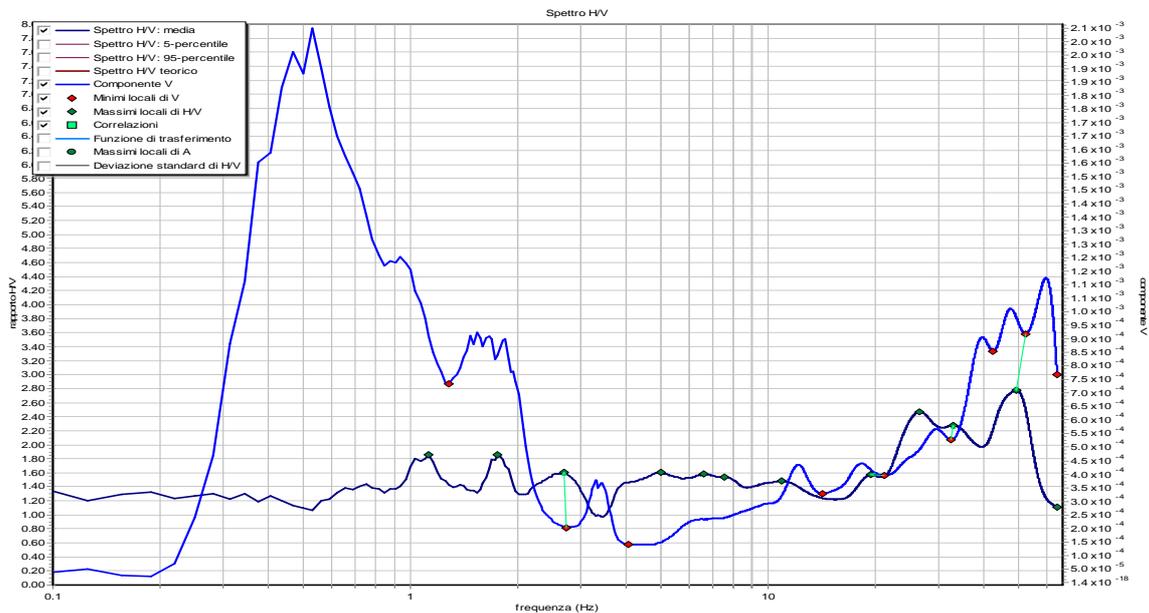
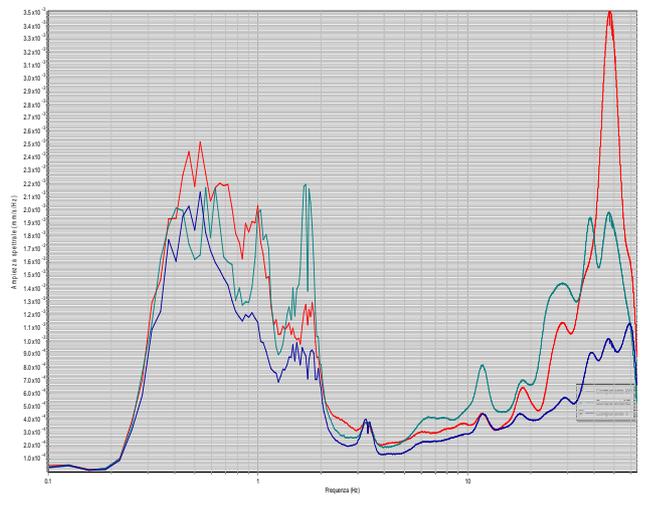
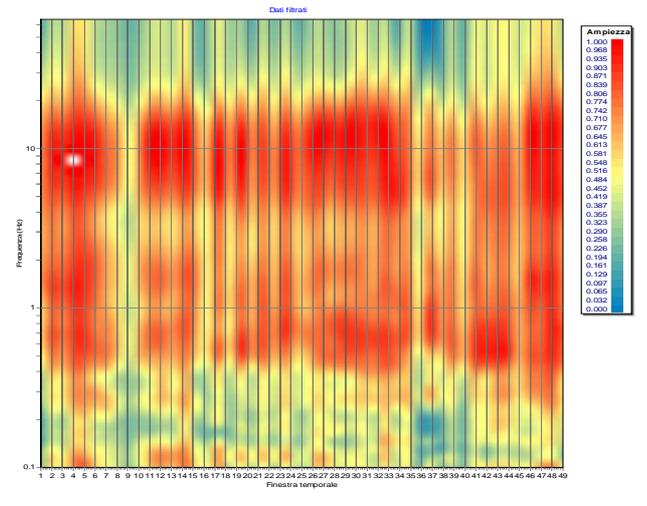
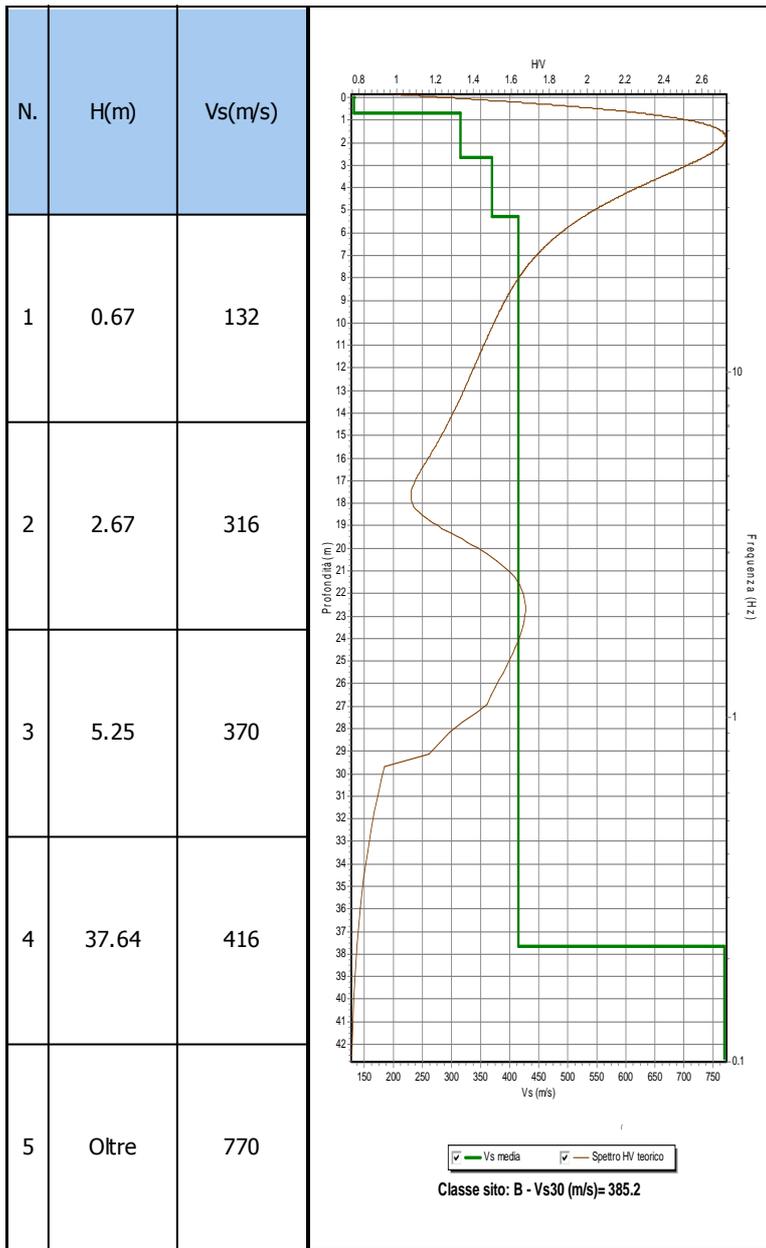


# Riassunto interpretazione HVSR TB027

N.	H(m)	Vs(m/s)
1	0.95	172
2	3.11	513
3	7.96	487
4	31.75	514
5	Oltre	806

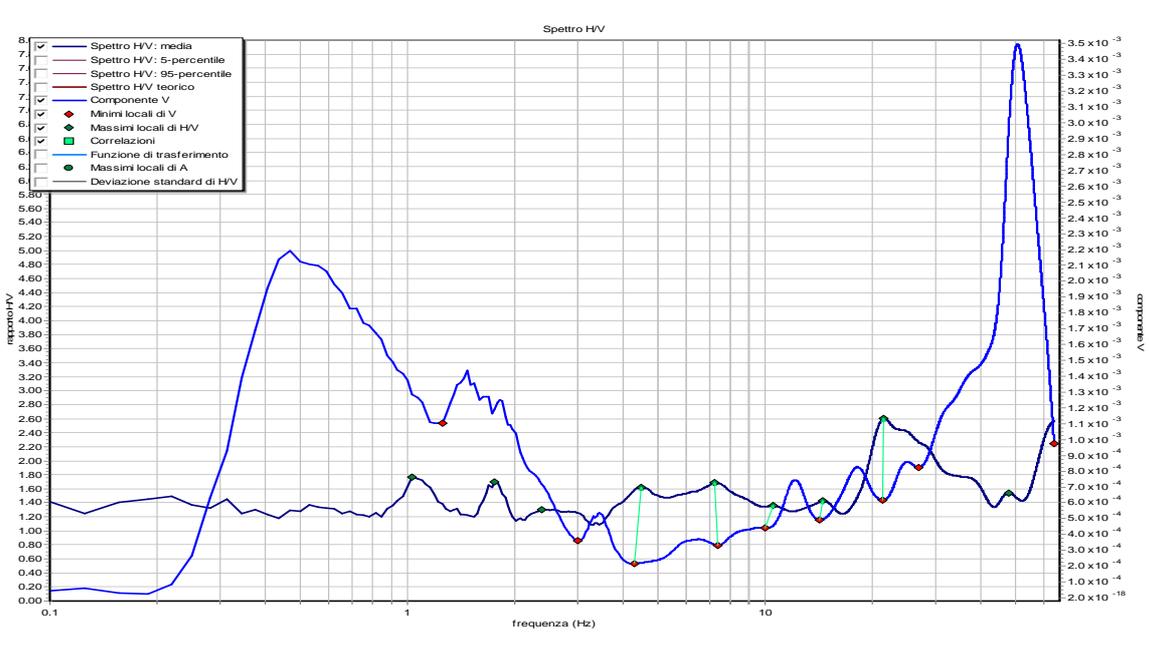
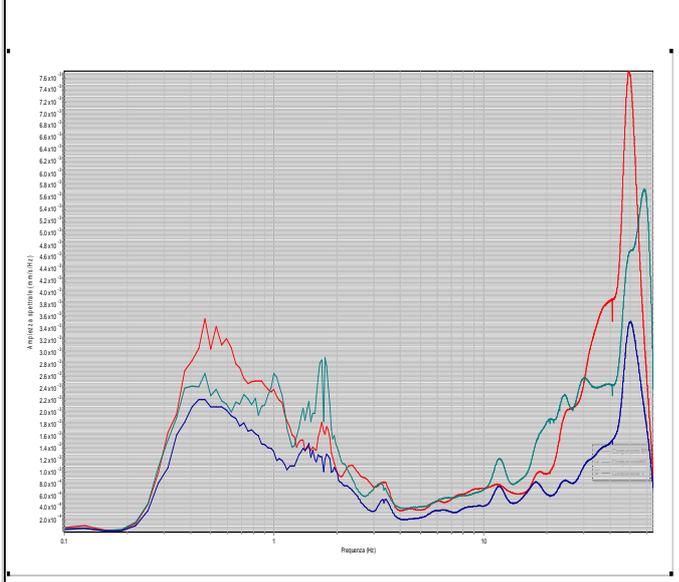
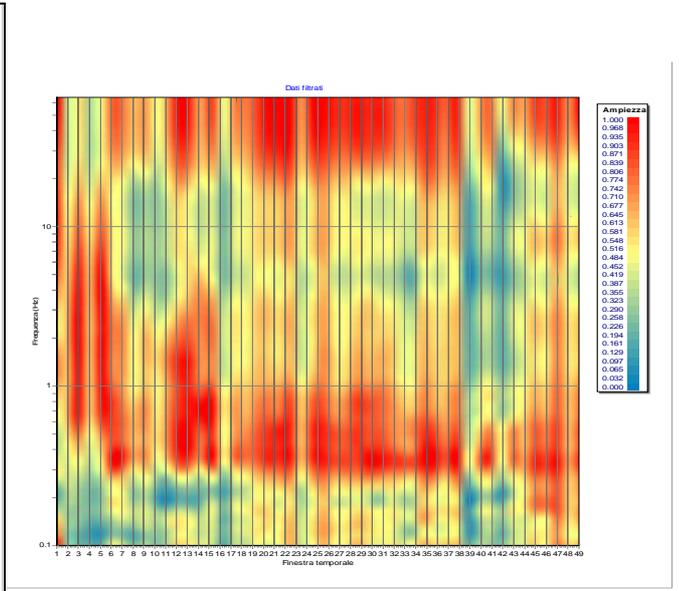
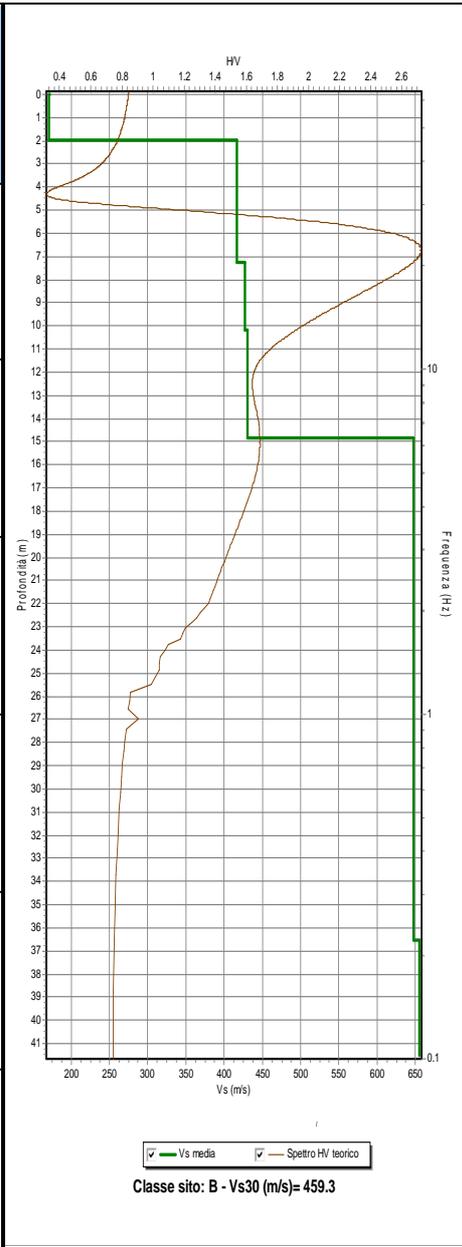


# Riassunto interpretazione HVSR TB028

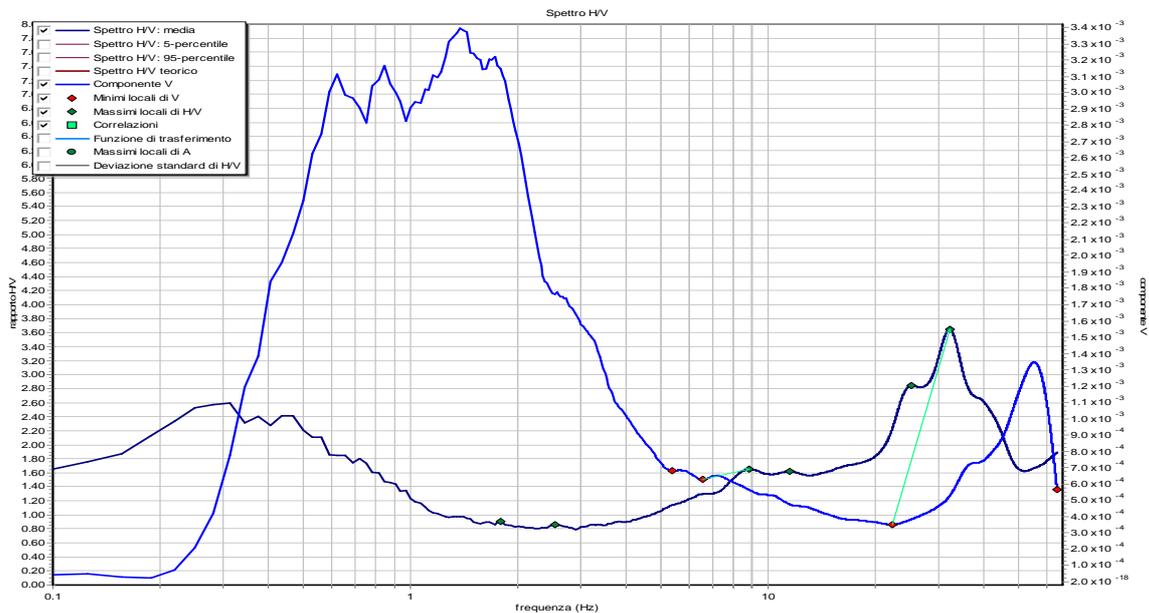
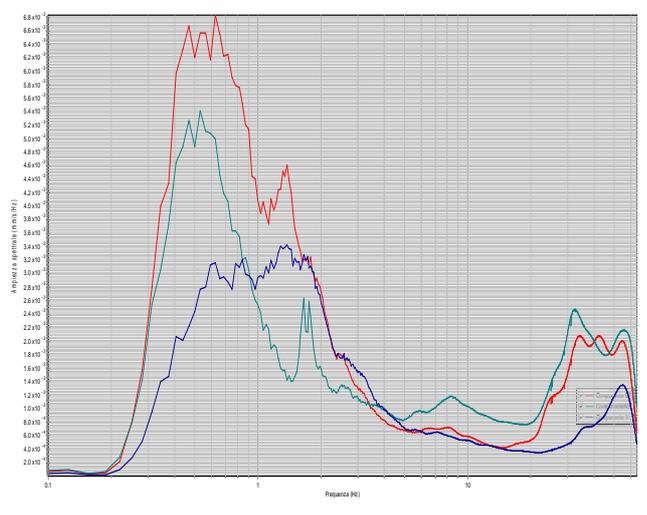
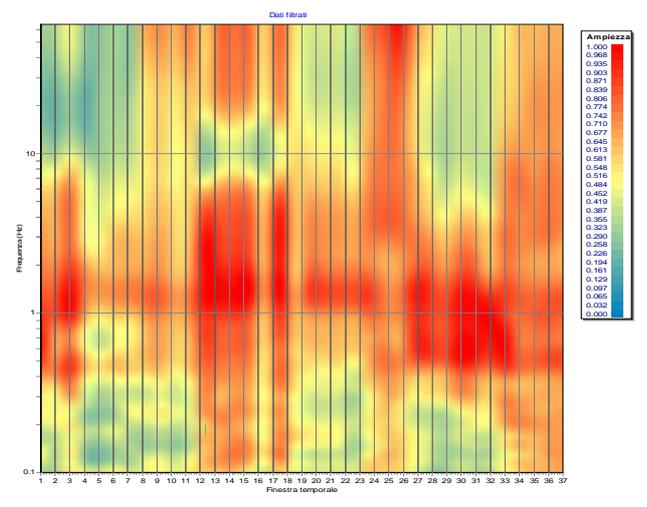
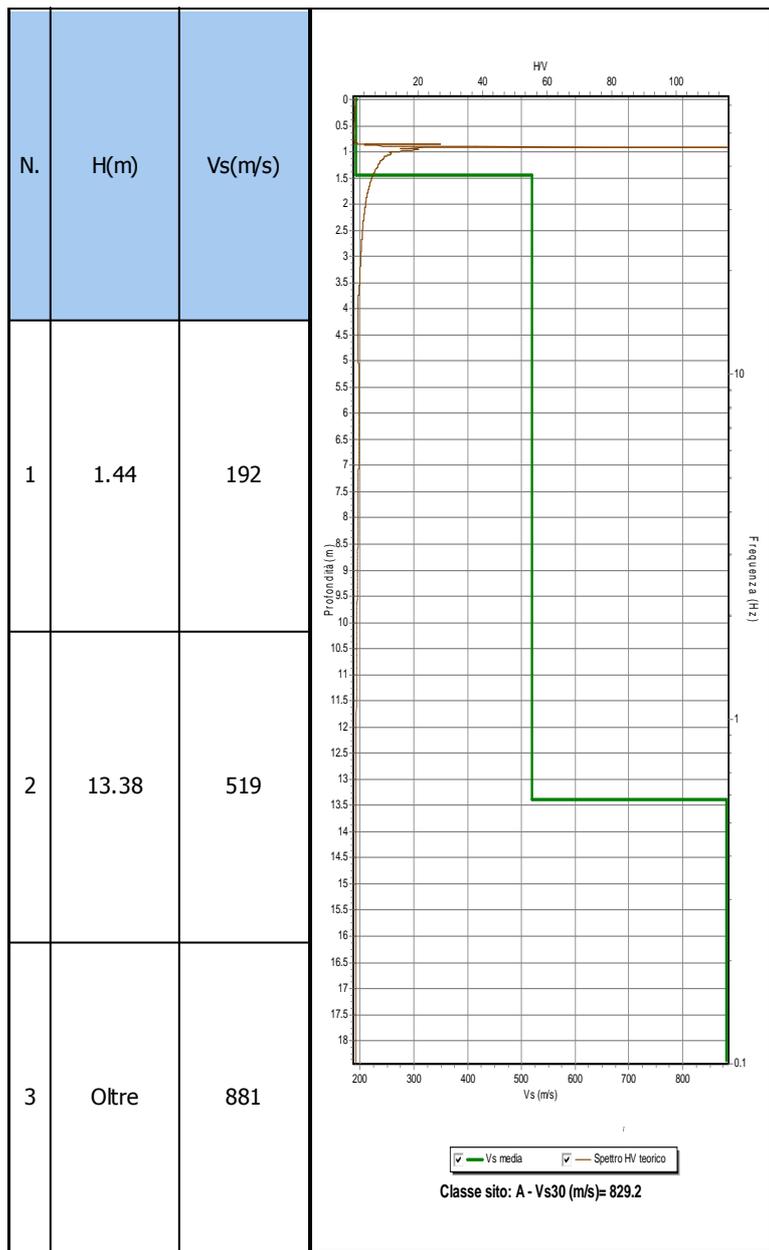


# Riassunto interpretazione HVSR TB029

N.	H(m)	Vs(m/s)
1	1.98	171
2	7.24	417
3	10.16	427
4	14.85	430
5	36.52	648
6	Oltre	655

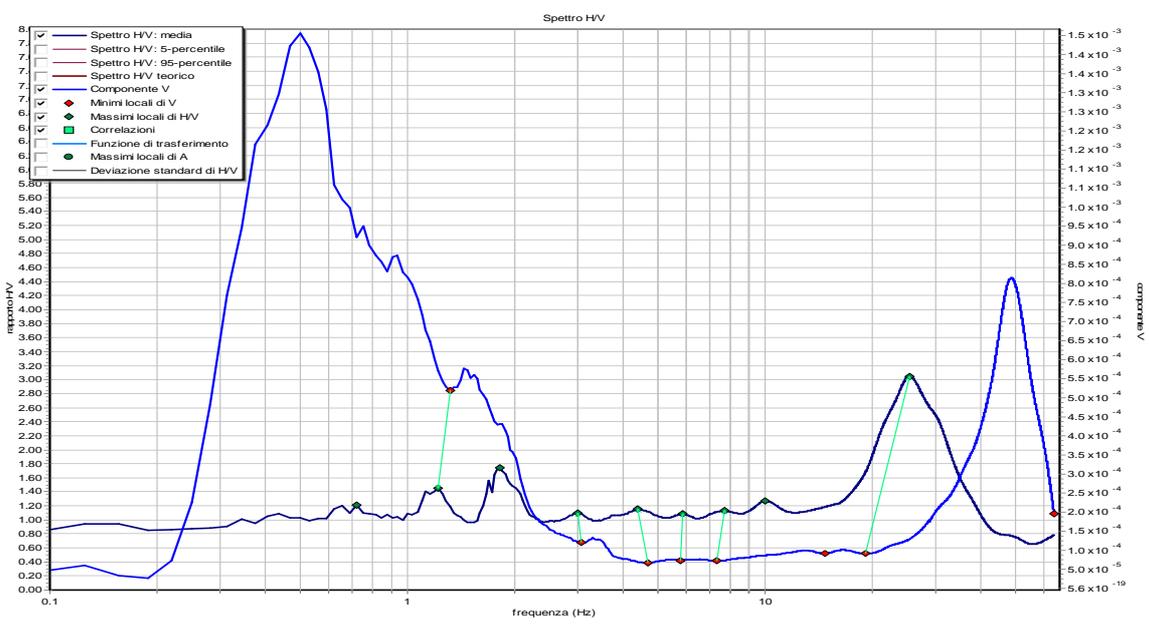
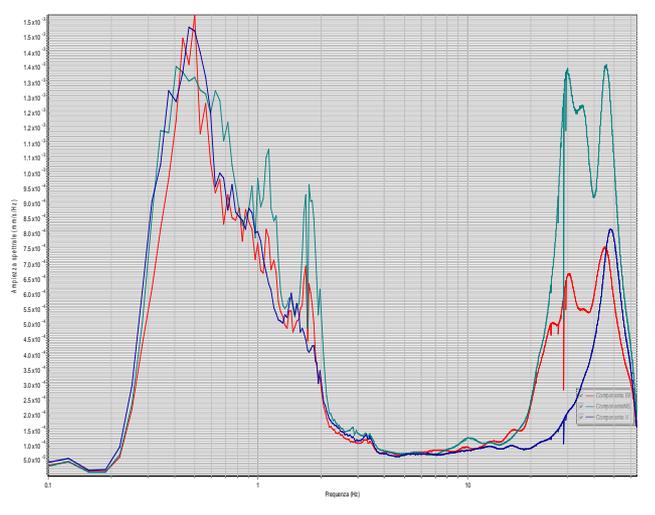
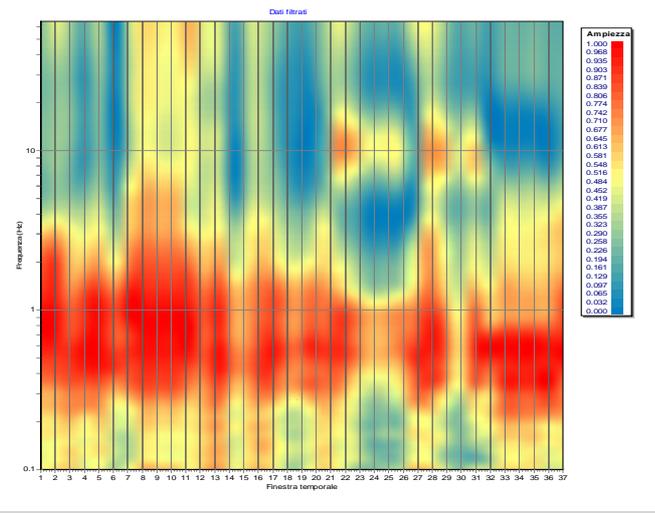
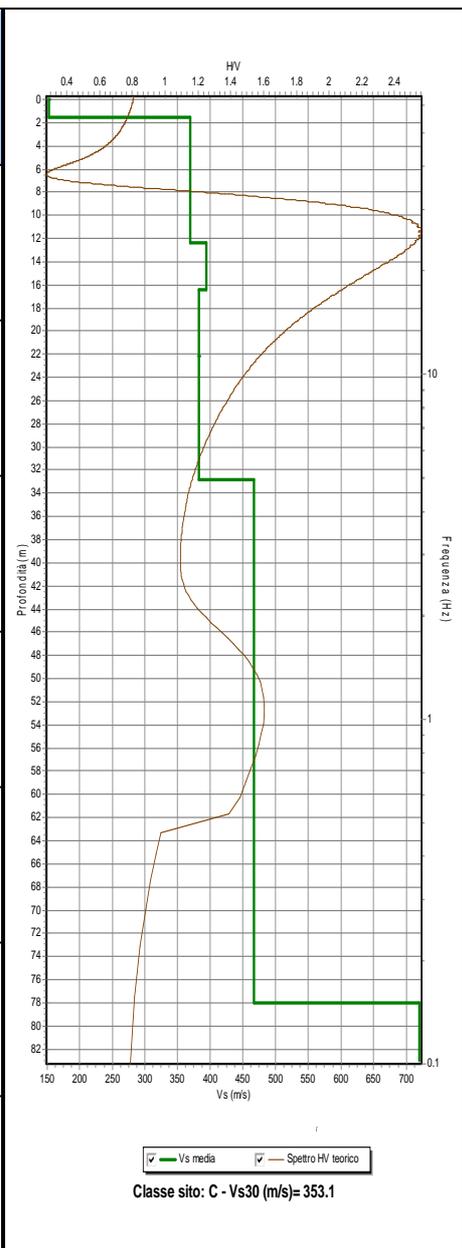


# Riassunto interpretazione HVSR TB030



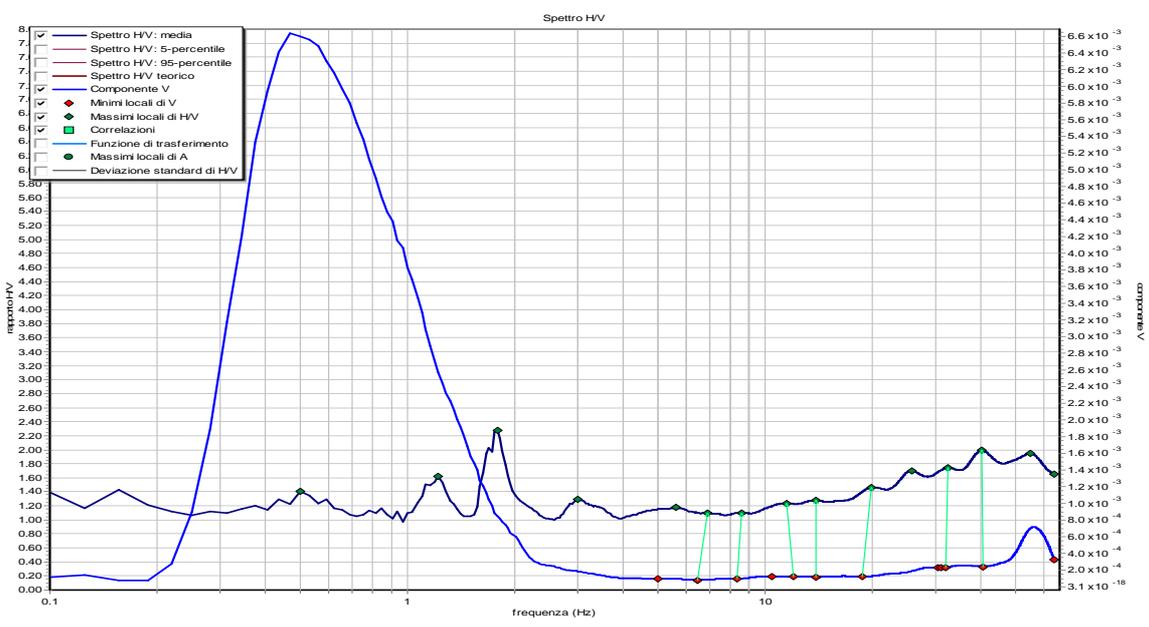
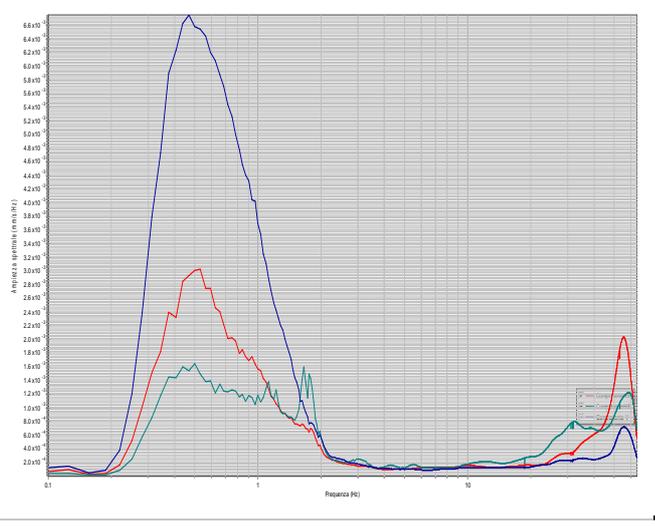
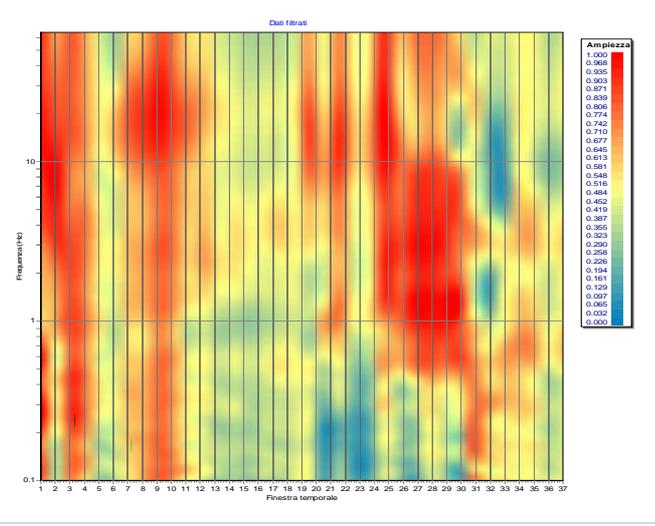
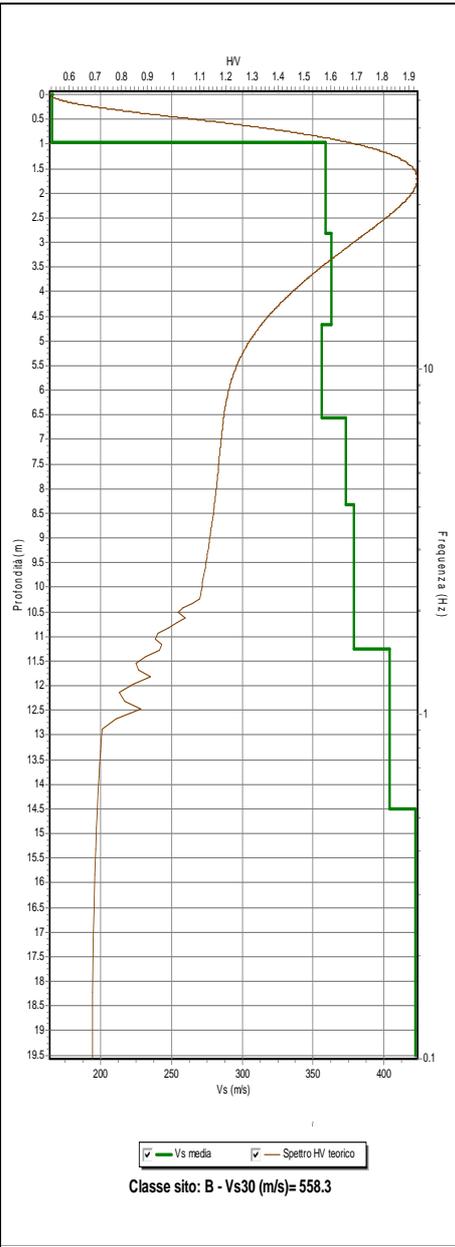
# Riassunto interpretazione HVSR TB031

N.	H(m)	Vs(m/s)
1	1.49	153
2	12.42	369
3	16.4	394
4	22.13	383
5	32.78	383
6	78.0	467
7	Oltre	720



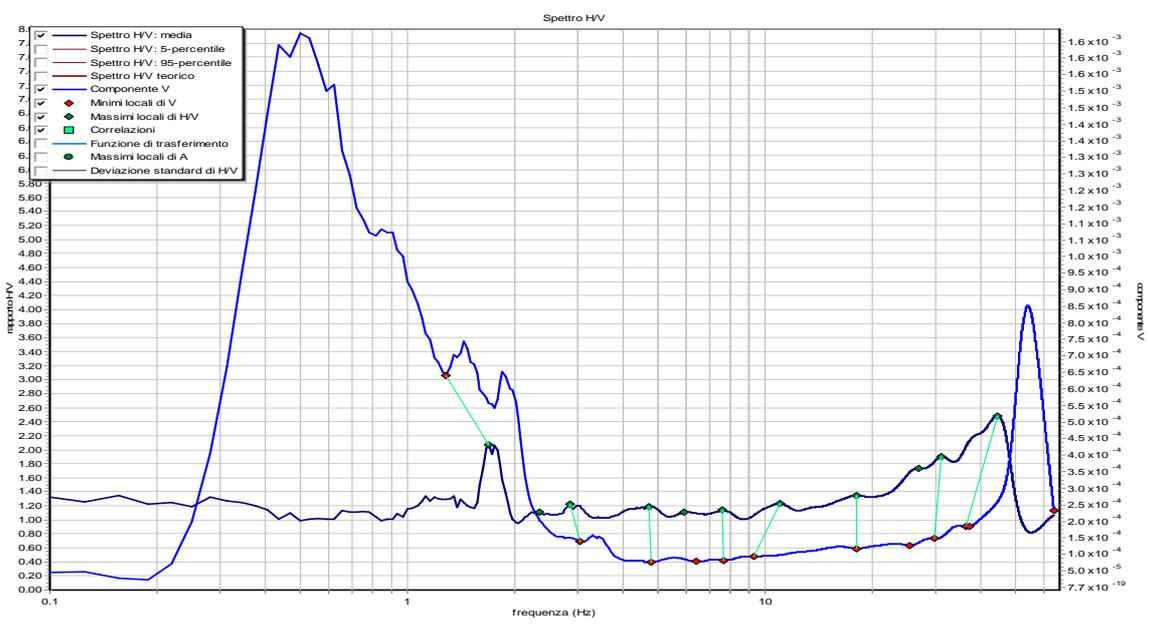
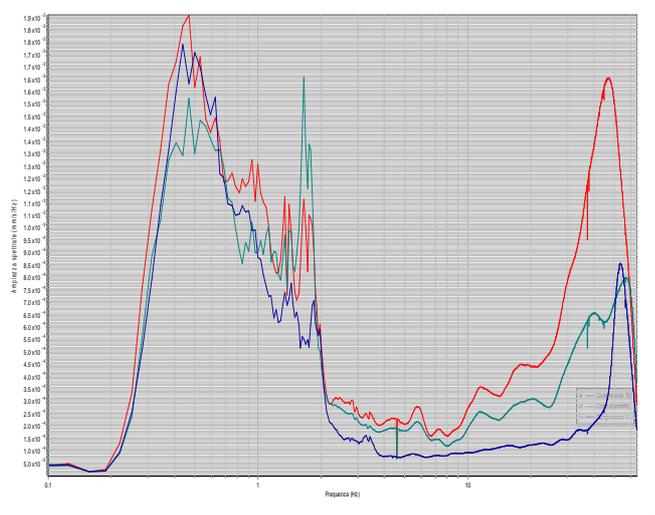
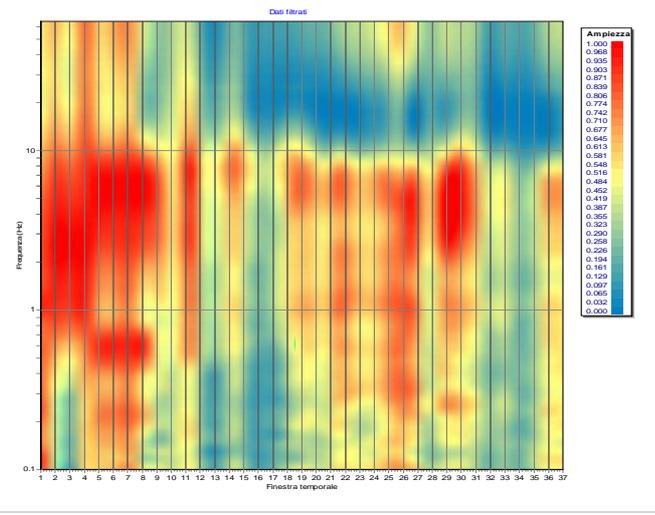
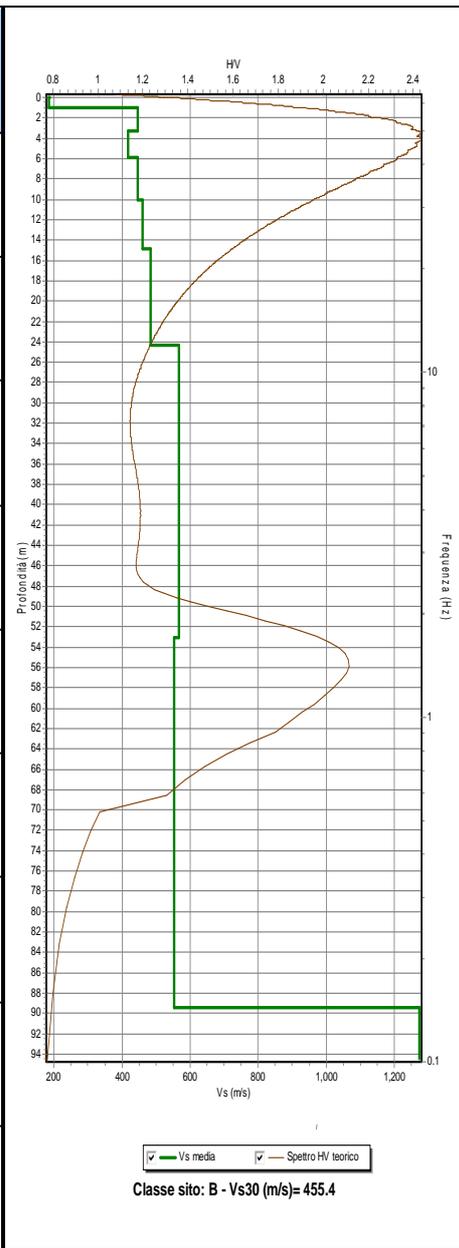
# Riassunto interpretazione HVSR TB032

N.	H(m)	Vs(m/s)
1	0.96	166
2	2.81	359
3	4.66	363
4	6.56	356
5	8.32	373
6	11.26	379
7	14.51	404
8	Oltre	422



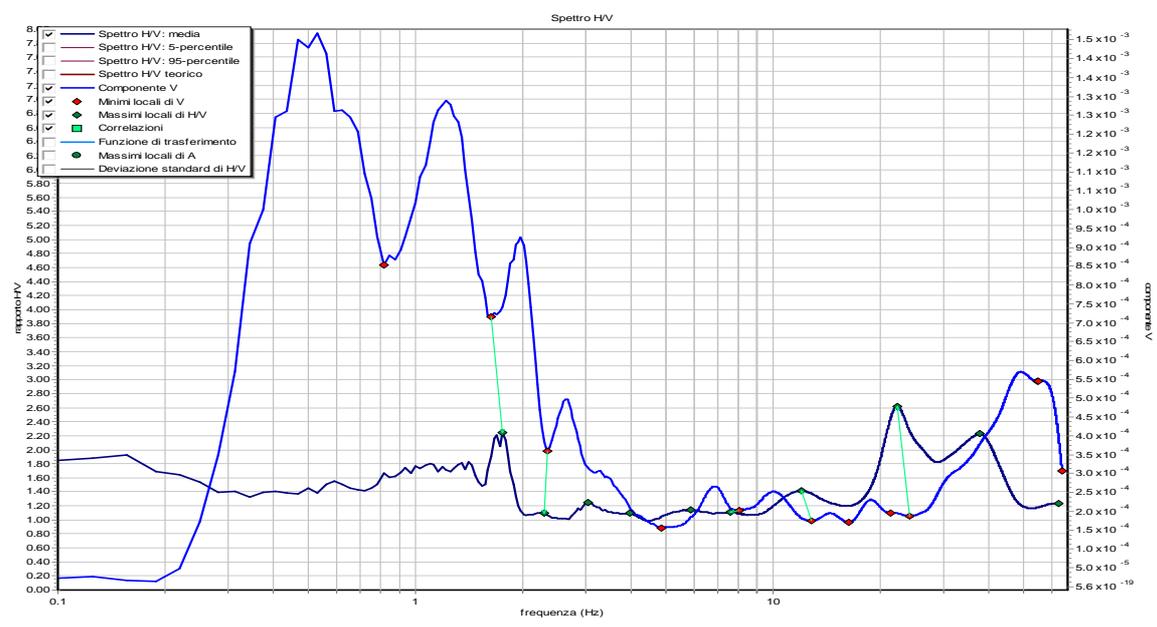
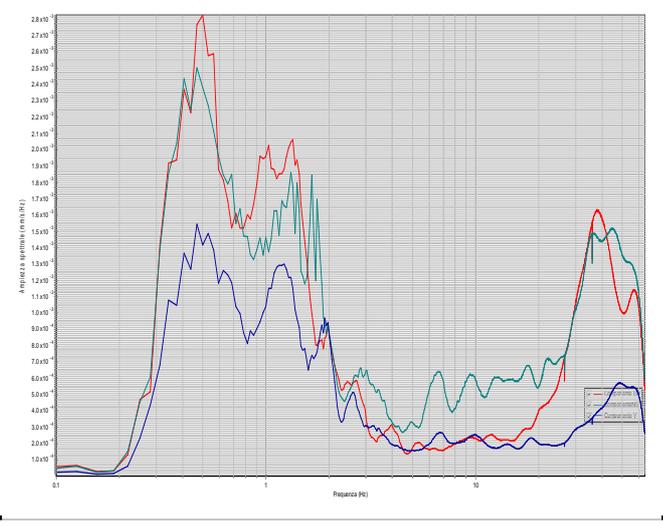
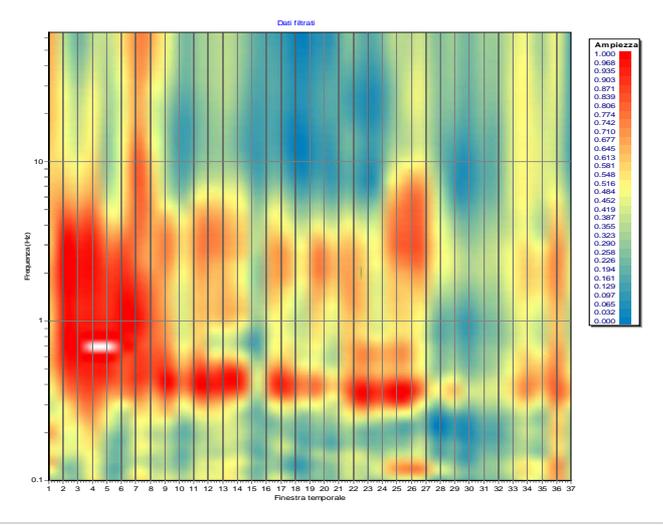
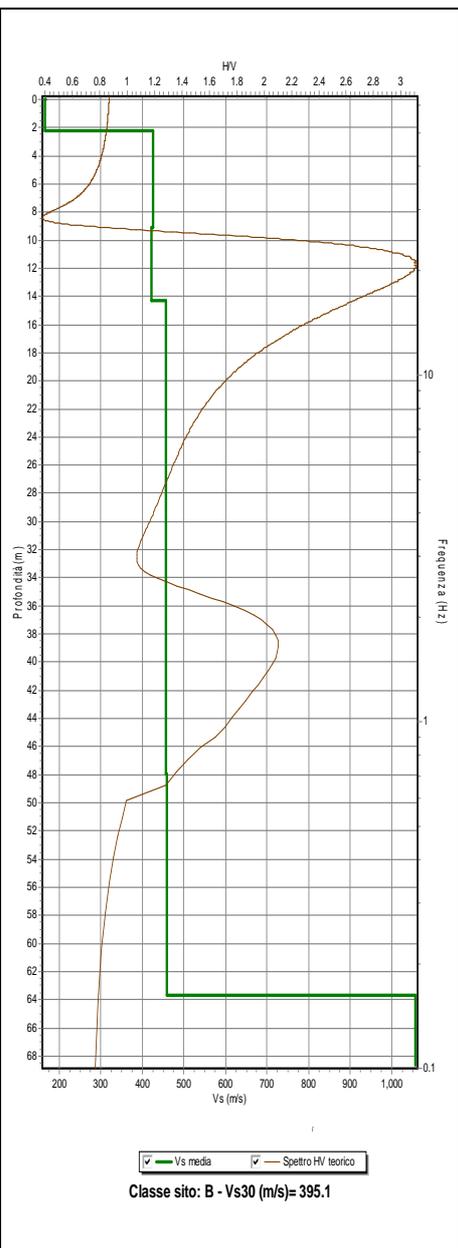
# Riassunto interpretazione HVSR TB033

N.	H(m)	Vs(m/s)
1	0.94	185
2	3.32	445
3	5.88	418
4	10.0	447
5	14.89	461
6	24.36	484
7	53.09	568
8	89.44	552
9	Oltre	1274

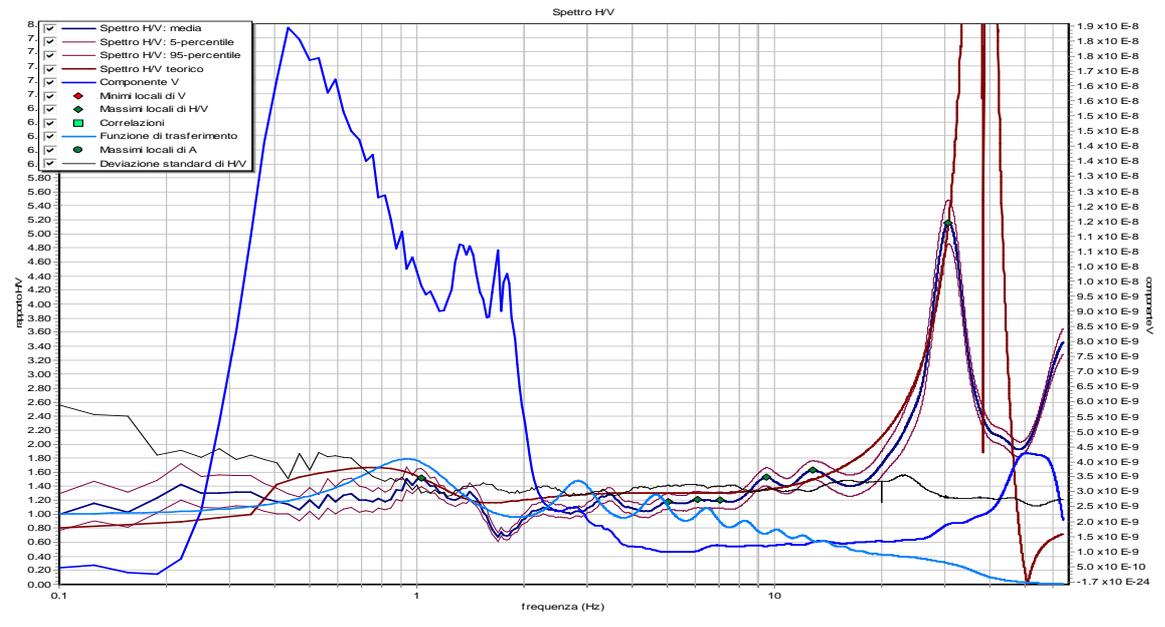
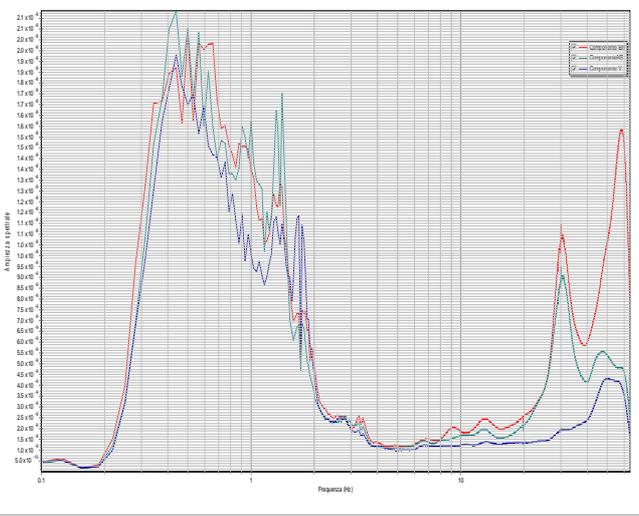
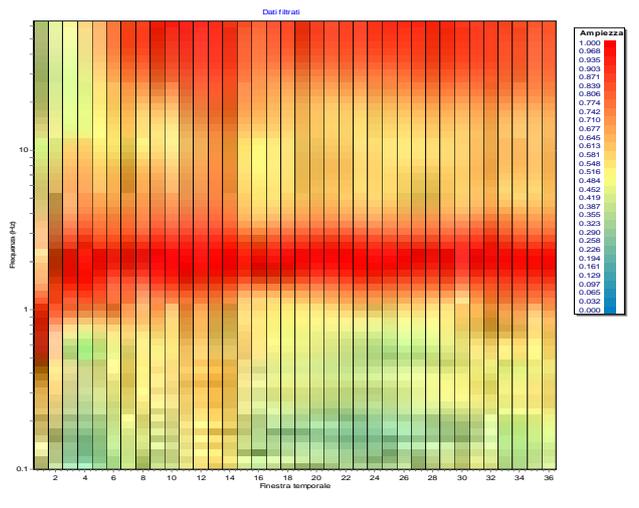
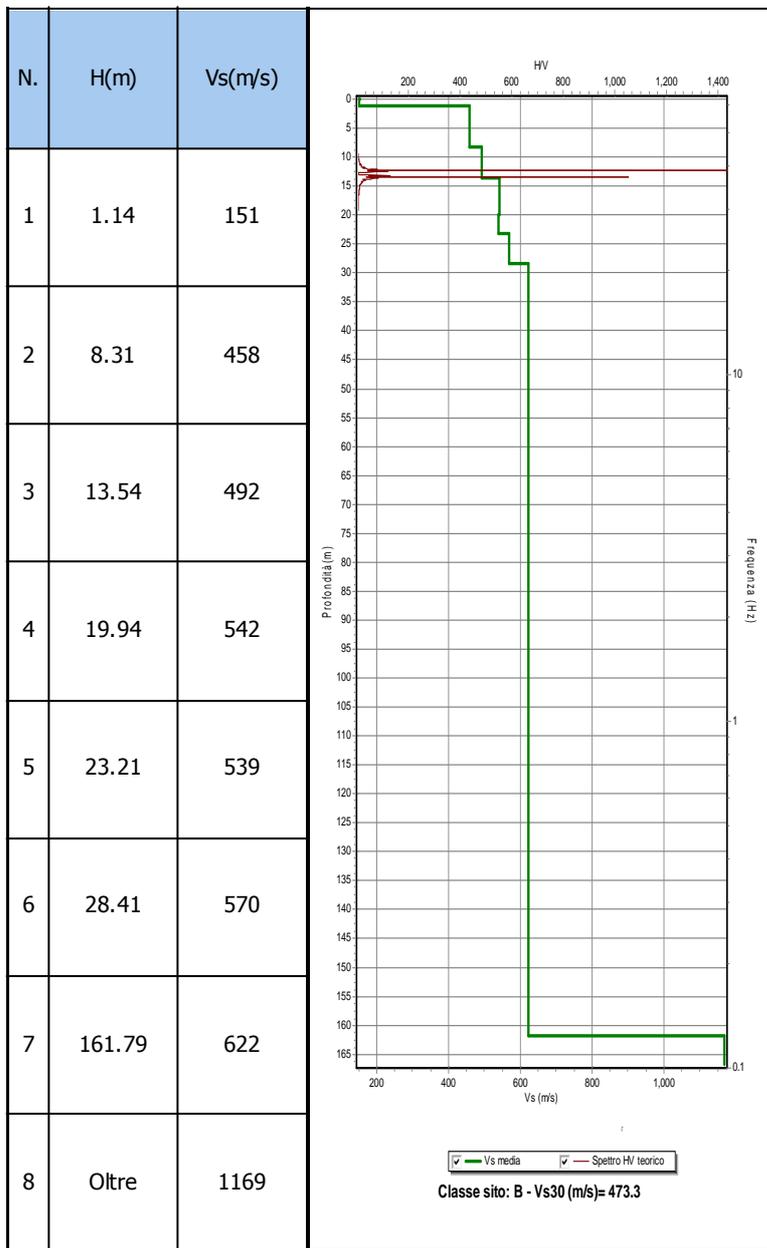


# Riassunto interpretazione HVSR TB034

N.	H(m)	Vs(m/s)
1	2.18	166
2	9.07	427
3	14.26	422
4	47.94	458
5	63.64	459
6	Oltre	1057

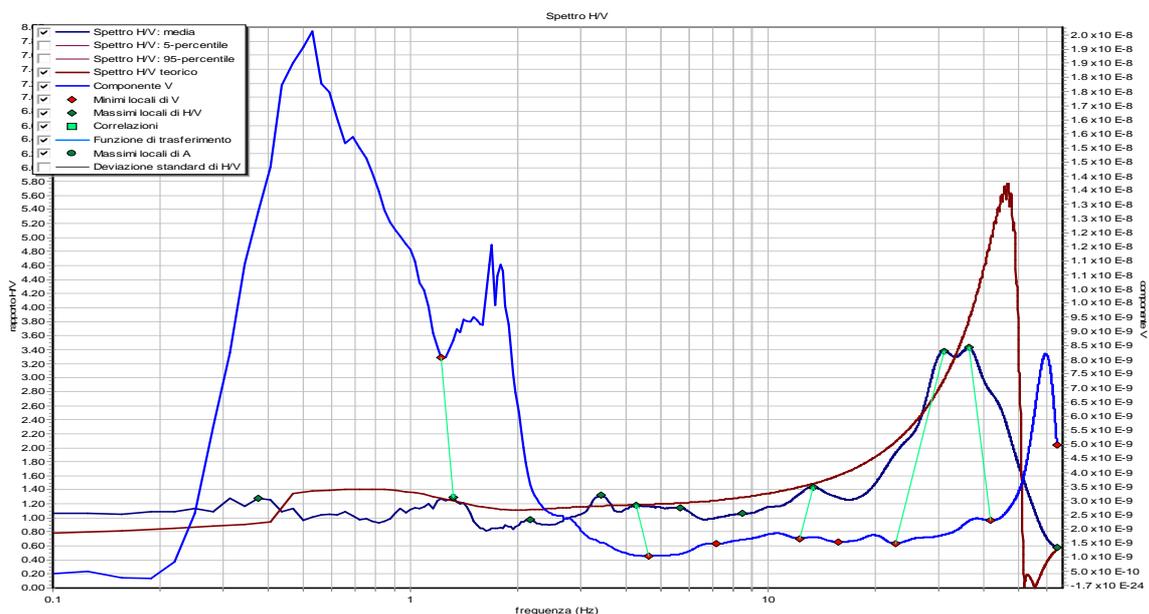
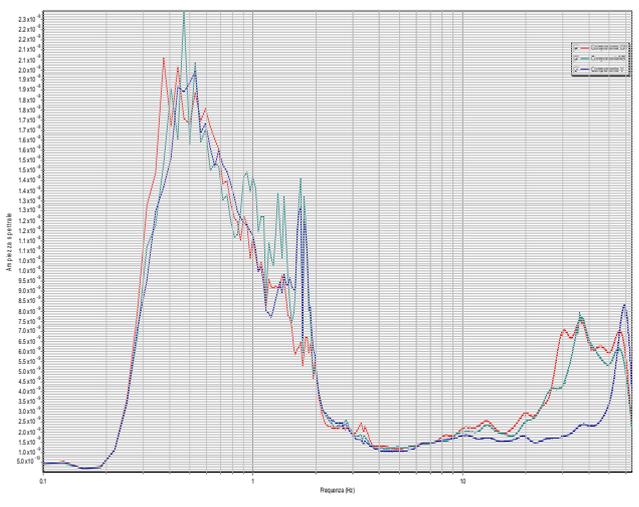
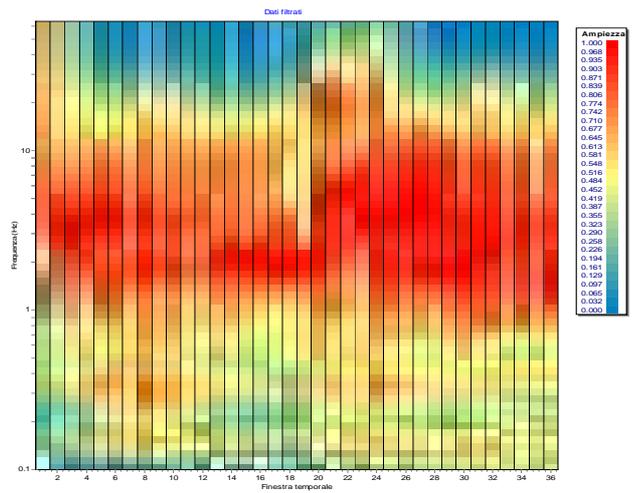
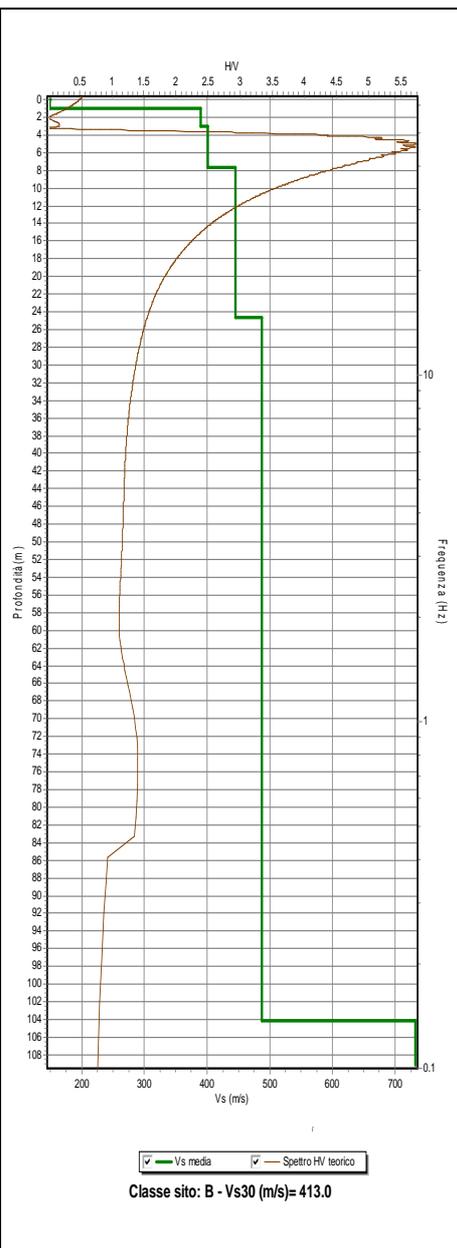


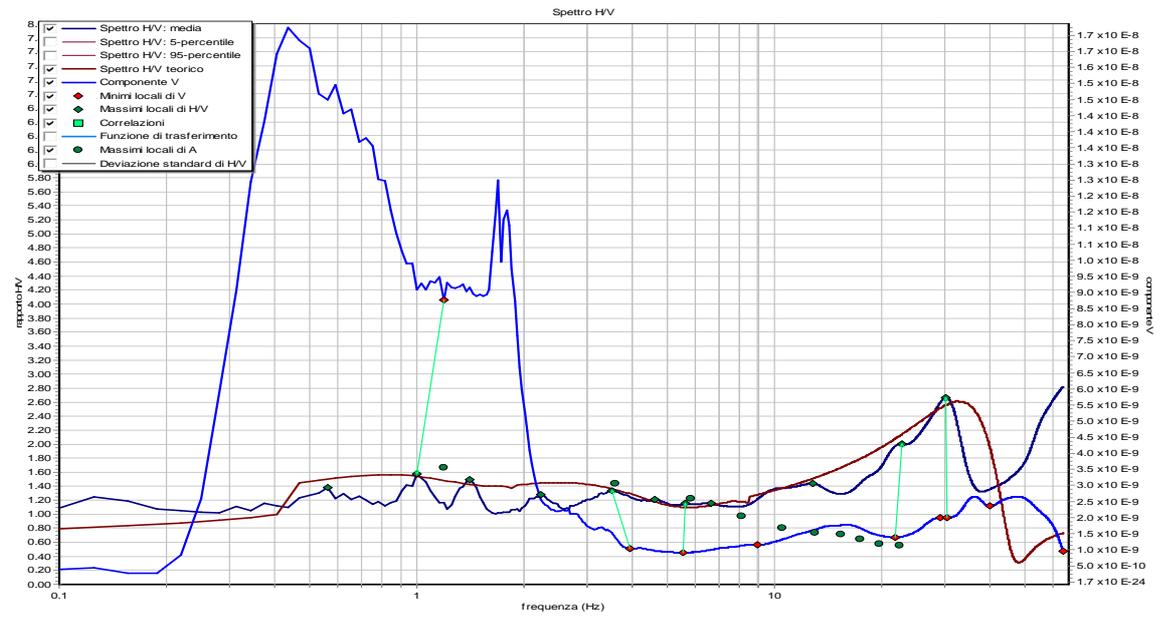
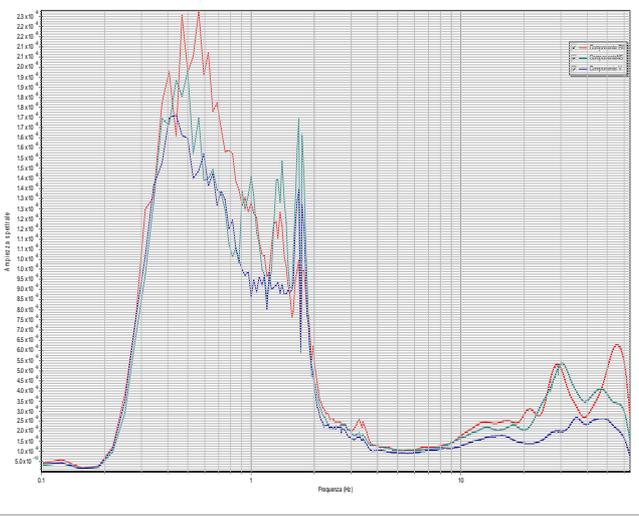
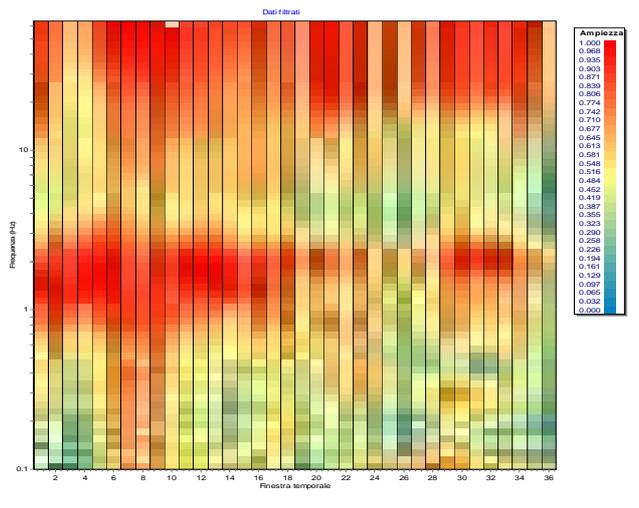
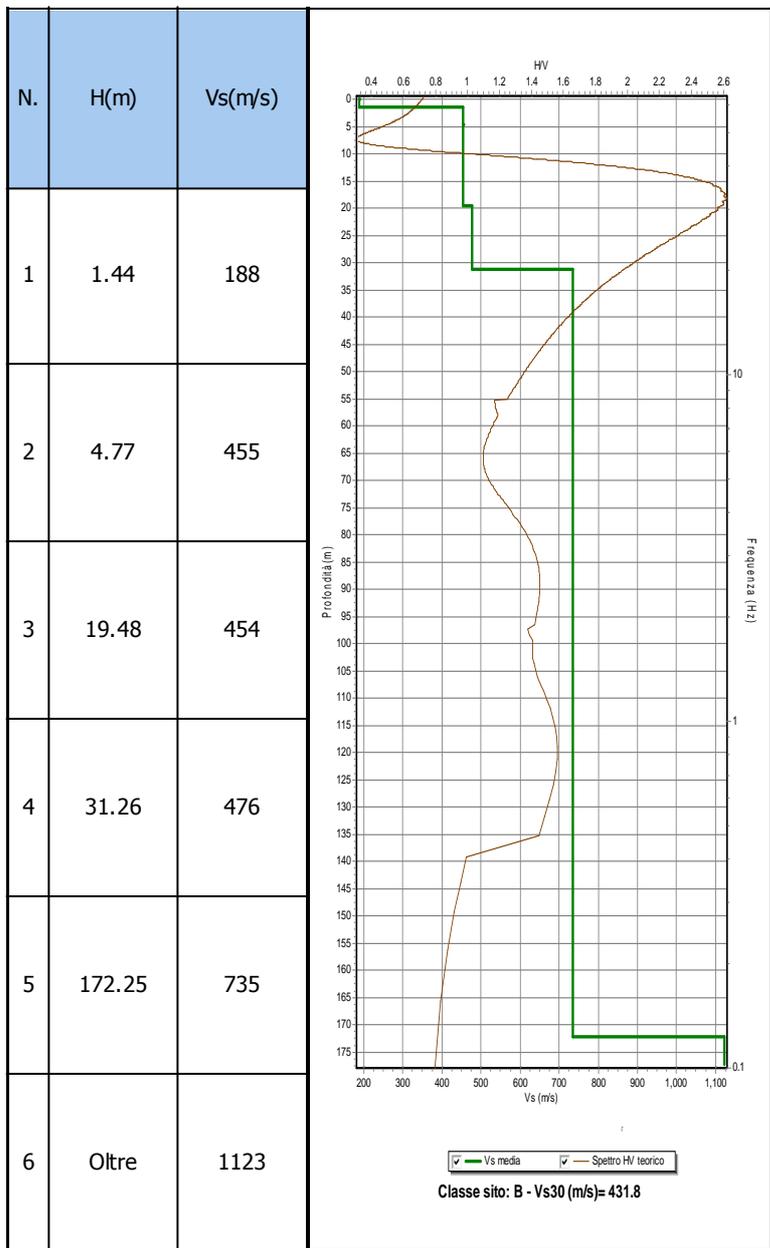
# Riassunto interpretazione HVSR TB035\_T09



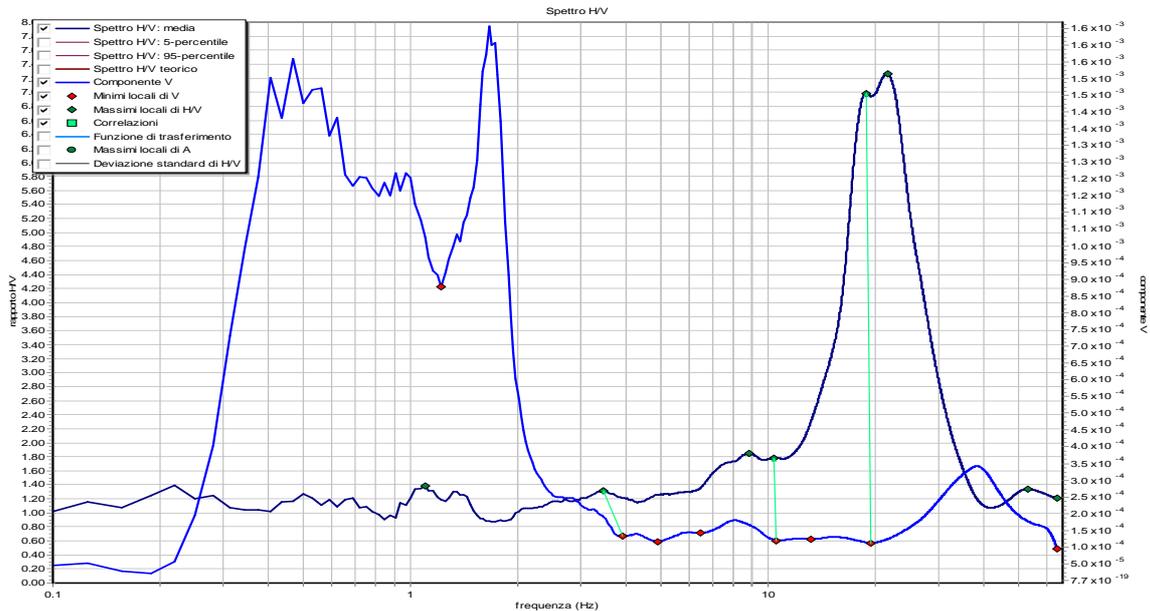
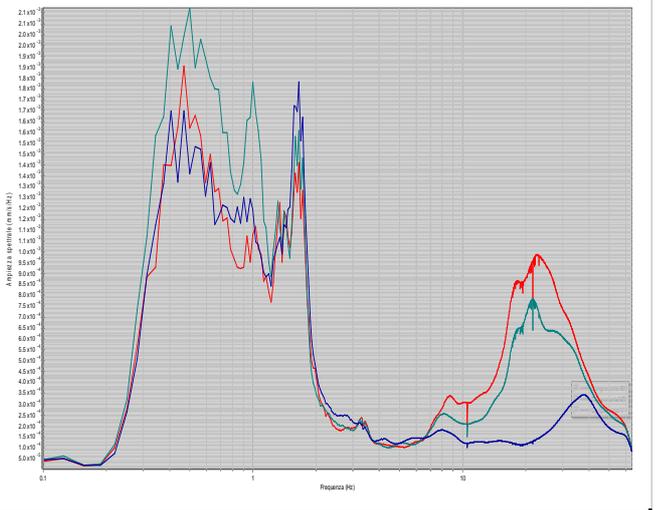
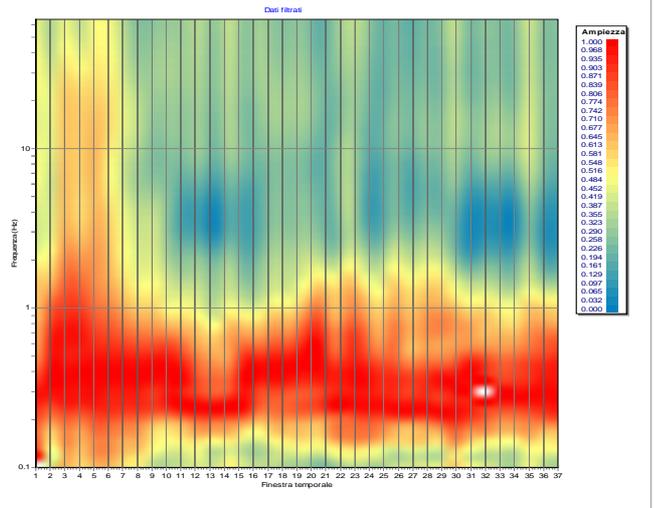
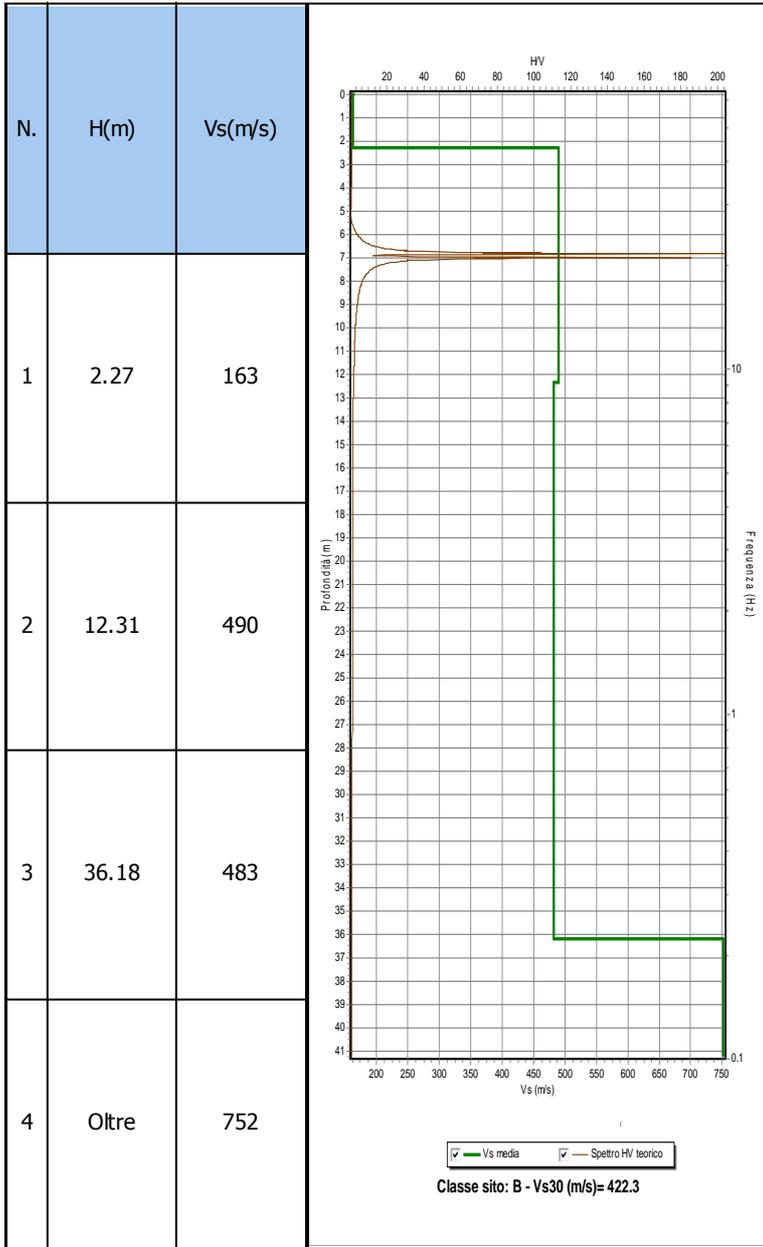
# Riassunto interpretazione HVSR TB036\_T08-1

N.	H(m)	Vs(m/s)
1	1.0	149
2	3.05	390
3	7.72	401
4	24.63	445
5	104.15	487
6	Oltre	732



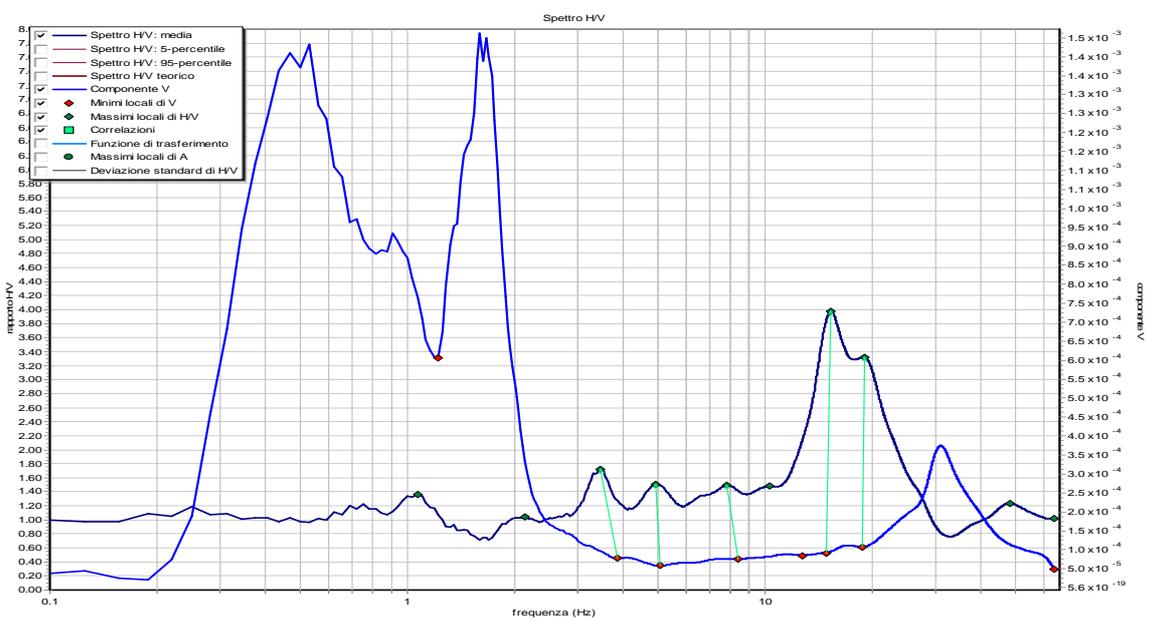
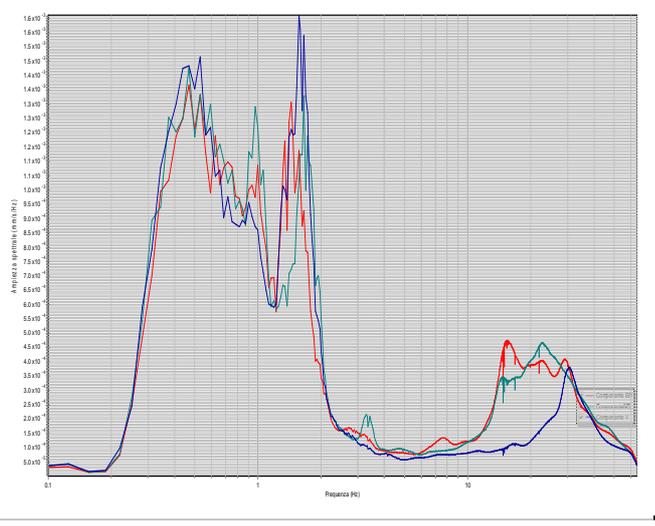
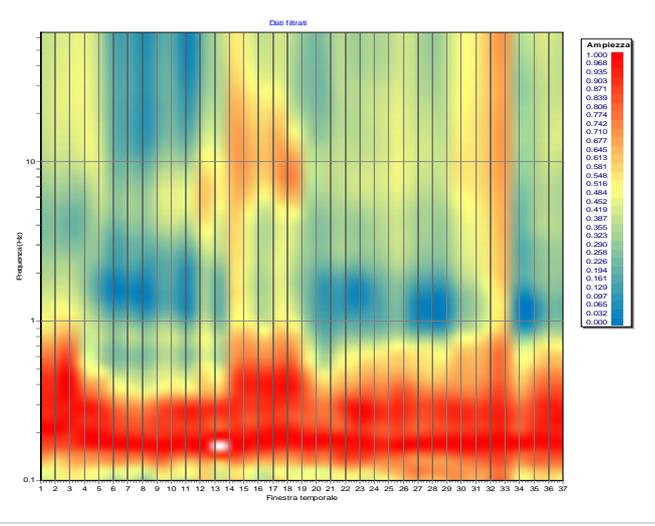
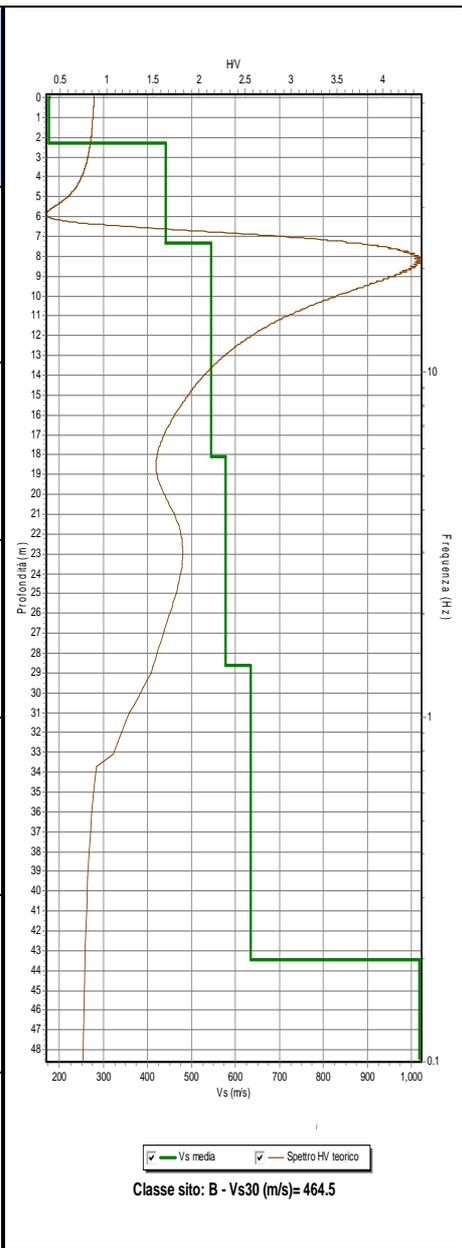


# Riassunto interpretazione HVSR TB038



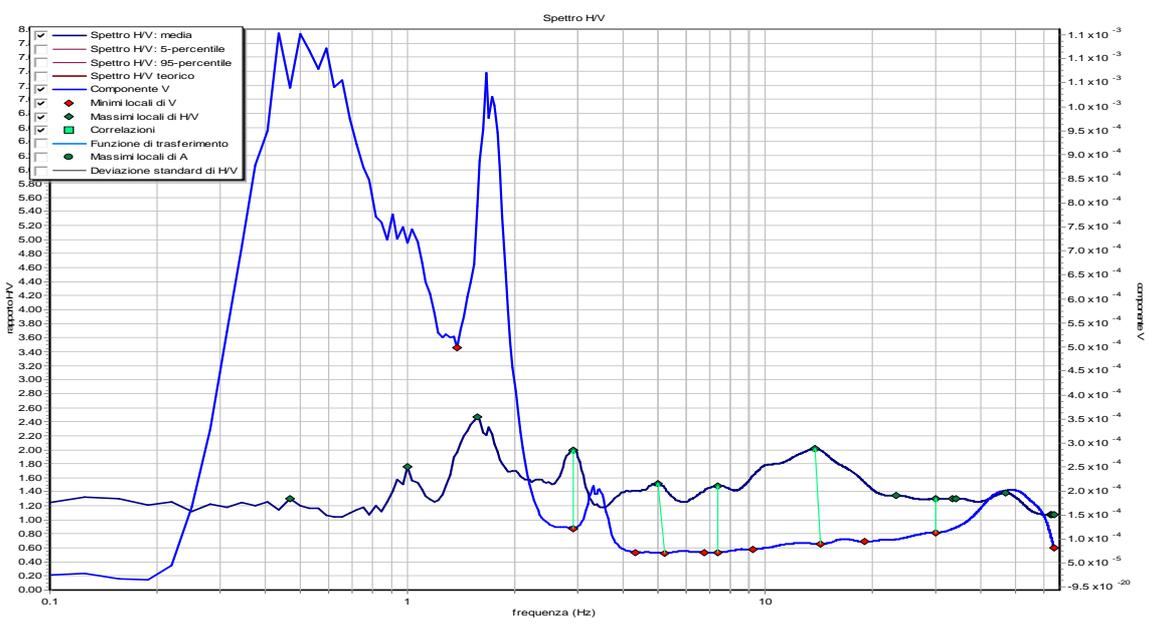
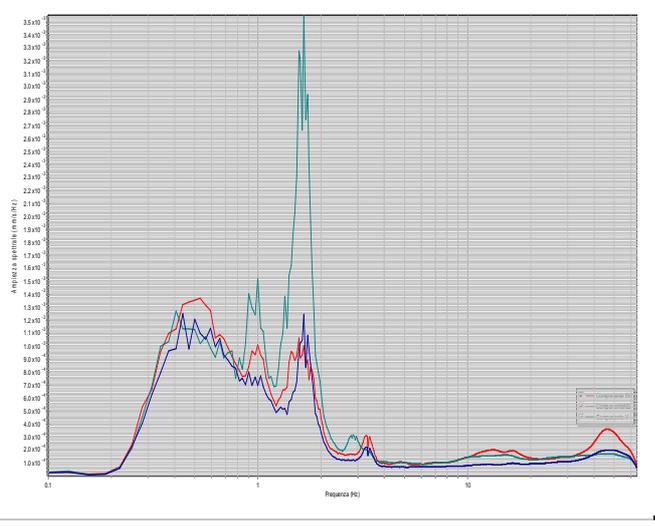
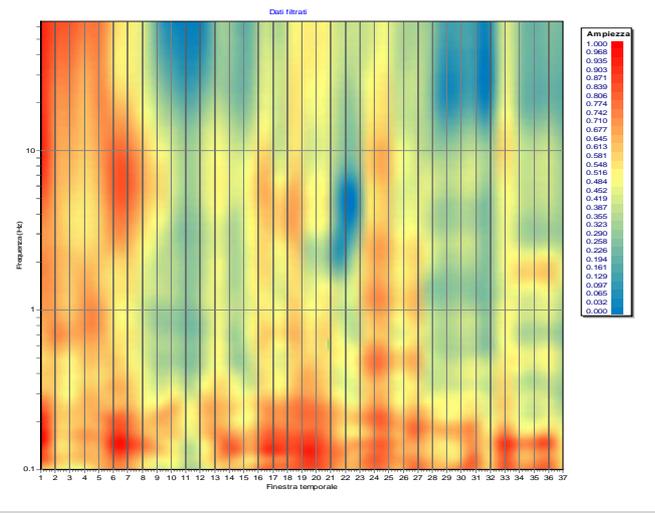
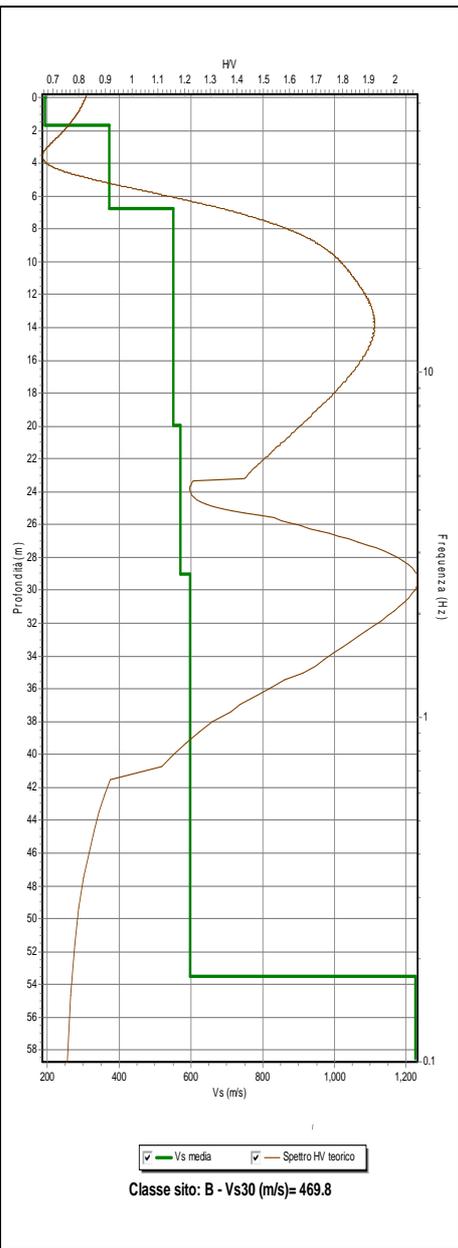
# Riassunto interpretazione HVSR TB039

N.	H(m)	Vs(m/s)
1	2.28	176
2	7.33	442
3	18.08	544
4	28.61	577
5	43.44	635
6	Oltre	1018



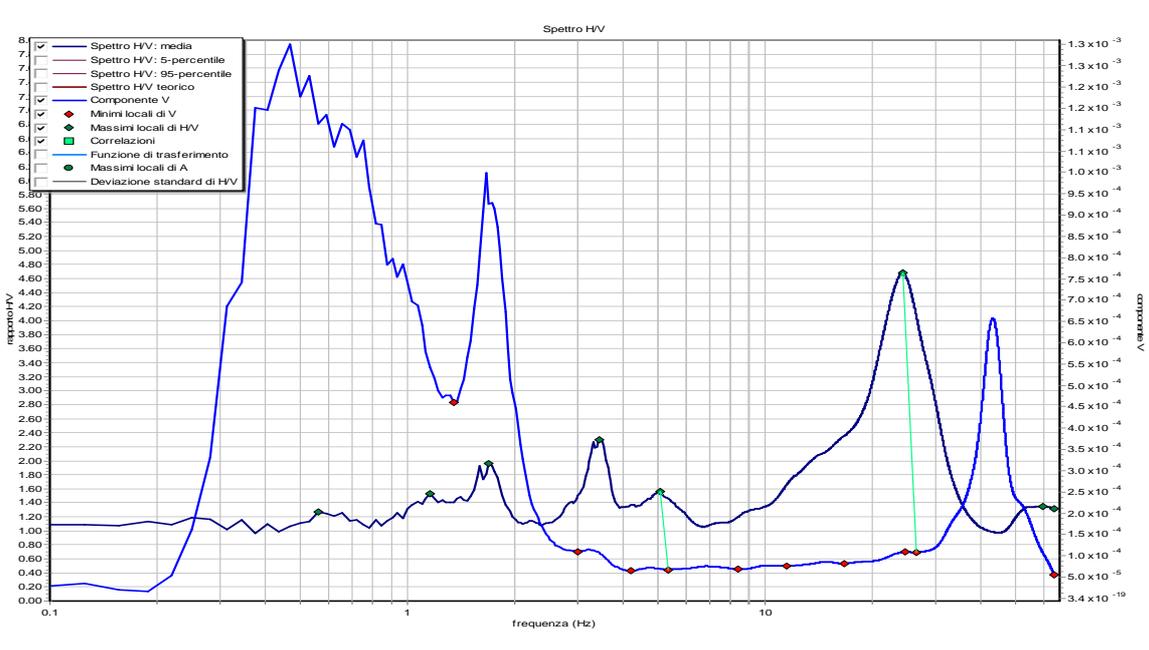
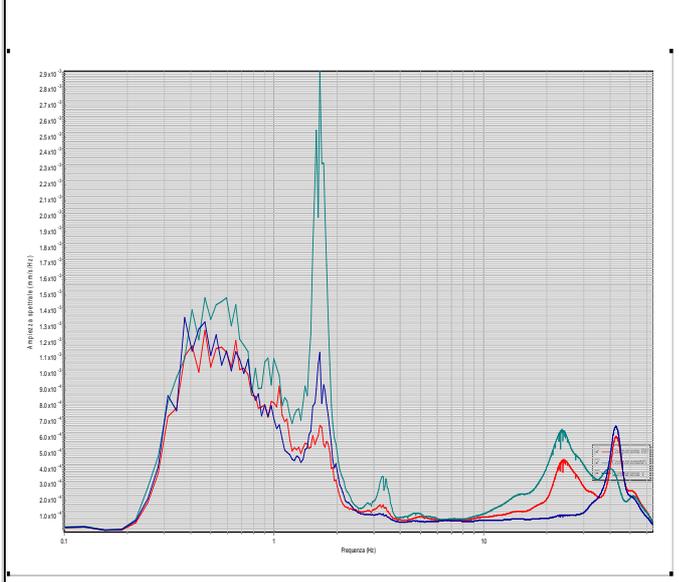
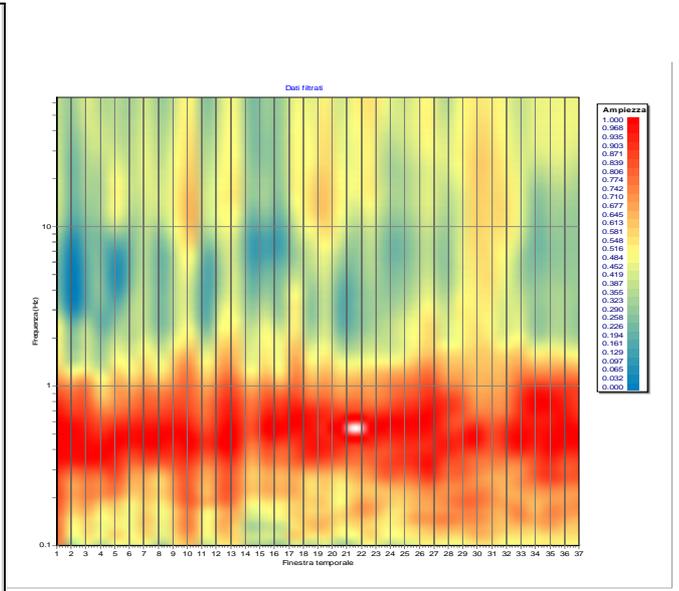
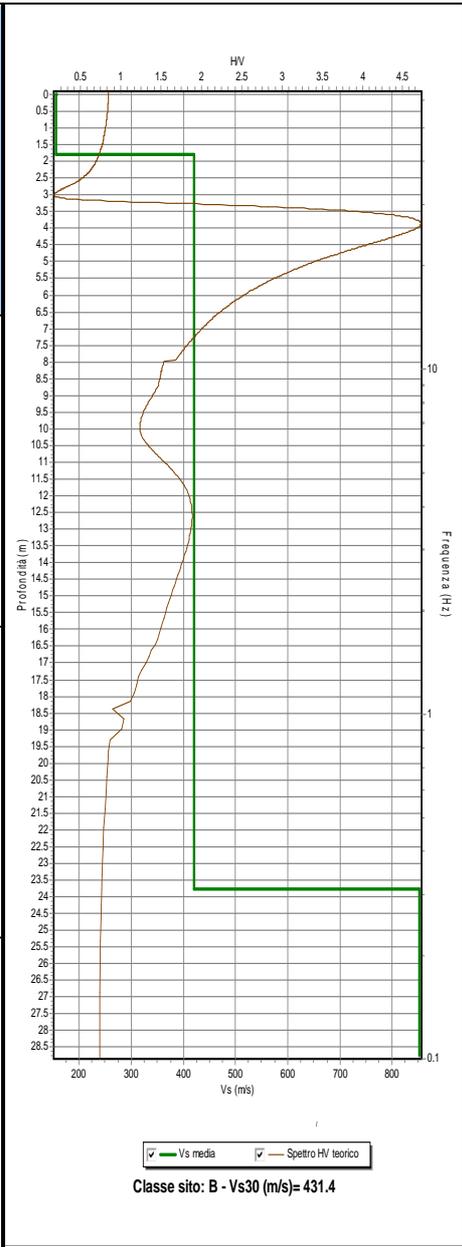
# Riassunto interpretazione HVSR TB040

N.	H(m)	Vs(m/s)
1	1.7	193
2	6.74	374
3	19.97	550
4	29.01	570
5	53.52	598
6	Oltre	1226



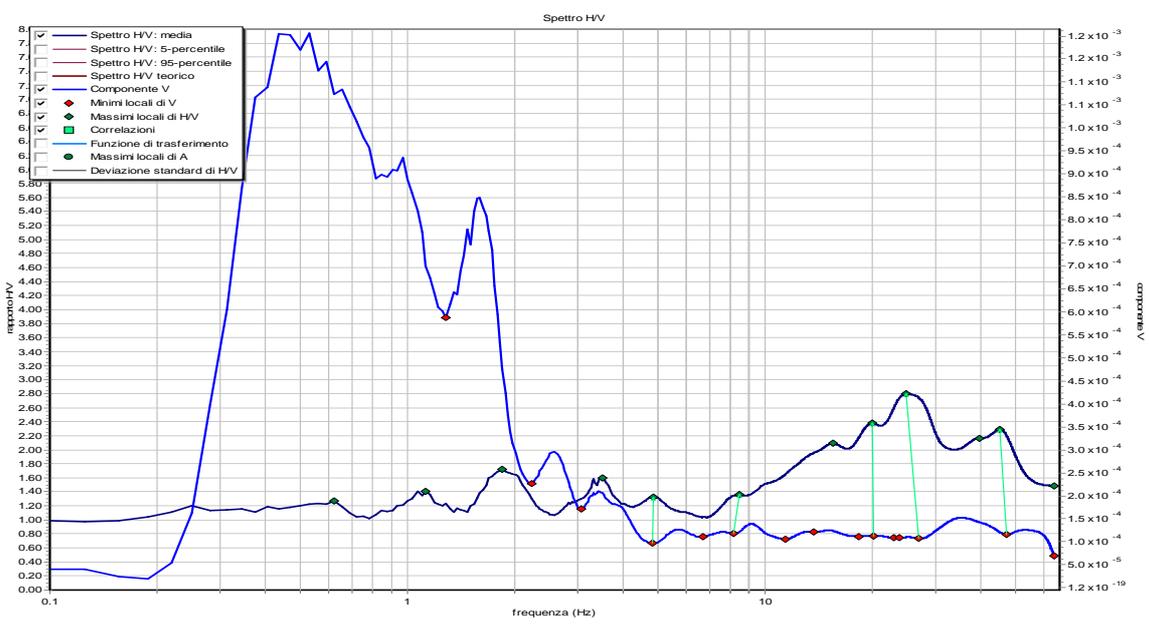
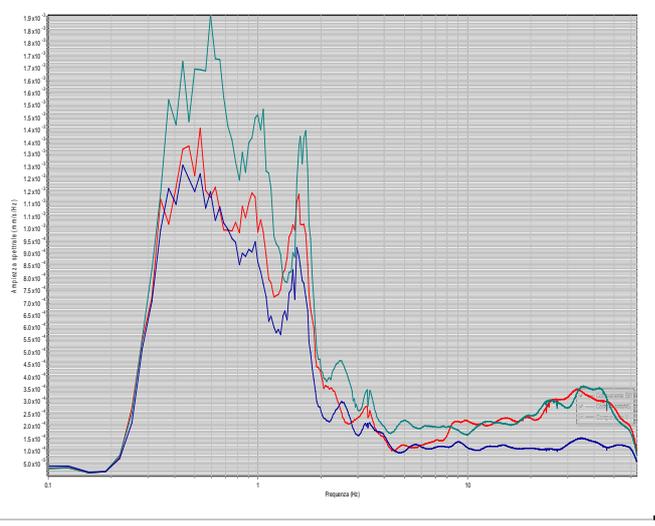
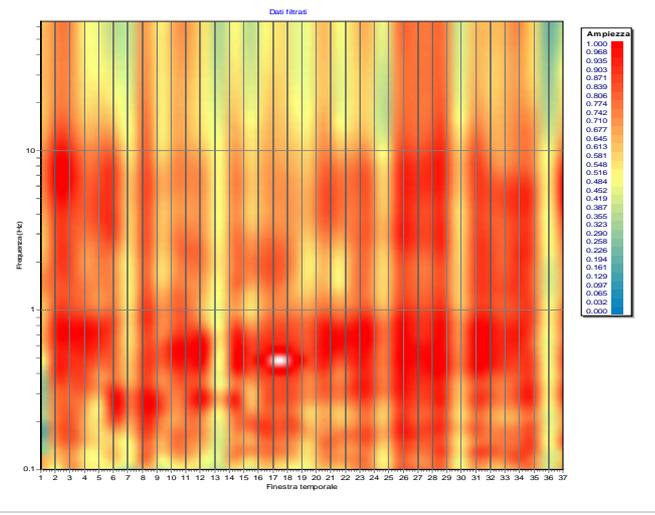
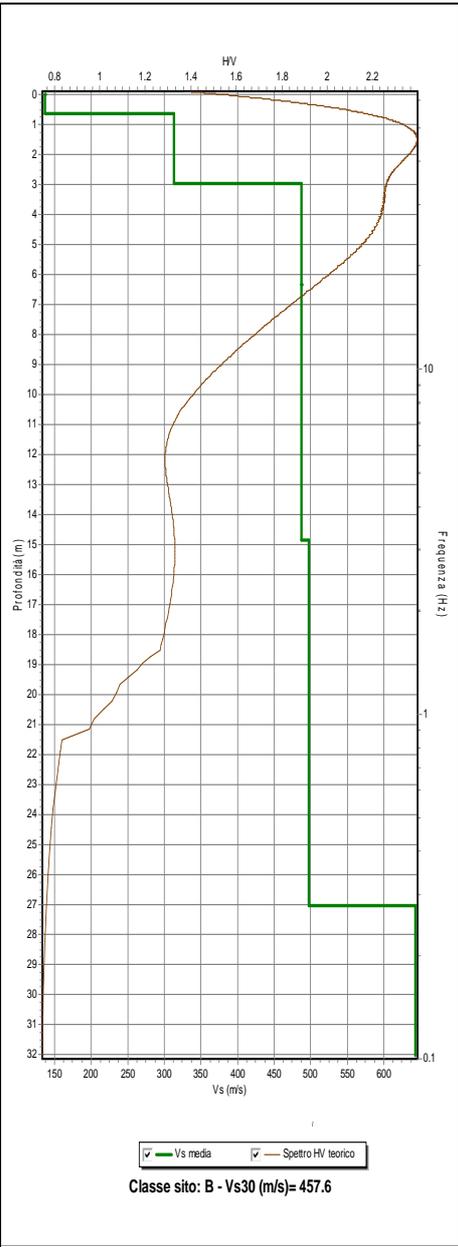
# Riassunto interpretazione HVSR TB041

N.	H(m)	Vs(m/s)
1	1.8	156
2	23.75	421
3	Oltre	852



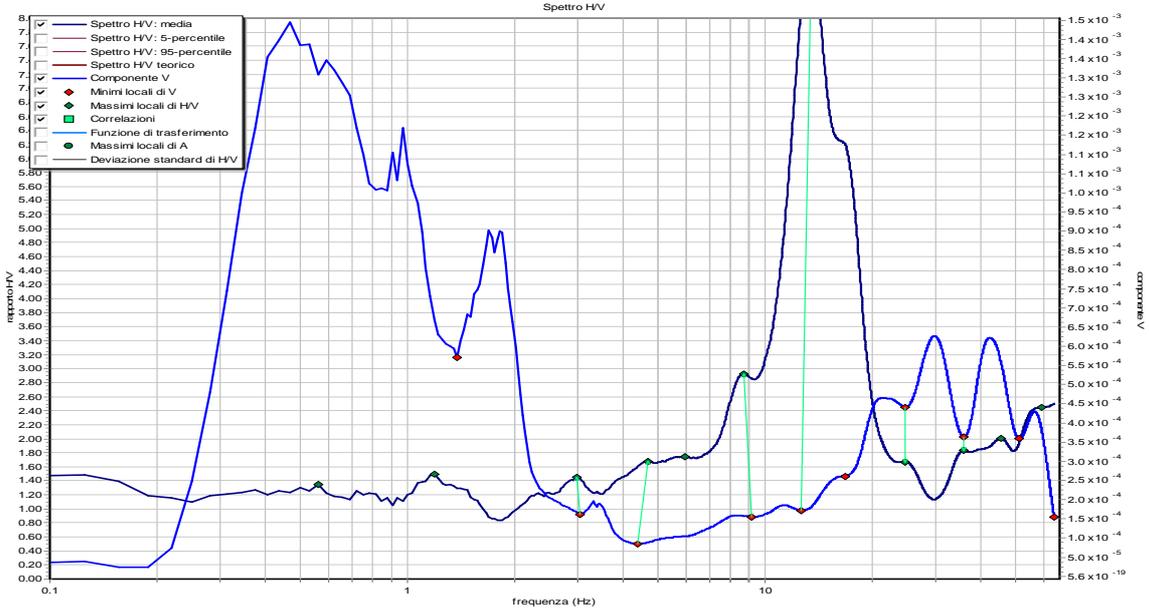
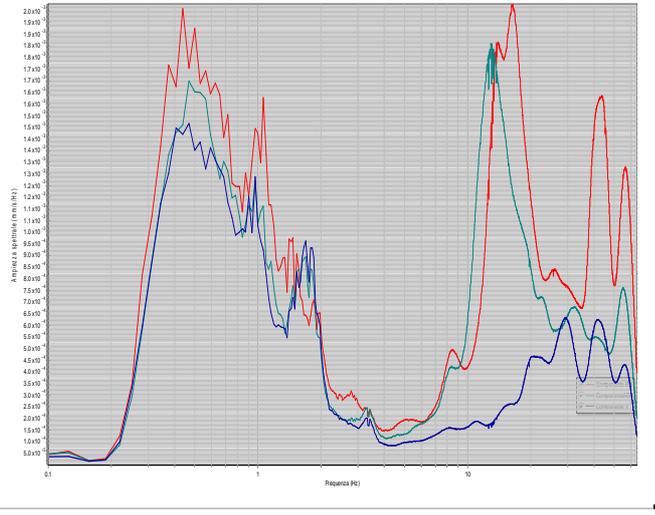
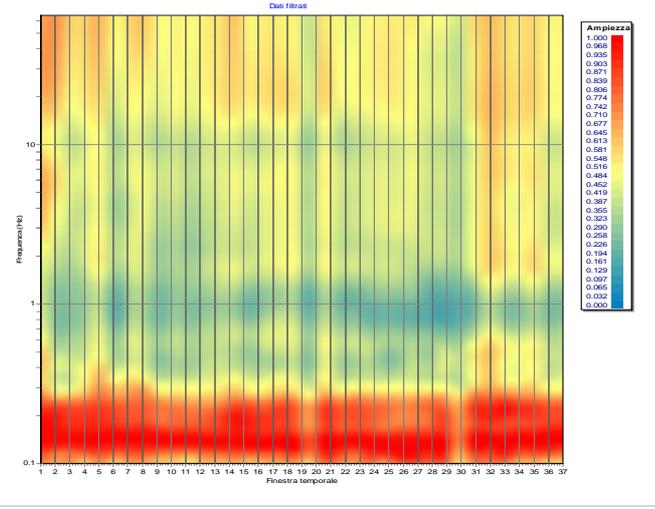
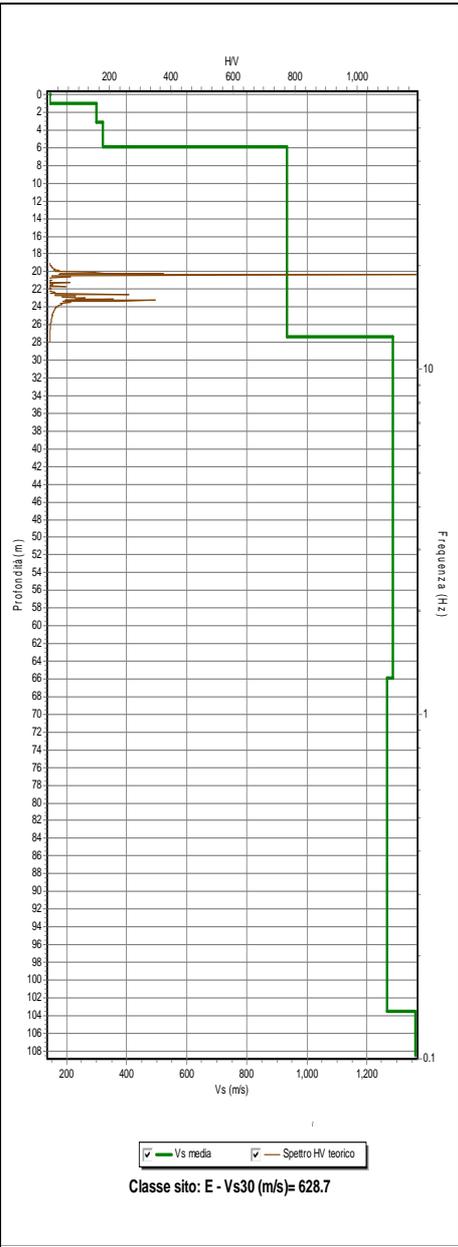
# Riassunto interpretazione HVSR TB042

N.	H(m)	Vs(m/s)
1	0.64	137
2	2.95	313
3	6.33	488
4	14.86	488
5	27.02	497
6	Oltre	643



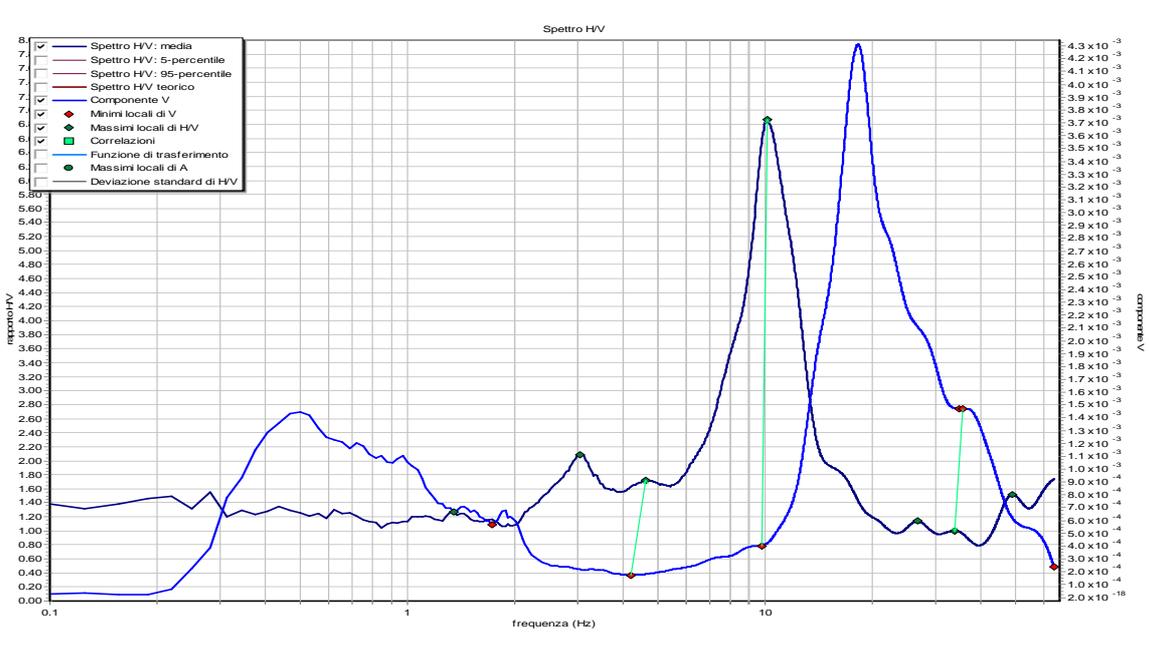
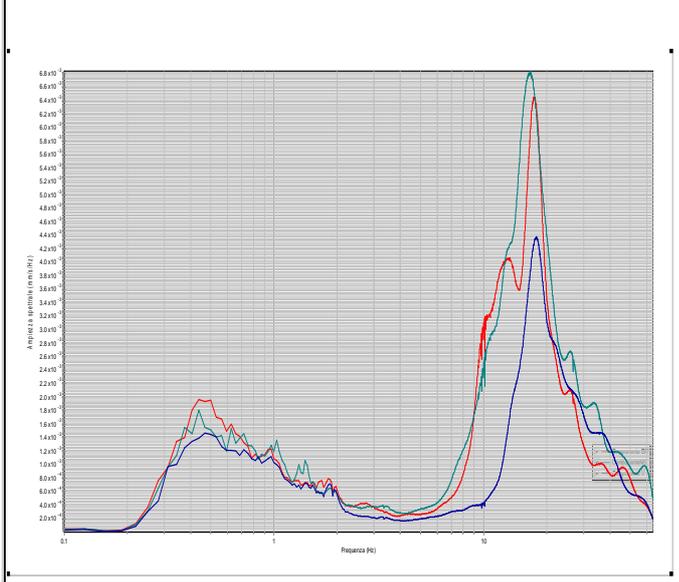
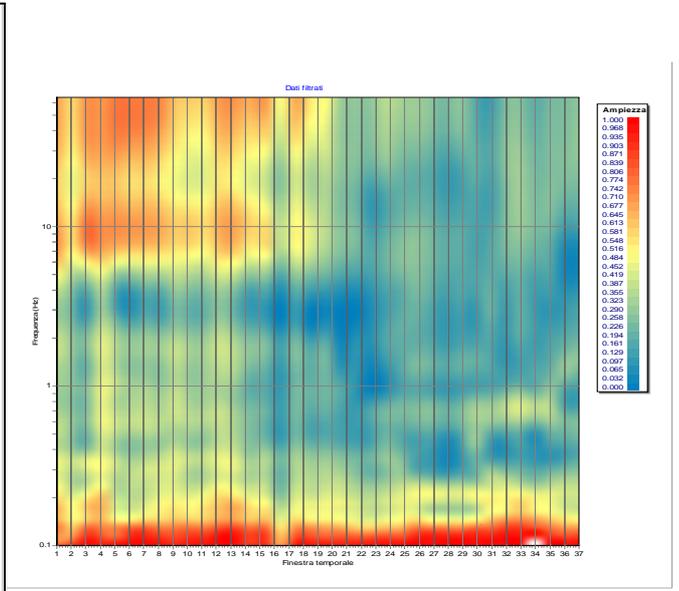
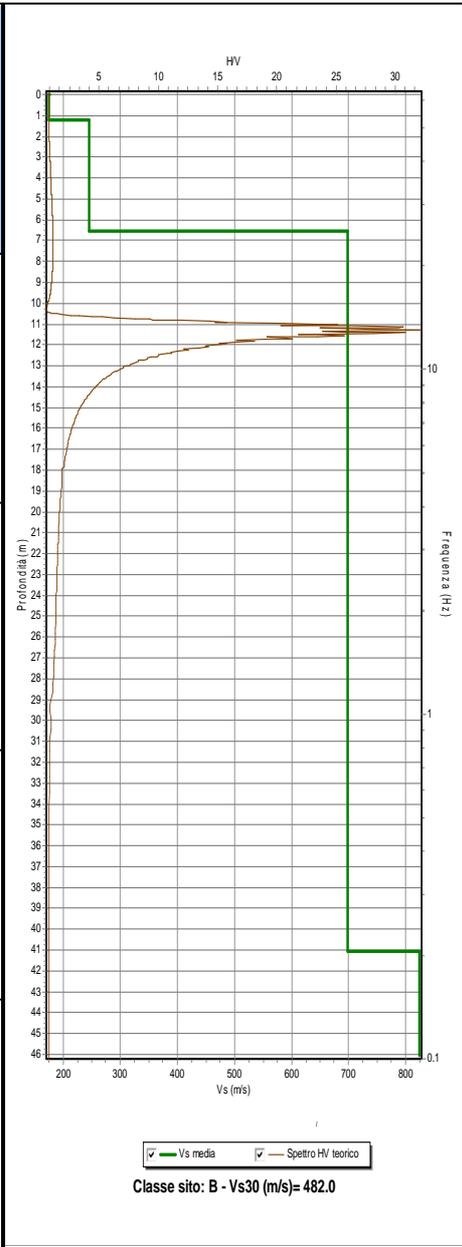
# Riassunto interpretazione HVSR TB043

N.	H(m)	Vs(m/s)
1	1.02	144
2	3.15	300
3	5.89	322
4	27.32	934
5	65.92	1287
6	103.54	1267
7	Oltre	1361



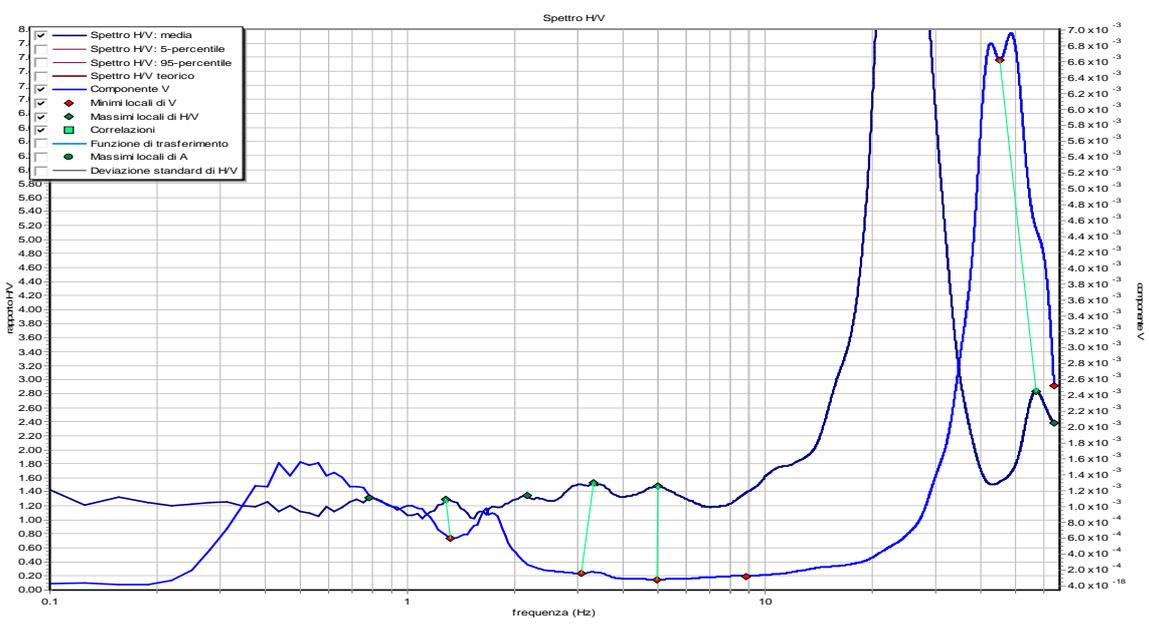
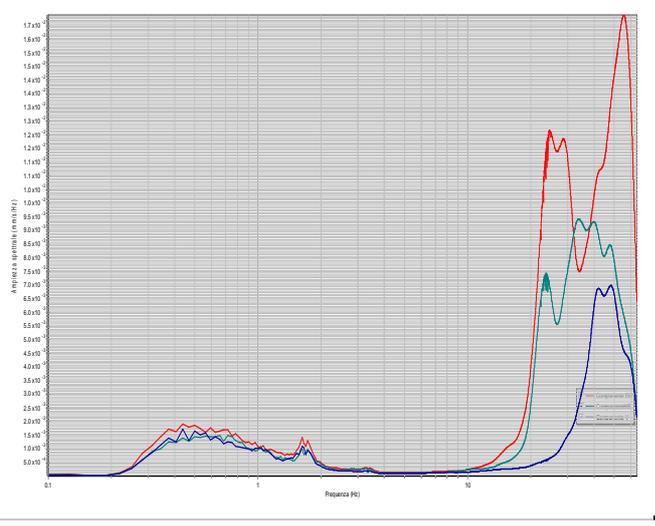
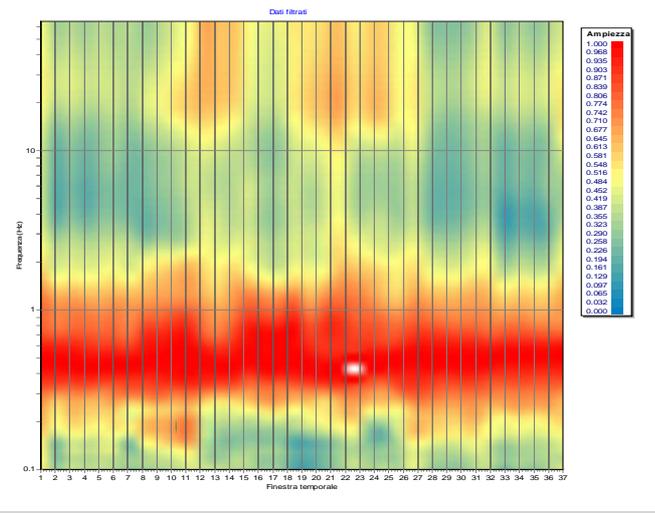
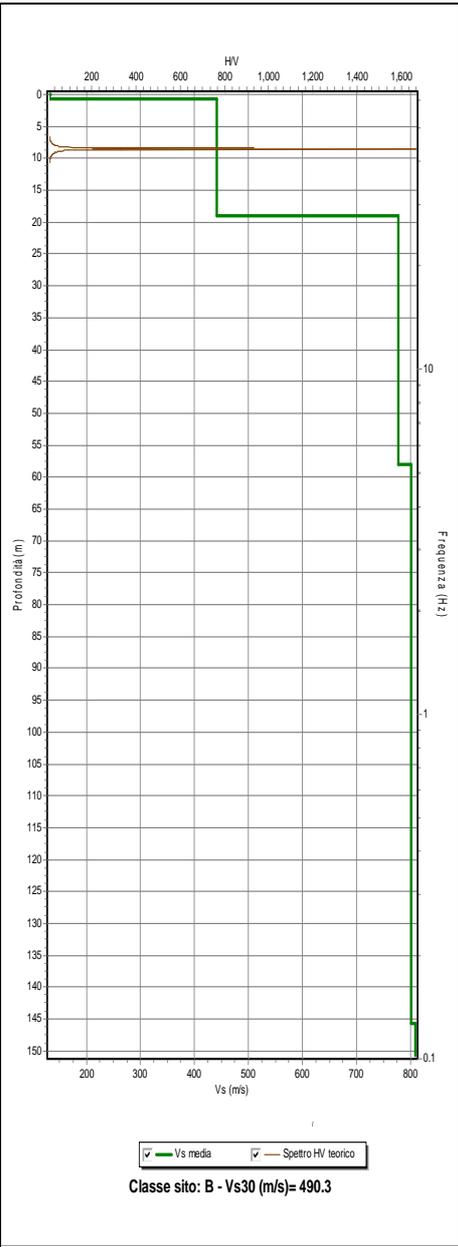
# Riassunto interpretazione HVSR TB044

N.	H(m)	Vs(m/s)
1	1.21	175
2	6.56	246
3	41.06	698
4	Oltre	824



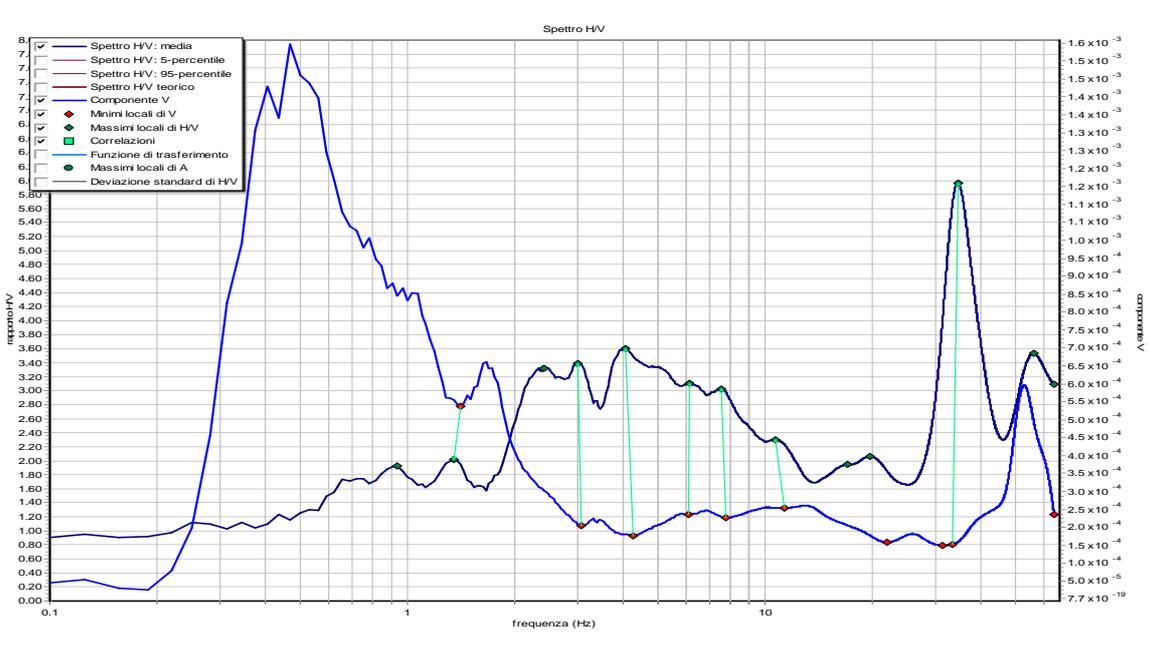
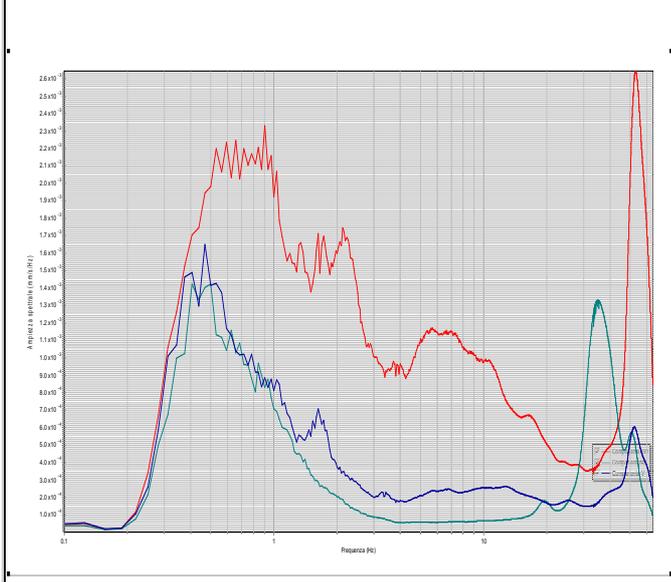
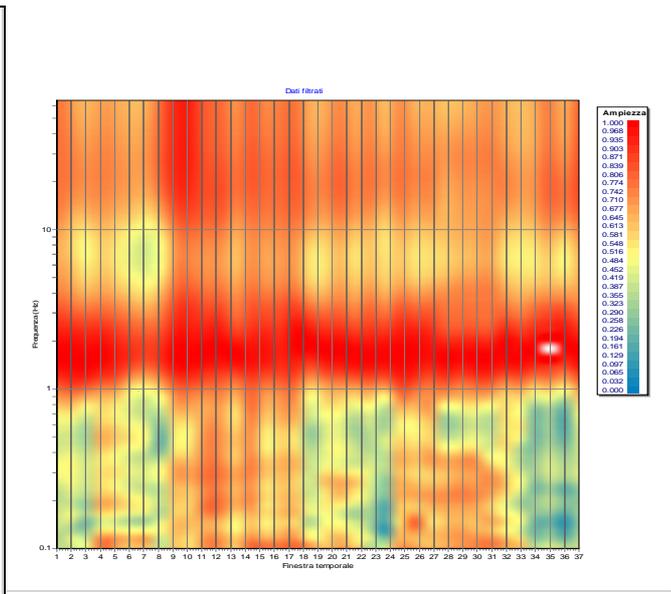
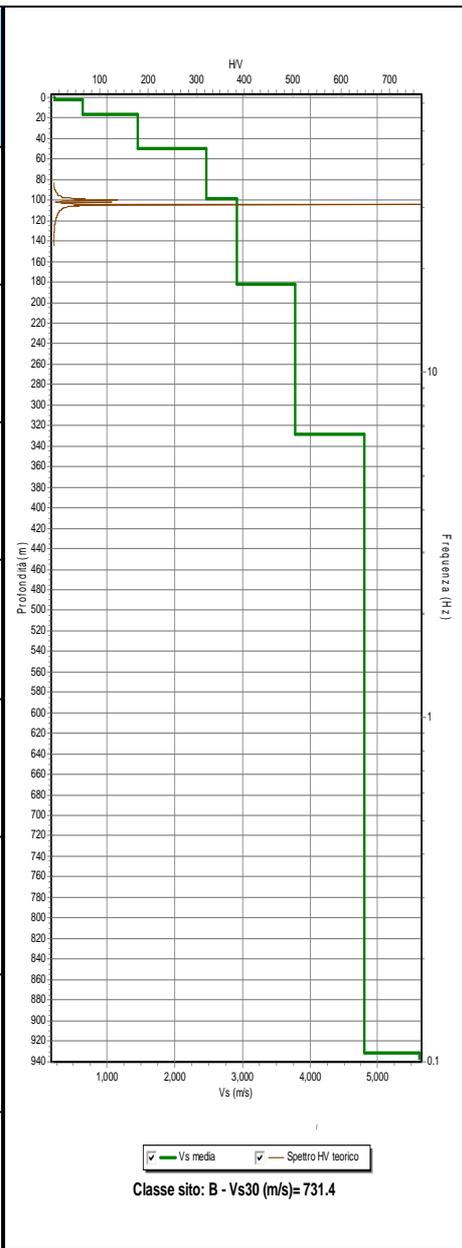
# Riassunto interpretazione HVSR TB045

N.	H(m)	Vs(m/s)
1	0.76	132
2	18.93	441
3	58.04	778
4	145.73	802
5	Oltre	809

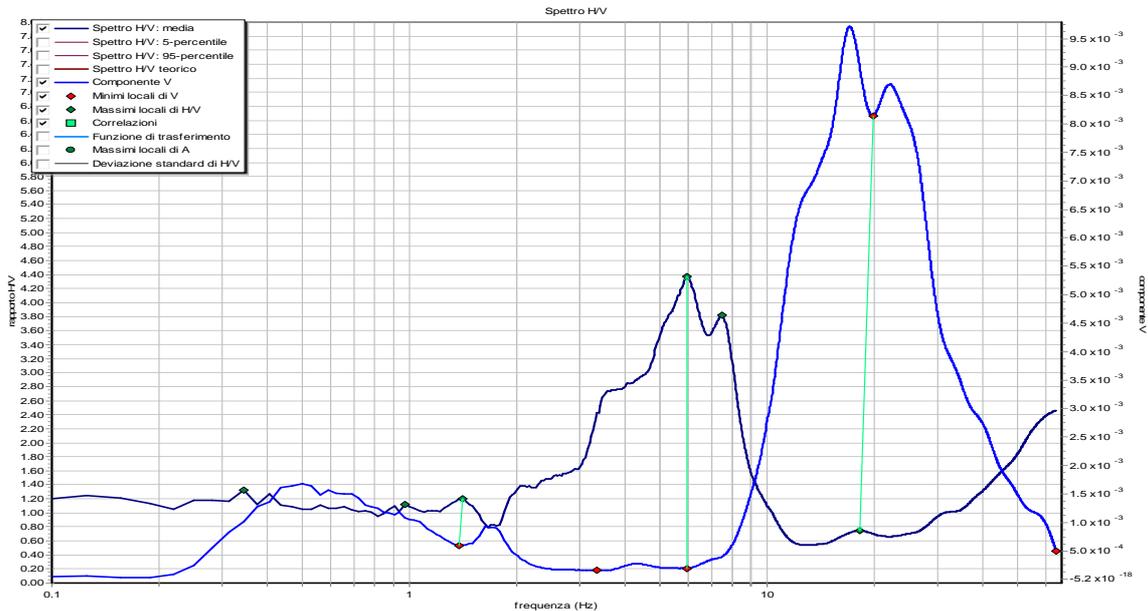
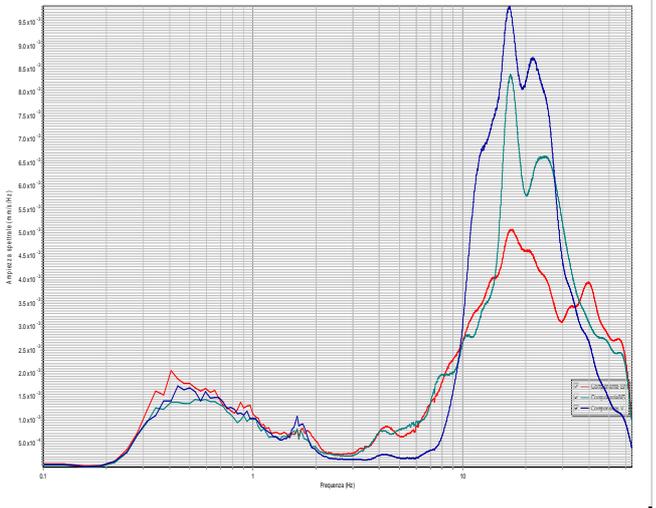
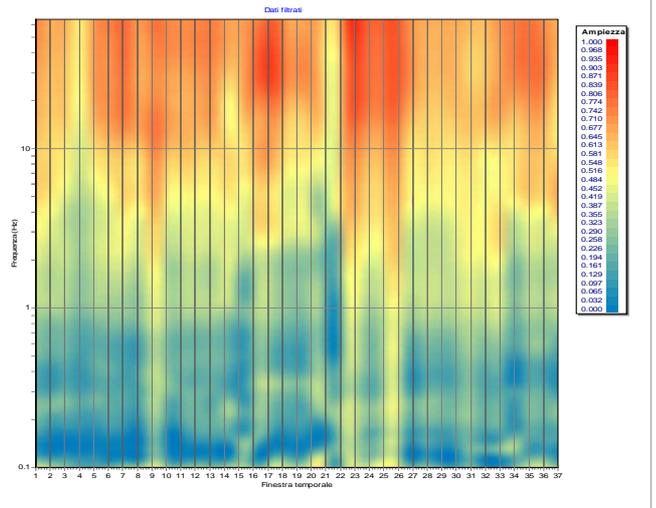
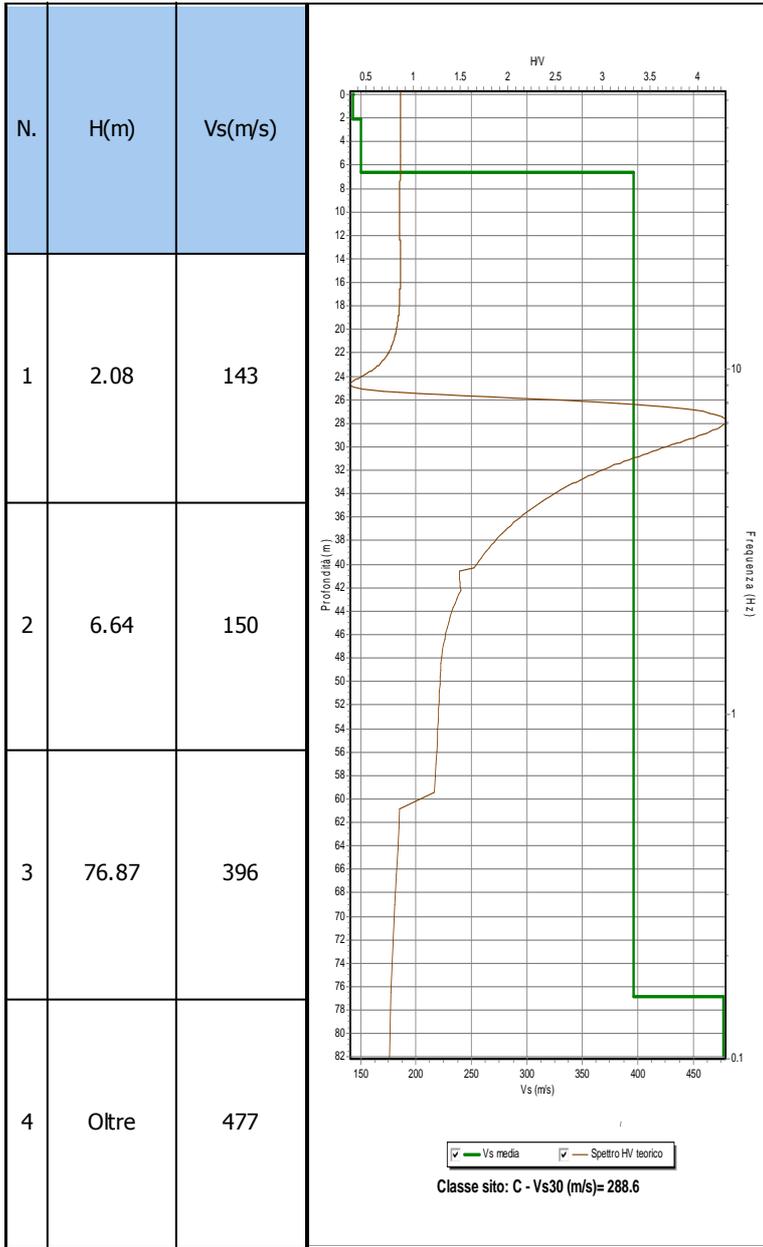


# Riassunto interpretazione HVSR TB046

N.	H(m)	Vs(m/s)
1	1.91	209
2	16.3	641
3	49.58	1453
4	98.74	2459
5	181.7	2914
6	328.37	3778
7	932.26	4802
8	Oltre	5616

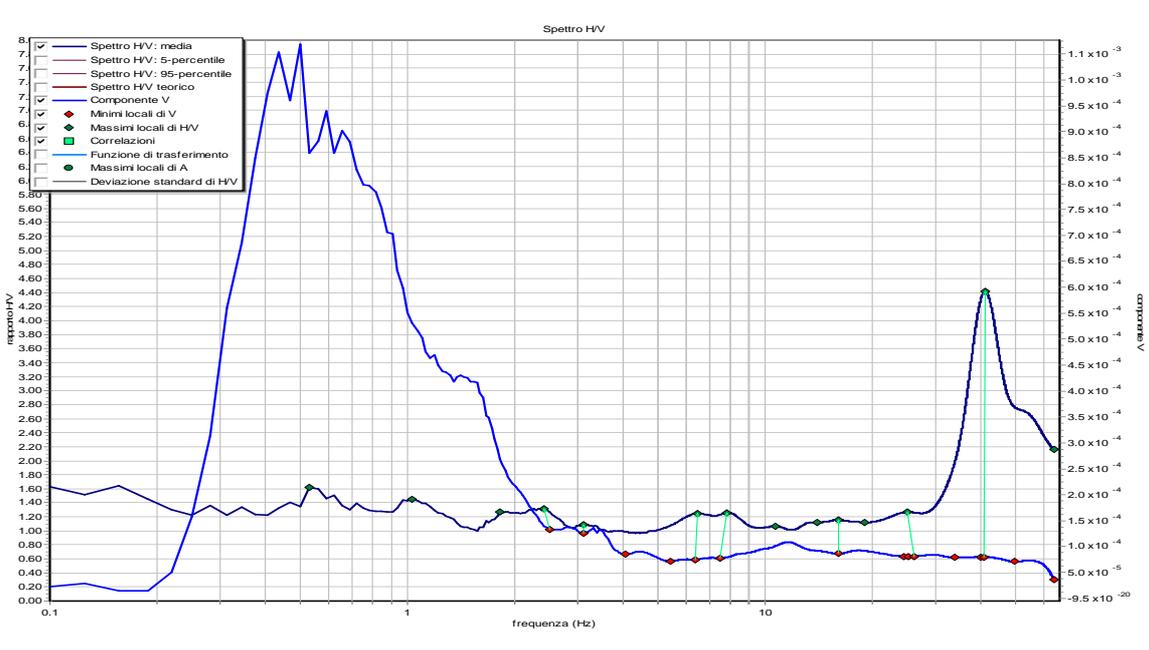
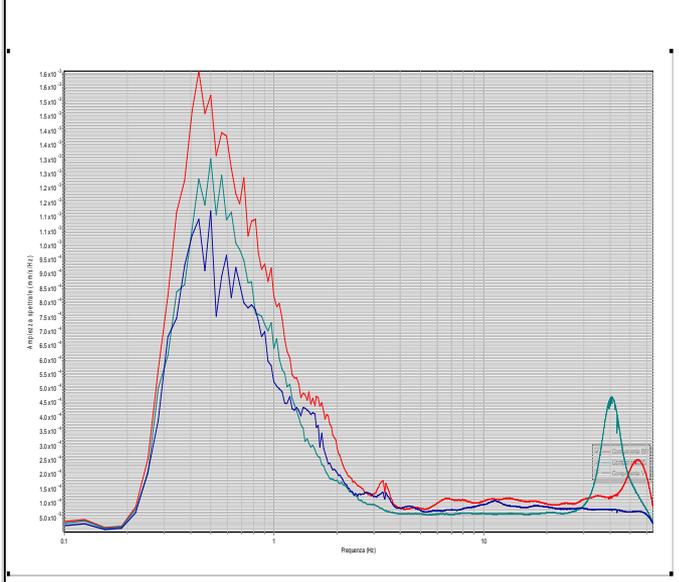
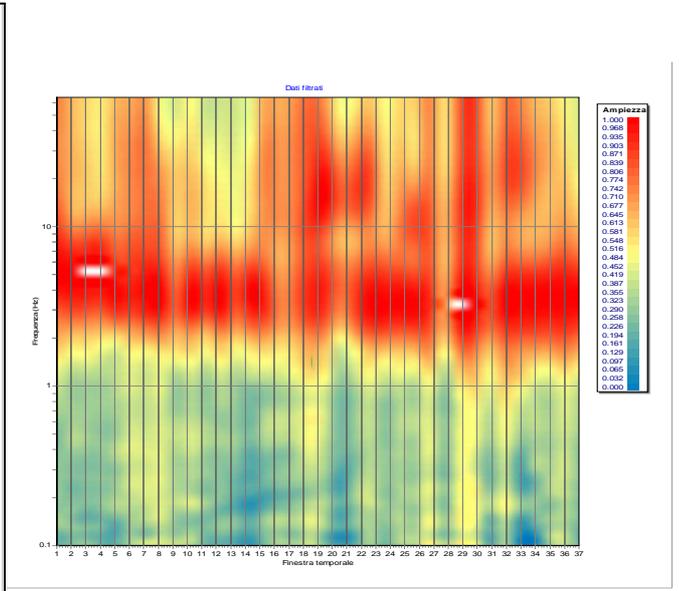
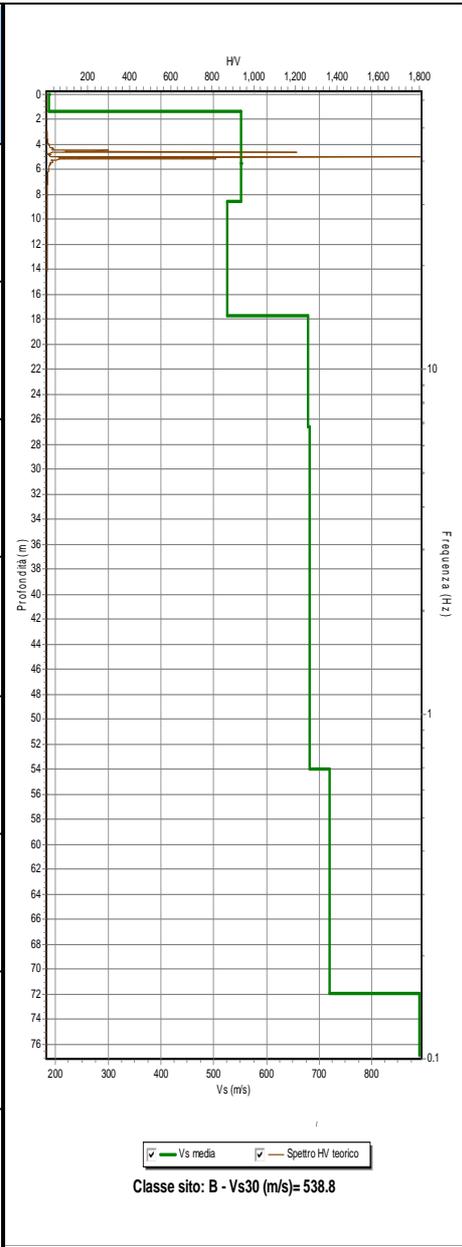


# Riassunto interpretazione HVSR TB047

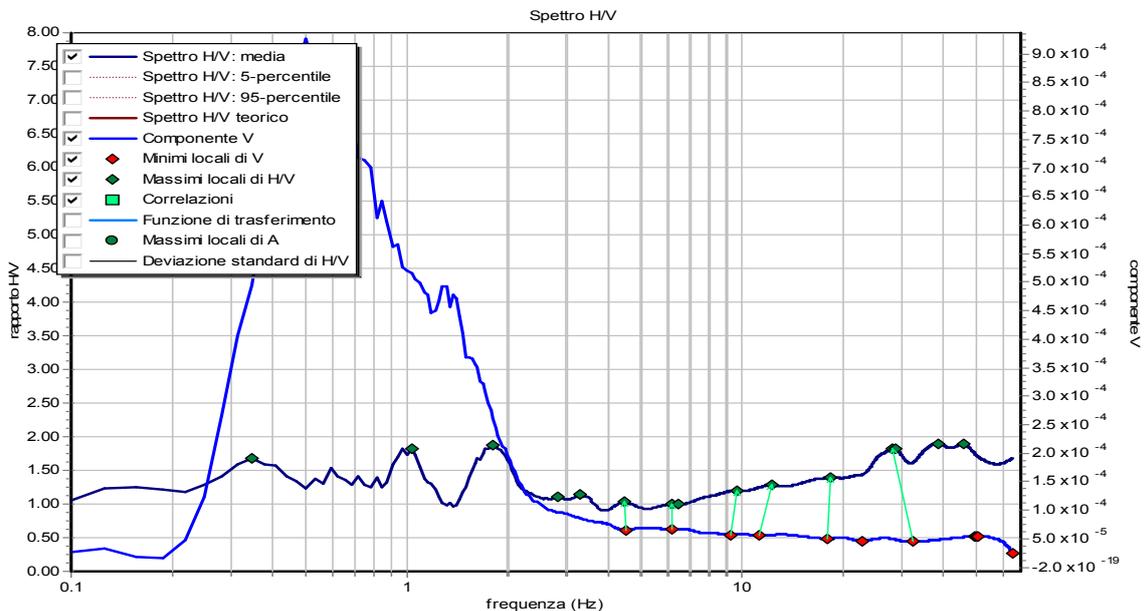
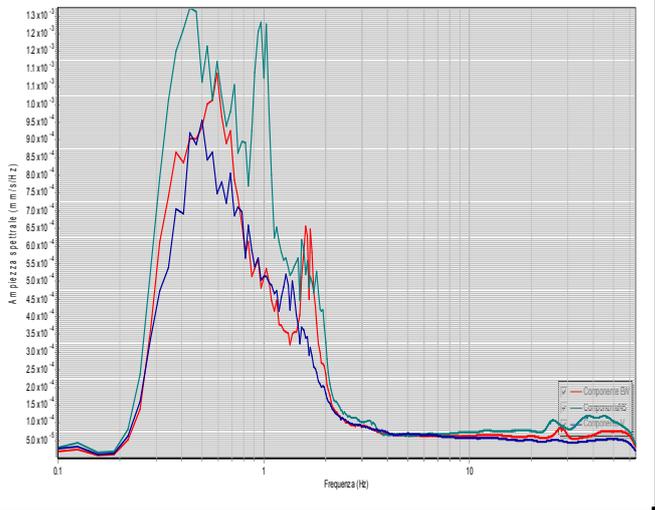
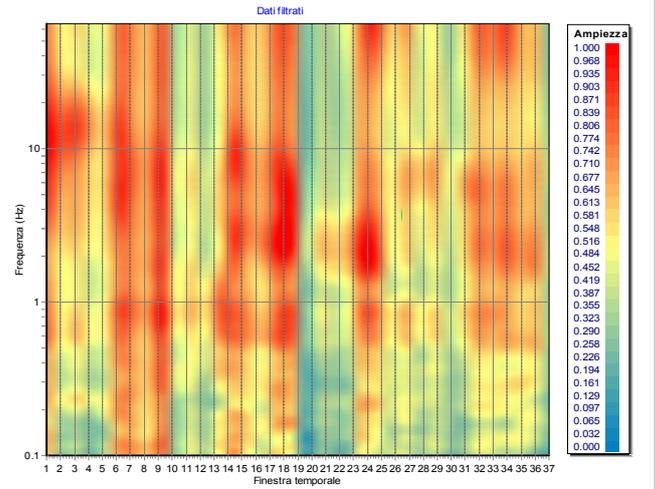
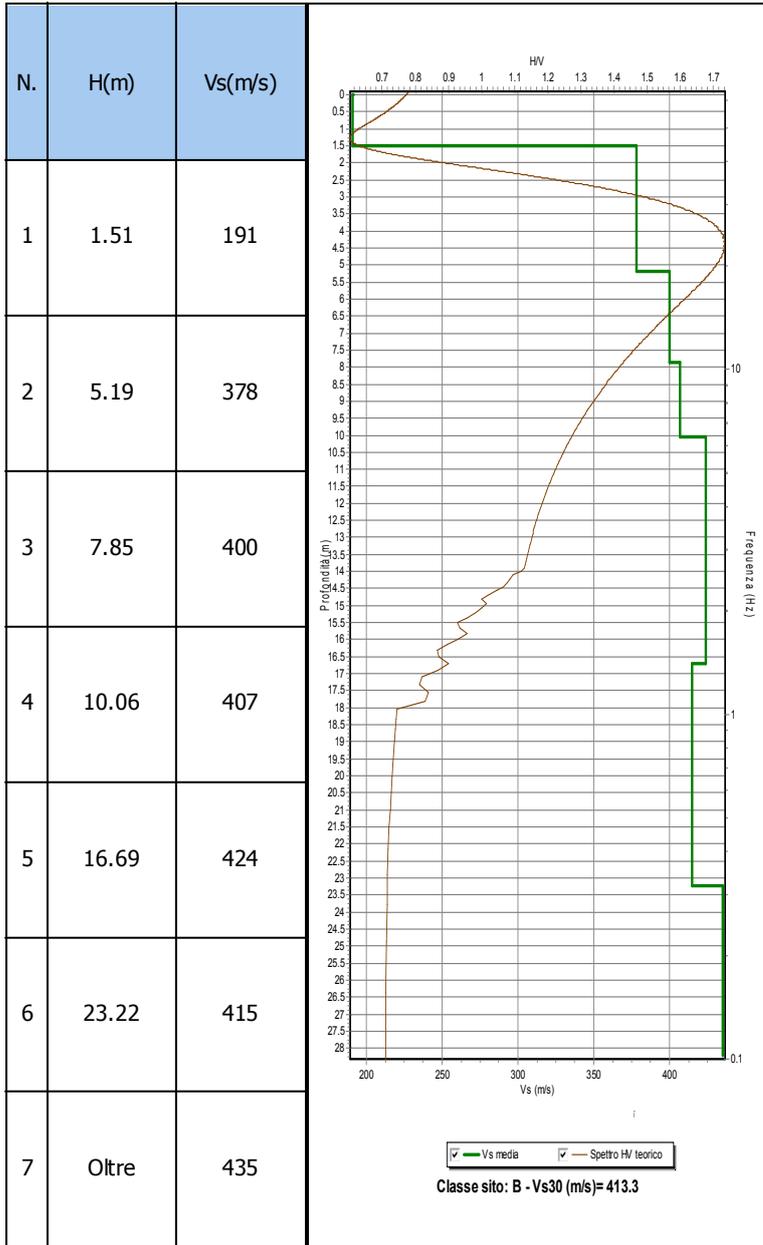


# Riassunto interpretazione HVSR TB048

N.	H(m)	Vs(m/s)
1	1.33	187
2	5.55	552
3	8.57	552
4	17.68	526
5	26.63	679
6	53.95	681
7	71.93	720
8	Oltre	890



# Riassunto interpretazione HVSR TB049



**ALLEGATO H:**  
**INDAGINI HVSR PREGRESSE**

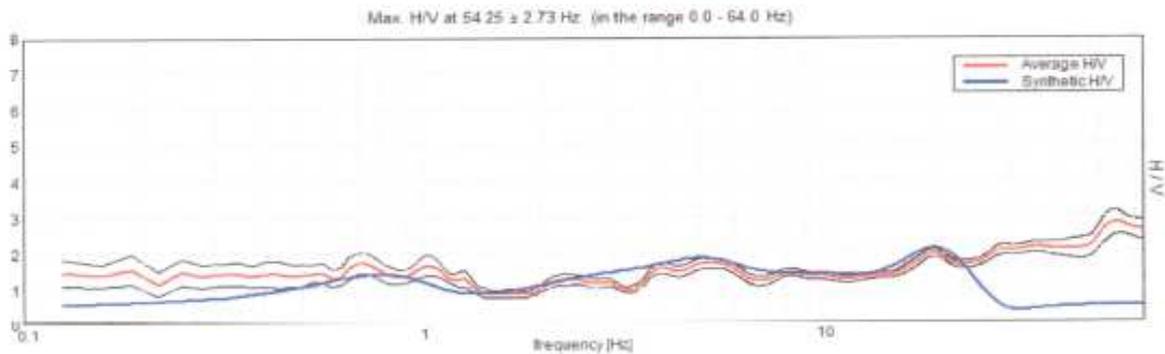
**Progetto:**  
**di Variante al p.d.c. n.45/2010 per la realizzazione**  
**di tre fabbricati con ampliamento ai sensi della L.R.V. 14/09.**

**Committente:** ARTEMIDE s.n.c.

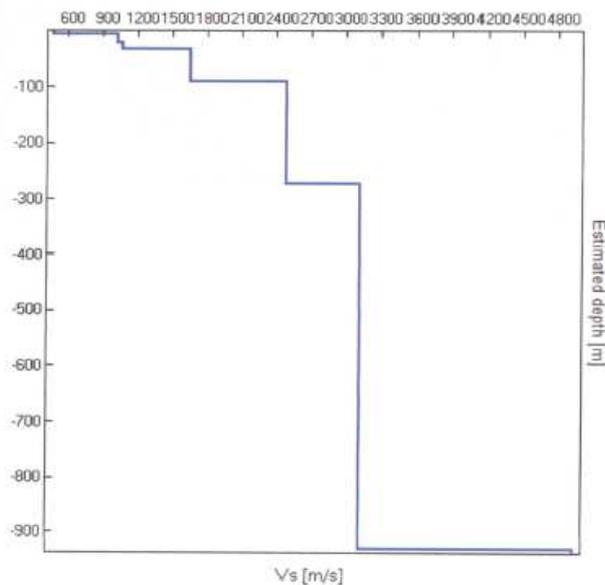
**Il Professionista:** Dott. Geol. Lino Munari



**Luogo e data:** Affi, 14 03 2011



Profondità(m)	Vs (m/s)
0,00-6,6	480
6,6-21,7	1040
21,7-33,4	1075
33,4-91,0	1663
91-272	2480
272-931	3120
Oltre 931	4950



Il valore di Vs30 calcolato dal p.c. è risultato uguale a 834 m/s, che pone il sito nella **categoria di sottosuolo A** secondo il D.M. 14.01.2008.

<u>COMMITTENTE:</u>	FORDINI GIUSEPPE
<u>PROGETTISTA</u>	ARCH. BRUNO CAVICCHIOLI
<u>PROGETTO:</u>	PROGETTO PER L'AMPLIAMENTO DI UN FABBRICATO DI CIVILE ABITAZIONE SITO IN LOCALITÀ VOLPARA
<u>ELABORATO:</u>	<p style="text-align: center;"><b>RELAZIONE GEOLOGICA E IDROGEOLOGICA</b></p> <p style="text-align: center;"><b>RELAZIONE SISMICA</b></p> <p style="text-align: center;"><b>RELAZIONE GEOTECNICA</b></p>
<small>AI SENSI DI: NTC 2008 - D.L. 152/2006 - R. D. L. N° 3267 DEL 30.12.1923</small>	

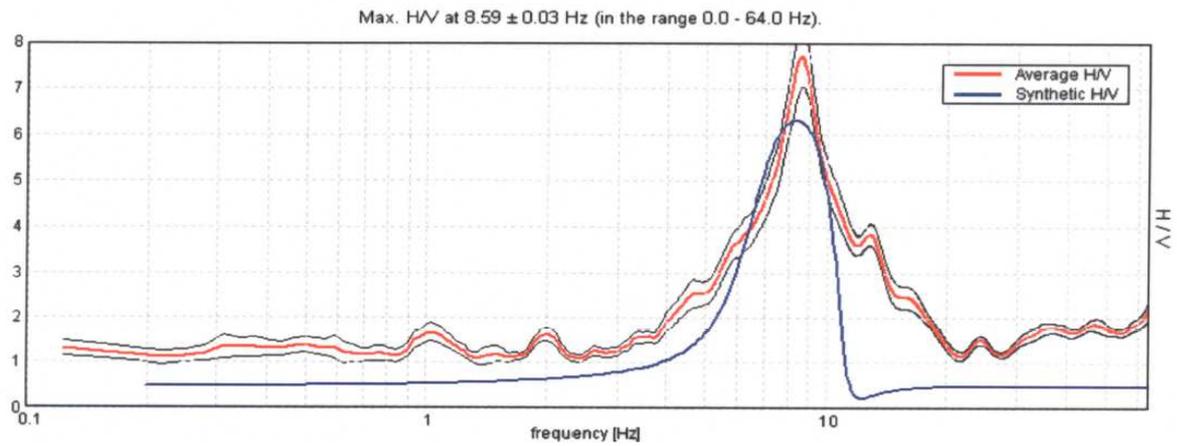
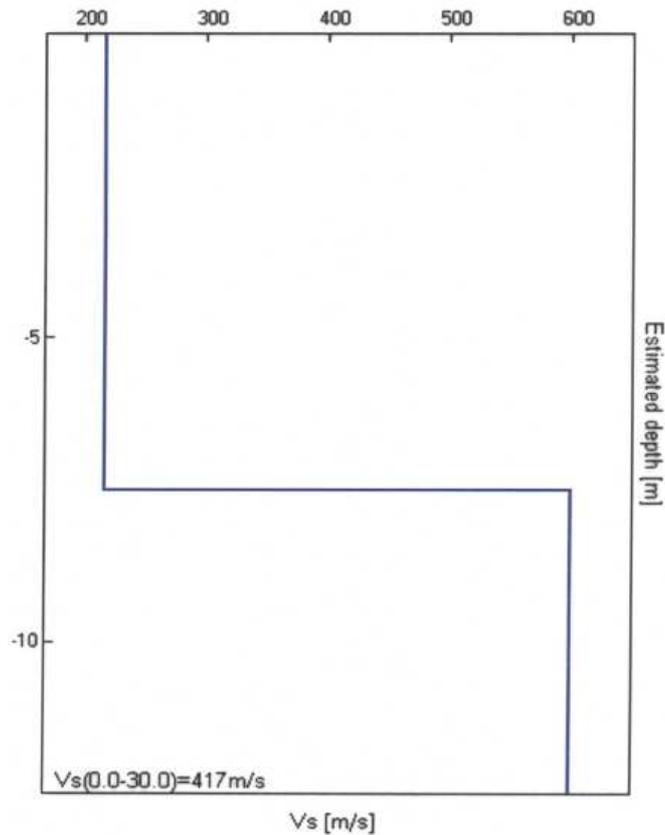


FIGURA 7.1.1:  $Vs_{(0.0-30.0)} = 417 \pm 83$  m/s  
 $334$  m/s <  $Vs_{(0.0-30.0)}$  <  $500$  m/s



**Progetto:  
Realizzazione di fabbricato residenziale previa  
demolizione dell'esistente in Via D'Annunzio.**

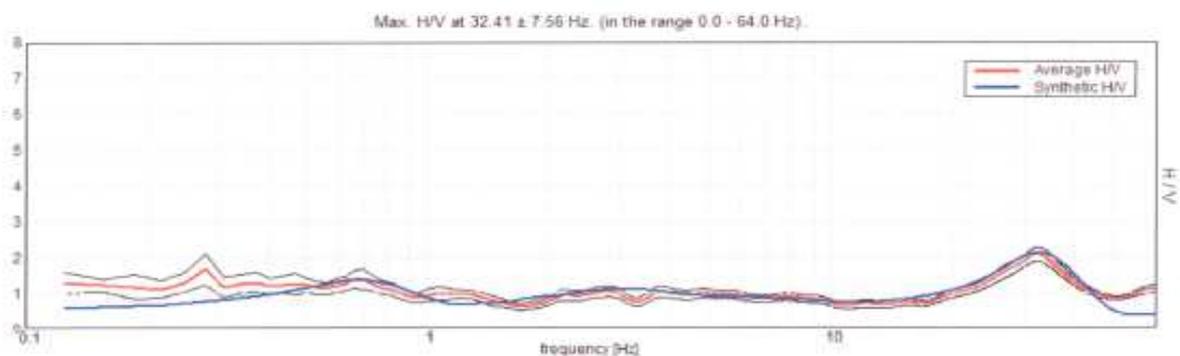
**Proprietà:** **Sig. Menegolli con domanda presentata a nome Risaliti Diana (ex proprietaria) nata a pt il 22/01/1924 cf RSL DNI 24A62G 713J res.Via Emo 54 VR**

**Il Professionista:** **Dott. Geol. Lino Munari**

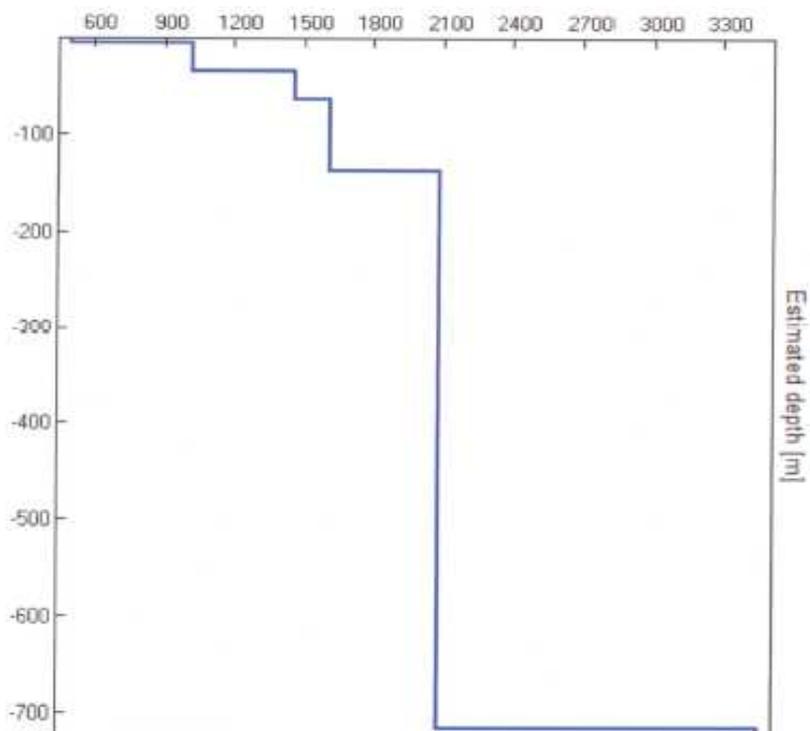


**Luogo e data:** **Affi, 27 04 2011**

COMUNE DI TORRE DEL BENACO



Profondità(m)	Vs (m/s)
0,00-3,74	498
3,74-34,3	1025
34,3-64,0	1461
64-137	1616
137-716	2084
Oltre 716	3460



Il valore di Vs<sub>30</sub> , calcolato dal p.c., è risultato uguale a 906 m/s, valore che pone il sito nella **categoria di sottosuolo A** secondo il D.M. 14.01.2008.

**Progetto:  
Realizzazione di fabbricato residenziale previa  
demolizione dell'esistente in Via D'Annunzio.**

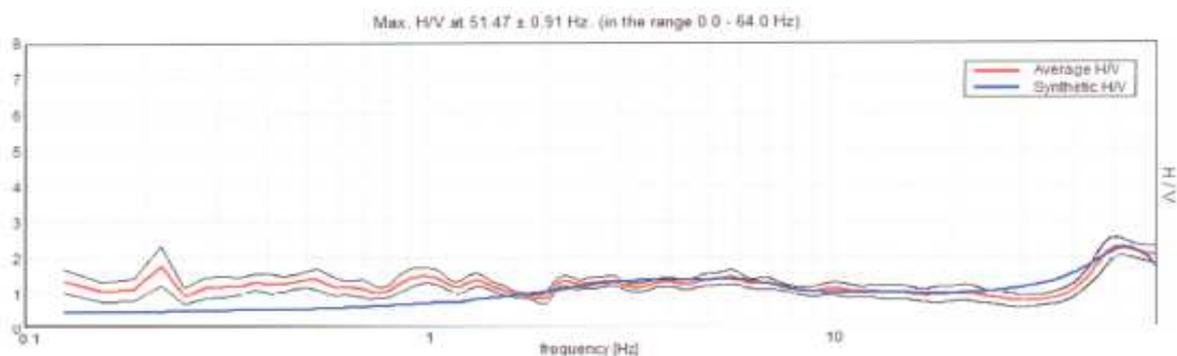
**Proprietà:** **Sig. Menegolli con domanda presentata a nome Risaliti Diana (ex proprietaria) nata a pt il 22/01/1924 cf RSL DNI 24A62G 713J res.Via Emo 54 VR**

**Il Professionista:** **Dott. Geol. Lino Munari**

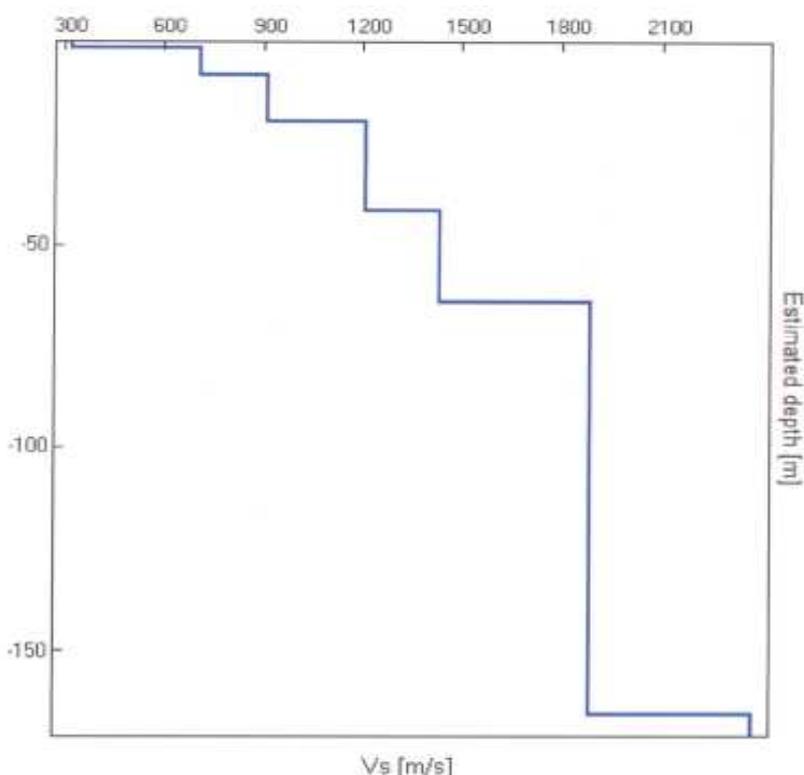


**Luogo e data:** **Affi, 27 04 2011**

COMUNE DI TORRE DEL BENACO



Profondità(m)	Vs (m/s)
0,00-1,55	324
1,55-7,99	711
7,99-19,60	915
19,6-41,6	1214
41,6-64,0	1436
64-166	1890
Oltre 166	2374



Il valore di  $V_{s30}$ , calcolato dal p.c., è risultato uguale a 855 m/s, valore che pone il sito nella **categoria di sottosuolo A** secondo il D.M. 14.01.2008.

**HVSR n. 126** tratta da Indagine pregressa (Vedasi Documento 125)

ALLEGATO

**Progetto:  
Realizzazione di fabbricato residenziale previa  
demolizione dell'esistente in Via D'Annunzio.**

**Proprietà:** **Sig. Menegolli** con domanda presentata a nome Risaliti Diana (ex proprietaria) nata a pt il 22/01/1924  
cf RSL DNI 24A62G 713J res.Via Emo 54 VR

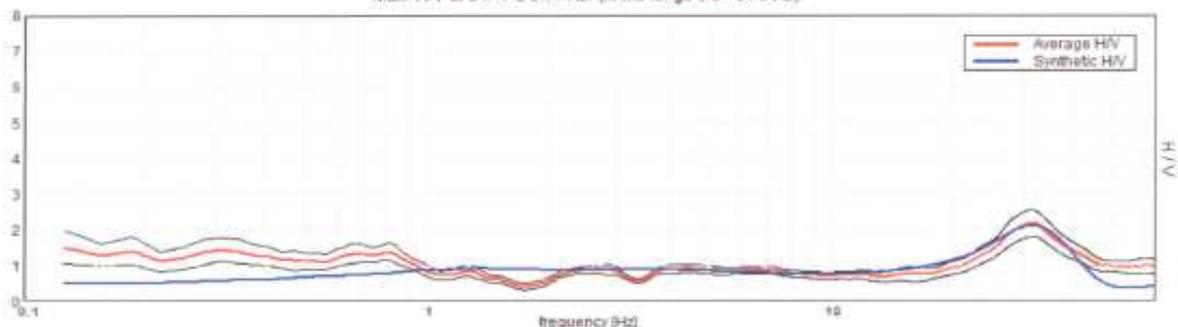
**Il Professionista:** **Dott. Geol. Lino Munari**



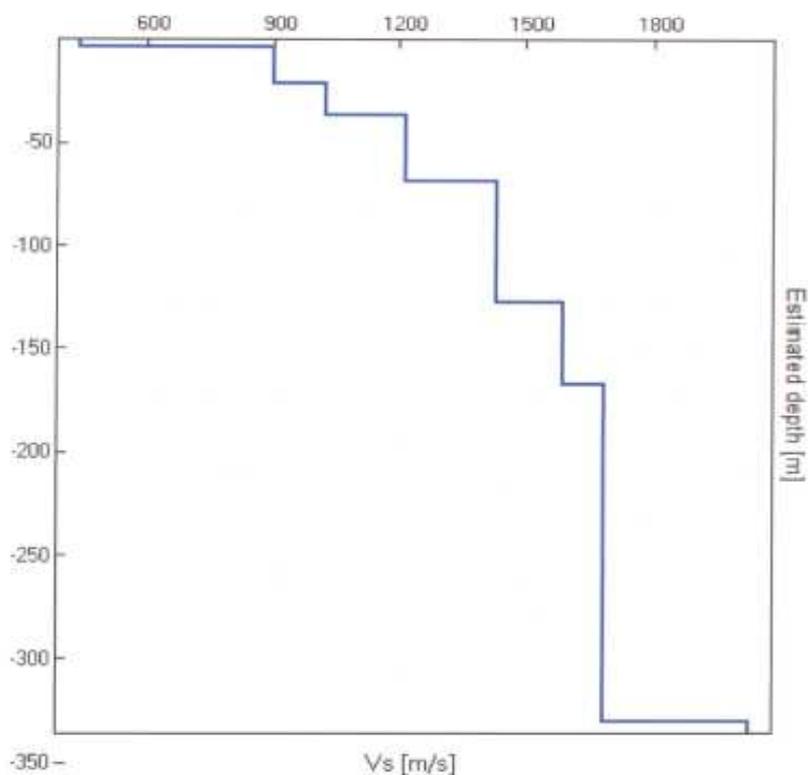
**Luogo e data:** **Affi, 27 04 2011**

COMUNE DI TORRE DEL BENACO

Max. H/V at 31.47 ± 6.71 Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz)



Profondità(m)	Vs (m/s)
0,00-3,48	438
3,48-21,30	902
21,3-36,7	1026
36,7-68,5	1216
68,5-127,0	1435
127-167	1594
167-330	1691
Oltre 330	2034



Il valore di  $V_{s30}$ , calcolato dal p.c., è risultato uguale a 829 m/s, valore che pone il sito nella **categoria di sottosuolo A** secondo il D.M. 14.01.2008.

**HVSR n. 127** tratta da Indagine progressa (Vedasi Documento 125)

ALLEGATO

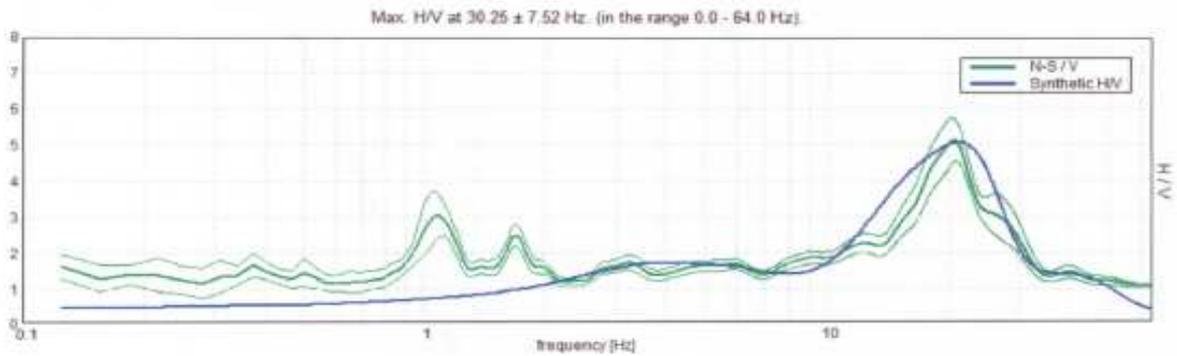
**Progetto:  
progetto architettonico per la realizzazione  
di nuovo fabbricato unifamiliare, sito nel Comune  
di Torri del Benaco, loc. Albisano.**

**Committente: Perotti GiamPaola**

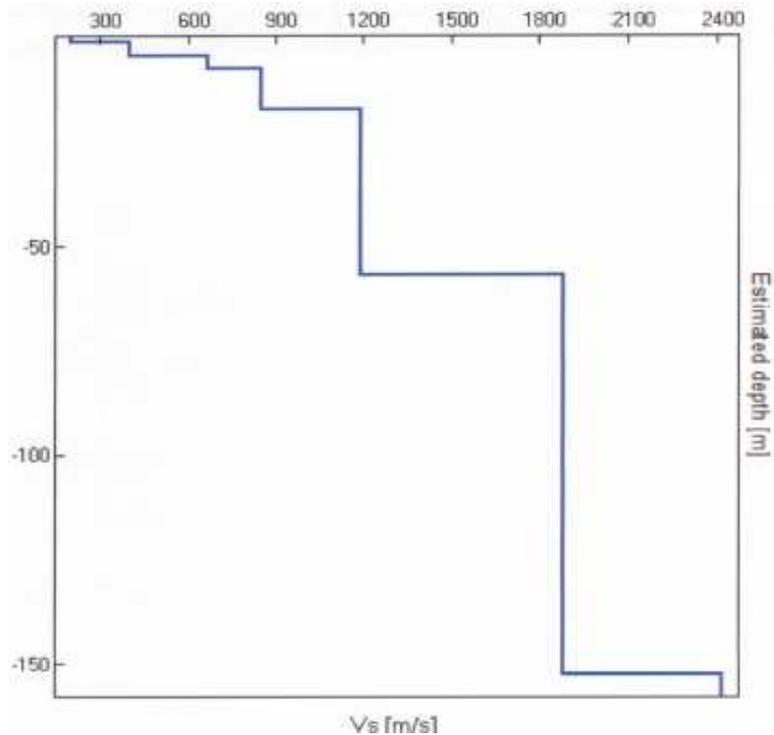
**Il Professionista: Dott. Geol. Lino Munari**



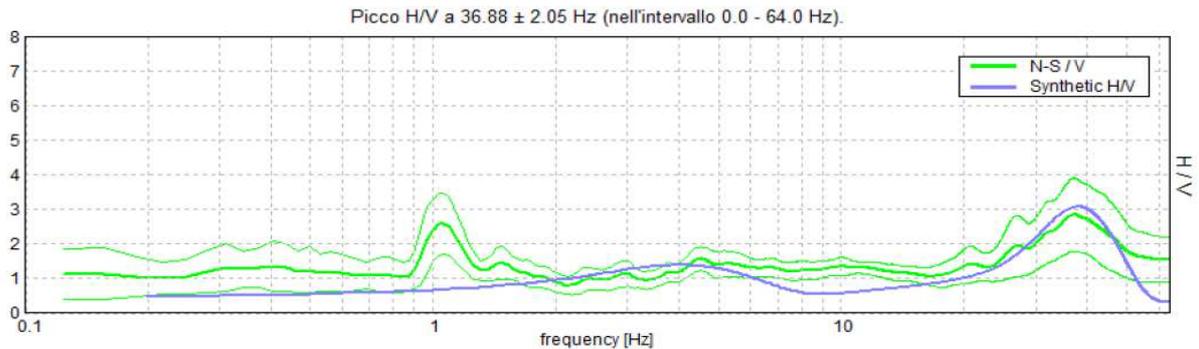
**Luogo e data: Affi, 08 03 2011**



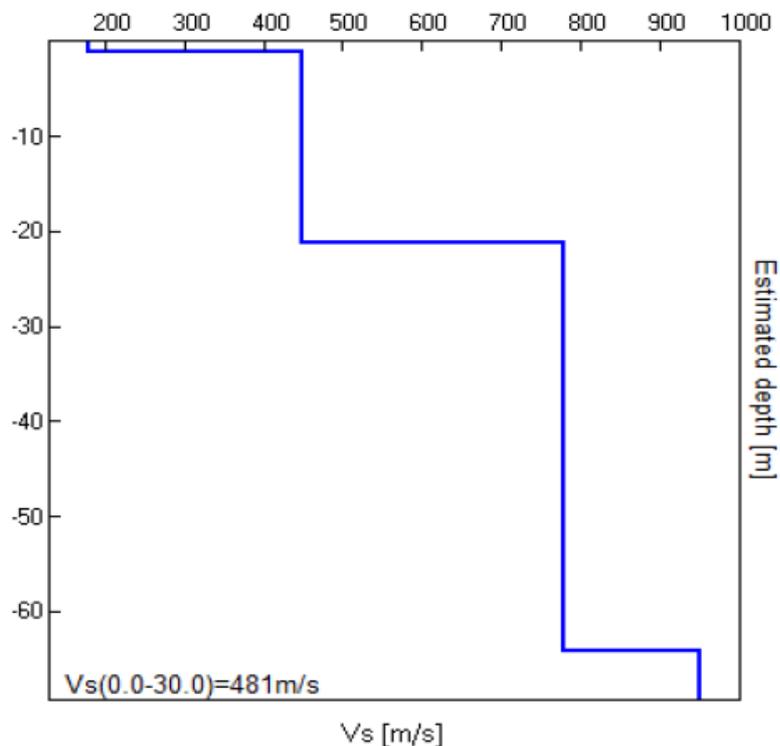
Profondità(m)	Vs (m/s)
0,00-1,20	198
1,20-4,60	404
4,6-7,8	668
7,8-17,6	851
17,6-56,0	1189
56-153	1886
Oltre 153	2423



**Il valore di Vs30 calcolato dal p.c. è risultato uguale a 726 m/s, che pone il sito nella categoria di sottosuolo B secondo il D.M. 14.01.2008.**

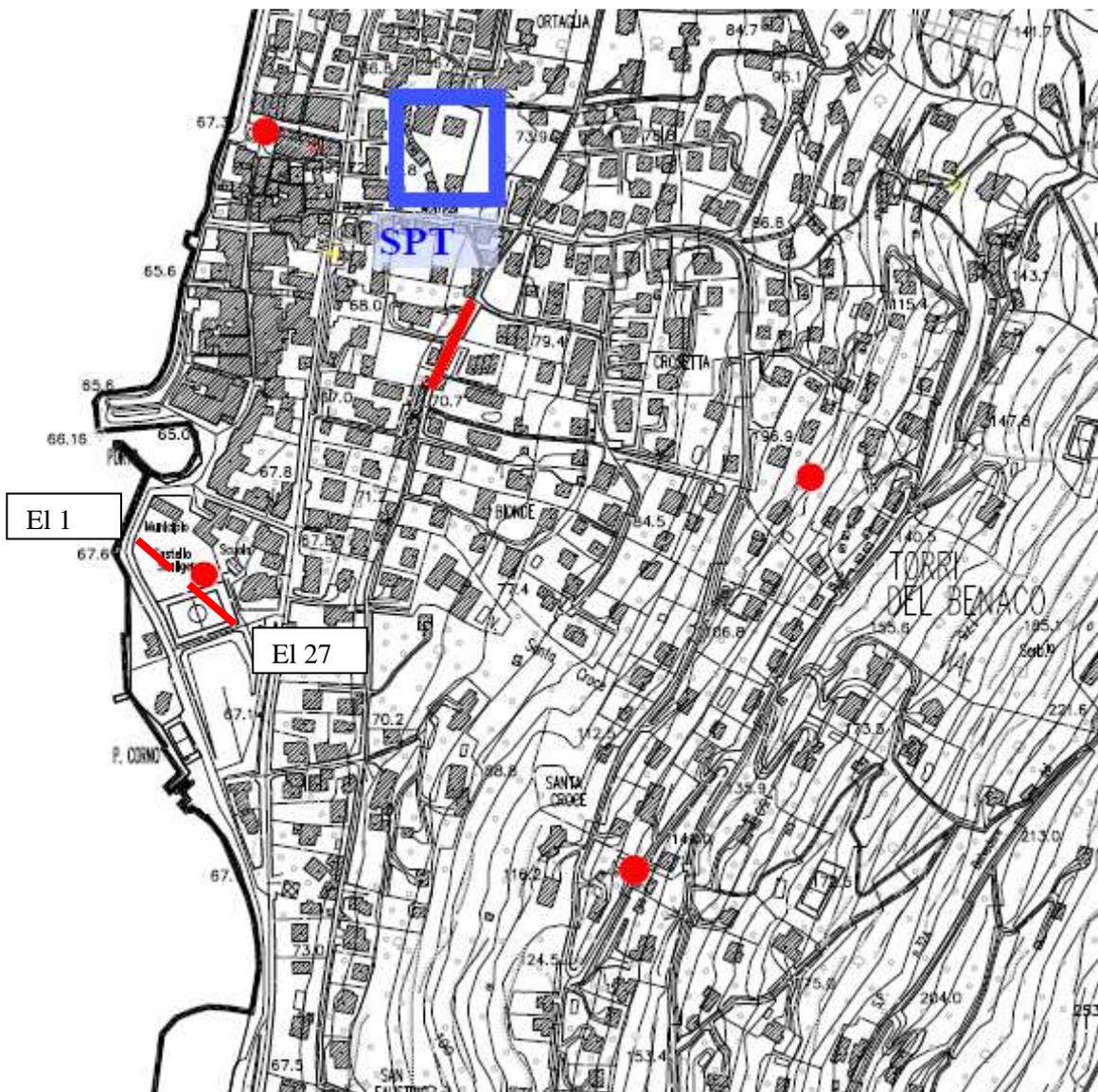


- profondità 0,0 –  $\approx 1,2$  m dal p.c. e  $V_s \approx 180$  m/s.  
Correlazione: materiale poco addensato;
- profondità  $\approx 1,20$  –  $\approx 20,0$  m dal p.c. e  $V_s \approx 450$  m/s.  
Correlazione: materiale moderatamente addensato, suoli ghiaiosi e rocce tenere;
- profondità  $\approx 20,0$  –  $\approx 43,0$ m dal p.c. e  $V_s \approx 780$  m/s.  
Correlazione: rocce dure.
- profondità  $\approx 43,0$  – ... m dal p.c. e  $V_s \approx 950$  m/s.  
Correlazione: rocce dure;

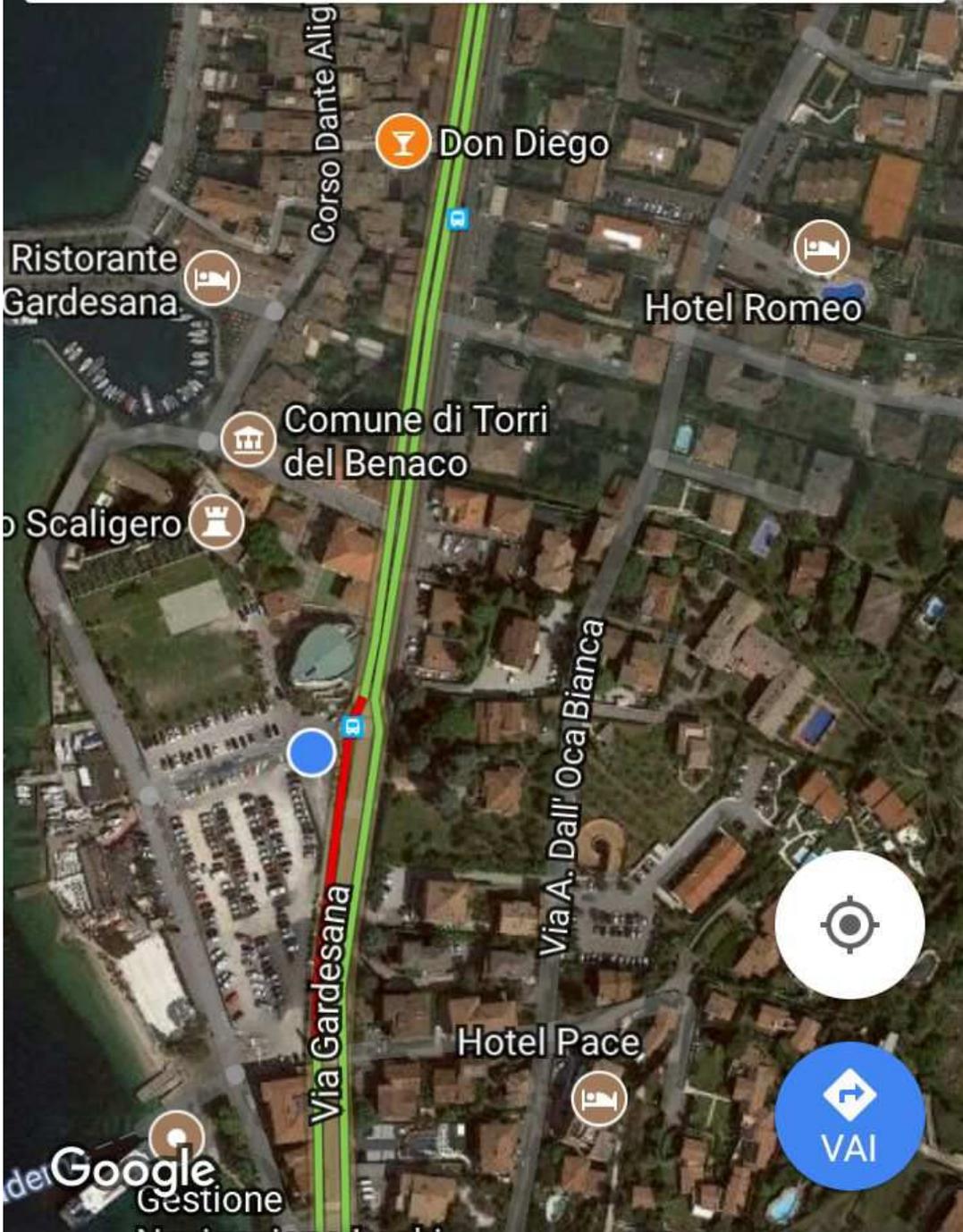


**ALLEGATO H:**  
**INDAGINI ERT**

# ERT 1

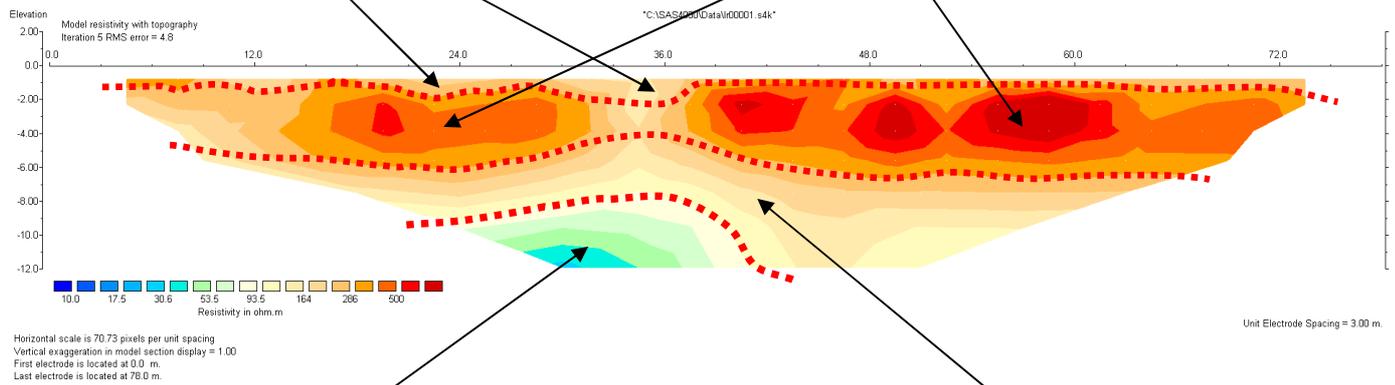


☰ Prova con "ristoranti", "bar" 🔊



Depositi superficiali ghiaioso-sabbiosi

Ghiaia di medio-alta compattezza in matrice sabbiosa



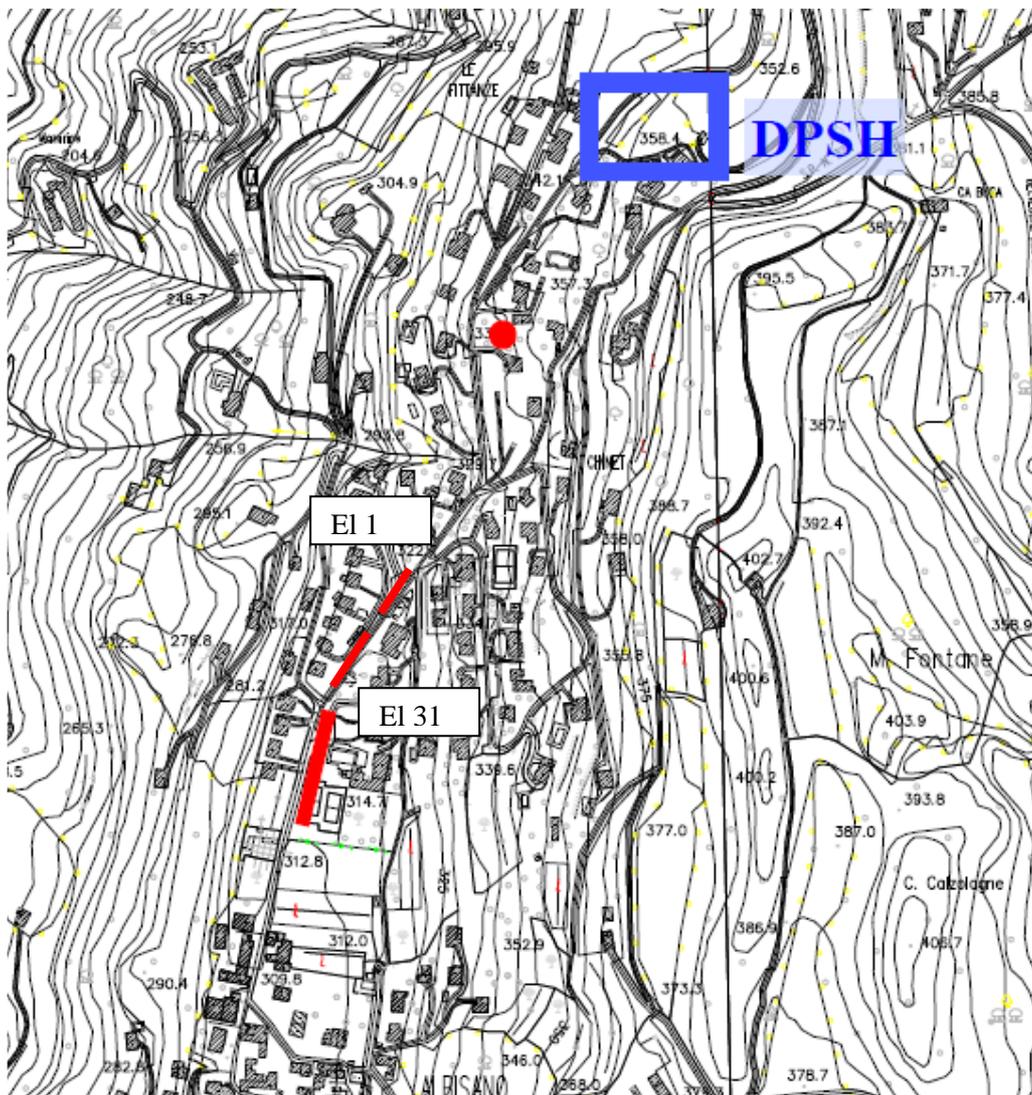
Depositi argillosi palustri/Falda acquifera confinata

Sabbia e Sabbia limosa con poca ghiaia

### Commenti:

- Il primo strato, ascrivibile a depositi superficiali di natura sabbioso-ghiaiosa, presenta valori di resistività compresi tra 100-300 ohm\*m.
- Il secondo strato, ascrivibile a depositi di medio-alta compattezza di ghiaia in matrice sabbiosa, presenta valori di resistività compresi tra 300-700 ohm\*m.
- Il terzo strato, ascrivibile a depositi sabbiosi e sabbioso-limosi con poca presenza di ghiaia, presenta valori di resistività compresi tra 100-300 ohm\*m.
- Il quarto strato presenta valori di resistività compresi tra 10-100 ohm\*m. Dall'analisi delle stratigrafie a disposizione, può descrivere la presenza di depositi argillosi palustri e/o di una falda acquifera confinata.

## ERT 2



3 ITA

3G

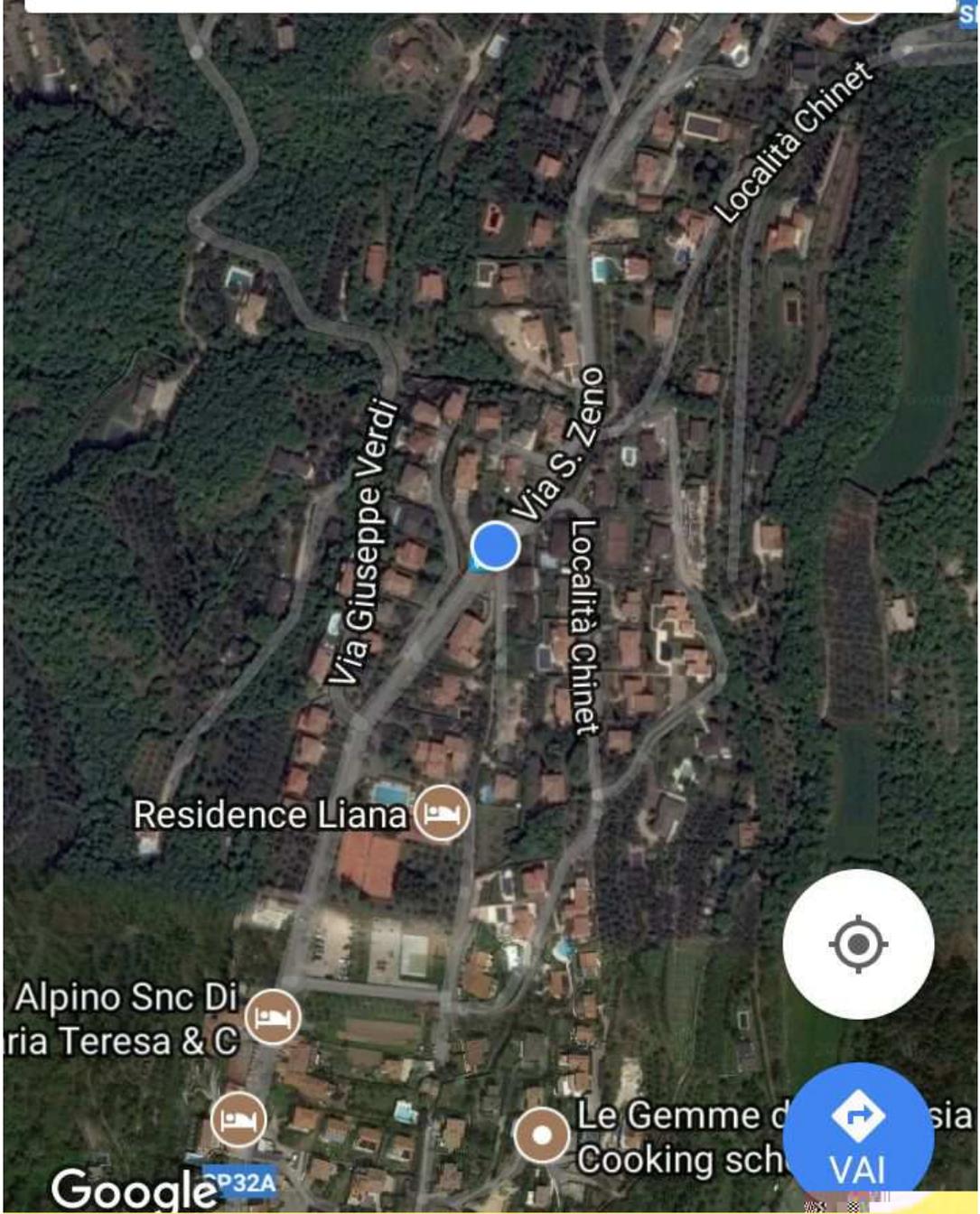
8%



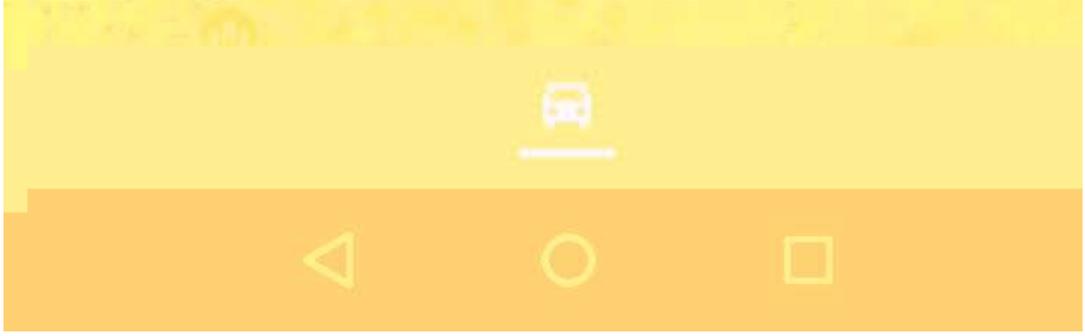
09:55

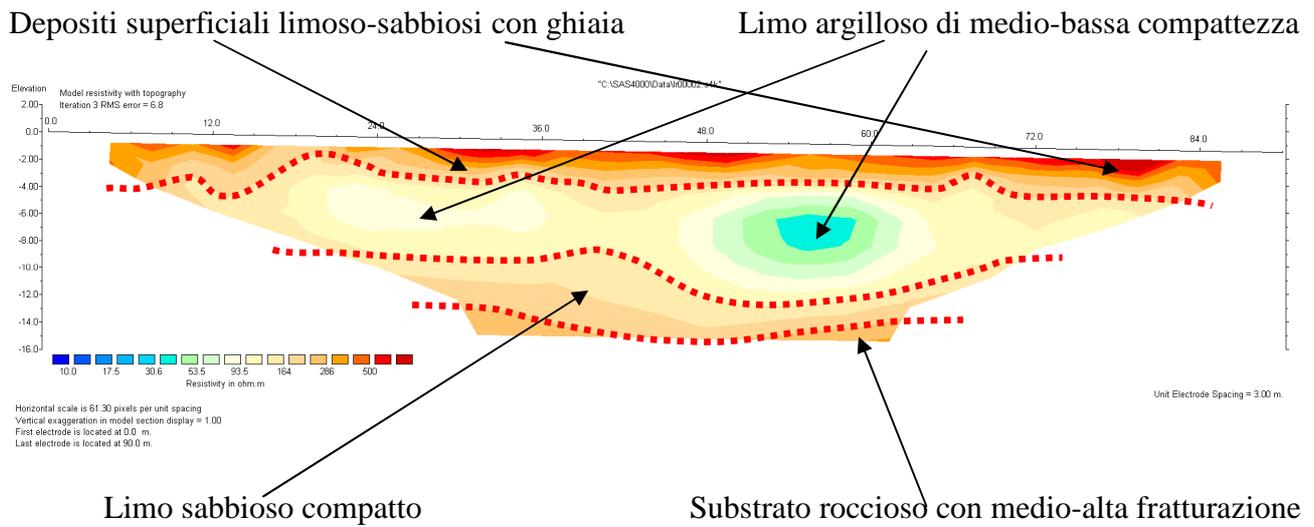


Cerca qui



Google

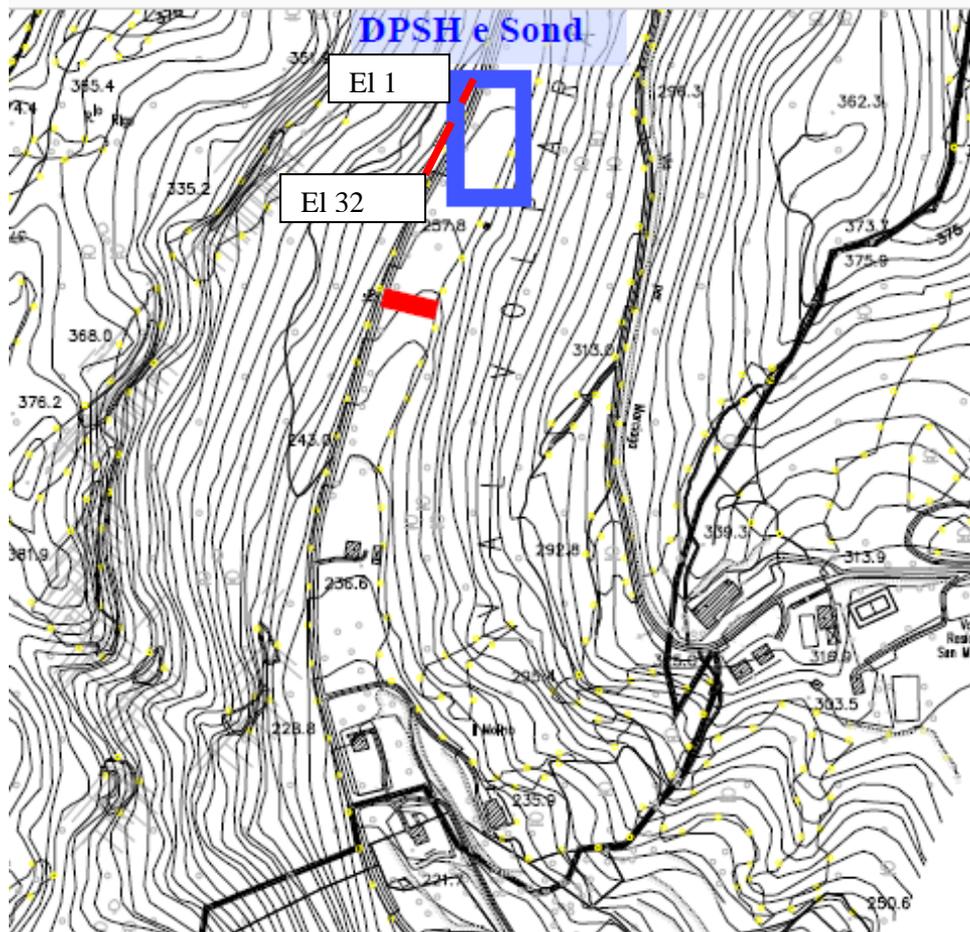




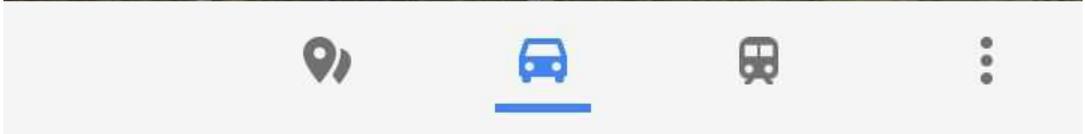
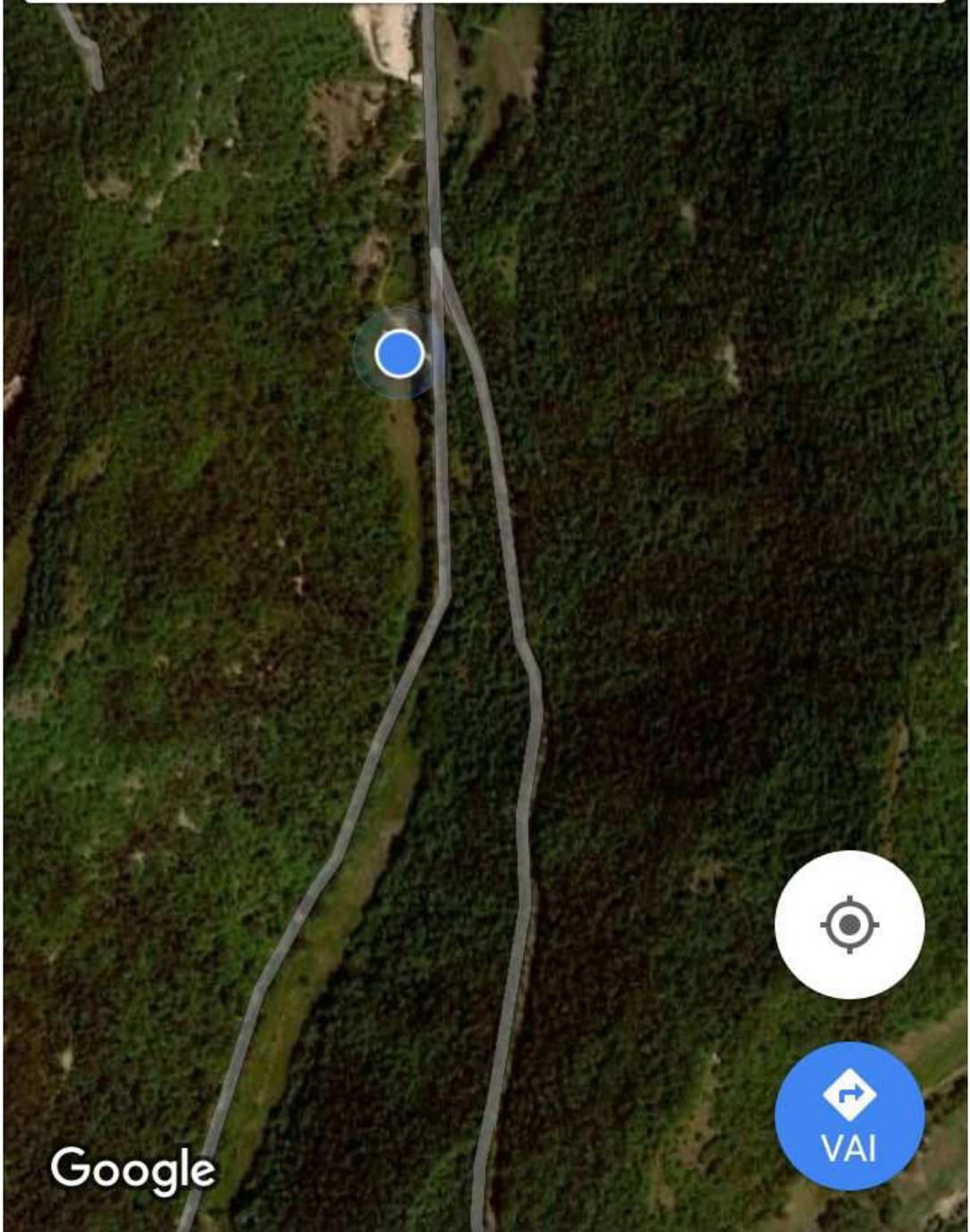
### Commenti:

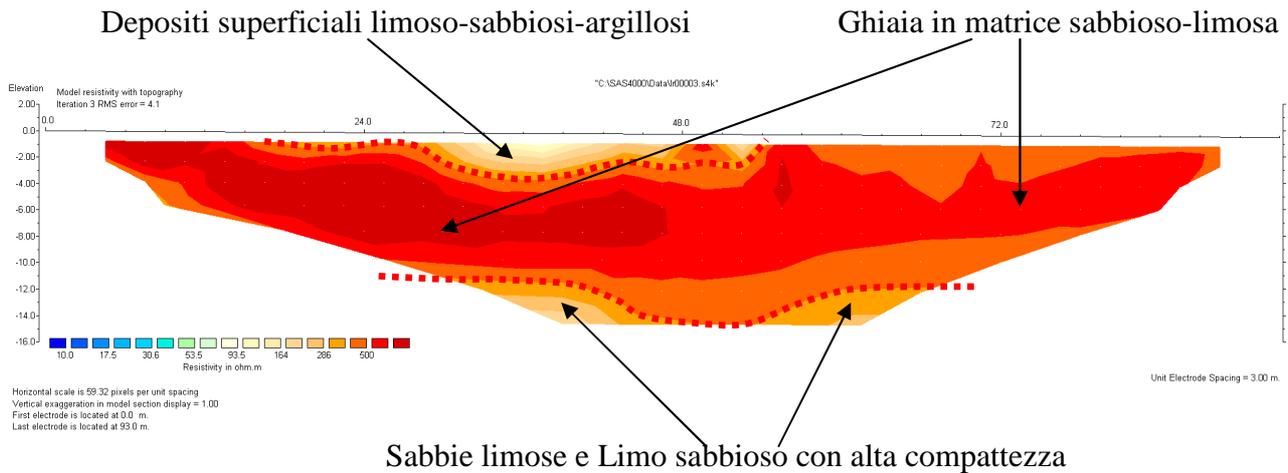
- a) Il primo strato, ascrivibile a depositi superficiali di natura limoso-sabbiosa con presenza di ghiaia, presenta valori di resistività compresi tra 200-700 ohm\*m.
- b) Il secondo strato, ascrivibile a depositi di limi argillosi di medio-bassa compattezza, presenta valori di resistività compresi tra 30-200 ohm\*m.
- c) Il terzo strato presenta valori di resistività compresi tra 100-200 ohm\*m ed è ascrivibile a depositi limoso-sabbiosi compatti.
- d) Il quarto strato presenta valori di resistività compresi tra 200-700 ohm\*m. Descrive un substrato roccioso stratificato con medio-alta fratturazione.

### ERT 3



Cerca qui





### Commenti:

- a) Il primo strato, ascrivibile a depositi superficiali di natura limoso-sabbiosa con intercalazioni di limo argilloso, presenta valori di resistività compresi tra 100-300 ohm\*m.
- b) Il secondo strato, ascrivibile a depositi di medio-alta compattezza di ghiaia in matrice sabbioso-limosa, presenta valori di resistività compresi tra 300-700 ohm\*m.
- c) Il terzo strato, ascrivibile a depositi sabbiosi e sabbioso-limosi con poca presenza di ghiaia ed alta compattezza, presenta valori di resistività compresi tra 100-300 ohm\*m.

**ALLEGATO H:**  
**INDAGINI GEOGNOSTICHE PREGRESSE**

POZZETTO GEONOSTICO



COMITENTE: WANGER S.r.l.

LOCALITÀ: Crero – Torri del Benaco (VR)

POZZETTO n.º: 5

SUPERVISORE: dott. geol. G. Crovato

Dott. Lorenzo Cadrobbi  
Dott. Michela Nobili  
Dott. Stefano Palermosier  
Dott. Claudio Valle

Mezzocorona (TN)  
Via del Teroldego, 1  
TEL.: 0461 605904  
E-MAIL: info@geologiaapplicata.it

Scala: 1:25

DESCRIZIONE LITOLOGICA

TERRENO VEGETALE: sabbia e ghiaietto poligenico con radici e resti vegetali

DEPOSITI MORENICI: ghiaia poligenica in abbondante matrice sabbioso limosa bruno-nocciola

Fondo scavo m 3.00



Profondità m.	Legenda	Pocket Pen	Vane Test	Campioni indisturbati	Campioni rimaneggiati	Quota falda
1.50						
3.00						

*Completa x evai*

Dott. geol. Roberto Zurini

ALLEGATO 2 - Planimetria catastale (scala 1:2.000)

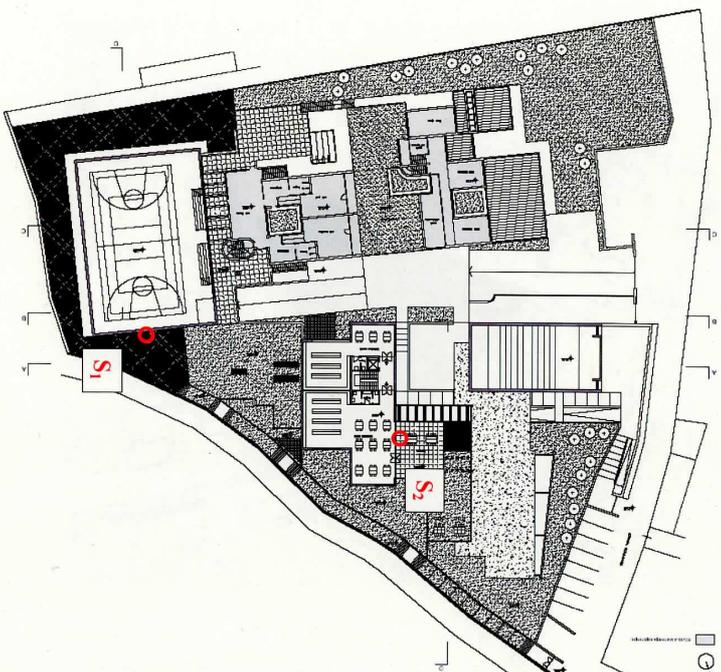
Comune di Torri del Benaco

Foglio 9 - mappali n. 50, 51, 52, 53 e 1948



Area d'indagine

ALLEGATO 3 - Planimetria generale



**S1** Ubicazione del sondaggio

ALLEGATO 4 - Documentazione fotografica





Sondaggio 2



Sondaggio 2 (da p.c. a -5 m)



Sondaggio 2 (da -5 m a -8 m)



Sondaggio 1



ALLEGATO 5 - Stratigrafie dei sondaggi

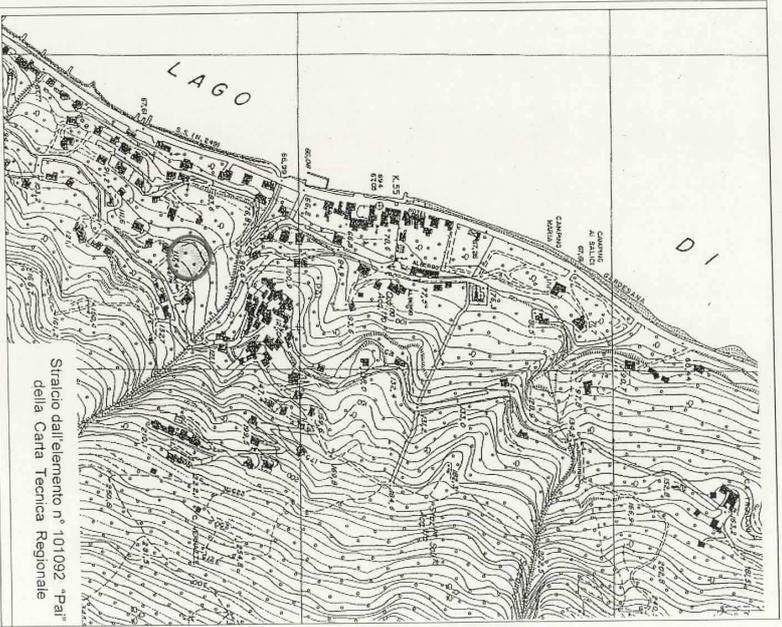
**COMUNE DI TORRÌ DEL BERGAMO**  
**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO POLO SCOLASTICO**  
**PER L'INSERIMENTO ELEMENTARE ADIACENTE ALLA SCUOLA MATERNA,**  
**IN VIA MAZZINI A TORRÌ DEL BERGAMO**  
**SONDAGGIO N° 1**  
**DATA DELL'INDAGINE: 21 luglio 2008**

Profondità Litologia spessore (m)	Descrizione litologica del terreno	ptg
0,26	0,3 Terreno vegetale ghiaioso-sabbioso color bruno	
1,2	1,3 Ghiaia di matrice sabbiosa s = 1,2 m ghiaia con detriti	
1,40	0,2 Sabbie decolorate limose color nocciola con poco ghiaio	
1,45	0,2 Ghiaie rosse con noduli limosi nocchiati	
2,30	0,2 Sabbie limose con noduli limosi	
2,70	0,4 Sabbie grasse con ghiaie	
3,00	0,2 Ghiaie, detriti e sabbie con poco limo	
3,20	0,2 Ghiaie, noduli e sabbie	
3,25	0,2 Ghiaie rosse con ghiaie	
3,30	0,2 Sabbie grasse con ghiaie	
4,05	0,2 Sabbie grasse limose con ghiaio	
4,10	0,2 Ghiaie e noduli colorati limosi	
4,85	0,2 Limo argilloso grigio scuro macerato pietoso con ghiaie e sabbie	
4,90	0,2 Sabbie limose con ghiaio	
5,10	0,2 Sabbie limose con ghiaio	
5,70	0,2 Sabbie decolorate limose con ghiaie e detriti	
6,00	0,2 Sabbie limose con ghiaio	
6,80	0,2 Sabbie con ghiaie e poco limo	
7,30	0,2 Sabbie limose con ghiaio	
7,60	0,2 Sabbie e ghiaie con limo ben sedimentati	
8,40	0,2 Sabbie e ghiaie	
8,10	0,7 Sabbie e ghiaie	
8,40	0,5 Sabbie e ghiaie con poco limo	
8,60	0,1 Sabbie e ghiaie con limo ben sedimentati	
8,70	0,9 Ghiaie e sabbie con poco limo	
10,80	0,4 Sabbie con poco ghiaie ben sedimentati	
11,00	0,8 Ghiaie e sabbie con poco limo e qualche detrito	
11,80	0,1 Sabbie limose con ghiaio ben sedimentati	
12,80		

**COMUNE DI TORRÌ DEL BERGAMO**  
**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO POLO SCOLASTICO**  
**PER L'INSERIMENTO ELEMENTARE ADIACENTE ALLA SCUOLA MATERNA,**  
**IN VIA MAZZINI A TORRÌ DEL BERGAMO**  
**SONDAGGIO N° 2**  
**DATA DELL'INDAGINE: 21 luglio 2008**

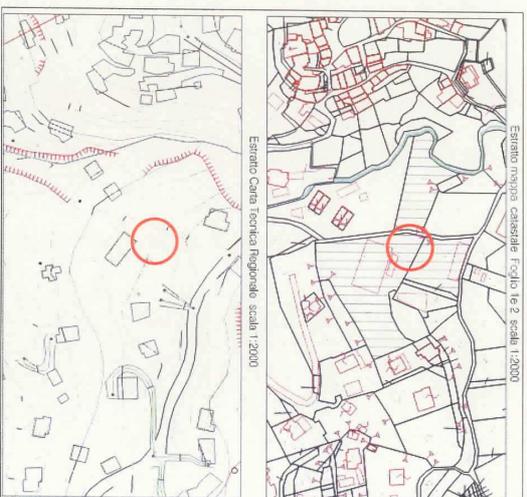
Profondità Litologia spessore (m)	Descrizione litologica del terreno	ptg
0,26	0,2 Terreno vegetale ghiaioso-sabbioso color bruno	
0,30	0,3 Ghiaie e detriti con sabbie	
1,00	0,5 Ghiaie e detriti con sabbie e limo	
1,30	0,2 Detriti e ghiaie con sabbie	
1,50	0,3 Ghiaie grasse con sabbie	
2,00	0,5 Ghiaie in abbondante matrice sabbiosa e poco limo	
2,38	1,38 Sabbie con ghiaie e poco limo color nocciola	
3,38	1,38 Sabbie limose-argillose con poco ghiaio e qualche nucleo carbonioso, color bruno scuro	
4,70	1,7 Sabbie limose con ghiaie e qualche detrito	
6,40	1,1 Sabbie limose con ghiaie	
7,20		
8,00	0,5 Sabbie con ghiaie	

ALLEGATO 1 - Carta Tecnica Regionale (scala 1:5.000)



○ Area d'indagine

ALLEGATO 2 - Planimetria catastale (scala 1:2.000)  
Comune di Torri del Benaco  
Foglio 1 e 2



○ Area d'indagine

Durante il sondaggio, eseguito in data 22 novembre 2010, sono state effettuate le dovute osservazioni che hanno permesso di classificare i sedimenti presenti nel sottosuolo. Di seguito la descrizione dei litotipi individuati:

Strato	Litologia del terreno	Profondità (m)	Spessore (m)
A	Terreno di riporto (terreno ghiaioso-sabbioso agrario con limo, di colore bruno rossastro)	0-0,50	0,50
B	Ghiaie con sabbie e ciottoli, rubefatti (suolo agrario)	0,50-1,10	0,60
C	Ghiaie e sabbia con ciottoli debolmente limosi, ben addensati, di color nocciola	1,10-2,20	1,10

I terreni più profondi (morenico ghiaioso wurmiano) si presentano umidi, stanti le loro caratteristiche.

#### 4.4 - Modello litologico e geotecnico di progetto

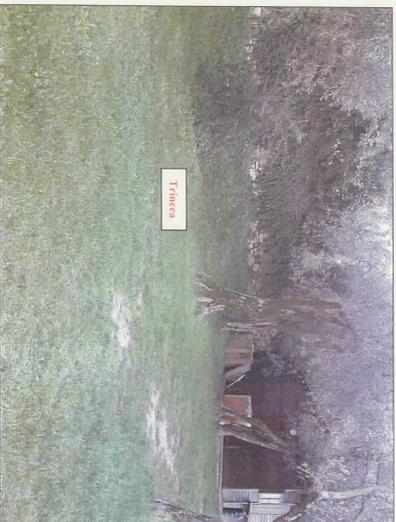
In base alle precedenti considerazioni riguardo i terreni di fondazione e l'analisi dei dati progettuali, si ritiene di poter adottare fondazioni di tipo diretto. Inoltre, in base alla specificità del progetto, è previsto il ricorso a fondazioni nasstriformi a trave rovescia di larghezza pari a 0,75 m. Le fondazioni dovranno essere approfondite entro il sottosuolo ghiaioso-sabbioso di colore chiaro (morena wurmiana) che durante l'esecuzione del sondaggio meccanico sono state intercettate alla profondità di -1,10 m da p.c., al di sotto della coltre di riporto e del suolo ghiaioso originario di colore bruno-rossastro.

Il modello litologico e geotecnico sintetico per la valutazione delle resistenze dei terreni di fondazioni, viene quindi riferito alle litologie prevalenti, costituite da sabbie e ghiaie a comportamento essenzialmente incoerente.

La resistenza al taglio di queste depositi morenici wurmiani è principalmente regolata dall'angolo di attrito interno; le componenti di coesione efficace, limitate ai livelli localmente più cementati e a quelli con frazione fine maggiore, in via cautelativa non vengono considerate.

Con il metodo osservazionale proposto da Sanglerat, sulla base dei seguenti dati, è possibile definire l'angolo di attrito  $\phi$  di questi materiali:

### ALLEGATO 3 - Documentazione fotografica



Panoramica dell'area di progetto ed ubicazione del sondaggio meccanico



Trincea di scavo



Materiali morenici (alluvioni) provenienti dallo scavo della trincea

**RELAZIONE:**  
**Valutazione di compatibilità idraulica**  
D.G.R. n.1841 del 19/06/2007; D.G.R. n.2948 del 05/10/2009

**ALLEGATO N°: 07**  
**TITOLO:** Sezione stratigrafica da indagine geognostica in sito DPSH n.1  
**OGGETTO:** smaltimento e valutazione del deflusso delle acque meteoriche relativo al progetto per la costruzione di un centro di raccolta materiali in località Volpapa  
**COMUNE:** Torri del Benaco (VR)  
**COMMITTENTE:** Comune di Torri del Benaco - Ufficio Tecnico Edilizia Pubblica

Profondità (m)	Colonna stratigrafica	DESCRIZIONE	Va (m³)	Fattore di volume naturale(m³)	Densità relativa (%)	Consistenza non drenata(kg/m³)	Angolo d'attrito(°)
0,60		Linea argilla modellata	58	1,75	26	nc	19
1,20		Linea argilla sabbia	85	1,80	26	nc	20
1,80							
2,40		Linea argilla modellata	91	1,75	15	nc	19
4,20							
1,20		Linea argilla corghina	139	1,82	37	nc	25
5,40							
0,90		Linea argilla corghina	163	1,83	51	nc	29
6,30		Linea argilla corghina	185	1,90	68	nc	35
2,30		Linea argilla corghina	153	1,82	37	nc	26
0,90		Linea argilla corghina					
7,20							

**Sezione stratigrafica dedotta da DPSH N.1 con interpretazione numero di colpi Nscpt**  
Livello della Falda: -3,00m dal p.l.

Profondità (m)	Caratterizzazione stratigrafica	DESCRIZIONE	Va (m/s)	Peso di volume naturale(γ <sub>m</sub> )	Densità relativa (%)	Coazione non drenata(γ <sub>sat</sub> )	Spazio d'aria(γ <sub>a</sub> )
0,60		Limo argilloso sabbio	65	1,80	44	nc	20
1,20		Limo argilloso mediocotto	76	1,75	22	nc	19
1,80		Limo argilloso sabbio	95	1,80	27	nc	20
2,40		Limo argilloso mediocotto	94	1,75	17	nc	19
3,00		Limo argilloso sabbio	122	1,80	27	nc	22
3,60		Limo argilloso sabbio	181	1,85	70	nc	34

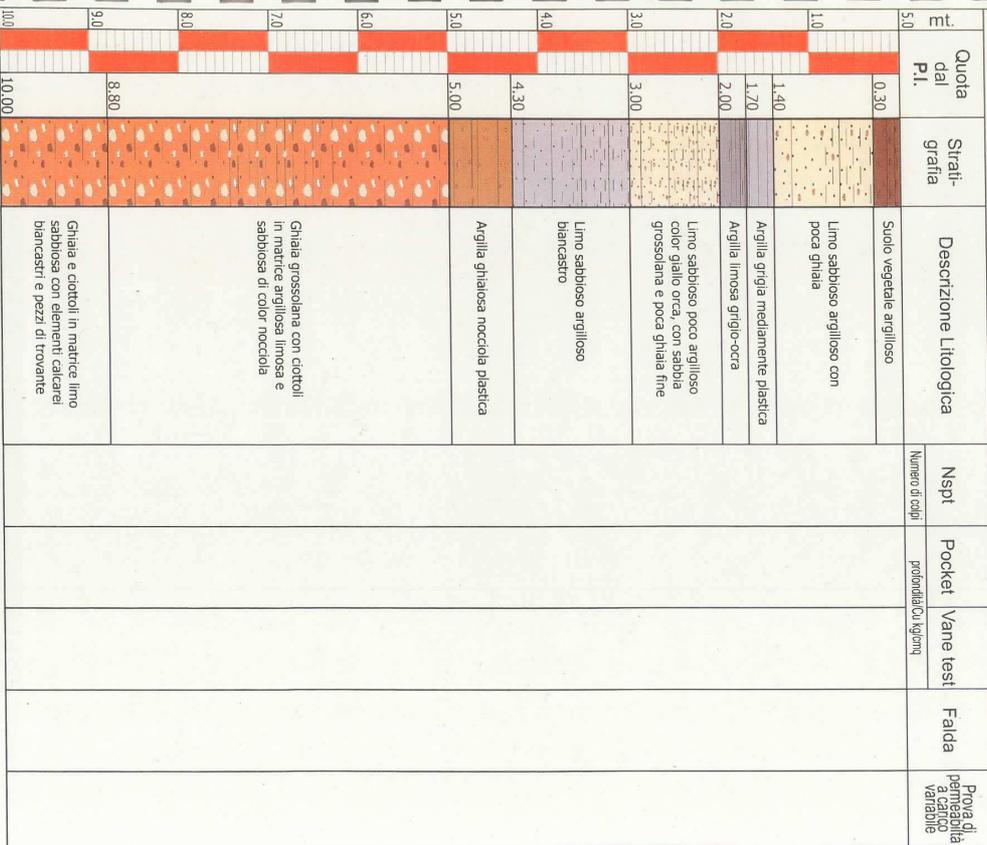
Sezione stratigrafica dedotta da DPSH N.2 con interpretazione numero di colpi Nsecp  
Livello della Falda: n.d.

Metodo di perforazione: Carotaggio continuo S1

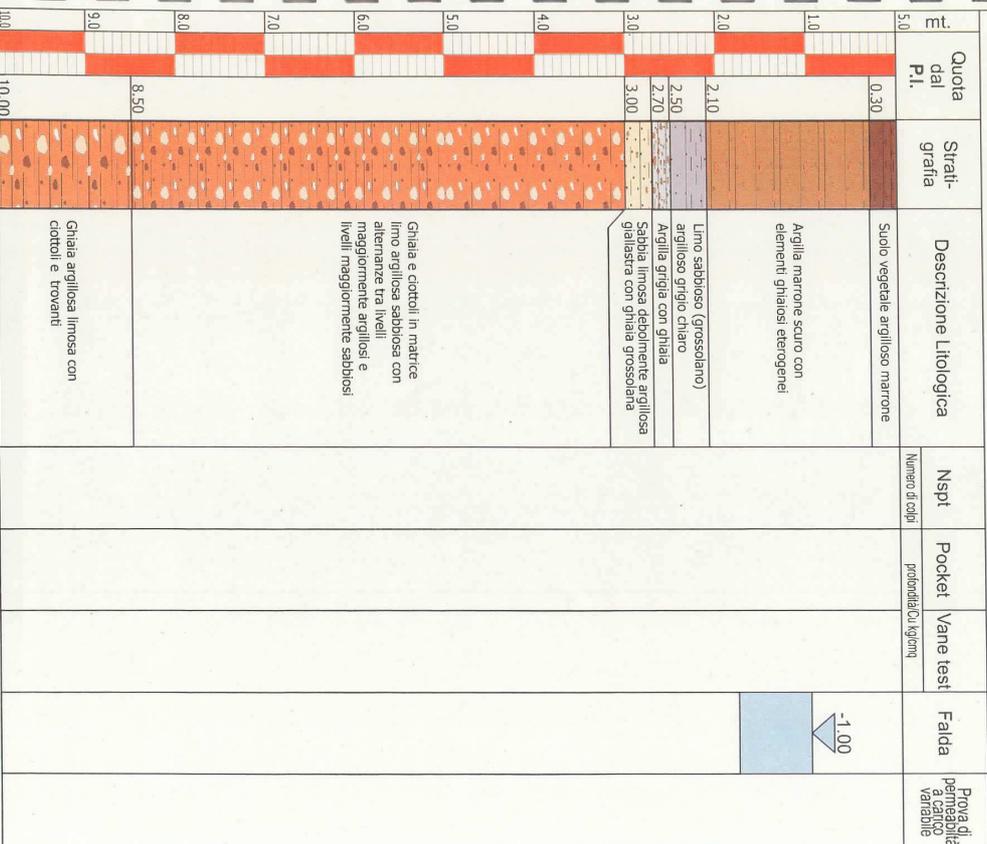
Quota dal P.I.	Stratigrafia	Descrizione Litologica	Nspt Numero di colpi	Pocket profondità (kg/cm <sup>2</sup> )	Vane test	Falda	Prova di permeabilità Variabile
1,00		Suolo vegetale					
2,00		Ghiaia e ciottoli in matrice limo argillosa					
2,40		Argilla con limo e sabbia grossolana					
3,00		Limo sabbioso argilloso giallo ocra					
4,00		Sabbia limosa giallastra					
5,00		Limo sabbioso argilloso					
7,00		Ghiaia grossolana in matrice limo argillosa sabbiosa					
8,00		Ghiaia grossolana in matrice limo argillosa sabbiosa					
9,00		Ghiaia grossolana in matrice limo argillosa sabbiosa					
10,00		Ghiaia grossolana in matrice limo argillosa sabbiosa					

-3,40

Metodo di perforazione: Carotaggio continuo S2



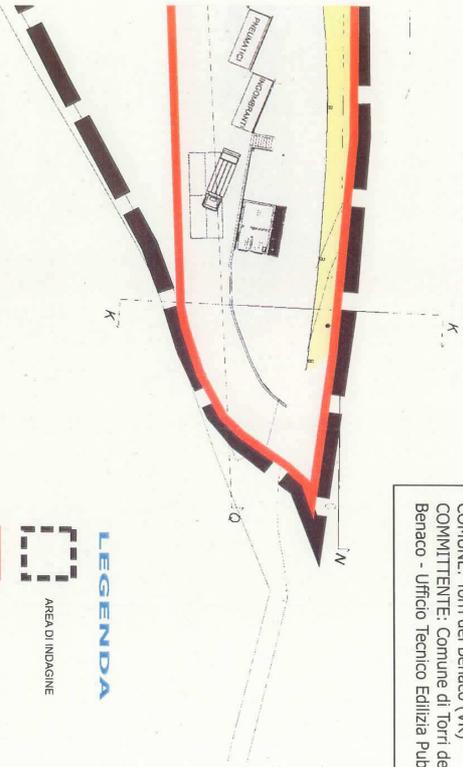
Metodo di perforazione: Carotaggio continuo S3



**RELAZIONE:**  
**Valutazione di compatibilità idraulica**  
D.G.R. n.1941 del 19/06/2007; D.G.R. n.2948 del 05/10/2009

**ALLEGATO N°: 06**  
TITOLO: Pianimetria settore di intervento  
STATO DI PROGETTO scala 1:500  
OGGETTO: smaltimento e valutazione  
del deflusso delle acque meteoriche relativo  
al progetto per la costruzione di un centro  
di raccolta materiali in località Volpara  
COMUNE: Torri del Benaco (VR)  
COMITENTE: Comune di Torri del  
Benaco - Ufficio Tecnico Edilizia Pubblica

## FORMATO



### LEGENDA



AREA DI INDAGINE



SUPERFICIE INTERESSATA  
DALL'INTERVENTO 2.889 MQ



SUPERFICIE PERMEABILE 389 MQ  
(AREA VERDE A PRATO)

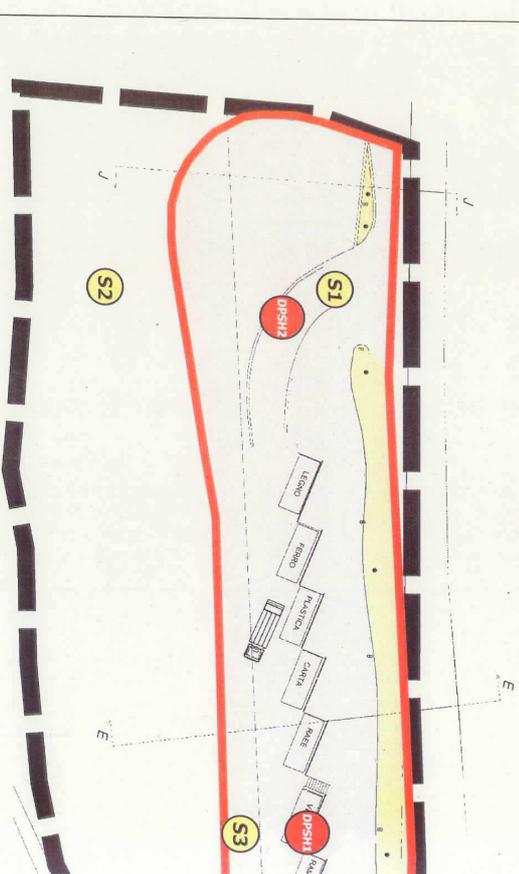


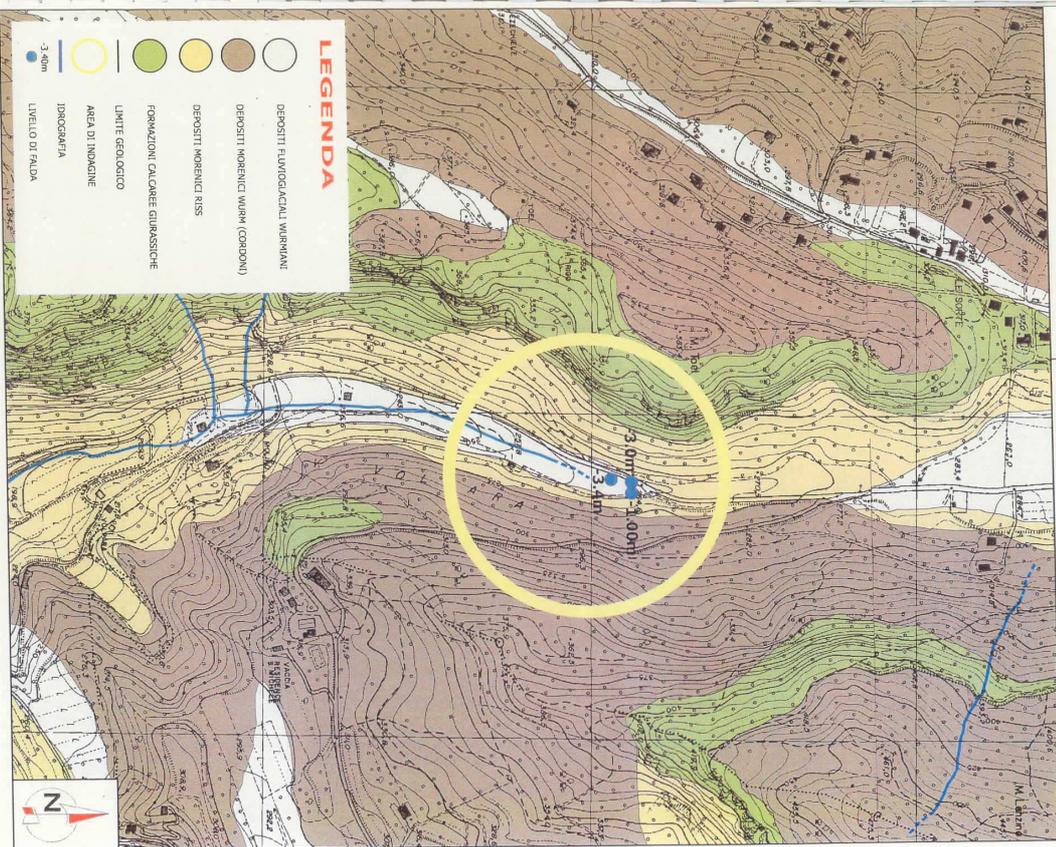
SONDAGGIO GEOGNOSTICO  
A CARICAMENTO CONTINUO "n."



PROVA PERMEOMETRICA  
DP5H "n."

## STATO TRA





Comune di Torri del Benaco

Provincia di Verona

*Annulo 5 art. 2 21/05*  
25 ASD. 1994  
GESS

**Sistemazione del parcheggio  
nell'area portuale del capoluogo**

Studio di fattibilità

**Indagine Geognostica**



Studio di Geologia Applicata  
dott. Fernando Covognati  
Via Venturini, 2 - Verona

sisissima consistenza (da prove scissometriche con Torvane risulta una coesione non drenata  $c_u > 0,2 \text{ kg/cm}^2$ );

-al centro: orizzonte ghiaioso-sabbioso e ciottoloso di 5-7 m di spessore, medio-cementato addensato (da 9 a 33 colpi/30 cm in prove S.P.T.);

-al letto: depositi palustri costituiti da argilla grigiastro localmente torbosa, di media compattezza ( $c_u \approx 0,5 \text{ kg/cm}^2$ ).

## 2.2. - INDAGINI GEONOSTICHE

Al fine di verificare l'effettiva natura dell'immediato sottosuolo in vista degli interventi in progetto, si sono eseguite n. 2 trincee geonostiche a mezzo escavatore meccanico e n. 4 profili geologici con Georadar, le cui caratteristiche sono illustrate in allegato.

Le due trincee, ubicate alle estremità dell'area sottesa dal costruendo parcheggio, hanno rivelato la seguente stratigrafia:

- trincea n.1 (presso il vertice sud-ovest dell'area di parcheggio):

da p.c. a -0,2 m: riporto costituito da ghiaietto e sabbia;

da -0,2 a -0,7 m: suolo agrario costituito da riporto terroso con ghiaia e ciottoli;

da -0,7 a -2,5 m: prevalente sabbia con ghiaia e rari ciottoli (max 6 cm) poligenici dotata di evidente isorientazione debolmente immergente verso sud, saturata da -1,3 m;

- trincea n.2 (presso il vertice nord-est dell'area di parcheggio, con p.c. più elevato di  $\approx 40 \text{ cm}$  rispetto alla precedente):

da p.c. a -0,2 m: riporto costituito da ghiaietto e sabbia;

da -0,2 a -2,5 m: sabbia ghiaiosa con ciottoli (max 6 cm) poligenici, dotata di evidente isorientazione debolmente immergente verso sud, saturata da -1,3 m.

Il materiale ghiaioso e sabbioso, che rappresenta il primo sottosuolo dell'area indagata, è verosimilmente correlabile con gli analoghi orizzonti della copertura detritica identificati dalle stratigrafie del pozzo e dei sondaggi citati in 2.1.

Si tratta di depositi alluvionali (fluvio-glaciali o torrentizi) ben classati e che

Regione Veneto  
Provincia di Verona  
**COMUNE**  
**DI TORRI DEL BENACO**

**P.I.R.U.E.A.**  
**PROGRAMMA INTEGRATO DI RIQUALIFICAZIONE**  
**URBANISTICA, EDILIZIA ED AMBIENTALE**  
**DA REALIZZARE A TORRI DEL BENACO,**  
**IN LOCALITÀ FORMARE.**



RELAZIONE GEOLOGICO - GEOTECNICA ai sensi del D.M. 11/03/1988

**STUDIO NUCCI & ASSOCIATI**

GEOLOGIA E INGEGNERIA  
DELLA TERRITORIO

DOTT. GEOL. ENRICO NUCCI  
DOTT. GEOL. LORENA BENEDETTI  
DOTT. ING. ALESSIA CANTERI

Dott. Geol. Enrico Nucci



Dott. Geol. Lorena Benedetti



COMMITTENTE:  
**TECNO RE.BA. S.R.L.**

Cod. Fil. SA07122

Data: 02/11/2007

Via Albani 152 - 37197 Verona  
Telefono 045/207177  
studionucci@studionucci.it  
Cod.Fisc. e P.IVA 038228910234

## TRINCEA T1

PROF. DA P.C.	STRATIGRAFIA
0,00 - 0,50 m	Terreno vegetale costituito da limo debolmente sabbioso di colore bruno con presenza di apparati radicali. [Unità A].
> 0,50 m	Substrato roccioso. Calcarei oolitici di colore biancastro riferibili al Gruppo di San Vigilio. [Unità C].



Trincea T1: è visibile il substrato roccioso posto subito sotto la coltre di terreno vegetale.

Riporto NO  
Profondità 0,50 m  
Falda Assente

## TRINCEA T2

PROF. DA P.C.	STRATIGRAFIA
0,00 - 1,30 m	Terreno vegetale costituito da limo debolmente sabbioso di colore bruno con presenza di apparati radicali. [Unità A].
> 1,30 m	Substrato roccioso. Calcarei oolitici di colore biancastro riferibili al Gruppo di San Vigilio. [Unità C].



Esecuzione della Trincea T2



Trincea T1: è visibile il substrato roccioso posto subito sotto la coltre di terreno vegetale.

Riporto NO  
Profondità 1,30 m  
Falda Assente

## TRINCEA T3

PROF. DA P.C.	STRATIGRAFIA
0,00 - 0,30 m	Terreno vegetale costituito da limo debolmente sabbioso di colore bruno con presenza di apparati radicali. [Unità A].
0,30 - 3,80 m	Ghiaia ciottolosa in matrice sabbiosa di colore da grigio chiaro a nocciola. Si presenta ben addensata, ad elementi subarrotondati di dimensioni centimetriche con ciottoli pluricentimetrici prevalentemente di natura calcarea. Si presenta poco classata e con rari trovanti decimetrici. [Unità B].

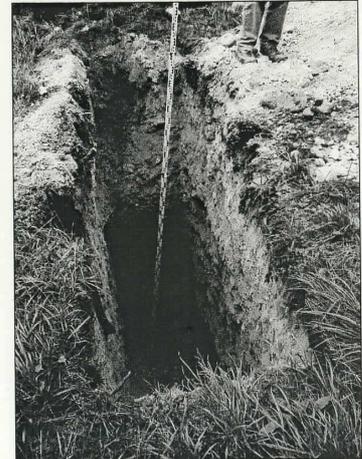
Riporto NO  
Profondità 3,80 m  
Falda Assente  
Angolo d'attrito da cumulo Unità B 34° - 36°  
Note: piccoli crolli dalle pareti a fondo scavo.



Esecuzione della Trincea T3



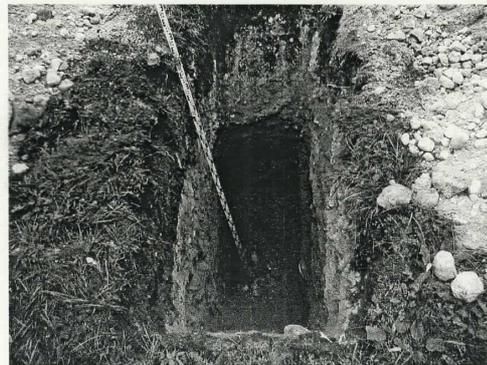
Cumulo di materiale riferibile all'unità B



## TRINCEA T4

PROF. DA P.C.	STRATIGRAFIA
0,00 - 0,60 m	Terreno vegetale costituito da limo debolmente sabbioso di colore brunastro con presenza di apparati radicali. [Unità A].
0,60 - 3,60 m	Ghiaia ciottolosa in matrice sabbiosa di colore grigio chiaro. Si presenta ben addensata, ad elementi arrotondati di dimensioni centimetriche con ciottoli pluricentimetrici di natura calcarea. Si presenta poco classata e con rari trovanti decimetrici. [Unità B].

Riporto NO  
Profondità 3,60 m  
Falda Assente



Trincea T4

**TRINCEA T5**

PROF. DA P.C.	STRATIGRAFIA
0,00 – 0,50 m	Terreno vegetale costituito da limo di colore bruno con presenza di apparati radicali. [Unità A].
0,50 – 3,30 m	Ghiaia ciottolosa in matrice limoso – sabbiosa di colore bruno. Si presenta ben addensata, ad elementi subarrotondati di dimensioni centimetriche con ciottoli pluricentimetrici prevalentemente di natura calcarea. Si presenta poco classata e con rari trovanti decimetrici. Inferiormente la matrice appare più sabbiosa e di colore grigio – nocciola. [Unità B].

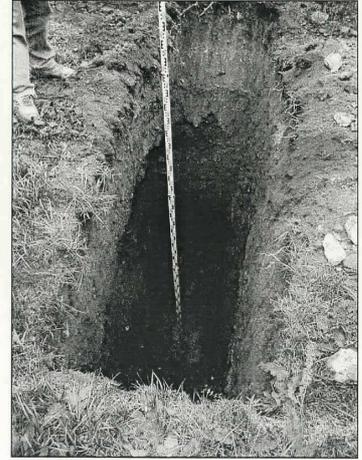
Riporto NO  
Profondità 3.30 m  
Falda Assente



Esecuzione della Trincea T5



Cumulo di materiale riferibile all'unità B



ALLEGATO 5  
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

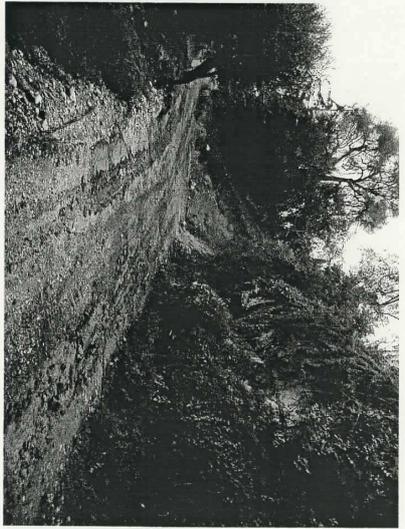


Fig. 1. Affioramento di materiale alluvionale granulato (Unità B) e substrato roccioso (Unità C). Immagine ripresa dalla strada che conduce a Formano, sul lato Est del sito progettuale.

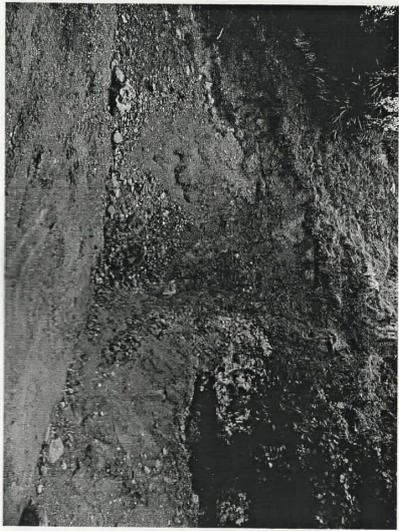


Fig. 2. Dettaglio del materiale alluvionale (Unità B).

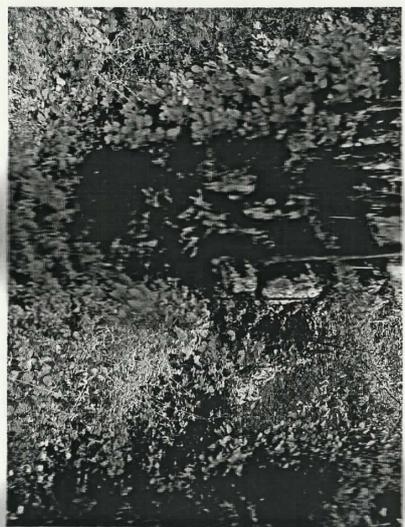


Fig. 3. Dettaglio del substrato roccioso (Unità C).

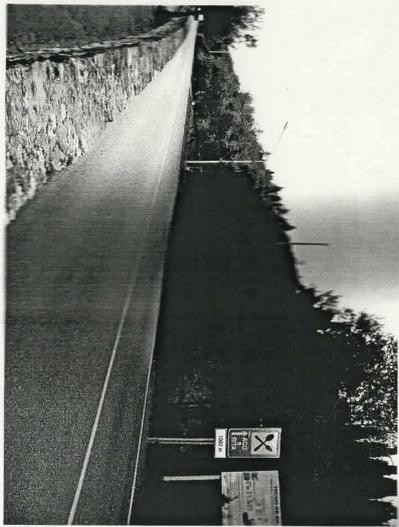


Fig. 4. Immagine dell'area progettuale vista dalla Strada Statale 249 "Gardesana".

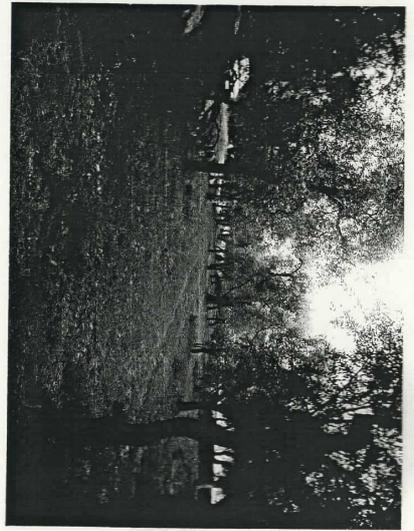
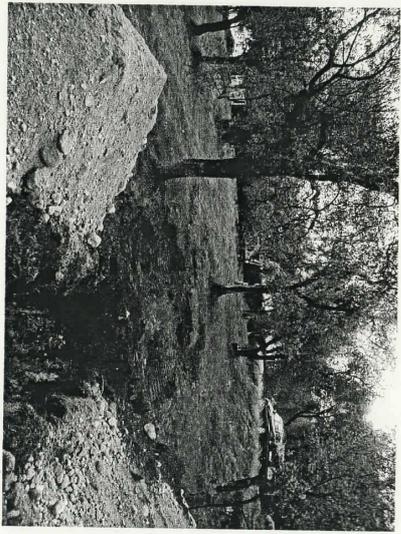
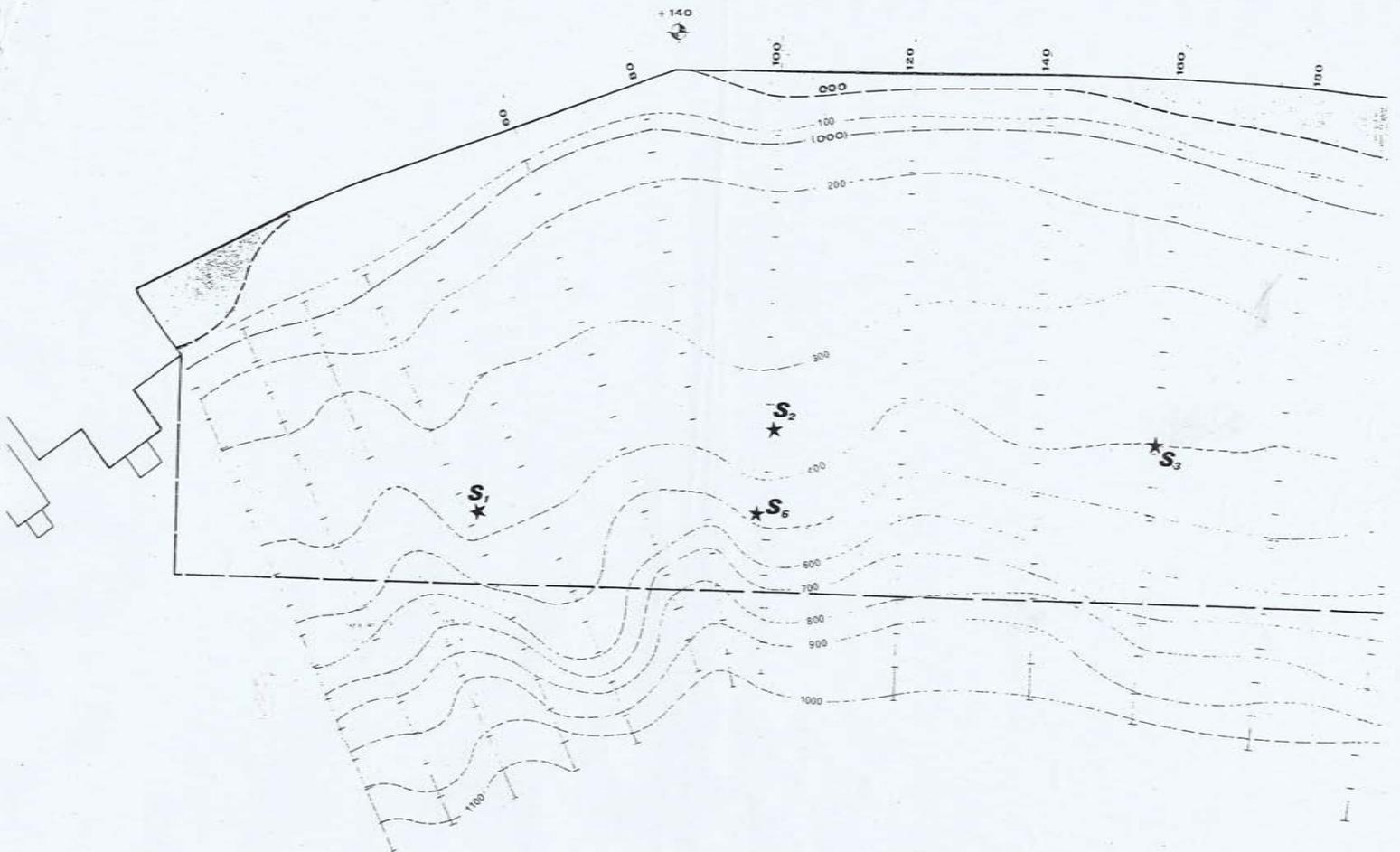


Fig. 5 e 6. Immagini dell'area progettuale

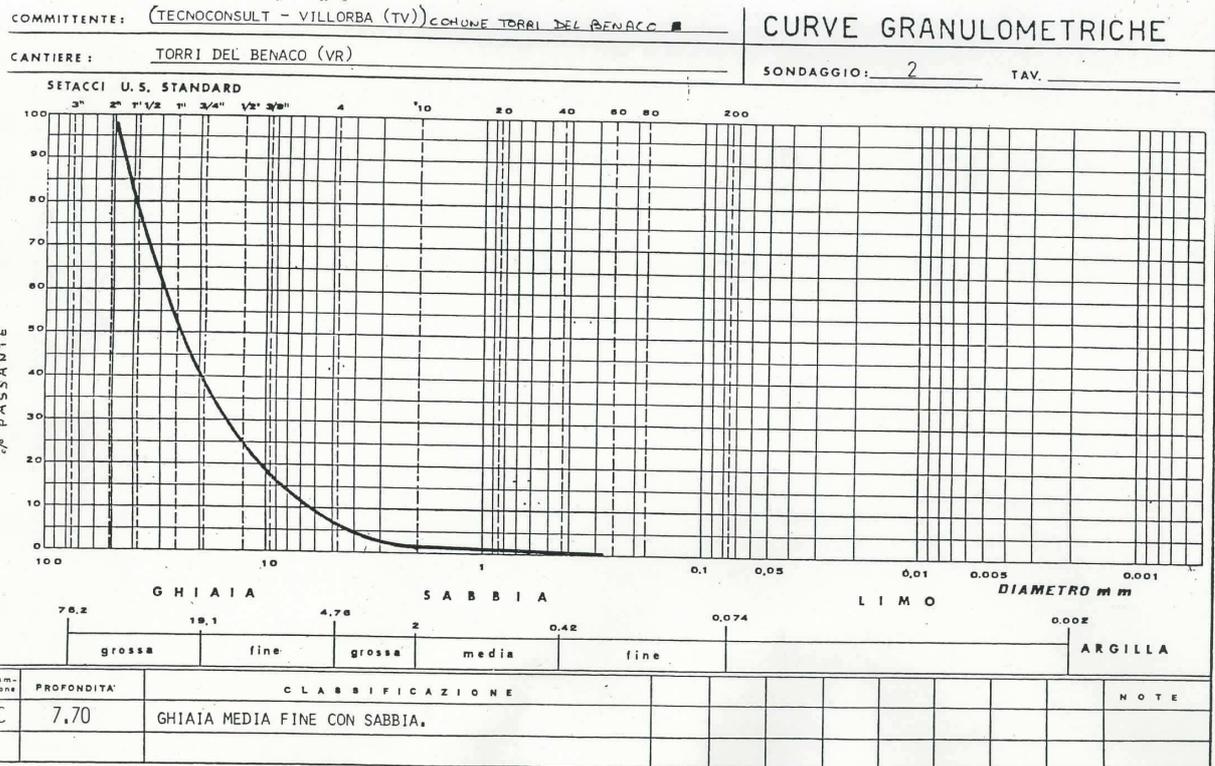








COMMITTENTE: COMUNE TORRI DEL BENACO ■ (TECNOCONSULT - VILLORBA (TV))		CANTIERE: TORRI DEL BENACO (VR)											
S	C	Profondità	Classificazione	G <sub>s</sub> gr/cm <sup>3</sup>	V <sub>s</sub> gr/cm <sup>3</sup>	W <sub>L</sub>	W <sub>P</sub>	W <sub>p</sub>	I <sub>p</sub>	FEN Kg/cm <sup>2</sup>	TORVANE Kg/cm <sup>2</sup>	q <sub>1</sub> Kg/cm <sup>2</sup>	q <sub>2</sub> Kg/cm <sup>2</sup>
7	A	5,50	LIMO ARGILLOSO NOCCIOLA CHIARO SABBIOSO RICCO DI SOSTANZE VEGETALI.							0,1 0,2	0,1		
7	B	8,20	GHIAIA MEDIA FINE CON SABBIA FINE.										
7	C	11,00	GHIAIA MEDIA FINE CON SABBIA FINE.										
7	D	13,00	GHIAIA MEDIA FINE CON SABBIA FINE.										
7	E	14,50	GHIAIA MEDIA FINE CON SABBIA FINE.										
7	1	17,00÷17,50	(P.A.) ARGILLA DEBOLMENTE LIMOSA GRIGIA.	2,70	1,64	60	64	38	26	0,8 1,0	0,45	0,419	0,360
			(P.C.) SABBIA FINE GRIGIA CON GHIAINO E LENTI DI ARGILLA LIMOSA GRIGIA.										
			(P.B.) ARGILLA DEB. LIMOSA GRIGIA CON GHIAINO.							0,6 0,8	0,4		
7	2	17,80÷18,40	ARGILLA DEB. LIMOSA GRIGIA CON GHIAIA FINE.	2,73		24	34	20	14	0,5 0,7	0,21 0,36	0,495	0,407
7	3	18,70÷19,30	ARGILLA DEB. LIMOSA GRIGIA CON GHIAINO E SABBIA FINE.	2,64	1,82	33	41	24	17	0,6 0,9	0,38 0,45	0,491	0,527
7	F	20,70	GHIAIA MEDIA FINE CON SABBIA FINE.										



Pr. 23-2010

REGIONE DEL VENETO

PROVINCIA DI VERONA

COMUNE DI TORRI DEL BENACO

*Progetto per la costruzione di un fabbricato  
di civile abitazione in Via Fogazzaro*

## RELAZIONE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E GEOTECNICA

(D.M. 14.01.2008)



dr.ssa geol. NICOLETTA TOFFALETTI  
*Nicoletta Toffaletti*

COMMITTENTE: SIGNORA PIPPA DANIELA

DATA: 12 ottobre 2009

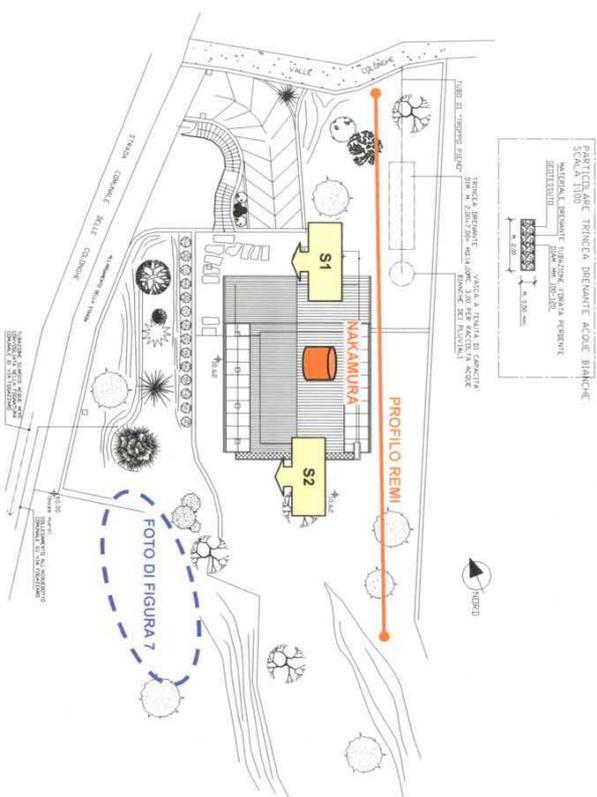
La legge sui diritti d'autore (22/04/41 n° 633) e quella statutaria dell'Ordine Professionale dei Geologi (03/02/63 n° 112) vietano la riproduzione ed utilizzazione anche parziale di questo documento, senza la preventiva autorizzazione degli autori.

✉ 37042 Caldiero (VR) - via G. Marconi 21 ☎/📠 045 6152173 📠 339 5773948 @ geonio@jumpy.it

### 3.2 Prove in sito

La scelta della metodologia e del programma di indagini è stata basata sulla natura litologica del terreno ipotizzata in funzione delle informazioni a disposizione e delle osservazioni geomorfologiche di superficie, che hanno evidenziato la presenza di un terreno a potenziale eteropia laterale e verticale rappresentato dalla presenza di formazioni sedimentarie marine e depositi continentali quaternari. Presso l'area di intervento è stata quindi effettuata una campagna di prove e misure in sito, rappresentate dall'esecuzione di un'indagine geognostica diretta, costituita da due sondaggi con escavatore meccanico denominati S1 e S2 della profondità massima di 4,40 m dal p.c. locale e di una indagine di sismica passiva, costituita dall'esecuzione di un profilo ReMi di 46 m di lunghezza orientato nord - sud e di un test di Nakamura effettuato al centro dello stendimento (cfr. Figura 4 e allegati).

**Figura 5 - Ubicazione delle prove in sito**  
(la base progettuale è estratta dal Progetto redatto dal geom. Mauro Cavallari)



Sondaggio				
<b>S1</b>				
Metodo di perforazione <b>MECCANICO CON ESCAVATORE</b>				
<b>DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA E STRATIGRAFIA</b>				
COMMITTENTE: Signora Daniela Pippa LAVORO: Indagine geologica e geotecnica LOCALITÀ: Via Fogazzaro, Comune di Torri del Benaco (VR) DATA: 9 ottobre 2009				
Profondità da p.c. (m)	Campioni	Descrizione litologica	Soggiacenza falda (m da p.c.)	
	0,00 - 1,60			
	1,60 - 4,00			A *
4,00 - 4,20				

\* campione medio da cumulo di scavo prelevato tra 0 e 4,20 m di profondità da p.c.

**NOTE:**

- Verticalità mantenuta a breve termine.
- Si sono verificate venute d'acqua.



Sondaggio				
<b>S2</b>				
Metodo di perforazione <b>MECCANICO CON ESCAVATORE</b>				
<b>DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA E STRATIGRAFIA</b>				
COMMITTENTE: Signora Daniela Pippa LAVORO: Indagine geologica e geotecnica LOCALITÀ: Via Fogazzaro, Comune di Torri del Benaco (VR) DATA: 9 ottobre 2009				
Profondità da p.c. (m)	Campioni	Descrizione litologica	Soggiacenza falda (m da p.c.)	
	0,00 - 1,00			
	1,00 - 4,20			
4,20 - 4,40				

**NOTE:**

- Verticalità mantenuta a breve termine.
- Si sono verificate venute d'acqua.



Lottizzazione a Torri del Benaco

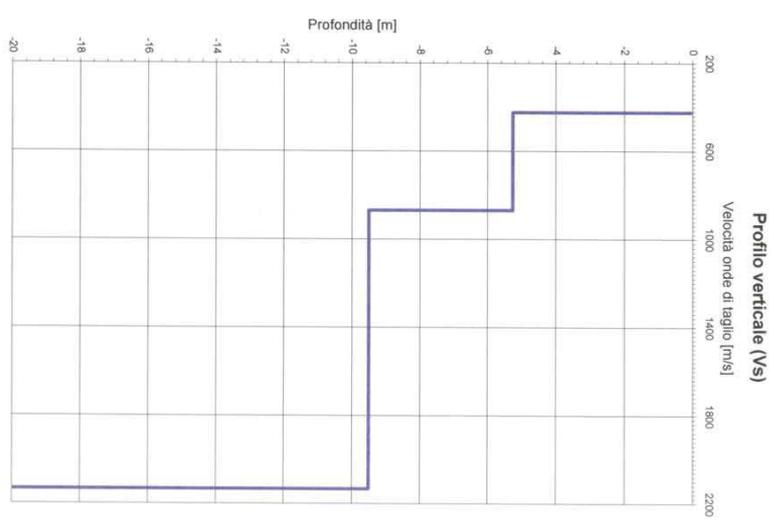
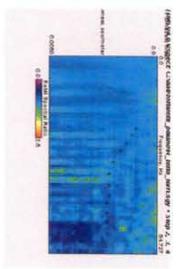
**Vs Refraction  
Microtremor**

Profondità piano di fondazione:  
Vsi:  
Categoria sottosuolo di  
fondazione

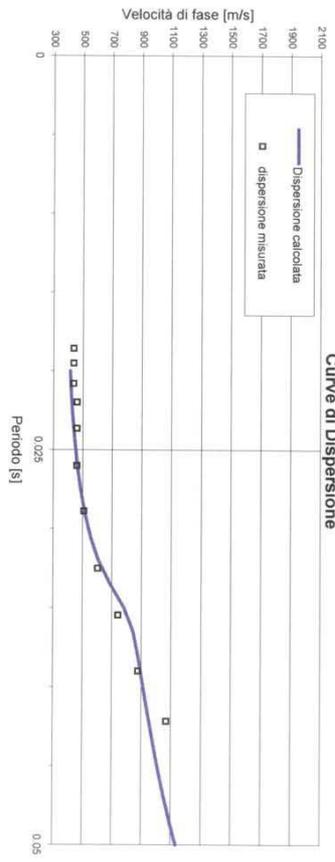
0m	425	B
2m	425	B
4m	425	A
6m	2095	A

i=5,2m

Spettro di potenza p-f



Curve di Dispersione



PC 55-2012

**Comune di TORRI DEL BENACO**

Provincia di Verona

**PERONI ANGIOLINA**  
Via San Felice  
**TORRI DEL BENACO**

PROGETTO PER LA COSTRUZIONE DI UN'AUTORIMESSA  
SEMINTERRATA IN LOCALITA' SAN FELICE, 11

**RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA**

D.M. 11.3.88

**RELAZIONE IDROGEOLOGICA**

Verona, luglio 2012

**dott. Paolo De Rossi**  
geologo  
Via Bombardi, 23  
37131 VERONA  
tel. 045-525148 cell. 340-4501373 fax 045-8401610  
e-mail: pdi@geolodgoderossi.com



scarsa importanza delle opere da erigere e il fatto che ciò è certamente fattibile è possibile rimandare a data successiva l'indagine geologica, ad esempio all'inizio lavori, quando sarà facile rilevare la situazione e approfondire ove necessario le rilevazioni.

### 3.2 – caratterizzazione geotecnica

La costruzione insisterà sulle rocce calcaree mesozoiche del complesso di San Vigilio, che affiorano nel sito e che proseguono per alcune decine di metri al di profondità.

Utilizzando il martello di Schmidt si è determinata la resistenza alla compressione della roccia che è risultata molto elevata.

Il rilievo delle condizioni della roccia ha permesso di definire il suo grado di fratturazione secondo il parametro RQD (Rock Quality Designation), determinato mediante la equazione proposta da Priest e Hudson (1976):

$$RQD = 100 e^{-0.1n} (0.1n + 1)$$

Con n = numero di giunti per metro.

Il numero massimo di giunti per metro, nelle zone più fratturate è al massimo di circa 3. A tali valori di n corrispondono valori RQD intorno a 96. La classificazione della roccia è stata effettuata con il metodo di Bieniawski nella versione del 1979.

### Classificazione di Bieniawski (1973 e successive modifiche).

La classificazione di Bieniawski tiene conto di 5 parametri relativi allo stato della roccia e dell'ammasso roccioso e di un indice di correzione il cui valore è funzione dell'orientamento delle discontinuità e del problema affrontato (gallerie, versanti e fondazioni).

$$RMR = (A1 + A2 + A3 + A4 + A5) - 1c;$$

I parametri sono:

A1 <Co> (Resistenza a compressione monoassiale);

A2 <RQD%> (Rock Quality Designation);

A3 <s> (Spaziatura delle discontinuità);

A4 Condizioni dei giunti

A5 Condizioni idrauliche dei giunti

Le Indici di correzione  
Ad ognuno di essi viene assegnato un indice parziale a seconda del valore (per <RQD%>, <Co> e <s>) o della condizione.  
Esistono diverse versioni di questa classificazione. Le più usate sono quelle del 1976, del 1979 e del 1989. Si è adottata quella del 1979.

1	parametri		Intervallo di valori							
	Resistenza roccia MPa	Indice point load test Kg/cm <sup>2</sup>	>100	40-100	20-40	10-20	Non applicabile			
2	Compressione monoassiale Kg/cm <sup>2</sup>	>2500	1000-2500	500-1000	250-500	50-250	10-50	<10		
		INDICE	15	12	7	4	2	1	0	
3	Spatziatura delle discontinuità m	90-100	75-90	50-75	25-50	5	<25	3		
		INDICE	20	17	13	8	5	<0,06	3	
4	Condizioni delle discontinuità	>2	0,6-2	0,6-0,2	0,06-0,2	32	15	10	8	5
		INDICE	32	15	10	8	5	Rimpimento tenore > 5 mm o giunti aperti > 5 mm. Giunti continui		
5	acqua	Superfici molto scabre non continue. Pareti roccia non alterata	Superfici scabre. Apertura < 1 mm pareti roccia leggermente alterata	Superfici scabre. Apertura < 1 mm Pareti roccia molto alterate	Superfici lisce o lamine O riempimento < 5 mm o apertura 1-5 mm. Giunti continui	30	25	20	10	0
		INDICE	30	25	20	10	0	>125		
5	Rapporto Press. Acqua nei giunti. Pressione naturale in sito	assente	<10	10-25	25-125	0	>0,5			
		INDICE	15	10	7	4	0			
	Condizioni generali	Asciutto	umido	bagnato	stifficcido	0	Ventate d'acqua			
		INDICE	15	10	7	4	0			

La somma dei 5 indici parziali fornisce il Basic RMR (BRMR). Il Basic RMR in condizioni di giunti asciutti (A5=15) può essere correlato anche in questo caso al parametro G.S.I.

(Geological Strength Index), grandezza collegata ai fattori **m**, **a** ed **s** dell'ammasso roccioso intero.

Infatti si ha:

$$GSI = BRMR - 5 \text{ (solo per BRMR} > 23)$$

Per la stima dell'indice di correzione  $I_c$  si deve fare riferimento, anche in questo caso, alla seguente tabella:

orientamento dei giunti		MOLTO FAVOREVOLE	FAVOREVOLE	DISCRETO	SFAVOREVOLE	MOLTO SFAVOREVOLE
GALLIERE E MINIERE	INDICE	0	-2	-5	-10	-12
FONDAZIONI		0	-2	-5	-15	-25
VERSANTI			-5	-7	-50	-60

Applicando alla BRMR la correzione  $I_c$  si ottiene l'indice RMR, correlato alla qualità dell'ammasso roccioso e alle sue caratteristiche meccaniche secondo la seguente tabella:

RMR	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
Classe	V	IV	III	II	I
Qualità*	Molto scadente	Scadente	Discreta	Buona	Ottima
Coesione ( $Kg/cm^2$ )	<1	1-2	2-3	3-4	>4
Angolo d'attrito	<15°	15°-25°	25°-35°	35°-45°	>45°

La classificazione di Bieniawski permette di stimare un indice RMR di circa 82 tipico di roccia ottima in classe I.

Per conseguire tale valore ci si avvale della tabella precedente assumendo per la roccia le seguenti caratteristiche:

resistenza alla compressione uniaassiale:		indice	12
RQD:	90-100 %	indice	20
Spaziatura giunti:		indice	15
Condizione dei giunti		indice	25
Afflussi d'acqua	assenti	indice	15
	INDICE BRMR RISULTANTE =		87

L'indice  $I_c$  in questo caso può essere assunto pari a -5.

Per tali condizioni Bieniawski prevede una coesione maggiore  $> 4 Kg/cm^2$  e un angolo di attrito maggiore  $> 45^\circ$ .

Dal parametro BRMR si possono calcolare i parametri di resistenza al taglio (angolo di attrito " $\Phi$ " e coesione " $c$ ") con le seguenti relazioni che risultano in accordo con la tabella precedente che riporta i valori di tali parametri in funzione dell'indice RMR:

$$\Phi = 5 + RMR/2 = 46^\circ$$

$$C = 5 RMR = 410 \text{ Kpa} = 4,1 \text{ Kg/cm}^2$$

Utilizzando tali dati si otterrebbero valori di capacità portante delle fondazioni di decine di chilogrammi per centimetro quadrato. La piscina da costruire è di peso contenuto e la capacità portante della roccia è molto elevata rispetto alle necessità di sicurezza.

Inoltre la costruzione pesa meno del terreno che deve essere rimosso per realizzarla e le condizioni di sollecitazione finali del sottosuolo e del pendio sono quindi migliorative.

### 3.3 – caratterizzazione sismica

La normativa sismica in Italia ha subito notevoli mutamenti ed evoluzioni soprattutto negli ultimi anni. Il territorio del comune di Torri del Benaco era classificato sismico. Successivamente la ORDINANZA DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI 20 MARZO 2003: *Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica* lo ha inserito in classe 2, con valore di ancoraggio dell'accelerazione sismica orizzontale di 0,25g. La successiva OPCM n. 3519 del 28 aprile 2006 ha modificato il valore di ancoraggio alla accelerazione sismica orizzontale, precedentemente indicato.

Nel gennaio 2008 è stato introdotto il D.M. 14 gennaio 2008 "*Nuove norme tecniche per le costruzioni*" che ha nuovamente ridefinito la situazione sismica del territorio italiano su basi

Regione **VENETO**  
Provincia **VERONA**  
Comune **TORRI DEL BENACO**



## Relazione Geologica-Geotecnica ed Idrogeologica integrata da indagini Sismiche e Geotecniche

Normativa di riferimento:

- \* Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici 11 marzo 1988 - Circolare Ministero Lavori Pubblici n. 30463, 24 settembre 1988;
- \* Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 e successiva Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 aprile 2006;
- \* Decreto ministeriale D.M. del 14 gennaio 2008 pubblicato su G.U. del 04 02 2008 - "Norme Tecniche per le costruzioni";
- \* Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti 2 febbraio 2009 - Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008 pubblicato su G.U. del 26 02 2009 - suppl. Ordinario n.27;
- \* Regio decreto-legge 30 dicembre 1923 n. 3267 (G.U. 17 maggio 1924 n.117);
- \* Regio Decreto n. 1126 del 16 maggio 1926;
- \* Legge Regionale L. R. n. 52 del 13 settembre 1978;

# Progetto III Variante al P.C. n. 46/10, per l'ampliamento di un fabbricato adibito a civile abitazione con ascensore in Località San Faustino

Committente: **IMEDLAGO s.r.l.**

Il Professionista: **Dott. Geol. Lino Munari**

Luogo e data: **Affi, 17 04 2012**



Tel 045.6260901 - Fax 045.6264111  
e-mail: studiomunari@geologo.com  
P.I./ C.F. 03763210238

### 3 CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA.

#### 3.1 STRATIGRAFIE PROVE PENETROMETRICHE.

Di seguito vengono riportati i parametri geotecnici, conseguenti l'interpretazione delle **cinque prove penetrometriche**, realizzate all'interno del settore di intervento, con il **metodo dei valori caratteristici della media** (C.M. 02 02 2009).

#### Stratigrafia dedotta da prova penetrometrica n°1.

Profondità stratigrafica (m)	DESCRIZIONE	V <sub>50</sub> (m/s)	Indice di penetrazione (MPa)	Penetrometro (mm)	Costante di rigidezza (kN/m <sup>3</sup> )	Angolo di attrito (°)
0,00 - 0,20	Uno strato sottile	75	1,7	34	nc	22
0,20 - 1,10	Uno strato compatto	124	1,78	67	nc	29
1,10 - 1,80	Grav. fessurata indurita	183	2,05	85	nc	45
1,80 - 2,14	Materiali sciolti	214	2,1	85	nc	45

**Stratigrafia dedotta da prova penetrometrica n°2.**

 <b>studio munari</b> geologi&associati		Via Crivellini 9/N - 37010 Affi (VR) info@studio-munari.com		Sig.re Giacomo Mari e Carla Località: S. Faustino - Torri del Benaco - VR Scala 1:100 Attrezzatura: pen din pesante PAGANI		Data: 04/05/2004 Sig.ra Pio Brighenti - San Faustino Prova n.2 Quota della falda dal p.c.(m): n.d.	
Profondità (m)	Codice stratigrafica	DESCRIZIONE	Va (mm)	Pressione (kg/cm²)	Durezza (N/mm²)	Consistenza (g/cm³)	Angolo di attrito (°)
0,30 - 0,35		limo sabbia	68	1,72	50	nc	24
0,35 - 0,40		limo sabbia	100	1,8	70	nc	30
0,40 - 0,45		limo sabbia compatta con ghiaia	136	1,85	75	nc	36
0,45 - 0,50		ghiaia media sabbia compatta	189	2,1	85	nc	45
0,50 - 0,55		Sabbia grossolana					

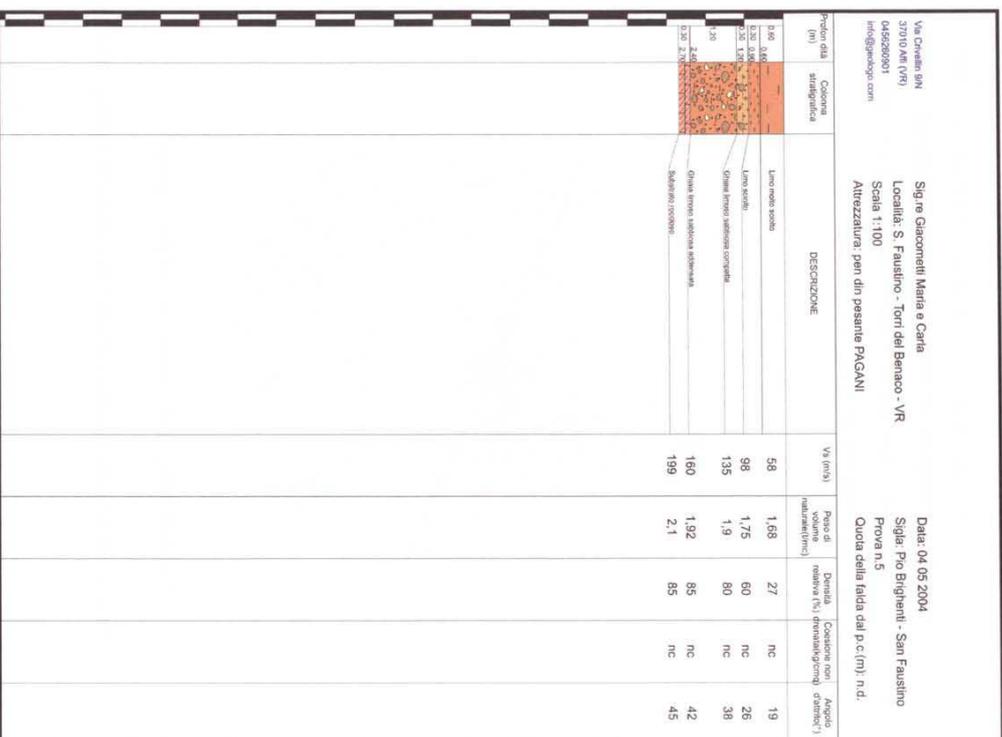
**Stratigrafia dedotta da prova penetrometrica n°3.**

 <b>studio munari</b> geologi&associati		Via Crivellini 9/N - 37010 Affi (VR) info@studio-munari.com		Sig.re Giacomo Mari e Carla Località: S. Faustino - Torri del Benaco - VR Scala 1:100 Attrezzatura: pen din pesante PAGANI		Data: 04/05/2004 Sig.ra Pio Brighenti - San Faustino Prova n.3 Quota della falda dal p.c.(m): n.d.	
Profondità (m)	Codice stratigrafica	DESCRIZIONE	Va (mm)	Pressione (kg/cm²)	Durezza (N/mm²)	Consistenza (g/cm³)	Angolo di attrito (°)
0,30 - 0,35		limo sabbia	70	1,73	55	nc	25
0,35 - 0,40		limo sabbia compatta	102	1,78	66	nc	27
0,40 - 0,45		ghiaia media sabbia compatta	141	1,82	72	nc	32
0,45 - 0,50		Sabbia grossolana	207	2,1	85	nc	45

**Stratigrafia dedotta da prova penetrometrica n°4.**



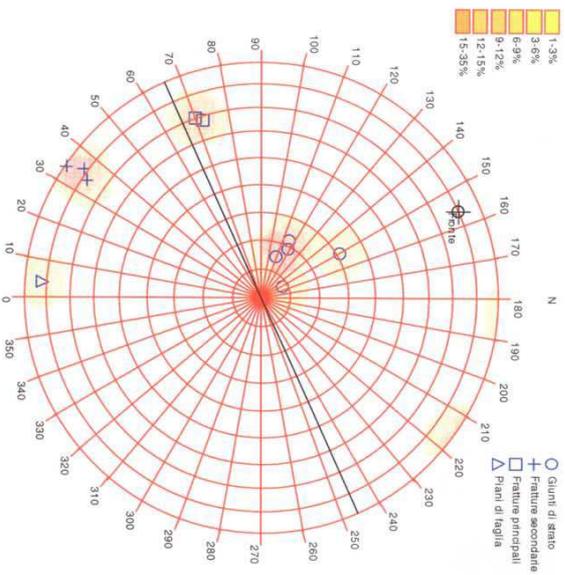
**Stratigrafia dedotta da prova penetrometrica n°5.**



### 3.2 PARAMETRIZZAZIONE AMMASSO ROCCIOSO.

#### ORIENTAMENTO NELLO SPAZIO DEI GIUNTI

Sono state identificate, attraverso un'analisi statistica dei dati rilevati in campagna, **tre famiglie principali di discontinuità meccanica** corrispondenti ai giunti di strato, famiglia St, e a due set di fratture, famiglia K1 e famiglia K2, oltre a una serie di faglie ad orientamento variabile (F).



Giactura delle discontinuità meccaniche rilevate.

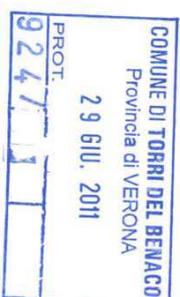
Per ogni famiglia individuata è stato calcolato la giactura media, riassunte nella tabella seguente.

FAMIGLIA	IMMERSIONE MEDIA	INCLINAZIONE MADIA
Giunti di strato St	121	18
Fratture K1	71	70
Fratture K2	35	83
Faglie F	4	83

Pr. 119-2011

## Comune di TORRI DEL BENACO

Provincia di Verona



**Dott. DE CARLI ALESSANDRO**

PIANO CASA

Progetto di ampliamento di edificio per abitazione sito in località Pezzeri

### RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

D.M. 14.1.2008

Verona, aprile 2011

dott. Paolo De Rossi

geologo  
via Bombaridi, 23  
37131 VERONA  
tel. 045-525148 fax 045-8401610 cell. 340-4501373  
e-mail: pdr@geologoderossi.com



P.E. 278-2012

AS

studio munari  
geologi&associati  
Via Crivellini 9/N-37010 Affi (VR)

COMUNE DI TORRE DEL BENACO  
Provincia di VERONA  
18 DIC. 2012  
PROT. 17531

Regione VENETO  
Provincia VERONA  
Comune TORRE DEL BENACO

### Idrogeologica, Geologica, Sismica e Geotecnica integrata da indagini geostatiche e sismiche in sito

#### Relazione

Normativa di riferimento:

- \* Regio decreto-legge 30-12-1923 n. 3267 (G.U. 17 maggio 1924 n.117);
- \* Regio Decreto n. 1126 del 16-05- 1926;
- \* L. R. n.52 del 13-09-1978;
- \* Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici 11 marzo 1988 - Circolare Ministero Lavori Pubblici n.30483, 24 settembre 1988;
- \* Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 e successiva Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 aprile 2006;
- \* Decreto ministeriale D.M. del 14 gennaio 2008 pubblicato su G.U. del 04 02 2008- "Norme Tecniche per le costruzioni";
- \* Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti 2 febbraio 2009 - Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008 pubblicato su G.U. del 26 02 2009 - suppl. Ordinario n.27;
- \* Regio decreto-legge 30 dicembre 1923 n. 3267 (G.U. 17 maggio 1924 n.117);
- \* Regio Decreto n. 1126 del 16 maggio 1926;
- \* Legge Regionale L. R. n.52 del 13 settembre 1978;

**Progetto:**  
di Variante al p.d.c. n.45/2010 per la realizzazione  
di tre fabbricati con ampliamento ai sensi della L.R.V. 14/09.

**Committente:** ARTEMIDE s.n.c.

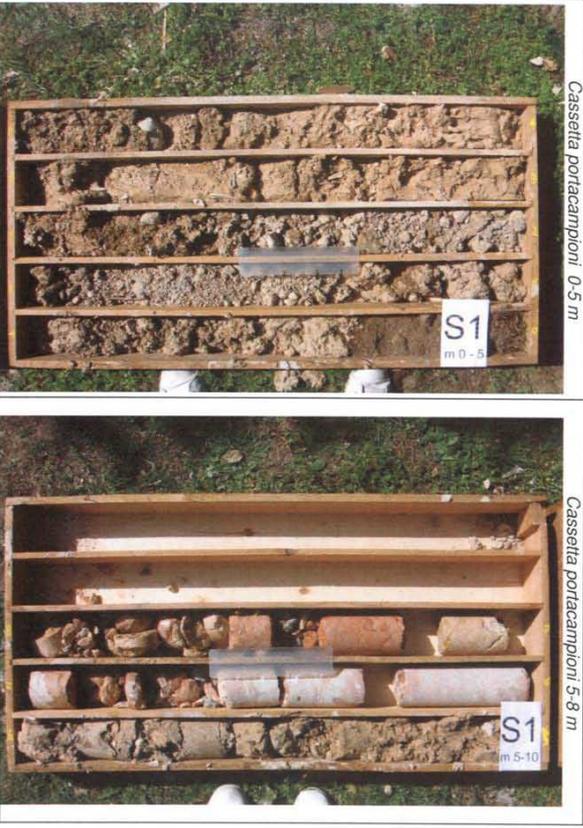
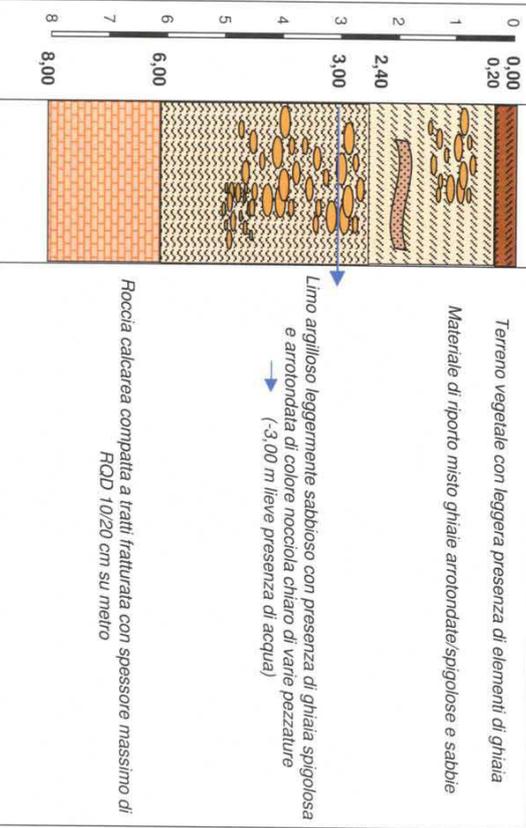
**Il Professionista:** Dott. Geol. Lino Munari

Dr. Geol.  
LINO  
MUNARI  
N° 387  
ORDINE DEI GEOLOGI  
REGIONE DEL VENETO

**Luogo e data:** Affi, 14 03 2011

Tel 045.6260901 - Fax 045.6264111  
e-mail: studiomunari@geologo.com  
P.I./ C.F. 03763210238

**Sondaggio S1** Sig. De Carl Alessandro – Via per Albisano – Torri del Benaco (VI)  
Data inizio / fine lavori: 11.04.11 Quota inizio (q.i.): terreno retrostante l'edificio residenziale



## 2.2 DATI STRATIGRAFICI.

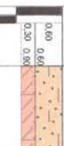
### Stratigrafia dedotta da prova penetrometrica n°1.

Profondità (m)	Colonna stratigrafica	DESCRIZIONE	Vs (m/s)	Peso di volume naturale (t/m <sup>3</sup> )	Densità relativa (%)	Coesione non drenata (kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo d'attrito (°)
0,80	[Pattern]	Limone sciolto	75	1,81	49	nc	22
0,98							
2,40	[Pattern]	Limone sabbioso compatto	138	1,98	80	nc	31
3,30							
1,50	[Pattern]	Limone sabbioso sciolto	131	1,85	40	nc	24
4,60							
5,20 - 8,10	[Pattern]	Sabbiazzo ocioso (inquinato)	227	2,05	85	nc	45

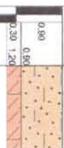
### Stratigrafia dedotta da prova penetrometrica n°2.

Profondità (m)	Colonna stratigrafica	DESCRIZIONE	Vs (m/s)	Peso di volume naturale (t/m <sup>3</sup> )	Densità relativa (%)	Coesione non drenata (kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo d'attrito (°)
0,30 - 0,38	[Pattern]	Limone sciolto	60	1,78	64	nc	22
1,80							
2,10	[Pattern]	Gravello limoso sabbioso compatto	128	2,00	85	nc	33
2,40							
0,30 - 2,40	[Pattern]	Limone sabbioso sciolto	125	1,90	56	nc	27
0,30 - 2,70							
1,99	[Pattern]	Sabbiazzo ocioso / friabile	199	2,04	85	nc	45

**Stratigrafia dedotta da prova penetrometrica n°3.**

Profondità (m)	Colonna stratigrafica	DESCRIZIONE	Vs (m/s)	Peso di volume (natural) (kN/m³)	Densità relativa (%)	Coesione non drenata (kPa) (c <sub>u</sub> )	Angolo d'attrito (°)
0,00 - 0,60		Limo sabbioso sciolto	80	1,99	82	nc	25
0,30 - 0,90		Siltarenio ecceso, frantumato	156	2,04	85	nc	45

**Stratigrafia dedotta da prova penetrometrica n°4.**

Profondità (m)	Colonna stratigrafica	DESCRIZIONE	Vs (m/s)	Peso di volume (natural) (kN/m³)	Densità relativa (%)	Coesione non drenata (kPa) (c <sub>u</sub> )	Angolo d'attrito (°)
0,00 - 0,60		Limo sabbioso sciolto	82	1,95	63	nc	24
0,30 - 1,20		Siltarenio ecceso, frantumato	166	2,04	85	nc	45

**Stratigrafia dedotta da prova penetrometrica n° 5.**

Profondità stratigrafica (m)	DESCRIZIONE	Vs (m/s)	Peso di Volume (kN/m <sup>3</sup> )	Densità relativa (%)	Coazione non consolidata (g/cm <sup>3</sup> )	Angolo d'attrito (°)
0,00 - 3,00	Limoo sabbioso sciolto	113	1,79	59	nc	26
3,00 - 4,50	Chinai limoso sabbiosa compatta	167	2,00	85	nc	35
4,50 - 6,30	Limoo sabbioso compatto	154	1,9	51	nc	28
6,30 - 8,50	Sabbietto roccioso frantumato	239	2,16	85	nc	45

**RISULTATI DELL'ANALISI.**

Riferimenti:

Denominazione:	Tr-1
Località:	Torri del Benaco
Coordinate geografiche:	45,610°N - 10,688°E
Data:	23 Febbraio 2011

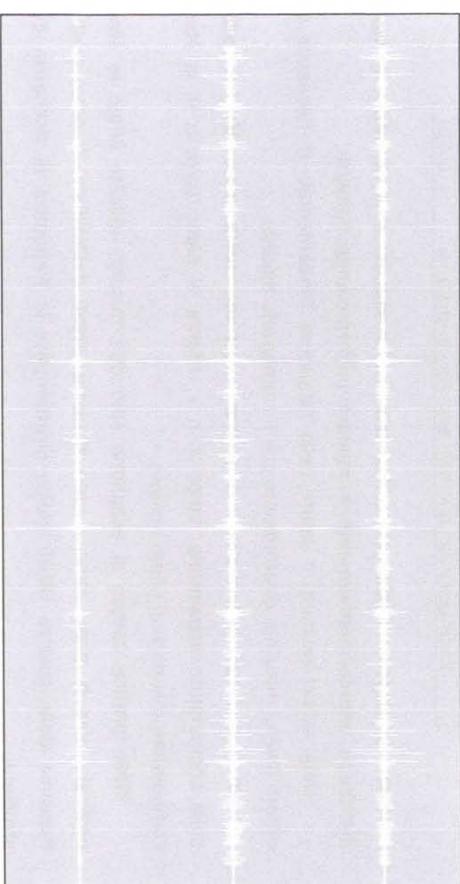
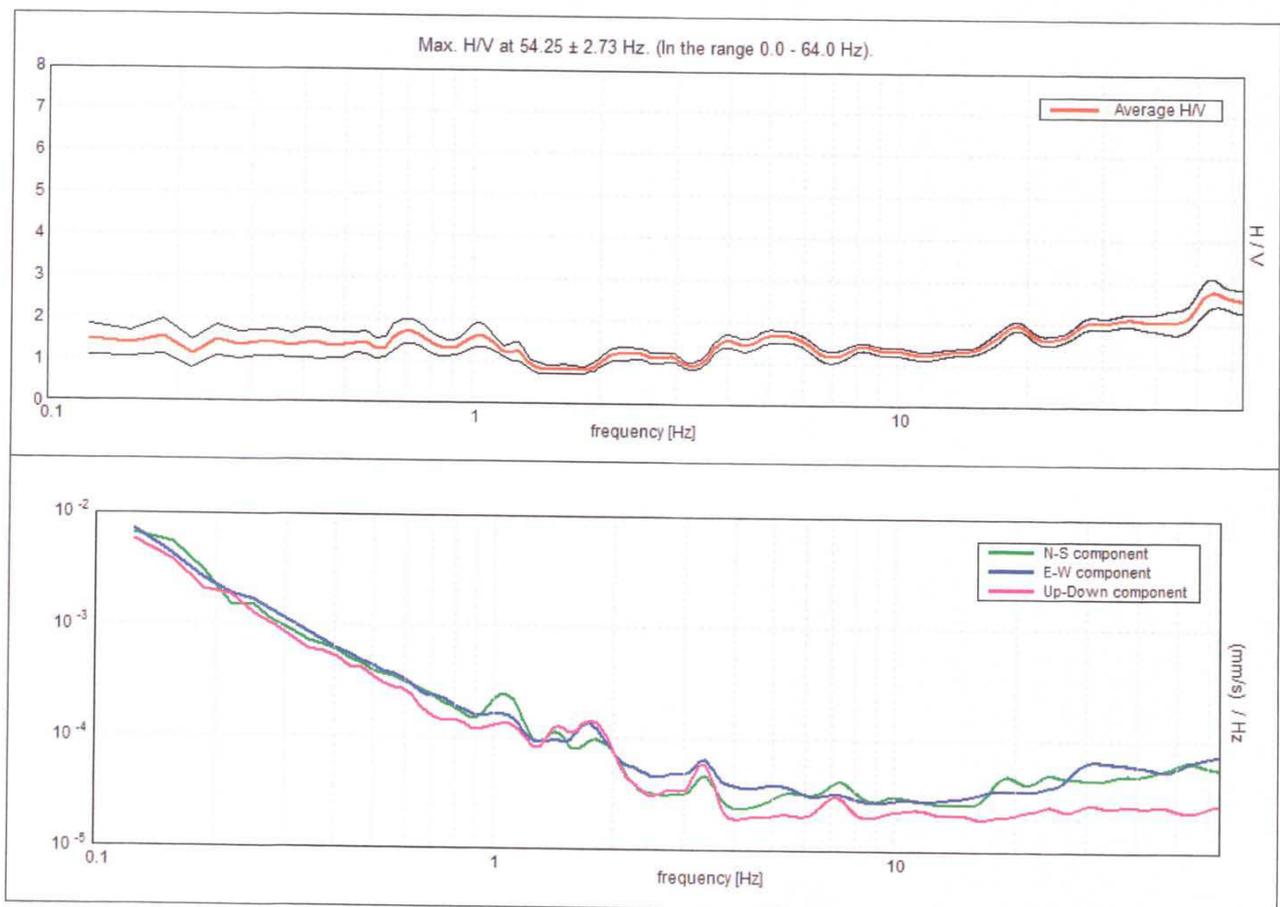


Fig. n.1 Micrometri lungo le componenti Nord-Sud, Est-Ovest, Alto -Basso.

Durata della registrazione: 4 minuti

**Si riportano di seguito gli spettri H/V e V registrati nel sito di misura.**



27

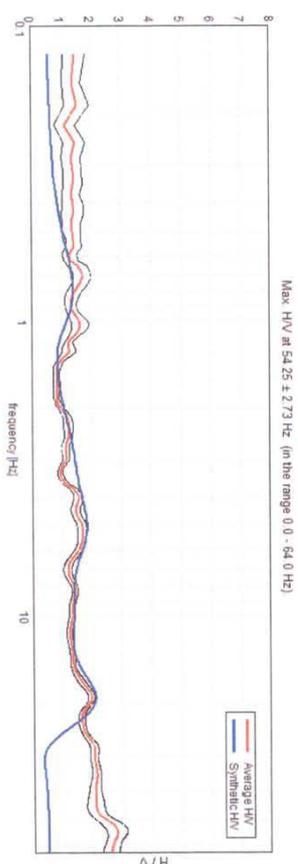
Nello spettro H/V sono stati individuati i picchi positivi che corrispondono ad altrettanti minimi locali nello spettro V (Up-Down component in legenda), fatto questo che consente di riconoscere le frequenze associate ai picchi H/V come frequenze di risonanza del terreno.

L'indice di vulnerabilità del sito (Kg) viene calcolato facendo riferimento ai soli picchi stratigrafici dello spettro H/V posti a frequenze inferiori o prossime a 10 Hz, in quanto quelli presenti a frequenze superiori non sono significativi dal punto di vista della vulnerabilità sismica.

Nel caso in esame i massimi H/V stratigrafici individuati hanno fornito valori di Kg prossimi o inferiori a 2.5. Il sito può essere perciò classificato come a bassa vulnerabilità sismica.

Frequenza (Hz)	Ampiezza	Kg
0.88	1.45	2.42
2.56	1.62	1.03
8.25	1.71	0.35

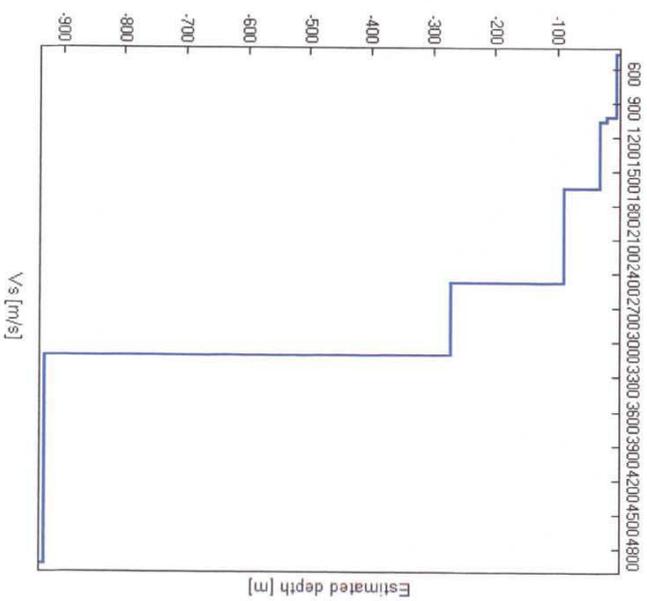
La curva H/V sintetica è stata modellata in modo da sovrapporsi ai picchi stratigrafici misurati.



28

L'inversione ha consentito di ricavare il profilo delle velocità delle onde S in funzione della profondità. Si è ricavato il seguente profilo di velocità:

Profondità(m)	Vs (m/s)	Inversioni di velocità
0,00-6,6	480	-
6,6-21,7	1040	-
21,7-33,4	1075	-
33,4-91,0	1663	-
91-272	2480	-
272-931	3120	-
Oltre 931	4950	



Il valore di Vs30 calcolato dal p.c. è risultato uguale a 834 m/s, che pone il sito nella **categoria di sottosuolo A** secondo il D.M. 14.01.2008.

Per quanto riguarda la vulnerabilità sismica dell'opera in progetto, la frequenza di risonanza fondamentale è stata stimata con la relazione del d.m.14.01.2008 in funzione dell'altezza complessiva dell'edificio rispetto al piano di posa delle fondazioni (Z).

Sulla base delle frequenze dei picchi stratigrafici H/V individuati di si è stimata l'altezza dell'opera rispetto alla quale si può verificare il rischio della doppia risonanza terreno-edificio. Sono stati esclusi dal calcolo i picchi H/V posti a frequenze superiori ai 10 Hz che corrispondono a edifici di altezza minore di 2,5-3,0 metri.

Frequenza picchi H/V(Hz)	Z (m) con C1=0,050	Z (m) con C1=0,075	Z (m) con C1=0,085
0.88	64.8	37.74	31.94
2.56	15.47	9.01	7.63
8.25	3.26	1.90	1.60

P.E. Mo-2011

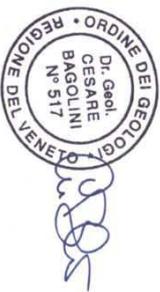
18  
44

**REGIONE VENETO**  
**PROVINCIA DI VERONA**  
**COMUNE DI TORRI DEL BENACO**

<b>COMITENTE:</b>	FORDINI GIUSEPPE
<b>PROGETTISTA</b>	ARCH. BRUNO CAVICCHIOLI
<b>PROGETTO:</b>	PROGETTO PER L'AMPLIAMENTO DI UN FABBRICATO DI CIVILE ABITAZIONE SITO IN LOCALITÀ VOLPARA
<b>ELABORATO:</b>	<b>RELAZIONE GEOLOGICA E IDROGEOLOGICA</b> <b>RELAZIONE SISMICA</b> <b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>
	AI SENSI DI: NTC 2008 - D.L. 152/2006 - R. D. L. n° 3267 DEL 30.12.1923

Castelnuovo del Garda, agosto 2010

Dott. Cesare Bagolini



Ampliamento di un Fabbricato Civile – Comune di Torri del Benaco (VR)

Data 02/08/2010

Studio del dr. Cesare Bagolini - Via Valcerera, 3 - 37014 Castelnuovo d. G. (VR)

Tel. e Fax: 045/7575256 - Email: bagolinicesare@tiscali.it

**6. INDAGINI IN SITO**

Considerato il tipo di intervento, e tenuto conto delle specifiche peculiarità dell'opera di progetto, la caratterizzazione del comportamento meccanico e sismico del sottosuolo è stata determinata attraverso l'esecuzione delle seguenti indagini:

- *Trincee Geognostiche;*
- *Indagini Sismiche.*

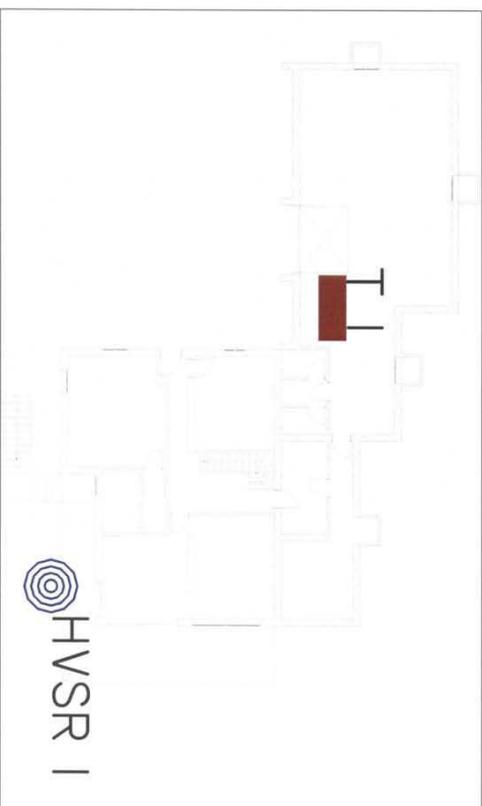


FIGURA 6.1. Ubicazioni delle Indagini - TI Trincea Geognostica: HVSRI 1 Misura di Sismica Passiva con Tromografo Digitale.

Nei punti seguenti si descrivono le metodologie adottate e i risultati ottenuti.

**6.1. TRINCEE GEOGNOSTICHE**

Nella fase preliminare di indagine è stata effettuata 1 trincea esplorativa, per mezzo di escavatore meccanico. L'analisi visiva delle pareti di scavo e dei terreni prelevati per mezzo di un escavatore meccanico hanno consentito di rilevare direttamente la successione litologica del primo sottosuolo di seguito descritta.

TABELLA 6.1.1: Stratigrafia del primo sottosuolo, trincea T.1.

Profondità (m)	Descrizione Litologica
0,00 ÷ 0,30	Terreno vegetale limoso argilloso.
0,30 ÷ 2,00	Limoso argilloso sabbioso con ghiaia e rari ciottoli

Ampliamento di un Fabbricato Civile – Comune di Torri del Benaco (VR)

Data 02/08/2010

Studio del dr. Cesare Bagolini - via Valcerera, 3 - 37014 Castelnuovo d. G. (VR)

Tel. e Fax: 045/7575256 - Email: bagolinicesare@tiscali.it

## 7. INTERPRETAZIONE DELLE MISURE ESEGUITE

Instrument: TEP-0048/01-09  
 Start recording: 28/06/10 18:25:45 End recording: 28/06/10 18:41:46  
 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN  
 GPS data not available

Trace length: 0h16'00" Analysis performed on the entire trace.  
 Sampling frequency: 128 Hz  
 Window size: 20 s  
 Smoothing window: Triangular window  
 Smoothing: 10%

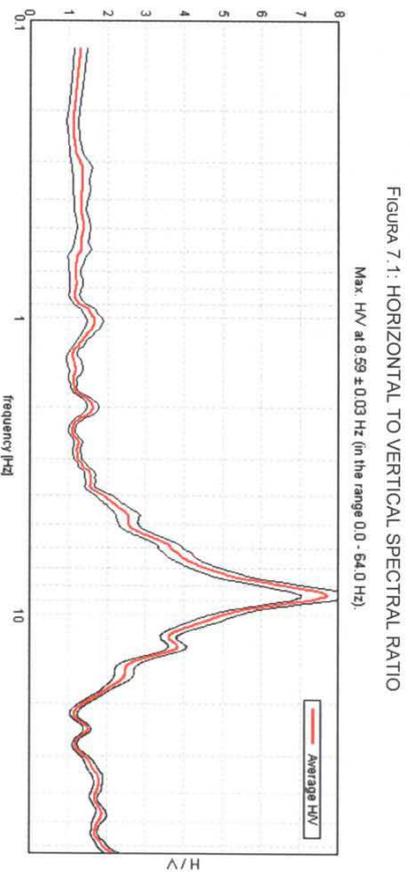


FIGURA 7.1.: HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO  
 Max. HV/ at 8.59 ± 0.03 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz)

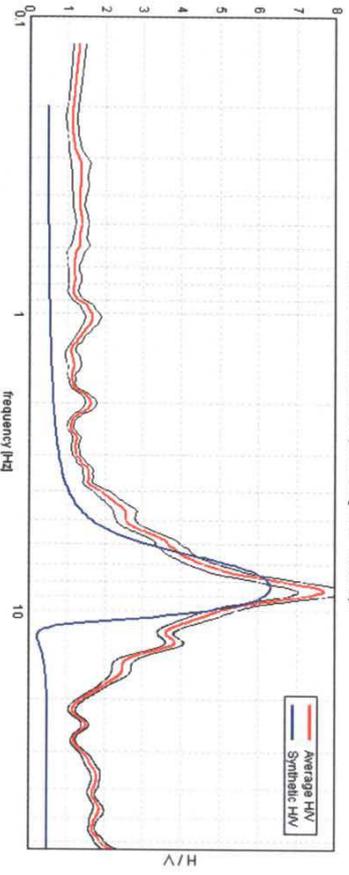
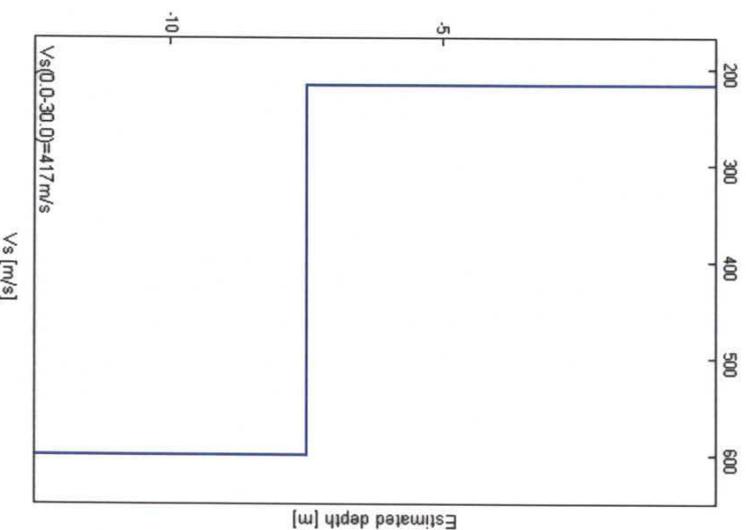


FIGURA 7.2.: EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC HV  
 Max. HV/ at 8.59 ± 0.03 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz)

### 7.1. PROFILO SISMOSTRATIGRAFICO

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
7.50	7.50	218	0.35
Inf.	Inf.	600	0.35

FIGURA 7.1.1.:  $V_s(0.0-30.0) = 417 \pm 83$  m/s  
 $334$  m/s <  $V_s(0.0-30.0)$  < 500 m/s



## 7.2. VERIFICA DEI RISULTATI

According to the Sesame, 2005 guidelines, Please read carefully the *griglia* manual before interpreting the following tables.]

**Max. HV at 8.59 ± 0.03 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteria for a reliable HVSR curve**  
[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	8.59 > 0.50	OK
$n_s(f_0) > 200$	8250.0 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$ Hz	Exceeded 0 out of 414 times	OK
$\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$ Hz		

**Criteria for a clear HVSR peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^*$ in $[f_0/4, f_0]   A_{HV}(f^*) < A_0 / 2$	6.25 Hz	OK
Exists $f^*$ in $[f_0, 4f_0]   A_{HV}(f^*) < A_0 / 2$	11.344 Hz	OK
$A_0 > 2$	7.72 > 2	OK
$f_{peak} [A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0.00178  < 0.05	OK
$\sigma_r < \epsilon(f_0)$	0.01534 < 0.42969	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.3431 < 1.58	OK

$L_w$	window length
$N_w$	number of windows used in the analysis
$n_0 = L_w N_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_r$	standard deviation of H/V peak frequency
$\epsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_r < \epsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{HV}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^*$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{HV}(f^*) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{HV}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{HV}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{HV}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{logHV}(f)$	standard deviation of $\log A_{HV}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for $\sigma_r$ and $\sigma_A(f_0)$					
Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\epsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{logHV}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Data 02/08/2010

Ampliamento di un fabbricato civile - Comune di Torri del Benaco (VR)  
Studio del dr. Cesare Bagolini - via Valceera, 3 - 37014 Castelnuovo d. G. (VR)  
Tel. e Fax: 045/7575256 - Email: bagolinicesare @ tiscali.it

## 7.3. SINTESI CONCLUSIVA

L'analisi del profilo sismostratigrafico riportato in Figura 7.1.1 evidenzia la presenza di un riflettore molto netto a circa 7 metri di profondità dal piano campagna. Considerata la struttura geologica locale, questo orizzonte si può considerare corrispondente al substrato roccioso.

A partire dal piano campagna, è possibile ipotizzare il seguente *Profilo Sismostratigrafico*, caratteristico dell'area indagata:

- Una coltre superficiale, mediamente addensata, con spessore pari a circa 7.5 metri, costituita da alluvioni incoerenti ( $V_s = 218$  m/s);
- Ad una profondità di circa 7.50 m dal piano campagna è stato quindi rilevato un riflettore più marcato, corrispondente al substrato roccioso, caratterizzato da una velocità di propagazione delle onde sismiche pari a 600 m/s.

## 7.4. FREQUENZE CARATTERISTICHE

L'analisi dello spettro H/V della Figura 7.1 ha dato modo di rilevare che il sottosuolo dell'area indagata presenta le **Frequenze Caratteristiche** riportate nella tabella seguente

TABELLA 8.4.1: *Frequenze Caratteristiche del sottosuolo nell'area indagata.*

Prova	Frequenza
HVSR 01	8.59 ± 0.03 Hz

Data 02/08/2010

Ampliamento di un fabbricato civile - Comune di Torri del Benaco (VR)  
Studio del dr. Cesare Bagolini - via Valceera, 3 - 37014 Castelnuovo d. G. (VR)  
Tel. e Fax: 045/7575256 - Email: bagolinicesare @ tiscali.it

**8. CLASSE DI TERRENO**

I risultati ottenuti attraverso le indagini sismiche hanno permesso di determinare il valore di  $V_{s20}$  (velocità equivalente delle onde sismiche di taglio dei primi 30 m di sottosuolo, a partire dal piano di posa delle fondazioni), che è risultata pari a  $417 \pm 83$  m/s.

Il profilo sismostratigrafico evidenzia la presenza di materiali a velocità di propagazione relativamente contenute fino alla profondità di circa 7,50 m dal piano campagna, dove è stata rilevata la presenza di un riflettore molto marcato, con velocità di propagazione nettamente superiori. Considerato il contesto geologico locale, tale livello è assimilabile con buona approssimazione al substrato roccioso. Il valore medio della velocità di propagazione delle onde di taglio dei terreni, costituiti da materiali incoerenti, posti al di sopra del materiale più rigido è risultato come segue

$$V_{s20} = 218 \pm 44 \text{ m/s}$$

$$174 \text{ m/s} \leq V_{s20} \leq 262 \text{ m/s}$$

Il raffronto tra questi valori misurati, il profilo sismostratigrafico rilevato e quanto riportato in Tabella 7.2.2 riportata nella relazione geologica, dà modo di stabilire che il suolo di fondazione nell'area indagata presenta le caratteristiche della Categoria E.

PE. 183/2012

15-16

Regione del Veneto

Provincia di Verona

**COMUNE DI TORRI DEL BENACO**

8 MAR 2013

Indagine geognostica riguardante l'ampliamento di un'unità immobiliare da adibire a civile abitazione, ai sensi della L.R. n. 13/11, in località Prandine



Relazione geologica e geotecnica

Relazione idrogeologica

Redatto da: **INGENIO S.r.l.**

Dot. Ing. Paolo Crescini



Dot. Geol. Andrea Sterchele



**INGENIO S.r.l.**

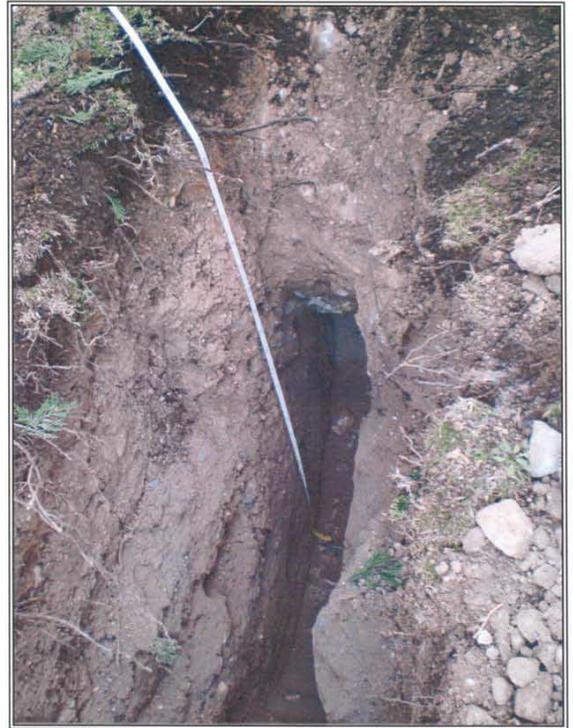
Via Leone Pancaldo, 70 - 37138 VERONA (Tel. e Fax 045 8104077)

web: [www.ingeniosrl.it](http://www.ingeniosrl.it) e-mail: [ingenio@ingeniosrl.it](mailto:ingenio@ingeniosrl.it)

Dritto di proprietà, diffusione e riproduzione riservati in conformità alle leggi vigenti

**COMMITTENTE:** Sig.ri Vassanelli e Segattini  
**LOCALITA':** Loc. Prandine - Comune di Torri del Benaco  
**OGGETTO:** Indagine per ampliamento edificio  
**DATA:** 20.12.2012

TRINCEA ESPLORATIVA			T 1	
QUOTE RIF. PROGETTO (m)	QUOTE REL. SCAVO (m)	SPESSORI (m)	DESCRIZIONE LITOLOGICA	PRESENZA ACQUA
0,00	0,00	0,00	PIANO CAMPAGNA Terreno vegetale	
		1,40	Terreno di riporto incoerente costituito da ghiaie e sabbie con frammenti di laterizi in frazione limo-argillosa abbondante	
-1,40	-1,40	1,00	Deposito morenico rappresentato da ghiaie (diametro 0,50-4,00 cm) e ciottoli poligenici La frazione fine è prevalentemente limosa, ed è presente in misura significativa Il deposito morenico appare discretamente addensato con elementi mediamente arrotondati	
-2,40	-2,40	0,10	Substrato roccioso (Gruppo di S.Vigilio)	
-2,50	-2,50		FONDO SCAVO	



P.E. 347-2012

15/16

## Comune di TORRI DEL BENACO

Provincia di Verona  
 Comune di TORRI DEL BENACO

12 AGO 2013  
 Provincia di VERONA



**LANZ LOTHAR e BUERKLE SUSANNE**

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN FABBRICATO DI  
 CIVILE ABITAZIONE DI TIPO UNIFAMILIARE DA ERIGERSI IN  
 VIA BELLINI

## RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

D.M. 14.1.2008

Verona, febbraio 2013

dot. Paolo De Rossi

geologo

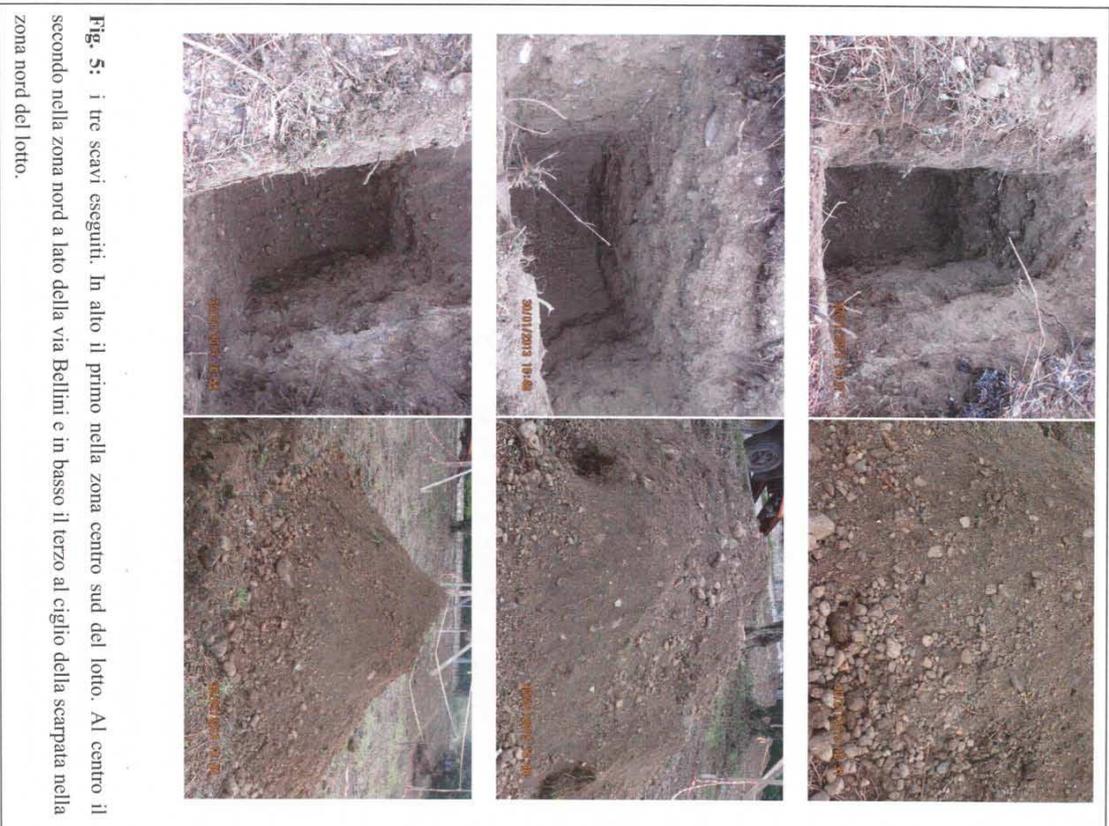
Via Bombardi, 23

37131 VERONA

tel: 045-525148 fax 045-8401610 cell 340-4501373

e-mail: pdr@geologoderossi.com





**Fig. 5:** i tre scavi eseguiti. In alto il primo nella zona centro sud del lotto. Al centro il secondo nella zona nord a lato della via Bellini e in basso il terzo al ciglio della scarpata nella zona nord del lotto.

### 3.2 – caratterizzazione geotecnica

Il materiale di riporto che si trova nel sottosuolo almeno fino a 3 metri di profondità è costituito quasi esclusivamente da ciottoli arrotondati con sabbia in abbondante matrice fine. Si tratta di un terreno che dal punto di vista granulometrico è di buone caratteristiche ma che è penalizzato dal fatto che presenta un basso grado di addensamento. Esso è infatti stato scaricato dall'alto senza alcuna forma di compattazione e si è solo assestato naturalmente per quanto possibile.

il suo comportamento è misto con una maggiore componente granulare e una minoritaria componente coesiva.

I parametri geotecnici salienti sono i seguenti:

angolo di attrito	33°
peso di volume	1950 Kg/m <sup>3</sup>
coesione non drenata	0,1 Kg/cm <sup>2</sup>
Densità relativa	< 50%

Di per sé non sarebbe un cattivo terreno di fondazione se però fosse ben addensato. Nelle condizioni in cui si trova va considerato un cattivo terreno di fondazione. Per renderlo adatto all'appoggio della costruzione si può procedere in vari modi:

- 1 - rimozione e ricollocazione in sito a strati da compattare fino ad ottenere un modulo di deformazione ai sensi della norma SNV 670317 (comunemente detta Norma Svizzera) di almeno 400 Kg/cm<sup>2</sup> al primo ciclo di carico e nell'intervallo tra 1,5 e 2,5 Kg/cm<sup>2</sup> (da misurarsi strato per strato a partire dal terreno autoctono di appoggio);
- 2 - realizzazione di una platea rigida di fondazione ancorata alla palificata previste per il contenimento della strada a monte e ad altri pali all'estremità di valle e in posizioni centrali della platea;

P.E. 101/2011

Regione Veneto

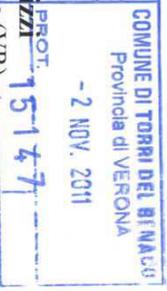
Provincia di Verona

# COMUNE DI TORRI DEL BENACO

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI  
QUATTRO UNITA' IMMOBILIARI A DESTINAZIONE  
RESIDENZIALE MEDIANTE DEMOLIZIONE E  
RICOSTRUZIONE DEL FABBRICATO SITO IN VIA  
OLIVETI 23 AD ALBISANO DI TORRI DEL BENACO

## Relazione Geologica - Geotecnica

Redatto da :  
**Dott. Geol. Annapaola Gradizzi**  
Viale del Lavoro, 7 - 37013 Caprino (VR)  
Tel: 045-6245901 - Fax: 045-6239861  
e-mail: geologo.gradizzi@gmail.com



Timbro e Firma:



Dott. Geol. Annapaola Gradizzi

#### 4. INDAGINE GEOGNOSTICA

Al fine di riconoscere la reale e locale successione stratigrafica e di parametrare correttamente i materiali costituenti il sottosuolo del sito in esame è stata eseguita una campagna geognostica costituita da un pozzetto esplorativo ubicato nel tratto più orientale della futura imposta delle fondazioni.

Per l'ubicazione del pozzetto geognostico e per la relativa documentazione fotografica si rimanda all'Allegato 1 al testo.

Di seguito è riportata la successione stratigrafica individuata:

##### POZZETTO GEOGNOSTICO P1

**0,0 m - 2,0 m** = Deposito detritico colluviale costituito da materiale terrigeno di natura sabbioso-argillosa e di colore marron scuro con frequenti ciottoli e frammenti calcarei di dimensioni pari a 2-5 cm.

**2,0 m - 3,5 m** = Sabbie limose di colore nocciola chiaro con rari ciottoli biancastri e calcarei di diametro pari a 1-3 cm.

Nel pozzetto non sono state rilevate venute idriche.

PE. 120-2013

Regione Veneto

Provincia di Verona

## COMUNE DI TORRI DEL BENACCO

PROGETTO PER LA DEMOLIZIONE E  
RICOSTRUZIONE DI UN FABBRICATO  
RESIDENZIALE CON CANTINE INTERRATE E  
PISCINA SITUATO INVIA GARDESANA 42 -  
LOCALITA' PAI E DI PROPRIETA' DELLA DITTA  
COUNTRY IMMOBILIARE SRL

### Relazione Geologica - Geotecnica

Redatto da :

Timbro e Firma:

**Dott. Geol. Annapaola Gradizzi**

Circonvallazione Bran, 828  
37013 Caprino (VR)  
Tel: 045-6245901 - Fax: 045-6239861  
e-mail: geologo.gradizzi@gmail.com



PROGETTO PER LA RICOSTRUZIONE DI UN FABBRICATO  
RESIDENZIALE CON CANTINE INTERRATE E COSTRUZIONE DI UNA  
PISCINA DI PROPRIETA' DELLA DITTA COUNTRY IMMOBILIARE SRL  
SITUATO IN LOCALITA' PAI NEL COMUNE DI TORRI DEL BENACCO

### RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA

#### INDICE

1. PREMESSA .....	2
2. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E GEOLOGICO .....	4
3. ASSETTO IDROGEOLOGICO .....	7
4. PARAMETRAZIONE GEOTECNICA.....	8
5. SISMICITA' LOCALE .....	9
6. ANALISI DEL PROGETTO E VERIFICA DELLE PROBLEMATICHE DI ORDINE GEOLOGICO E GEOTECNICO .....	11
6.1 Calcolo della capacità portante del terreno di fondazione.....	11
6.2 Stabilità degli scavi.....	15
7. CONCLUSIONI .....	19

Allegato 1: Documentazione fotografica



Anno 2013

previsti rispetto alle caratteristiche stratigrafiche dell'area in esame.

**Il presente rapporto costituisce la "relazione geologica" che, ai sensi di quanto previsto dal D.M. 11/3/88 e dal DM 14/01/2008, dovrà fare parte integrante del progetto al fine di giungere alle scelte progettuali ed alle verifiche previste.**

## **2. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E GEOLOGICO**

L'area in esame è situata a nord dell'abitato di Torri del Benaco, nei pressi della località Pai, in prossimità della sponda lacustre. Per l'ubicazione del sito si fa riferimento alla Carta Tecnica Regionale ed in particolare all'elemento "Punta San Virgilio "123014", in scala 1: 5.000, e per l'assetto geologico generale si fa riferimento alla Carta Geologica d'Italia, Foglio "Peschiera del Garda" in scala 1: 100.000.

Dal punto di vista geomorfologico generale l'area è inserita nella parte sommitale dell'antiteatro morenico del Garda, costituito in questa porzione centro-settentrionale dalle ultime tracce dei cordoni morenici wurmiani che coprono parzialmente le pendici del Monte Baldo. La copertura morenica in questo tratto delle pendici del Monte Baldo è particolarmente consistente e copre le formazioni rocciose carbonatiche costituite dal Rosso Ammonitico e dall'Oolite di San Virgilio.

Dal punto di vista geomorfologico l'area è delimitata ad Ovest dal lago stesso e si trova in corrispondenza del piede della dorsale del Monte Baldo, che con direzione NNE-SSW definisce il fianco lacustre.

Dal punto di vista strutturale l'area si colloca nel dominio tettonico del Monte Baldo: costituito da sistemi di faglie subverticali con movimento trascorrente o traspressivo, ricollegabili alla Linea delle Giudicarie, e da strutture plicative quali l'anticlinale del Monte Baldo.

Dal punto di vista geomorfologico di dettaglio l'area in esame e le sue strette vicinanze sono state interessate da un rilievo geomorfologico di dettaglio che ha evidenziato la presenza di forme di erosione fluviale unite a terrazzamenti antropici.

L'elemento geomorfologico principale è costituito dall'erosione torrentizia che crea strette valli a V di direzione circa E-W. Le valli e i corsi fluviali sono tutte particolarmente incise, impostate in roccia, con scorrimento

attivo in corrispondenza degli eventi meteorici principali e fenomeni di erosione concentrata.

Il sito in esame si trova in corrispondenza del piede del versante, la porzione posta ad est del sito in esame, parte mediana del versante è interessata da diverse vallicole di direzione circa E-W, che scendono verso il lago di Garda, ma che sono meno definite nel tratto prossimo alla sponda lacustre.

Il versante in esame presenta una pendenza medio alta, è interessato da copertura detritico-colluviale sovrastante la formazione liticoide dei calcari oolitici, costituiti nello specifico da bancate calcaree di colore biancastro. I calcari oolitici in esame sono generalmente massivi, con grado di alterazione da medio ad alto, diffusamente interessati da percolazione idrica, sono interessati da evidenti e persistenti fratture ad alato angolo con direzione circa E-W, probabilmente associate alle faglie individuate nella carta geologica e poste poco a nord del sito in esame.

In particolare il rilievo geologico all'interno del sito ha messo in evidenza una copertura di terreno vegetale con presenza di ghiaie calcaree.

Al fine di valutare la successione stratigrafica locale sono stati realizzati tre pozzetti geognostici ubicati in corrispondenza del cancello, nel viale di accesso e appena sopra il muretto del fabbricato, di seguito è riportata la successione stratigrafica locale:

#### **POZZETTO GEOGNOSTICO P1**

**0,0 m – 2,8 m** = Terreno vegetale di natura sabbioso-limosa con ghiaie di dimensioni massime di 1-2 cm. Durante l'esecuzione del pozzetto è stata la falda freatica referente al Lago di Garda .

#### **POZZETTO GEOGNOSTICO P2**

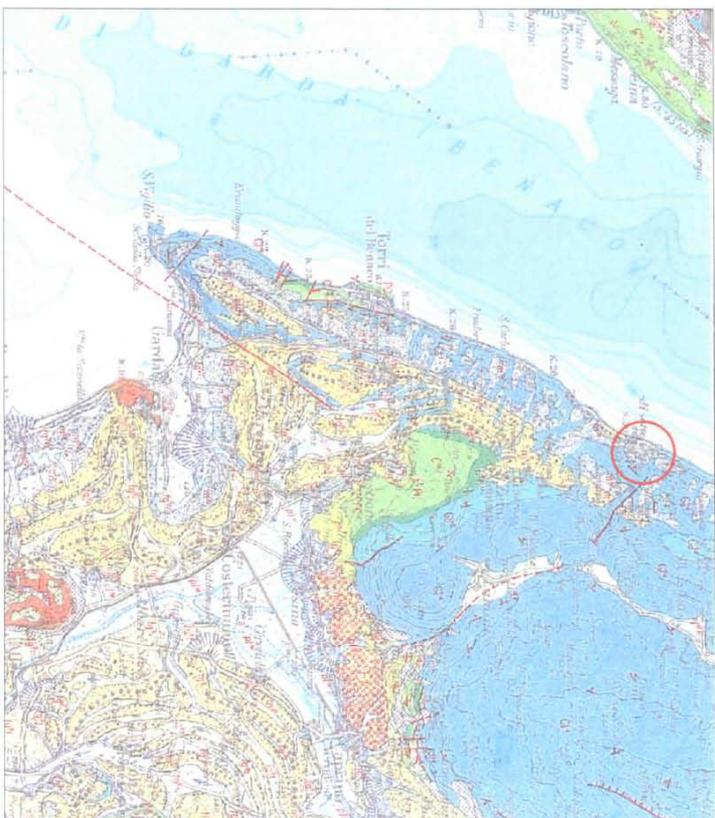
**0m – 1,5 m** = Riporti non consolidati costituiti da ciottoli dimensioni massime di 4-5 cm.

**1,5 m – 2,5 m** = Ghiaie calcaree in abbondante matrice sabbiosa-limosa di colore ocra.

#### **POZZETTO GEOGNOSTICO P3**

**0m – 2,8 m** = Deposito di copertura detritico colluviale di natura sabbiosa con ghiaie con dimensioni massime di 2-3 cm.

**FIGURA 1**  
 ESTRATTO CARTA GEOLOGICA DITALEA  
 Scala 1: 100.000



Monte gliaide bianche, con terrazzo di alterazione bianco. Ceramiche moreniche interne all'altipiano del Garda e testimoni di cerchie nella bassa Valle dell'Adige, a nord di Ceresino. **W11M**



Calcarei nodulati, galestri, con noduli di selce e giunti in stratificazione maononi. **A** **Ripescandole - Salsomaggiore**  
**L22M**, **P** **Pinus** sp. e **Cornelli**, **P** **patenti** **superfornite** a calcari nodulati, **galestri** e **conchi** (**K** **Born**  
**centro** **S** **S. Vigilio** sp. **ALLENIVANO** **TORREBELLO** **TORREBELLO** **TORREBELLO** **TORREBELLO** **TORREBELLO**  
**D** **Delonze** e calcari **olombrici**, **ponoi** e **facilmente** **disgregabili**, con **ricche** **facce** **conifere**, **steropiu**  
**A** e **Calcarei** **nodulati** di **S. Vigilio** **A** **ALLENIVANO** **TORREBELLO** **TORREBELLO** **TORREBELLO** **TORREBELLO**



Area in esame

### 3 ASSETTO IDROGEOLOGICO

La circolazione idrica superficiale, legata soprattutto agli eventi meteorici, scorre lungo le linee di massima pendenza.

La medio-alta pendenza del versante esclude problematiche di ristagno delle acque superficiali.

Per quanto riguarda la circolazione idrica sotterranea la superficie freatica appartenente all'acquifero principale, legato al richiamo del livello idrico imposto dal Lago di Garda, si trova a profondità superiori a quelle preventivate dal progetto in esame.

In corrispondenza del pozzetto geognostico P1, eseguito in prossimità del cancello di ingresso e quindi nel tratto più occidentale della proprietà in esame e più prossimo alla sponda lacustre, è stata intercettata la falda freatica posta alla profondità di -2,5/-2,8 m dal p.c..

Le opere in progetto verranno tutte realizzate in corrispondenza della balza morfologica superiore e più orientale della proprietà in esame, dove gli scavi avranno altezza massimo di 3,5 m, tali da rimanere comunque sopra falda.

La copertura colluviale che interessa il sito in esame presenta un grado di permeabilità medio, in relazione alla granulometria dei materiali granulari che la costituiscono, può essergli assegnato un valore di coefficiente di permeabilità pari a  $1-5 \cdot 10^{-5}$  m/sec.

E' importante sottolineare che la presenza della falda freatica lacustre presuppone comunque che il piano seminterrato venga rivestito con guaine impermeabili e che il piano del nuovo fabbricato sia realizzato con un'intercapedine areata al fine di rompere l'eventuale frangia id risalita capillare della falda acquifera.

#### 4. PARAMETRAZIONE GEOTECNICA

La caratterizzazione geotecnica dei terreni investigati è stata effettuata sulla base dell'osservazione di campagna ulteriormente sostenuta dai dati bibliografici.

In particolare la successione stratigrafica locale ha rilevato la presenza di uno strato di riporti granulari e poco consolidati che interessano in maniera discontinua i primi 2 m di sottosuolo del tratto medio-superiore della proprietà in esame. La balza morfologica su cui sorge attualmente il fabbricato in esame è quindi parzialmente costituita da riporti di natura granulare e poco consolidati, ai quali segue il deposito colluviale-morenico sottostante, costituito da sabbie limose di colore ocra con frequenti ciottoli calcarei, ben arrotondati e di diametro pari a 2-4 cm.

Si stimano per i materiali rilevati le seguenti caratteristiche geotecniche:

##### RIPORTI GRANULARI POCO CONSOLIDATI

Peso di volume naturale	$\gamma$	= 18.0 kN/m <sup>3</sup>
Angolo d'attrito	$\phi$	= 26°-28°
Coazione apparente	$C'$	= 0 Kpa
Coazione	$C$	= 0 Kpa

##### SABBIE LIMOSE CON CIOTTOLI

Peso di volume naturale	$\gamma$	= 18.5 kN/m <sup>3</sup>
Angolo d'attrito	$\phi$	= 30°-32°
Coazione apparente	$C'$	= 5 Kpa
Coazione	$C$	= 0-2 Kpa

E' stata assegnata a questo materiale una coazione apparente ( $C'$ ) in accordo con le osservazioni di campagna, si è ritenuto invece opportuno fornire un valore di coazione reale ( $C$ ) nullo al materiale in esame, in quanto la coazione degli scassi osservati è attribuibile a fenomeni di consolidamento temporaneo, oppure a fenomeni di aging o di capillarità, che non possono essere estesi alla reale situazione che si presenterà in fase definitiva.

#### 5. SISMICITA' LOCALE

La vulnerabilità dell'area di studio nei confronti del rischio sismico è stata valutata sulla base delle classificazioni a disposizione, in particolare facendo riferimento a quanto sviluppatosi nelle classificazioni 1984-1998 e nell'Ordinanza n. 3274 della Presidenza del Consiglio dei Ministri del 2003, "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica".

In particolare il Comune di Torri del Benaco, secondo la nuova classificazione, appartiene alla Zona Sismica 2, secondo la vecchia classificazione aveva un grado di sismicità medio-alto.

Al fine di valutare l'azione sismica sulla tipologia fondazionale adottabile nell'ambito del progetto sono stati determinati i profili stratigrafici del suolo di fondazione dell'area, secondo la normativa tecnica di applicazione dell'Ordinanza n. 3274 della Presidenza del Consiglio dei Ministri del 2003, "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica".

I profili determinati si riferiscono a depositi con specifici valori dell'indice geofisico  $V_{s30}$  rappresentativo delle velocità delle onde sismiche del tipo S nel sottosuolo.

In particolare è stato assegnato al substrato dell'area in esame un profilo stratigrafico C sulla base dei dati ricavati dal rilevamento geologico e dei dati forniti dalla carta geologica.

Le norme tecniche per le fondazioni che accompagnano l'ordinanza descrivono il profilo stratigrafico C come segue: "Depositati di sabbie e ghiaie mediamente addensate o di argille di media consistenza con spessori

variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s ( $15 < N_{spk} < 50$ ,  $70 < C_u < 250$  kPa)";

A questa zona sismica corrisponde un valore di accelerazione di picco orizzontale del suolo ( $a_g$ ) volte pari a 0,25 l'accelerazione gravitativa locale (g).

A questo profilo stratigrafico corrispondono i seguenti parametri da inserire nelle espressioni dello spettro di risposta elastico delle componenti orizzontali:

PROFILO SUOLO	S	$T_b$	$T_c$	$T_D$
PROFILO C	1.25	0.15	0.50	2.0

Dove:

S = fattore che tiene conto del profilo stratigrafico del suolo di fondazione,

$T_b$ ,  $T_c$ ,  $T_D$  = periodi che separano i diversi rami dello spettro, sempre dipendenti dal profilo.

In accordo con le nuove norme tecniche per le costruzioni DM 14-01-2008 vengono di seguito forniti i parametri e i coefficienti da adottare per il calcolo delle fondazioni:

**Si suggerisce di utilizzare l'Approccio 2 per il quale i coefficienti sono  $A_1+M_1+R_3$ .**

Il coefficiente  $A_1$  (coefficiente parziale per le azioni) si assume pari a 1,0-1,5.

Il coefficiente  $M_1$  (coefficiente parziale per i parametri geotecnici del terreno) da applicare ai valori di coesione efficace, angolo di resistenza al taglio, resistenza non drenata e peso di volume dei materiali costituenti il sottosuolo dell'area in esame è sempre pari a 1,0.

Il coefficiente  $R_3$  (coefficiente parziale da applicare alle resistenze caratteristiche) da applicare è pari a 2,3 per la capacità portante del terreno di fondazione e pari a 1,2 per le verifiche a scorrimento.

## 6. ANALISI DEL PROGETTO E VERIFICA DELLE PROBLEMATICHE DI ORDINE GEOLOGICO E GEOTECNICO

Il progetto in esame prevede la demolizione e la costruzione di un fabbricato residenziale con cantine interrata e la costruzione di una piscina.

Per quanto riguarda la costruzione del fabbricato si prevede la realizzazione di due unità costituite da un piano fuori terra e un piano seminterrato con dimensioni in pianta pari a circa 50 m X 11 m.

Inoltre si prevede la costruzione di una piscina avente dimensioni pari 9,70 x 5 m.

In particolare per la realizzazione del fabbricato verranno realizzati degli scavi di altezza pari a 3,5 m, mentre per la piscina gli scavi avranno un'altezza pari a 1,5-2 m.

Sulla base del modello stratigrafico-geotecnico indicato nei cap. precedenti, le problematiche relative a tali aspetti, dovute alle interazioni terreno-struttura della nuova opera, riguardano:

- la capacità portante del terreno di fondazione;
- la stabilità degli scavi per la realizzazione dell'interrato.

### 6.1 Calcolo della capacità portante del terreno di fondazione

Le fondazioni dei fabbricati in esame interesseranno esclusivamente il deposito colluviale - morenico, le cui caratteristiche fisico meccaniche permettono la realizzazione di fondazioni dirette. In tal senso le fondazioni potranno essere del tipo nastriforme.

Per il calcolo della capacità portante del terreno si è adottato il metodo di Terzaghi che propone una formula valida per il calcolo della portanza di

fondazioni superficiali di larghezza B.

La formula è data da :

$$q_{lim} = c N_c \beta_c + q N_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma \beta_\gamma$$

dove :

$q_{lim}$  è la capacità portante limite del terreno;

c è la coesione del terreno su cui poggia la fondazione;

$\gamma$  è il peso specifico del terreno posto sopra e sotto il piano di fondazione;

D è la profondità del piano di fondazione dal piano campagna;

q è il peso del sovraccarico, uguale al prodotto  $\gamma \cdot D$ ;

B è la larghezza della fondazione;

$\beta_c$  e  $\beta_\gamma$  sono fattori correttivi di forma, espressi da coefficienti numerici, legati alla geometria della fondazione;

$N_c$ ,  $N_\gamma$ ,  $N_q$  sono fattori adimensionali di capacità portante, funzione dell'angolo di attrito, pari rispettivamente a 44, 27.3, 28.5, per  $\phi = 32^\circ$ , espressi da:

$$N_q = \frac{a^2}{2 \cos^2(45 + \phi/2)} \quad a = e^{(0.75\pi - \phi/2) \tan \phi}$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot g \phi$$

$$N_\gamma = \frac{1 g \phi}{2} \left( \frac{K_{pr}}{\cos^2 \phi} - 1 \right)$$

dove :

$\phi$  è l'angolo di attrito del terreno di fondazione pari a  $32^\circ$

$K_{pr}$  è il coefficiente di portata funzione dell'angolo  $\phi$ , determinato da Terzaghi sulla base di prove empiriche.

Di conseguenza la capacità portante limite ( $q_{lim}$ ) è legata ai seguenti gruppi di parametri :

- parametri geotecnici
- parametri geometrici

- coefficienti correttivi

- Parametri geotecnici

Sono rappresentati essenzialmente da:

- coesione (c) del materiale su cui poggia la fondazione, generalmente espressa in Kg/cm<sup>2</sup>;
- angolo di attrito ( $\phi$ ) del materiale su cui poggia la fondazione;
- peso specifico ( $\gamma$ ) rappresentativo del terreno sopra e sotto il piano di fondazione, espresso in Kg/m<sup>3</sup>.

Questi parametri sono stati desunti, nel caso in esame, sulla base dei dati bibliografici e dell'osservazione diretta eseguita nel pozzetto geognostico.

- Parametri geometrici

Si tratta di elementi caratterizzanti le dimensioni della fondazione superficiale adottata.

In particolare :

- larghezza (B) della fondazione, espressa in metri
- profondità (D) della base della fondazione, espressa in metri

- Coefficienti correttivi

Sono dei parametri legati alla particolare tipologia della fondazione presa in considerazione e al valore di  $\phi$  (angolo di attrito) assunto. In particolare:

- coefficienti numerici relativi alla geometria della struttura ( $\beta_c$  e  $\beta_\gamma$ );
- coefficienti di portata ( $N_q$ ,  $N_c$ ,  $N_\gamma$  e  $K_{pr}$ ), relativi al valore specifico dell'angolo di attrito ( $\phi$ ).

La formula di Terzaghi tiene conto anche delle condizioni al contorno che possono influenzare il calcolo della portanza, in particolare:

- la presenza di falda;
- l'eccentricità del carico;
- l'inclinazione del carico;
- la stratificazione del terreno;
- la fondazione su pendio.

Ipotezzando quindi una fondazione nastroforme di lato B variabile da 1,0 a 1.5 m e con un immersionamento di 0.5 m, assunzioni giustificate viste le

dimensioni del fabbricato, si ottengono i seguenti valori di carico limite e di carico ammissibile:

#### FONDAZIONI NASTRIFORMI

D (m)	B (m)	Q (Kg/cm <sup>2</sup> )	Q <sub>limite ultimo</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> ) ricavato utilizzando i coefficienti riduttivi dell'approsscio 2 = A1+M1+R3
0.5	0.5	3.9	1.4
0.5	0.8	4.66	1.6
0.5	1.0	5.17	1.8
0.5	1.5	6.43	2.3

Per quanto riguarda il cedimento del terreno di fondazione la presenza di materiali granulari permetterà cedimenti trascurabili che presumibilmente si esauriranno in fase esecutiva delle opere stesse se il piano di fondazione verrà opportunamente realizzato e rullato.

Eventuali spessori di riporto e/o materiale terrigeno andranno completamente superati e le fondazioni dovranno innestare direttamente sui depositi naturali.

#### 6.2 Stabilità degli scavi

Per la realizzazione del fabbricato in esame verranno realizzati degli scavi di altezza pari a 3.5 m e per la realizzazione della piscina pari a 2 m.

Per quanto riguarda lo scavo per la realizzazione del piano seminterrato in progetto di altezza pari a circa 3.5 m, lo stesso potrà essere realizzato esclusivamente mediante costruzione preventiva di una paratia di micropali.

In particolare e con riferimento alle attuali sezioni di progetto, la paratia insisterà a monte dello scavo in progetto e per la sua progettazione l'ingegnere progettista dovrà tener conto anche dei sovraccarichi dovuti ai fabbricati e al muro di contenimento che definiscono il margine orientale e superiore della proprietà (vedi Allegato 1 di documentazione fotografica).

Il muro di contenimento e i fabbricati sopra citati sono esterni alla proprietà in esame, ma prossimi alla zona dove avverrà lo scavo in progetto.

Si raccomanda di tener conto anche della presenza nei primi due metri di spessore dello scavo dei materiali di riporto granulari e poco consolidati rilevati nei pozzetti geognostici condotti.

In linea generale la paratia dovrà avere le seguenti dimensioni minime, lunghezza dei pali minimo 6 m, interasse fra i pali massimo pari a 0.3-0.5 m, realizzazione di un adeguato cordolo di testa e di almeno una fila di pali a cavalletto in testa della lunghezza minima di 6 m e con spaziatura massima di 1.5-2.0 m, si rimanda comunque alla relazione di calcolo dell'ingegnere progettista.

Infine per quanto riguarda il muro di contenimento posto in corrispondenza del confine di monte della proprietà si suggerisce di sanare il piede realizzando un rinforzo costituito da un cordolo in cls o da altro sistema di rinforzo e protezione. Si suggerisce inoltre di posizionare delle mire ottiche in corrispondenza del muro al fine di verificare se esistono movimenti durante le fasi di scavo, in maniera da poter eventualmente intervenire tempestivamente.

Gli scavi nei materiali sciolti per la realizzazione della piscina avranno altezze pari a massimo 2,0 m.

Alla stabilità dello scavo a breve termine contribuisce, oltre all'angolo di attrito proprio del terreno, anche la coesione apparente fornita dalla presenza, di materiali fini nella matrice del deposito e dalle forze di natura superficiali (tensioni capillari, fenomeni di *aging*, ecc.) cui può essere assegnato un valore  $C' = 10$  KPa e un coefficiente di angolo di attrito medio su tutta l'altezza  $\phi = 30^\circ$ .

Tenendo conto di tali contributi, utilizzando il diagramma di HOECK e BRAY (Fig.3) senza filtrazione alla base (schema 1), con i parametri fisico meccanici precedentemente indicati, adottando un coefficiente di sicurezza pari a  $F = 1.30$ , si ricavano i seguenti angoli di profilatura per l'altezza prevista:

$$\tan \emptyset = 0.58$$

$$F = 1.30$$

$$\text{-----} = 0.44$$

per un'altezza di scavo di 1.5-2 m:

$$C = 1.0$$

$$\text{-----} = 0.45$$

$$Y \cdot H \cdot \tan \emptyset = 1.9 \times 1.5 \times 0.58$$

Da questi valori, facendo riferimento al grafico di fig. 2, si ricava un angolo di profilatura  $\beta = 70^\circ - 75^\circ$  in assenza di filtrazione d'acqua.

Di seguito sono elencate alcune prescrizioni di carattere generale da adottare per gli scavi previsti:

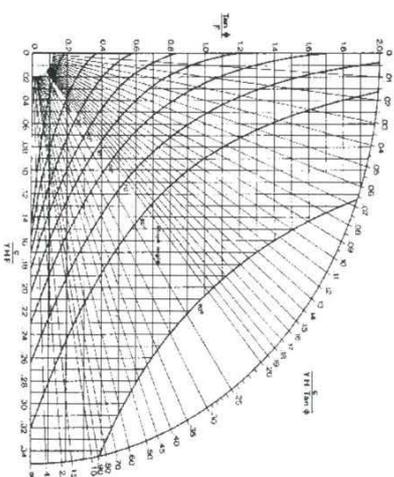
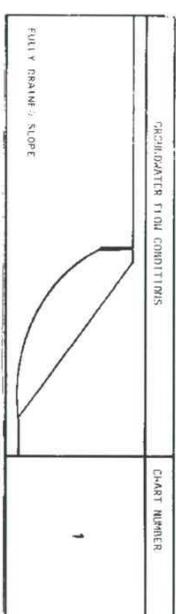
- In caso di pioggia sugli scavi o sulle porzioni già scavate andranno posizionati dei teli impermeabili a salvaguardia delle condizioni di coesione apparente del materiale.
- Tutti gli scavi necessari alla realizzazione del manufatto dovranno rimanere aperti per il tempo strettamente necessario all'edificazione dei muri di contenimento; inoltre per evitare future infiltrazioni d'acqua, in occasioni di

particolari eventi piovosi, si raccomanda la realizzazione di un sistema di drenaggio perimetrale. Ciò si rende necessario anche per evitare sovrappressioni nei terreni di sedime e a tergo dei muri stessi. I flussi idrici raccolti dai dreni e tutte le acque bianche dovranno essere convogliate nella rete delle acque bianche esistente, o opportunamente disperse.

Sui cigli delle scarpate, non dovrà esser accumulato alcun tipo di materiale né dovranno sostarvi le macchine del cantiere, al fine di evitare l'innescò di fenomeni di instabilità dei fronti di scavo stessi.

Si raccomanda infine di profilare il versante verso monte mediante la realizzazione di gradonature, in accordo con la profilatura esistente e al fine di favorire la stabilità globale del sito stesso.

DIAGRAMMA DI STABILITA' DI HOECK & BRAY



## FIGURA 2

### 7. CONCLUSIONI

È stato eseguito uno studio geologico-geotecnico per conto della ditta Contry Immobiliare Srl e a supporto del progetto per la demolizione e la costruzione di un fabbricato residenziale con cantine interrato e piscina situato in località Pai nel Comune di Torri del Benaco.

I rilievi, le analisi e le verifiche eseguite non hanno evidenziato processi morfodinamici in atto e/o quiescenti tali da poter pregiudicare la fattibilità degli interventi in progetto, purché vengano rispettate le considerazioni geologico - tecniche espresse nel capitolo 6.

In particolare il calcolo della capacità portante tramite il metodo di Terzaghi ha permesso di appurare la buona idoneità del terreno in esame a supportare una tipologia costruttiva corredata da fondazioni dirette.

Si suggerisce di utilizzare un valore di portata ammissibile nell'intorno di  $1.4-2.3 \text{ kg/cm}^2$  a seconda dello schema fondazionale scelto.

Il profilo delle scarpate progettate per lo scavo del fabbricato, di altezza massima pari a 3.5 m andranno realizzate esclusivamente mediante adeguata paratia di micropali, e per la piscina di 2 m e dovranno essere realizzati con un angolo di scarpa massimo pari a  $75^\circ$  al fine di rimanere in condizioni di sicurezza durante le fasi esecutive degli scavi provvisori.

**Verificate la capacità portante del sedime di fondazione e l'altezza critica degli scavi in fase operativa secondo la norma del D.M. 11.03.88 e del DM 14/01/2008, si può concludere assumendo che non vi sono vincoli di tipo geologico o geotecnico nell'area alla realizzazione dell'opera in progetto.**

In fase esecutiva delle opere andrà verificata l'esatta corrispondenza

fra quanto supposto nel presente studio e la reale successione stratigrafica del sottosuolo del sito.

La presente relazione ottempera a quanto stabilito dal D.M. 11.03.1988 e dal DM 14/01/2008 e costituisce documento progettuale idoneo per il rilascio della concessione a edificare.

CAPRINO (VR), luglio 2013

Il Relatore

Dott. Geol. Annapaola Gradizzi



**Allegato 1 :**

**DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**



FOTO 1: Pozzetto P1 vicino al cancello Prof. 2,8 m



FOTO 2: Pozzetto P1 vicino al cancello Prof. 2,8 m



FOTO 3: Pozzetto P2 vicino al viale di accesso. Riporti non consolidati per 1,5 m costituiti da ciottoli in matrice ferrigena



FOTO 4: Pozzetto P3 adiacente alla casa appena sopra il muretto. Prof. 2,8 m

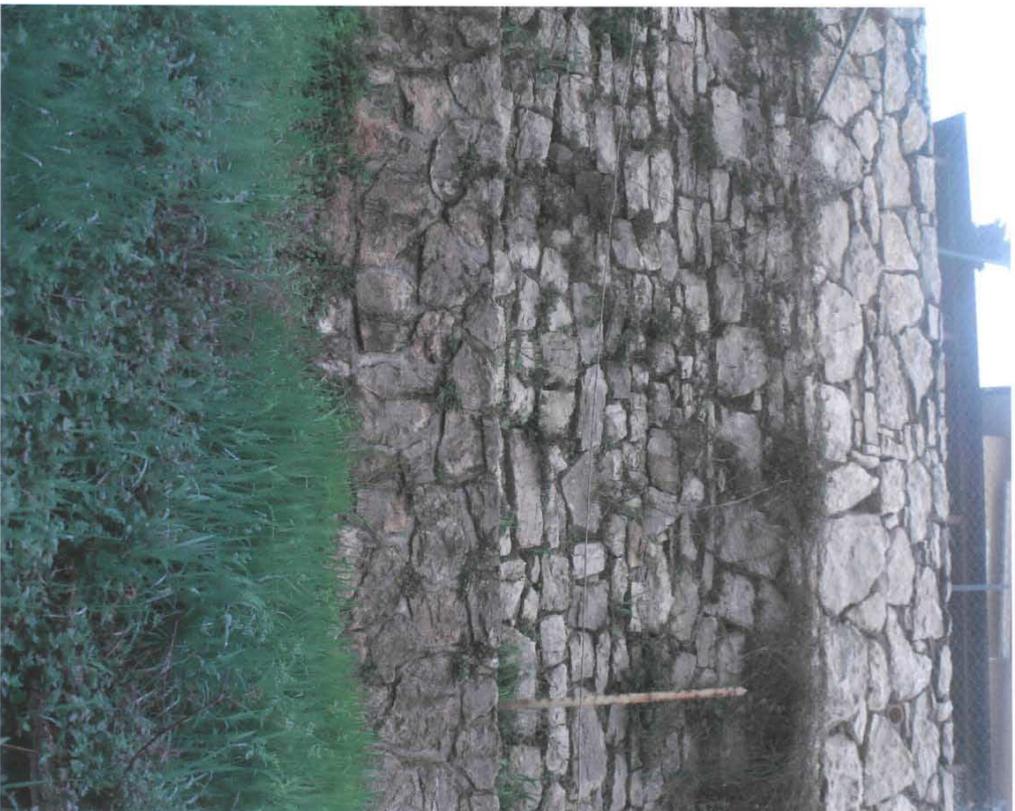


FOTO 5: Muro di contenimento e fabbricati posti subito a monte della proprietà in esame e che costituiranno ulteriori sovraccarichi che insisteranno sulla paratia in progetto



FOTO 6: Panoramica fabbricato esistente

Dot. Lino Munari



PE. 220 - 2003

Dot. Lino Munari  
GEOLOGICO  
Via Milano, 13 - 37017 Lavisè (VR) - Tel. 045/64.70.519  
Via Sandro Perini, 10/E - 37013 Capriano V.se (VR) - Tel. 045/62.30.811  
Modulana 045/647.90.00 - Cell. 0348.38.42.533  
Http://www.geologico.com E-mail:linomunari@geologico.com

RELAZIONE: **Geologica-Geotecnica**  
D.M.L.P.P. 11-03-1988 e Legge 02.02.1974 n. 64  
ALLEGATO N°: 4  
TITOLO : **Trincee esplorative**  
PROGETTO : **per la costruzione di un fabbricato ad uso artigianale con abitazione**  
LOCALITA': **"Volpara-Albisano"**  
COMUNE: **Torri D.B.**  
COMMITTENTE: **Sig Recchia Simone**

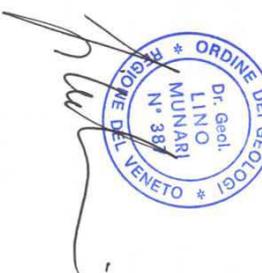
**REGIONE DEL VENETO**  
**PROVINCIA DI VERONA**  
**COMUNE DI TORRI D.B.**

**Relazione Geologica-Geotecnica**  
D.m.l.p.p. 11-03-1988 e legge 02.02.1974 n. 64

**PROGETTO**  
**per la costruzione di un fabbricato ad uso artigianale con abitazione nel lotto di proprietà, in località Albisano-Volpara.**

**PROPRIETARIO**  
**Sig Recchia Simone**

**Dot. Geol. Lino Munari**



Via Milano, 13 - 37017 Lavisè (VR) - Tel. 045/64.70.519  
Via Sandro Perini, 10/E - 37013 Capriano V.se (VR) - Tel. 045/62.30.811  
Cell. 0348.38.42.533 Fax 045/64.79.000  
Http://www.geologico.com E-mail:linomunari@geologico.com  
P.I. 0252303 023 3

QUOTA DAL P.C.	SIMBOLOGIA	H <sub>2</sub> O (-m)	DESCRIZIONE LITOLOGICA
0			
0.5			
1.0			
1.5			
2.0			
2.5			
3.0			
3.5			
4.0			
4.5			
5.0			

TRINCEA ESPLORATIVA N°1  
LIVELLO DELL'ACQUA: N.D.

DESCRIZIONE LITOLOGICA

Suolo vegetale argilloso con ciottoli

Sabbia-ghiaiosa con limo o ghiaia-sabbiosa.  
Elementi grossolani, ciottoli e trovanti  
in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa.  
(fino a -2.50m stratigrafia da trincea esplorativa)

Ghiaia e sabbia ghiaiosa in livelli decimetrici da fine a media in matrice sabbiosa (sabbia grossolana), mediamente addensata con ciottoli e trovanti da 10 a 50cm.  
(da -2.50 a -5.0 stratigrafia da scavo aperto)

**TRINCEA ESPLORATIVA N°2**  
**LIVELLO DELL'ACQUA: N.D.**

**RELAZIONE: Geologica-Geotecnica**  
**D.M.L.P.P. 11-03-1988 e Legge 02.02.1974 n. 64**  
**ALLEGATO N°: 4**  
**TITOLO : Trincee esplorative**  
**PROGETTO : per la costruzione di un fabbricato**  
**ad uso artigianale con abitazione**  
**LOCALITA': "Volpara-Albisanò"**  
**COMUNE: Torri D.B.**  
**COMMITTENTE: Sig Recchia Simone**

QUOTA DAL P.C.	SIMBOLOGIA	H <sub>2</sub> O (-m)	DESCRIZIONE LITOLOGICA
0			
0.5			Suolo vegetale argilloso con ciottoli
1.0		0.90	
1.5			Sabbia-ghiaiosa con limo o ghiaia-sabbiosa. Elementi grossolani, ciottoli e trovanti in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa. (fino a -2.50m stratigrafia da trincea esplorativa)
2.0			
2.5		2.50	
3.0			Sabbia ghiaiosa e ghiaia in livelli decimetrici da fine a media in matrice sabbiosa (sabbia grossolana), mediamente addensata con ciottoli e trovanti da 10 a 50cm. (da -2.50 a -5.0 stratigrafia da scavo aperto)
3.5			
4.0			
4.5			
5.0			

**RELAZIONE: Geologica-Geotecnica**  
**D.M.L.P.P. 11-03-1988 e Legge 02.02.1974 n. 64**  
**ALLEGATO N°: 6**  
**TITOLO : Relazione fotografica**  
**PROGETTO : per la costruzione di un fabbricato**  
**ad uso artigianale con abitazione**  
**LOCALITA': "Volpara-Albisanò"**  
**COMUNE: Torri D.B.**  
**COMMITTENTE: Sig Recchia Simone**



**FOTO N°1:**

**ESECUZIONE TRINCEA ESPLORATIVA N°1 E PARTE AREA DI PROGETTO VISTA DA NORD.**

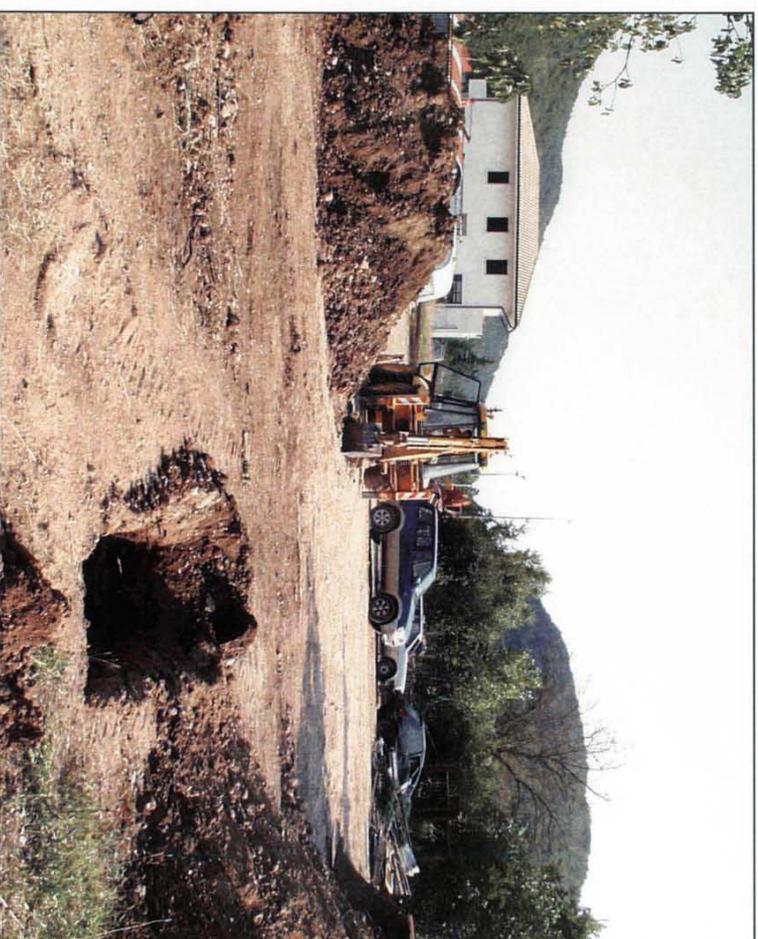
**RELAZIONE: Geologica-Geotecnica**  
**D.M.L.P.P. 11-03-1988 e Legge 02.02.1974 n. 64**  
**ALLEGATO N°: 6**  
**TITOLO : Relazione fotografica**  
**PROGETTO : per la costruzione di un fabbricato**  
**ad uso artigianale con abitazione**  
**LOCALITA': "Volpara-Albissano"**  
**COMUNE: Torri D.B.**  
**COMMITTENTE: Sig Recchia Simone**



**FOTO N°2:**

**SEZIONE STRATIGRAFICA TRINCEA ESPLORATIVA N°1.**

**RELAZIONE: Geologica-Geotecnica**  
**D.M.L.P.P. 11-03-1988 e Legge 02.02.1974 n. 64**  
**ALLEGATO N°: 6**  
**TITOLO : Relazione fotografica**  
**PROGETTO : per la costruzione di un fabbricato**  
**ad uso artigianale con abitazione**  
**LOCALITA': "Volpara-Albissano"**  
**COMUNE: Torri D.B.**  
**COMMITTENTE: Sig Recchia Simone**



**FOTO N°3:**

**ESECUZIONE TRINCEA ESPLORATIVA N°2 E AREA DI PROGETTO VISTA DA NORD.**

Dott. Lino Minnari



Via Milano, 17 37017 Ladise (VR) Tel. 045 64 70 519  
Via Saverio Perrini, 10/E Capriolo V.le (VR) Tel. 045 62 30 811  
Modena Fax 049 647 90 00 Cell. 02 46 28 42 233  
[Http://www.geologico.com](http://www.geologico.com) E-mail: [linominari@geologico.com](mailto:linominari@geologico.com)

**RELAZIONE: Geologica-Geotecnica**  
**D.M.LL.PP. 11-03-1988 e Legge 02.02.1974 n. 64**

**ALLEGATO N°: 6**

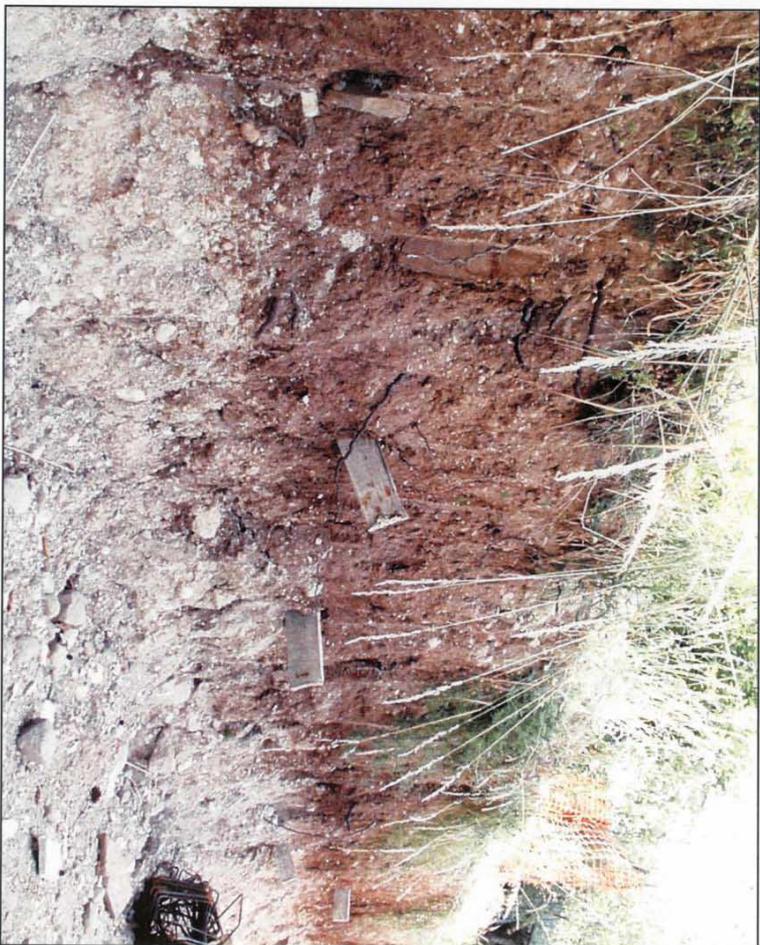
**TITOLO : Relazione fotografica**

**PROGETTO : per la costruzione di un fabbricato  
ad uso artigianale con abitazione**

**LOCALITA' : "Volpara-Albisano"**

**COMUNE: Torri D.B.**

**COMMITTENTE: Sig Recchia Simone**



**FOTO N°5:**

**SEZIONE STRATIGRAFICA AD EST DELL'AREA DI PROGETTO-PARTICOLARE DELLO  
SPESSORE DI SUOLO SOPRA LO STRATO GHIAIOSO.**

P.C. 136-2810

# COMUNE DI TORRI DEL BENACO PROVINCIA DI VERONA

**INDAGINI GEOGNOSTICHE INTEGRATIVE SUI  
 TERRENI DOVE È PREVISTA LA REALIZZAZIONE DI UN  
 EDIFICIO RESIDENZIALE BIFAMILIARE E DI UN  
 EDIFICIO RESIDENZIALE MONOFAMILIARE  
 IN LOC. PUNTA PIAGHEN**

Committente: Berberis S.r.l.

Progettista: arch. Giuliano Usvardi  
 Via Roma, 34 - 37050 - Oppeano (Vr)

## Relazione Geotecnica Integrativa (D.M. 14.01.2008)

PER INCARICO DI EXPLOGGEO S.A.S.

EXPLOGGEO  
 di Ampelio Cagalli & C. s.a.s.



IL TECNICO  
 DR. GEOL. AMPELIO CAGALLI

DOTT. GEOL. DAVIDE ANTONIO CENTAMORE



Cerea, dicembre 2012

**Sondaggio S1 - data esecuzione: 20.11.2012 - Berberis s.r.l. - Torri del Benaco (Vr)**

Profondità (m da q.l.)	Litologia	Descrizione	Intervallo misura e n. colpi scpt
0 - 0,06 0,06 - 0,40		Pavimentazione in piastrelle di porfido Riparto di materiale da demolizione.	
0,40 - 4,00		Ghiaia spigolosa eterometrica in matrice sabbiosa (morena e detrito di falda)	4,50 5, 12, 10
4,00 - 6,30 6,30 - 6,80 6,80 - 8,00		Ghiaia con sabbia limo-argillosa di colore nocciola (morena e detrito di falda)	4,95
8,00 - 10			



Vista della stazione di esecuzione sondaggio S1.

**Note**

Nel corso dell'esecuzione del sondaggio non è stata riscontrata alcuna venuta d'acqua né in fase di perforazione né al termine della stessa con foro di sonda liberato dalla colonna di rivestimento. La perforazione è stata eseguita a secco e pertanto anche la presenza minima di acqua sarebbe stata rilevata nel corso della operazioni di campagna.

Foto cassette portacampioni (S1)

	<p>INTERVALLO DI CAMPIONAMENTO</p> <p>Prova SCPT da m 4,50 a m 4,95</p> <p>INTERVALLO DA 0,0 - 5,0 m</p>
	<p>INTERVALLO DA 5,0 - 8,0 m</p>

Sondaggio S2 - data esecuzione: 20.11.2012 - Berberis s.r.l. - Torri del Benaco (Vr)

Profondità (m da q.i.)	Litologia	Descrizione	Intervallo misura e n. colpi scpt
0		Terreno vegetale limoso/sabbioso	
0,40		Ghiala sabbiosa in matrice argillosa	
0,70		Ghiala spigolosa eterometrica sabbiosa debolmente limosa con grossi ciottoli (morena e detrito di falda)	4,50 7, 11, 13
2,40		Ghiala spigolosa con sabbia limo-argillosa di colore nocciola (morena e detrito di falda)	4,95
6,00			
10			



Vista della stazione di esecuzione sondaggio S2.

**Note**  
 Nel corso dell'esecuzione del sondaggio non è stata riscontrata alcuna venuta d'acqua né in fase di perforazione né al termine della stessa con foro di sonda liberato dalla colonna di rivestimento. La perforazione è stata eseguita a secco e pertanto anche la presenza minima di acqua sarebbe stata rilevata nel corso della operazioni di campagna.

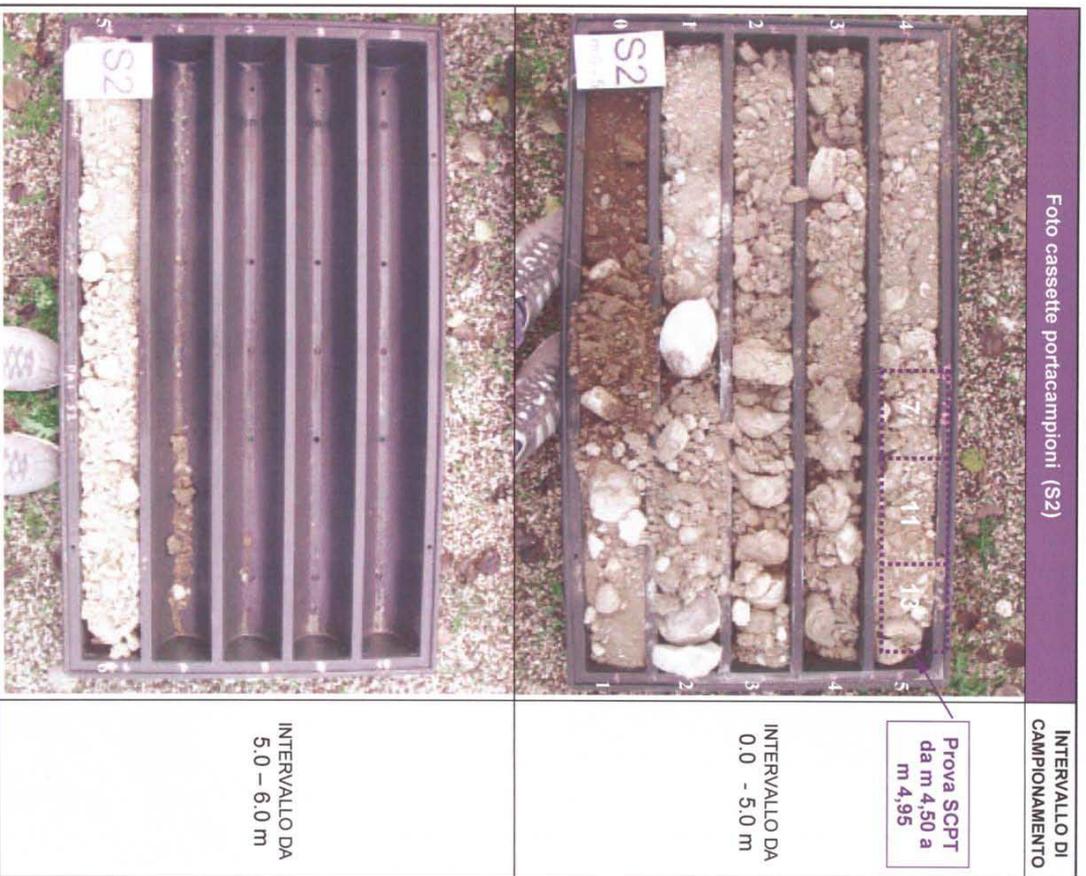


Foto cassette portacampioni (S2)

INTERVALLO DI CAMPIONAMENTO

Prova SPT da m 4,50 a m 4,95

INTERVALLO DA 0,0 - 5,0 m

INTERVALLO DA 5,0 - 6,0 m

#### 4.3 Parametri geotecnici dedotti dalle prove SPT in foro

Sondaggio S 1		
INTERVALLO ( m da q.i.)	N. COLPI PROVA SPT [2 <sup>a</sup> +3 <sup>a</sup> LETT.]	LITOLOGIA INDAGATA
4,50 - 4,95 m	5 - 12 -10 [22]	Ghiaia spigolosa con sabbia limo-argillosa di colore nocciola
Sondaggio S 2		
INTERVALLO ( m da q.i.)	N. COLPI PROVA SPT [2 <sup>a</sup> +3 <sup>a</sup> LETT.]	LITOLOGIA INDAGATA
4,50 - 4,95 m	7 - 11 - 13 [24]	Ghiaia spigolosa con sabbia limo-argillosa di colore nocciola

In base al numero di colpi necessari all'avanzamento stabilito, è possibile risalire alla valutazione orientativa di alcuni parametri geotecnici caratteristici dei terreni investigati che, nella situazione in oggetto, sono rappresentati sostanzialmente da depositi granulari con eventuale presenza di matrice limo argillosa.

I parametri geotecnici determinati sono i seguenti:

- densità relativa  $D_r$  [%]
- angolo di attrito interno efficace  $\phi$  [°] – terreni granulari
- modulo di deformazione drenato  $E'$  [kg/cm<sup>2</sup>]
- peso di volume saturo  $\gamma_{sat}$  [t/m<sup>3</sup>]
- peso di volume drenato  $\gamma_{dr}$  [t/m<sup>3</sup>]

La procedura di determinazione dei parametri si basa su correlazioni empiriche e sui dati dedotti dalle esperienze di vari Autori: i valori dei parametri sono deducibili dalle correlazioni illustrate nelle tabelle proposte di seguito considerando  $N_{scpt} = N_{sp}$ .

I valori indicati dei parametri geotecnici sono orientativi ed potrebbero essere ulteriormente verificati mediante altre prove geotecniche di laboratorio.  
Di seguito si riappongono le risultanze delle prove SPT eseguite in foro ed i parametri geotecnici dedotti dalle stesse.

## SONDAGGIO S1

Intervallo (m da q.i.)	n. colpi [medio] N <sub>scpt</sub> = N2 + N3	Litologia			
4,50 - 4,95 m	5 - 12 - 10 [22]	Ghiaia spigolosa con sabbia limo-argillosa di colore nocciola			
<b>N<sub>spr</sub> → Dr (DENSITÀ RELATIVA) Riferimento: Terzaghi &amp; Peck (1948-1967) [granulare]</b>					
<b>N<sub>spr</sub></b>	<b>Dr (%)</b>	<b>N<sub>spr</sub></b>	<b>Dr (%)</b>	<b>N<sub>spr</sub></b>	<b>Dr (%)</b>
5	18	30	65	55	87
10	35	35	70	60	89
15	43	40	75	65	91
20	50	45	80	70	93
25	58	50	85	75	94
N <sub>spr</sub> = 0 + 4    sabbia MOLTO SCIOLTA    Dr = 0 + 15 %					
N <sub>spr</sub> = 4 + 10    sabbia SCIOLTA    Dr = 15 + 35 %					
N <sub>spr</sub> = 10 + 30    sabbia MEDIAM. ADDENSATA    Dr = 35 + 65 %					
N <sub>spr</sub> = 30 + 50    sabbia ADDENSATA    Dr = 65 + 85 %					
N <sub>spr</sub> > 50    sabbia MOLTO ADDENSATA    Dr = 85 + 100 %					
<b>N<sub>spr</sub> = 22 (4,50 - 4,95 m)    sabbia MEDIAM. ADDENSATA    Dr = 53,5 %</b>					
<b>φ' (ANGOLO DI ATTRITO EFFICACE) Rif.: Peck-Hanson-Thorburn (1953-1974)</b>					
<b>N<sub>spr</sub> →</b>	<b>φ' (°)</b>	<b>N<sub>spr</sub></b>	<b>φ' (°)</b>	<b>N<sub>spr</sub></b>	<b>φ' (°)</b>
5	28.0	30	36.0	55	41.8
10	30.0	35	37.3	60	42.5
15	31.5	40	38.5	65	43.3
20	33.0	45	39.8	70	44.0
25	34.5	50	41.0	75	44.3
<b>N<sub>spr</sub> = 22 (4,50 - 4,95 m)    φ' = 33,6 °</b>					
<b>E' (MODULO DI DEFORMAZIONE DRENATO) Rif.: D'Apolonia et al. (1970)</b>					
<b>N<sub>spr</sub> →</b>	<b>E' (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>N<sub>spr</sub></b>	<b>E' (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>N<sub>spr</sub></b>	<b>E' (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
5	428	30	694	55	960
10	482	35	748	60	1014
15	535	40	801	65	1067
20	588	45	854	70	1120
25	641	50	907	75	1173
<b>N<sub>spr</sub> = 22 (4,50 - 4,95 m)    E' = 609 kg/cm<sup>2</sup></b>					
<b>γ (PESO DI VOLUME) Rif.: Terzaghi &amp; Peck (1948-1967) [granulare]</b>					
<b>N<sub>spr</sub> →</b>	<b>γ<sub>sat</sub></b>	<b>γ<sub>d</sub></b>	<b>N<sub>spr</sub></b>	<b>γ<sub>sat</sub></b>	<b>γ<sub>d</sub></b>
0	1.83	1.33	25	2.02	1.64
5	1.88	1.41	30	2.05	1.69
10	1.93	1.50	35	2.08	1.73
15	1.96	1.54	40	2.10	1.77
20	1.99	1.59	45	2.13	1.81
<b>N<sub>spr</sub> = 22 (4,50 - 4,95 m)    γ<sub>sat</sub> = 2.0 ;    γ<sub>d</sub> = 1.61</b>					

## SONDAGGIO S 2

Intervallo (m da q.i.)	n. colpi [medio] N <sub>scpt</sub> = N2 + N3	Litologia			
4,50 - 4,95 m	7 - 11 - 13 [24]	Ghiaia spigolosa con sabbia limo-argillosa di colore nocciola			
<b>N<sub>spr</sub> → Dr (DENSITÀ RELATIVA) Riferimento: Terzaghi &amp; Peck (1948-1967) [granulare]</b>					
<b>N<sub>spr</sub></b>	<b>Dr (%)</b>	<b>N<sub>spr</sub></b>	<b>Dr (%)</b>	<b>N<sub>spr</sub></b>	<b>Dr (%)</b>
5	18	30	65	55	87
10	35	35	70	60	89
15	43	40	75	65	91
20	50	45	80	70	93
25	58	50	85	75	94
N <sub>spr</sub> = 0 + 4    sabbia MOLTO SCIOLTA    Dr = 0 + 15 %					
N <sub>spr</sub> = 4 + 10    sabbia SCIOLTA    Dr = 15 + 35 %					
N <sub>spr</sub> = 10 + 30    sabbia MEDIAM. ADDENSATA    Dr = 35 + 65 %					
N <sub>spr</sub> = 30 + 50    sabbia ADDENSATA    Dr = 65 + 85 %					
N <sub>spr</sub> > 50    sabbia MOLTO ADDENSATA    Dr = 85 + 100 %					
<b>N<sub>spr</sub> = 24 (4,50 - 4,95 m)    sabbia MEDIAM. ADDENSATA    Dr = 57,6 %</b>					
<b>φ' (ANGOLO DI ATTRITO EFFICACE) Rif.: Peck-Hanson-Thorburn (1953-1974)</b>					
<b>N<sub>spr</sub> →</b>	<b>φ' (°)</b>	<b>N<sub>spr</sub></b>	<b>φ' (°)</b>	<b>N<sub>spr</sub></b>	<b>φ' (°)</b>
5	28.0	30	36.0	55	41.8
10	30.0	35	37.3	60	42.5
15	31.5	40	38.5	65	43.3
20	33.0	45	39.8	70	44.0
25	34.5	50	41.0	75	44.3
<b>N<sub>spr</sub> = 24 (4,50 - 4,95 m)    φ' = 34,3 °</b>					
<b>E' (MODULO DI DEFORMAZIONE DRENATO) Rif.: D'Apolonia et al. (1970)</b>					
<b>N<sub>spr</sub> →</b>	<b>E' (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>N<sub>spr</sub></b>	<b>E' (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>N<sub>spr</sub></b>	<b>E' (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
5	428	30	694	55	960
10	482	35	748	60	1014
15	535	40	801	65	1067
20	588	45	854	70	1120
25	641	50	907	75	1173
<b>N<sub>spr</sub> = 24 (4,50 - 4,95 m)    E' = 634 kg/cm<sup>2</sup></b>					
<b>γ (PESO DI VOLUME) Rif.: Terzaghi &amp; Peck (1948-1967) [granulare]</b>					
<b>N<sub>spr</sub> →</b>	<b>γ<sub>sat</sub></b>	<b>γ<sub>d</sub></b>	<b>N<sub>spr</sub></b>	<b>γ<sub>sat</sub></b>	<b>γ<sub>d</sub></b>
0	1.83	1.33	25	2.02	1.64
5	1.88	1.41	30	2.05	1.69
10	1.93	1.50	35	2.08	1.73
15	1.96	1.54	40	2.10	1.77
20	1.99	1.59	45	2.13	1.81
<b>N<sub>spr</sub> = 24 (4,50 - 4,95 m)    γ<sub>sat</sub> = 2.01 ;    γ<sub>d</sub> = 1.62</b>					

## 5. SINTESI DELLE RISULTANZE DELLE INDAGINI GEONOSTICHE

Le indagini geonostiche svolte (complessivamente n. 2 sondaggi geonostici a carotaggio continuo e n. 2 scavi geonostici eseguiti con pala meccanica nel mese di ottobre 2008) hanno permesso una ricostruzione sufficientemente precisa della situazione litostratigrafica presente nell'area d'intervento caratterizzata da materiale granulare e in particolare da ghiaia spigolosa/prismatica in matrice sabbiosa/limo-argillosa.

Da un punto di vista litologico, i terreni affioranti nell'area sono rappresentati da sedimenti morenici appartenenti ai sistemi morenici del Lago di Garda depositati durante le ultime fasi glaciali quaternarie (Riss - Würm); si tratta di materiali estremamente eterogenei con presenza di elementi ghiaiosi di diversa natura petrografica-mineralogica posti in matrice fine da argillosa a sabbiosa.

Di seguito vengono tabellati, a scopo di riepilogo e rapidità di consultazione, i valori dei parametri geotecnici dedotti dalle prove SPT eseguite nei fori di sonda che verranno utilizzati nelle successive calcolazioni geotecniche.

PARAMETRI GEOTECNICI ORIENTATIVI DEDOTTI DAL SONDAGGIO S1	
Intervallo stratigrafico	4,50 - 4,95 m
n. colpi medio SPT cautelativo assunto	22
Peso di volume saturo $\gamma_{sat}$	2,0 t/m <sup>3</sup>
Peso di volume efficace $\gamma' (= \gamma_{sat} - 1)$	1,0 t/m <sup>3</sup>
Peso di volume drenato $\gamma_d$	1,61 t/m <sup>3</sup>
Densità relativa $D_r$	53,5 %
Angolo attrito efficace $\phi'$	33,6°
Coesione non drenata $C_u$	---
Modulo deformazione $E$	609 kg/cm <sup>2</sup>
PARAMETRI GEOTECNICI ORIENTATIVI DEDOTTI DAL SONDAGGIO S2	
Intervallo stratigrafico	4,50 - 4,95 m
n. colpi medio SPT cautelativo assunto	24
Peso di volume saturo $\gamma_{sat}$	2,01 t/m <sup>3</sup>
Peso di volume efficace $\gamma' (= \gamma_{sat} - 1)$	1,01 t/m <sup>3</sup>
Peso di volume drenato $\gamma_d$	1,62 t/m <sup>3</sup>
Densità relativa $D_r$	57,6 %
Angolo attrito efficace $\phi'$	34,3°
Coesione non drenata $C_u$	---
Modulo deformazione $E$	634 kg/cm <sup>2</sup>

## 6. ASPETTI GEODINAMICI E SISMICITA'

Per comodità di consultazione di seguito si riepilogano i dati geodinamici e sismici ampiamente descritti nella relazione geologica e geotecnica prodotta nel mese di aprile dell'anno 2011

### 6.1 Zonazione sismica

Parametri sismici calcolati puntualmente in base al valore dell'accelerazione massima attesa sul sito con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (ag).

Sito in esame:

latitudine / longitudine : 45,647364 / 10,716989 (coordinate ED 50)

Categoria topografica: T1, superficie pianeggiante (i media < 15°)

ag: 0,165g

Zona sismica: 2

Grado di sismicità: 9



DOCT. LINO MUNARI  
GEOLOGO

REGIONE DEL VENETO  
PROVINCIA DI VERONA  
COMUNE DI TORRI D.B.

RELAZIONE

Geologica-Geotecnica

D.M.LL.PP. 11-03-1988 e Legge 02.02.1974 n. 64

PROGETTO:

restauro della chiesa San Giovanni e del cimitero  
in "Via per Albisano".

COMMITTENTE:

Arch. Giunta Alessandro,  
Arch. Fontana Loris Annibale,  
Arch. Casali Sandro

Dott. Geol. Lino Munari

**PROVA PENETROMETRICA  
DINAMICA N° 1**

RELAZIONE: **Geologica-Geotecnica**

D.M.L.L.PP. 11-03-1998 e Legge 02.02.1974 n. 64

ALLEGATO N°: **05**

PROGETTO : **restauro della chiesa San Giovanni  
e del cimitero**

LOCALITA': **"Via per Albisano"**

COMUNE: **Torri D.B.**

COMMITTENTE: **Arch. Giunta A.,  
Arch. Fontana L.A., Arch. Casali Sandro.**

**CERTIFICATO N°1:**

VALORI NP-NL

GRAFICO NP-NL

**CERTIFICATO N°2:**

STRATIGRAFIA

**CERTIFICATO N°3:**

PARAMETRI GEOTECNICI



FOTO N°1: ESECUZIONE PROVA PENETROMETRICA N°1 ED AREA DI INDAGINE VISTA DA SUD.



Dott. Geol. Lino Munari

Via Milano, 13-37017 Lazise VR-045.64.70.519

Committente: Arch. Giunta-Fontan-Casali

Località: Torri del Benaco - Vr

Penetrometro: Dinamico "Pagani"

Note: Area ex cimitero

Sigla: pp1

**Tabulato della prova**

Profondità (m)	N. colpi della punta misurato	N. colpi del rivestimento	N. colpi SP1 equivalenti	N. colpi del rivestimento corretti
0,3	5		8	
0,6	5		8	
0,9	2		3	
1,2	2		3	
1,5	3		4	
1,8	28		42	
2,1	45		68	
2,4	38		57	
2,7	30		45	
3	35		50	
3,3	26		39	
3,6	26		39	
3,9	24		36	
4,2	18		27	
4,5	12		18	
4,8	11		16	
5,1	9		14	
5,4	6		9	
5,7	5		8	
6	4		6	
6,3	5		8	
6,6	5		8	
6,9	4		6	
7,2	7		10	
7,5	3		4	
7,8	3		4	
8,1	5		8	
8,4	7		10	
8,7	7		10	
9	7		10	
9,3	9		14	
9,6	5		8	
9,9	6		9	
10,2	8		12	
10,5	10		15	
10,8	6		9	
11,1	13		20	
11,4	10		15	
11,7	10		15	
12	7		10	
12,3	5		8	
12,6	5		8	



Dott. Geol. Lino Munari  
Via Milano, 13-37017 Iadise VR-045.64.70.519

Profondità (m)	N. colpi della punta misurato	N. colpi del rivestimento	N. colpi SPT equivalenti	N. colpi del rivestimento corretto
12,9	5		8	
13,2	7		10	
13,5	12		18	
13,8	10		15	
14,1	10		15	
14,4	6		9	
14,7	5		8	
15	4		6	
15,3	7		10	
15,6	7		10	
15,9	10		15	
16,2	12		18	
16,5	9		14	
16,8	8		12	
17,1	14		21	
17,4	18		27	
18	17		26	

Certificato n.1 del 22.06.2001

Firma:

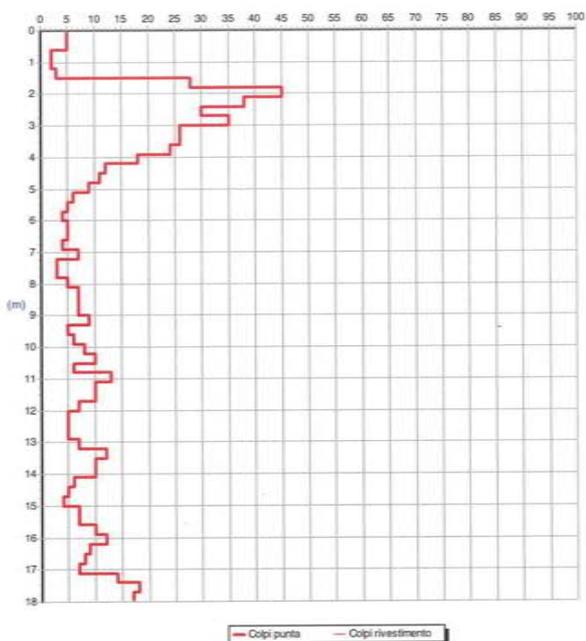


Dott. Geol. Lino Munari  
Via Milano, 13-37017 Iadise VR-045.64.70.519

Committente: Arch. Giunta-Fontan-Casali  
Località: Torri del Benaco - Vr Penetrometro: Dinamico "Pagani"  
Note: Area ex cimitero Sigla: pp1

### Grafico della prova

Profondità della falda dal p.c. (m) Assente



Certificato n.1 del 22.06.2001

Firma:





**PROVA PENETROMETRICA  
 DINAMICA N° 2**

RELAZIONE: **Geologica-Geotecnica**

D. n. L. 59 - 11-03-1998 e Legge 02.02.1974 n. 64

ALLEGATO N°: **05**

PROGETTO : **restauro della chiesa San Giovanni  
 e del cimitero**

LOCALITA': **"Via per Albisano"**

COMUNE: **Torri D.B.**

COMMITTENTE: **Arch. Giunta A.,  
 Arch. Fontana L.A., Arch. Casali Sandro.**

**CERTIFICATO N°1:**

VALORI NP-NL

GRAFICO NP-NL

**CERTIFICATO N°2:**

STRATIGRAFIA

**CERTIFICATO N°3:**

PARAMETRI GEOTECNICI



**FOTO N°2:** ESECUZIONE PROVA PENETROMETRICA N°2 ED AREA DI INDAGINE VISTA DA NORD.



Dott. Geol. Lino Munari

Via Milano, 13-37017 Lazise VR-045.64.70.519

Committente: Arch. Giunta-Fontan-Casali

Località: Torri del Benaco - Vr

Penetrometro: Dinamico "Pagani"

Note: Area ex cimitero

Sigla: pp2

**Tabulato della prova**

Profondità (m)	N. colpi della punta misurato	N. colpi del rivestimento	N. colpi SPT equivalenti	N. colpi del rivestimento corretti
0,3	6		9	
0,6	3		4	
0,9	4		6	
1,2	2		3	
1,5	4		6	
1,8	20		30	
2,1	20		30	
2,4	12		18	
2,7	5		8	
3	5		8	
3,3	5		8	
3,6	8		12	
3,9	6		9	
4,2	6		9	
4,5	7		10	
4,8	5		8	
5,1	4		6	
5,4	2		3	
5,7	4		6	
6	3		4	
6,3	2		3	
6,6	3		4	
6,9	3		4	
7,2	2		3	
7,5	2		3	
7,8	8		12	
8,1	10		15	
8,4	7		10	
8,7	6		9	
9	6		9	
9,3	4		6	
9,6	4		6	
9,9	3		4	
10,2	3		4	
10,5	4		6	
10,8	5		8	
11,1	5		8	
11,4	15		22	
11,7	11		16	
12	14		21	
12,3	9		14	
12,6	10		15	



Dott. Geol. Lino Munari  
Via Milano, 13-37017 Iazise VR-045.64.70.519

Committente: Arch. Giunta-Fontan-Casali

Località: Torri del Benaco - Vr

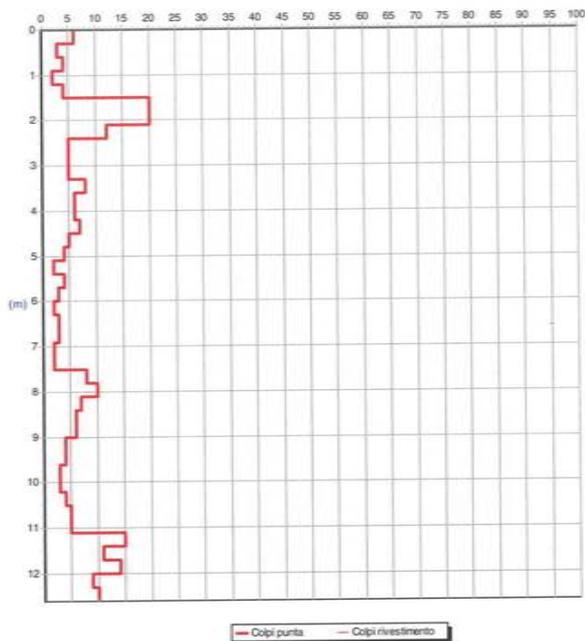
Penetrometro: Dinamico "Pagani"

Note: Area ex cimitero

Sigla: pp2

### Grafico della prova

Profondità della falda dal p.c. (m): Assente



Certificato n.1 del 22.06.2001

Firma:



Dott. Geol. Lino Munari  
Via Milano, 13-37017 Iazise VR-045.64.70.519

Committente: Arch. Giunta-Fontan-Casali

Località: Torri del Benaco - Vr

Penetrometro: Dinamico "Pagani"

Note: Area ex cimitero

Sigla: pp2

### Stratigrafia della prova

Profondità (m)	N. colpi medio equivalente	N. colpi invest. corretto	Descrizione litologica	Comport. meccanico	Correzione litologica
1,5	6		Sabbia con limo	0	1
2,4	26		Ghiaia con sabbia	0	1
11,1	7		Sabbia e sabbia con poca ghiaia	0	1
12,6	18		Ghiaia con sabbia	0	1

Comportamento meccanico dello strato: 0 = incoerente - 1 = coesivo

Profondità della falda (m): Assente

Peso del maglio (kg):	73,5	Fasso di lettura (cm):	30
Peso delle aste (kg):	6	Lunghezza della prova (m):	12,6
Volata del maglio (cm):	75	Profondità di partenza (m):	0
Diametro della punta (cm):	5,1	Fattore di correzione strumentale:	1,5

Certificato n.2 del 22.06.2001

Firma:



**Dott. Geol. Lino Munari**  
Via Milano, 13/2017 tel.045.64.70.519

Comittente: Arch. Giunta-Fontana-Casali  
Località: Torri del Benaco - Vr  
Note: Area ex cimitero

Penetrometro: Dinamico "Pagani"

Scala: pp2

**Parametri geotecnici**

Profondità (m)	Spessore (mm)	Descrizione litologica dello strato	Spessore (cm)	Area di prova (cm <sup>2</sup> )	Area di volume naturale (m <sup>2</sup> )	Spessore relativo (%)	Modulo di Young (kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo di compressione (kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo di deformazione (kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo di rigido (kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo di deformazione (kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo di deformazione (kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo di deformazione (kg/cm <sup>2</sup> )
1,5	6	Sabbia con limo	0,14	29	1,05	66	72			360	43	0,14	
2,4	26	Ghiaia con sabbia	0,45	35	1,08	85	312			1360	166	0,36	
11,1	7	Ghiaia e sabbia con poca ghiaia	0,07	29	1,82	40	84			405	50	1,24	
12,6	16	Ghiaia con sabbia	0,12	32	1,89	53	216			984	120	2,17	

Profondità della falda (m): Alzante

Certificato n.3 del 22.06.2001

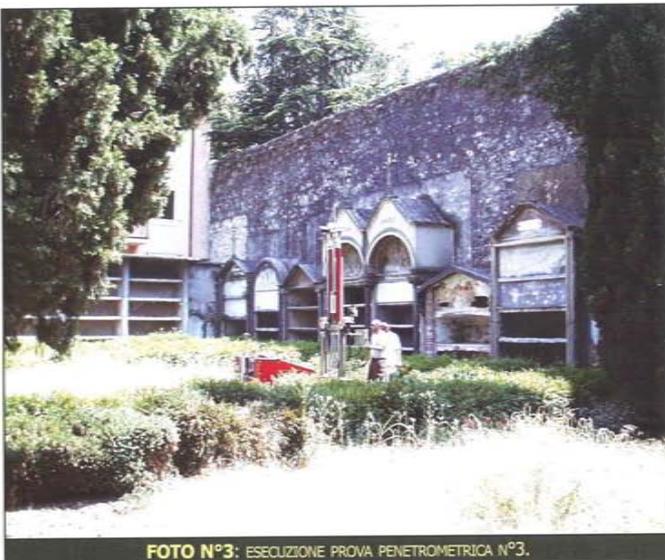
Firma:

**Geoloco**  
Via Milano, 13/2017 Loc. Capalbo Vse (VR) Tel. 045.64.70.519  
Via Sordani Pieve, 10n Capalbo Vse (VR) Tel. 045.62.30.88  
Modulo fax 045.647.90.00 Cell. 0348.38.42.575  
Http://www.geoloco.com E-mail:linomunari@geoloco.com

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA N° 3**

**RELAZIONE: Geologica-Geotecnica**  
D.M.L.PP. 11-03-1988 e Legge 02.02.1974 n. 84  
**ALLEGATO N°: 05**  
**PROGETTO: restauro della chiesa San Giovanni e del cimitero**  
**LOCALITA': "Via per Albisano"**  
**COMUNE: Torri D.B.**  
**COMMITTENTE: Arch. Giunta A., Arch. Fontana L.A., Arch. Casali Sandro.**

- CERTIFICATO N°1:**  
VALORI NP-NL  
GRAFICO NP-NL
- CERTIFICATO N°2:**  
STRATIGRAFIA
- CERTIFICATO N°3:**  
PARAMETRI GEOTECNICI



**FOTO N°3: ESECUZIONE PROVA PENETROMETRICA N°3.**



Dott. Geol. Lino Munari  
Via Milano, 13-37017 Iadze VR-045.64.70.519

Committente: Arch. Giunta-Fontan-Casali  
Località: Torri del Benaco - Vr Penetrometro: Dinamico "Pagani"  
Note: Area ex cimitero Sigla: pp3

### Tabulato della prova

Profondità (m)	N. colpi della punta misurato	N. colpi del rivestimento	N. colpi SPT equivalenti	N. colpi del rivestimento corretto
0,3	5		6	
0,6	6		7	
0,9	4		5	
1,2	5		6	
1,5	3		3	
1,8	12		14	
2,1	10		11	
2,4	6		7	
2,7	4		5	
3	2		2	
3,3	8		9	
3,6	11		13	
3,9	7		8	
4,2	3		3	
4,5	2		2	
4,8	2		2	
5,1	3		3	
5,4	2		2	
5,7	5		6	
6	5		6	
6,3	5		6	
6,6	6		7	
6,9	8		9	
7,2	7		8	
7,5	8		9	
7,8	7		8	
8,1	6		7	
8,4	5		6	
8,7	6		7	
9	8		9	
9,3	6		7	
9,6	5		6	
9,9	8		9	

Certificato n.1 del 22.06.2001

Firma:

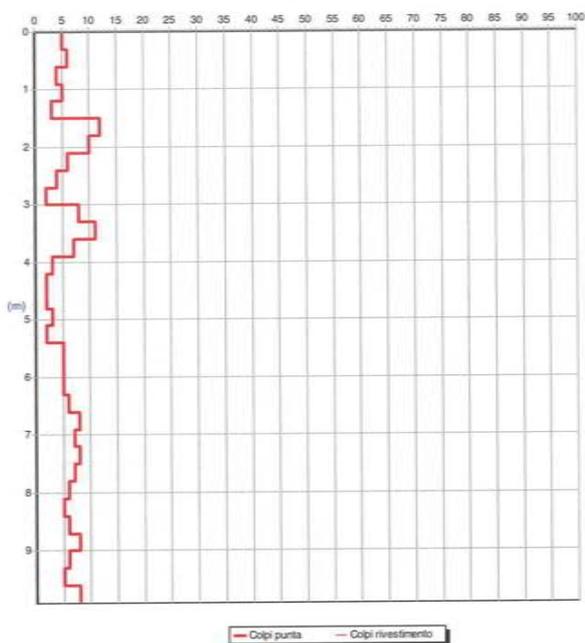


Dott. Geol. Lino Munari  
Via Milano, 13-37017 Iadze VR-045.64.70.519

Committente: Arch. Giunta-Fontan-Casali  
Località: Torri del Benaco - Vr Penetrometro: Dinamico "Pagani"  
Note: Area ex cimitero Sigla: pp3

### Grafico della prova

Profondità della falda dal p.c. (m): Assente



Certificato n.1 del 22.06.2001

Firma:



**CERTIFICATO N°1:**

VALORI NP-NL

GRAFICO NP-NL

**CERTIFICATO N°2:**

STRATIGRAFIA

**CERTIFICATO N°3:**

PARAMETRI GEOTECNICI

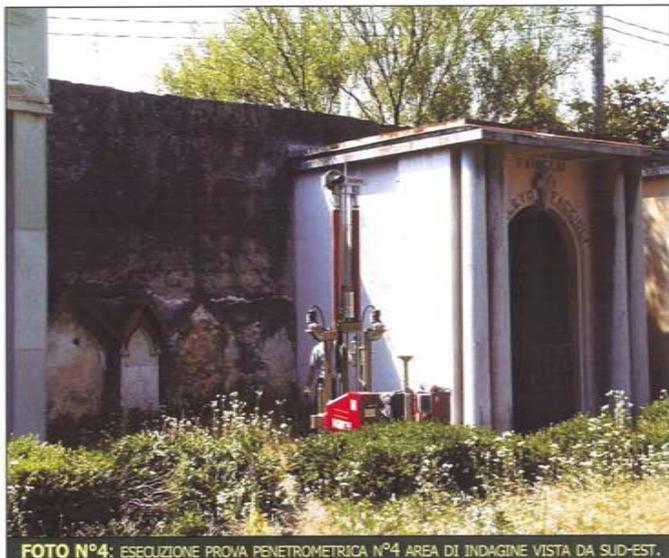


FOTO N°4: ESECUZIONE PROVA PENETROMETRICA N°4 AREA DI INDAGINE VISTA DA SUD-EST.



Dott. Geol. Lino Munari

Via Milano, 15-37017 Lazise VR-045 64 70 519

Committente: Arch. Giunta-Fontan-Casali

Penetrometro: Dinamico "Papani"

Località: Torri di Benaco - Vr

Sigla: pp4

Note: Area ex cimitero

**Tabulato della prova**

Profondità (m)	N. colpi della punta misurato	N. colpi del rivestimento	N. colpi SP1 equivalenti	N. colpi del rivestimento corretto
0,3	11		16	
0,6	5		5	
0,9	3		4	
1,2	2		3	
1,5	1		2	
1,8	3		4	
2,1	9		14	
2,4	8		12	
2,7	10		15	
3	30		45	
3,3	42		63	
3,6	34		51	
3,9	16		24	
4,2	11		16	
4,5	8		12	
4,8	6		9	
5,1	7		10	
5,4	6		9	
5,7	3		4	
6	4		6	
6,3	5		8	
6,6	5		8	
6,9	4		6	
7,2	6		9	
7,5	6		9	
7,8	5		8	
8,1	7		10	
8,4	3		4	
8,7	5		8	
9	7		10	
9,3	7		10	
9,6	7		10	
9,9	6		9	
10,2	5		8	
10,5	5		8	
10,8	6		9	



Dott. Geol. Lino Munari  
Via Milano, 13-37017 Iadise VR-045.64.70.519

Committente: Arch. Giunta-Fontan-Casali

Località: Torri di Benaco - Vr

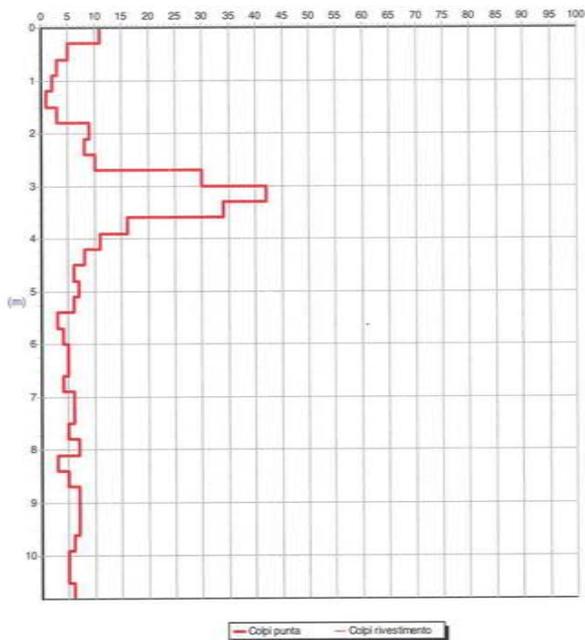
Penetrometro: Dinamico "Paganini"

Note: Area ex cimitero

Sigla: pp4

### Grafico della prova

Profondità della falda dal p.c. (m): Assente



Certificato n.1 del 22.06.2001

Firma:



Dott. Geol. Lino Munari  
Via Milano, 13-37017 Iadise VR-045.64.70.519

Committente: Arch. Giunta-Fontan-Casali

Località: Torri di Benaco - Vr

Penetrometro: Dinamico "Paganini"

Note: Area ex cimitero

Sigla: pp4

### Stratigrafia della prova

Profondità (m)	Nipoli medio equivalente	N. colpi rivest. corretto	Descrizione litologica	Comport. meccanico	Correzione litologica
1,8	6		Sabbie con limo	0	1
4,8	25		Ghiaia con sabbia	0	1
10,8	8		Sabbie e sabbie con poca ghiaia	0	1

Comportamento meccanico dello strato: 0 = incoerente - 1 = coesivo

Profondità della falda (m): Assente

Peso del maglio (kg):	73,5	Peso di lettura (cm):	30
Peso delle aste (kg):	6	Lunghezza della prova (m):	10,8
Volata del maglio (cm):	75	Profondità di partenza (m):	0
Diametro della punta (cm):	5,1	Fattore di correzione strumentale:	1,5

Certificato n.2 del 22.06.2001

Firma:

**COMUNE DI TORRI DEL BENACO**  
**PROVINCIA DI VERONA**

INDAGINE GEOLOGICA E GEOTECNICA RELATIVA ALLA  
 CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA  
 DEI TERRENI DI FONDAZIONE  
 DI UN INTERVENTO DI AMPLIAMENTO  
 SERBATOIO ACQUEDOTTO  
 IN LOCALITA' COI - VALMAGRA

**RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA**  
**IN PROSPETTIVA SISMICA AI SENSI DEL D.M. 14/01/2008**

**COMMITTENTE:** AZIENDA GARDESANA SERVIZI S.p.A.

**GEOLOGO:** DOTT. GUIDO TORRESANI  
 O.G.L. N° 1141

**Marzo 2014**

**Studio di Geologia dott. GUIDO TORRESANI**

25034 – ORZINUOVI (BS) - Via Roma, 4

tel/fax 030 944193

GEOLOGIA AMBIENTALE, IDROGEOLOGIA, GEOTECNICA, GESTIONE CAVE, AUTORIZZAZIONI POZZI

Firma: \_\_\_\_\_  
 Certificato n.3 del 22.09.2001

Profondità della falda (m):												
Profondità base strat(m)	Profondità equivalente	Descrizione litologica dello strato	Angolo d'attrito(°)	Angolo d'attrito(°)	Volume relativo	Reso di natura	Lameira	Young	Modulo	Coazione	Modulo	Assente
1,8	6	Sabbia con limo	0,19	28	1,93	55	72	350	350	Q. di taglio	R. di taglio	Assente
4,8	26	Sabbia con sabbia	0,35	35	2,16	85	312	1390	1390	Q. di taglio	R. di taglio	Assente
10,8	8	Sabbia e sabbia con poca ghiaia	0,07	29	1,44	40	96	459	459	Q. di taglio	R. di taglio	Assente

**Parametri geotecnici**

Note: Area ex cimitero

Località: Torri di Benaco - Vr

Penetrometro: Dinamico "Faganl"

Segnaletica: pp4

Comittente: Arch. Giunta-Fontan-Casali

Via Milano, 13-37017 Lazise VR-045.64.70.519

**Dott. Geol. Lino Munari**



### Trincea esplorativa T1 - stratigrafia

Località: Torri del Benaco (VR) - loc. Coi-Valmagra  
Committente: Azienda Gardesana Servizi S.p.A.

Scala 1:200	Profondita'	Stratigrafia	Descrizione
	0.2 0.4 0.6 0.8 1.0		Terreno di riporto.  Depositi morenici: sabbia costipata con ghiaia e ciottoli.



### Trincea esplorativa T2 - stratigrafia

Località: Torri del Benaco (VR) - loc. Coi-Valmagra  
Committente: Azienda Gardesana Servizi S.p.A.

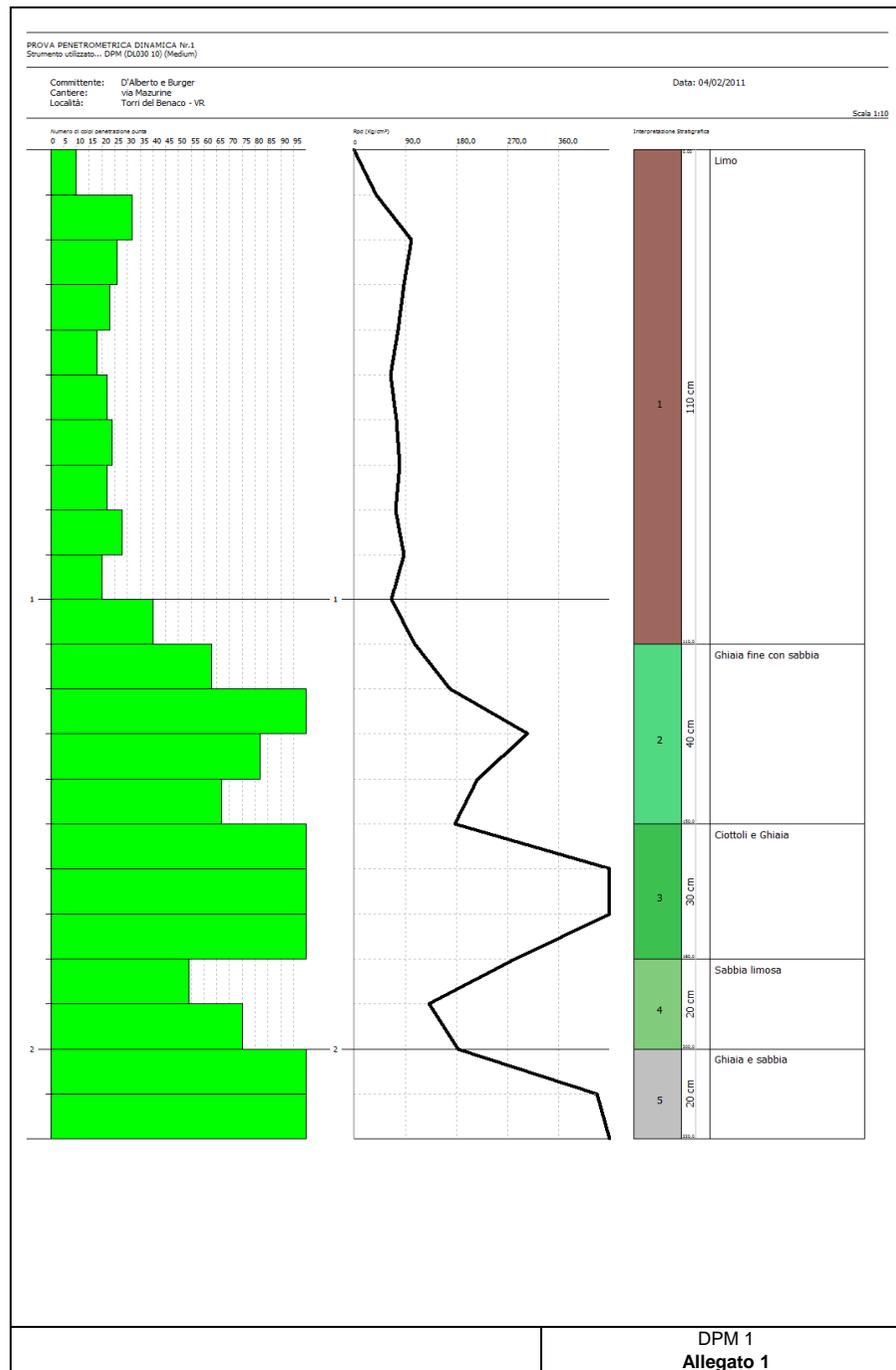
Scala 1:200	Profondita'	Stratigrafia	Descrizione
	0.2 0.4 0.6 0.8 1.0		Terreno di riporto.  Depositi morenici: sabbia costipata con ghiaia e ciottoli.

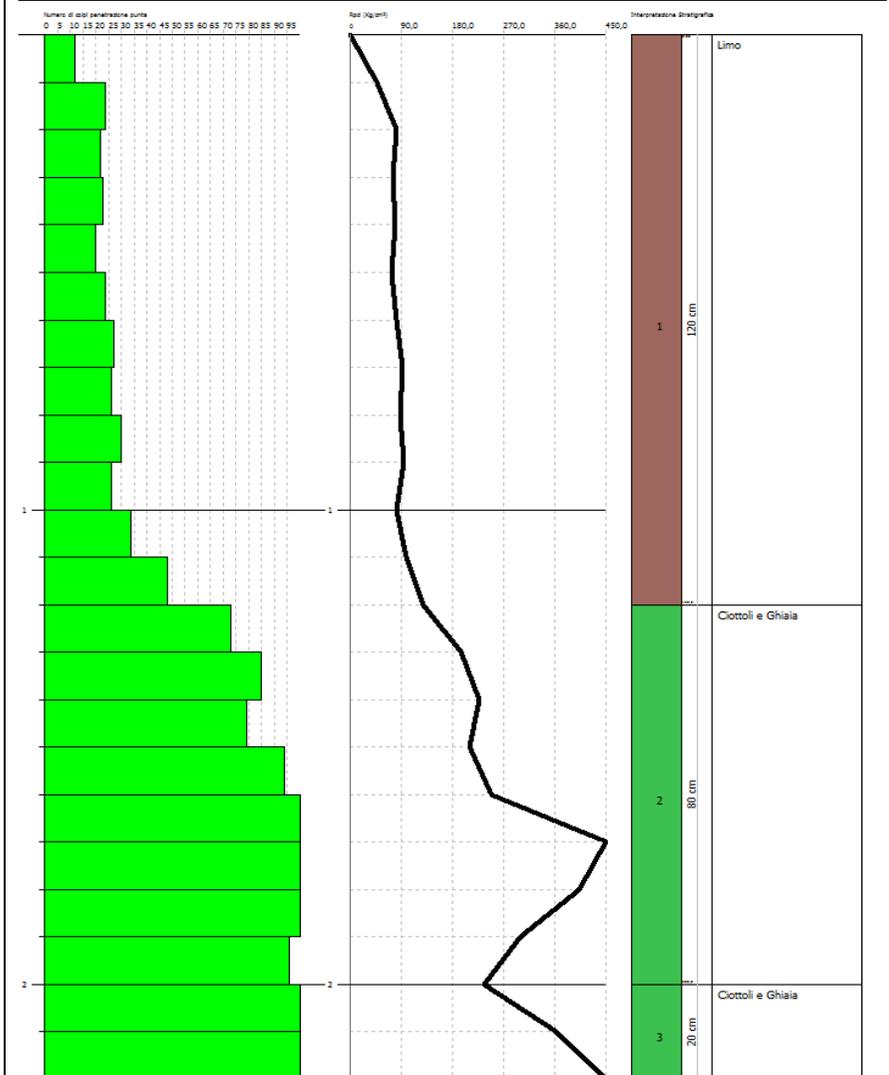


### Trincea esplorativa T3 - stratigrafia

Località: Torri del Benaco (VR) - loc. Coi-Valmagra  
 Committente: Azienda Gardesana Servizi S.p.A.

Scala 1:200	Profondità*	Stratigrafia	Descrizione
0,2	0,30		Terreno di riporto.
0,4			
0,6			
0,8	0,80		Depositi morenici: sabbia costipata con ghiaia e ciottoli.
1,0			





DPM 2  
Allegato 2

PROVINCIA DI VERONA



COMUNE DEL TORRI DEL BENACO



## Caratterizzazione geofisica del sottosuolo tramite la tecnica sismica H.V.S.R.

Committente: Sigg. D'Alberto Renato e Burger Claudia

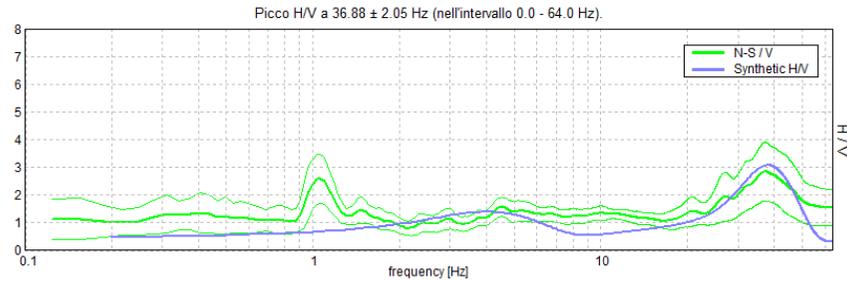
Data: Febbraio 2011



45020 VILLA D'ADIGE (RO) - VIA MARCONI, 46  
Tel. 347 295.65.07  
Fax 1782211556

[www.geo-point.it](http://www.geo-point.it)  
[info@geo-point.it](mailto:info@geo-point.it)

FASOLIN MASSIMO, geologo



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

Il modello sintetico creato da una modellizzazione diretta delle velocità di propagazione delle onde di taglio ha individuato un terreno che fino a  $\approx 1,2$  m dal p.c. locale è caratterizzato da una velocità di propagazione delle onde S pari a  $\approx 180$  m/s. Per valori di profondità maggiori il grado di rigidità diventa in genere più elevato fino al IV sismostrato.

La ricostruzione sismo - stratigrafica ottenuta mediante correlazione  $V_s$  - materiale è risultata come di seguito esposta:

- profondità 0,0 –  $\approx 1,2$  m dal p.c. e  $V_s \approx 180$  m/s.  
Correlazione: materiale poco addensato;
- profondità  $\approx 1,20$  –  $\approx 20,0$  m dal p.c. e  $V_s \approx 450$  m/s.  
Correlazione: materiale moderatamente addensato,  
suoli ghiaiosi e rocce tenere;
- profondità  $\approx 20,0$  –  $\approx 43,0$  m dal p.c. e  $V_s \approx 780$  m/s.  
Correlazione: rocce dure.
- profondità  $\approx 43,0$  – ... m dal p.c. e  $V_s \approx 950$  m/s.  
Correlazione: rocce dure;

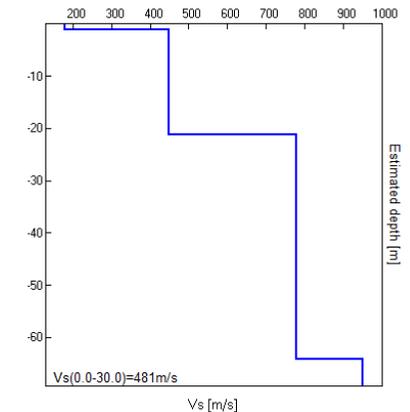
Il rilievo nello specifico ha fornito i seguenti dati sismici (*modello sismo-stratigrafico interpretativo*):

H.V.S.R.	Velocità di taglio [m/s]	Spessori (m)	Profondità (m)
I SISMOSTRATO	180	1,2	0,0 – $\approx 1,2$
II SISMOSTRATO	450	20	$\approx 1,2$ – 21,20

III SISMOSTRATO	780	43	$\approx 21,20$ – 64,20
IV SISMOSTRATO	950	Semisp.	$\approx 64,20$ – Semisp.

È stato quindi possibile stimare la velocità delle onde  $V_s$  fino a 30 m dal piano di posa delle fondazioni come esplicitamente richiesto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 14 gennaio 2008. A seguire si riportano i valori medi di  $V_s$  ipotizzando varie profondità delle future opere di fondazione.

Piano di posa fondazioni	$V_s$
0 m p.c.	$V_s(0-30) \approx 481$ m/s
1 m p.c.	$V_s(1-31) \approx 516$ m/s
2 m p.c.	$V_s(2-32) \approx 531$ m/s
3 m p.c.	$V_s(3-33) \approx 540$ m/s



## 8. Modello sismico locale

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento ad un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di fondazione (D.M. 14 gennaio 2008):

Categoria	Descrizione
A	<b>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</b> caratterizzati da valori di $V_{s30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<b>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti</b> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $cu_{30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<b>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti</b> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu_{30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).

D	<b>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti</b> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 inferiori a 180 m/s (ovvero NSPT,30 < 15 nei terreni a grana grossa e cu,30 <70 kPa nei terreni a grana fina).
E	<b>Terreni dei sottosuoli C o D per spessore non superiore a 20 m</b> , posti sul substrato di riferimento (con Vs > 800 m/s).

Dalla ricostruzione del quadro geofisico emerso dal presente studio, si ritiene opportuno inserire il sito in oggetto di studio nella **Categoria B** (*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT,30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu,30 >250 kPa nei terreni a grana fina).

Fasolin Massimo, geologo



## Caratterizzazione geofisica del sottosuolo tramite la tecnica sismica H.V.S.R.

Committente: Sigg. D'Alberto Renato e Burger Claudia

Data: Febbraio 2011

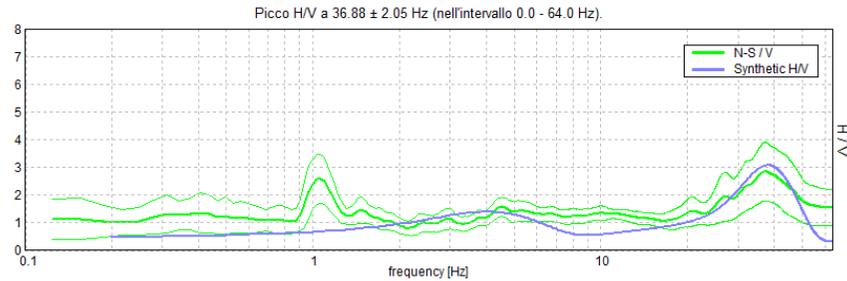


45020 VILLA D'ADIGE (RO) – VIA MARCONI, 46  
Tel. 347 295.65.07  
Fax 1782211556

[www.geo-point.it](http://www.geo-point.it)  
[info@geo-point.it](mailto:info@geo-point.it)

FASOLIN MASSIMO, geologo

Cod. 005-11



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

Il modello sintetico creato da una modellizzazione diretta delle velocità di propagazione delle onde di taglio ha individuato un terreno che fino a  $\approx 1,2$  m dal p.c. locale è caratterizzato da una velocità di propagazione delle onde S pari a  $\approx 180$  m/s. Per valori di profondità maggiori il grado di rigidità diventa in genere più elevato fino al IV sismostrato.

La ricostruzione sismo - stratigrafica ottenuta mediante correlazione  $V_s$  - materiale è risultata come di seguito esposta:

- profondità 0,0 –  $\approx 1,2$  m dal p.c. e  $V_s \approx 180$  m/s.  
Correlazione: materiale poco addensato;
- profondità  $\approx 1,20$  –  $\approx 20,0$  m dal p.c. e  $V_s \approx 450$  m/s.  
Correlazione: materiale moderatamente addensato,  
suoli ghiaiosi e rocce tenere;
- profondità  $\approx 20,0$  –  $\approx 43,0$  m dal p.c. e  $V_s \approx 780$  m/s.  
Correlazione: rocce dure.
- profondità  $\approx 43,0$  – ... m dal p.c. e  $V_s \approx 950$  m/s.  
Correlazione: rocce dure;

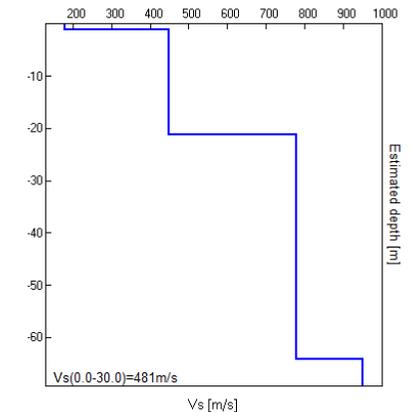
Il rilievo nello specifico ha fornito i seguenti dati sismici (*modello sismo-stratigrafico interpretativo*):

H.V.S.R.	Velocità di taglio [m/s]	Spessori (m)	Profondità (m)
I SISMOSTRATO	180	1,2	0,0 – $\approx 1,2$
II SISMOSTRATO	450	20	$\approx 1,2$ – 21,20

III SISMOSTRATO	780	43	$\approx 21,20$ – 64,20
IV SISMOSTRATO	950	Semisp.	$\approx 64,20$ – Semisp.

È stato quindi possibile stimare la velocità delle onde  $V_s$  fino a 30 m dal piano di posa delle fondazioni come esplicitamente richiesto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 14 gennaio 2008. A seguire si riportano i valori medi di  $V_s$  ipotizzando varie profondità delle future opere di fondazione.

Piano di posa fondazioni	$V_s$
0 m p.c.	$V_s(0-30) \approx 481$ m/s
1 m p.c.	$V_s(1-31) \approx 516$ m/s
2 m p.c.	$V_s(2-32) \approx 531$ m/s
3 m p.c.	$V_s(3-33) \approx 540$ m/s



## 8. Modello sismico locale

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento ad un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di fondazione (D.M. 14 gennaio 2008):

Categoria	Descrizione
A	<b>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</b> caratterizzati da valori di $V_{s30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<b>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti</b> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $cu_{30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<b>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti</b> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu_{30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).

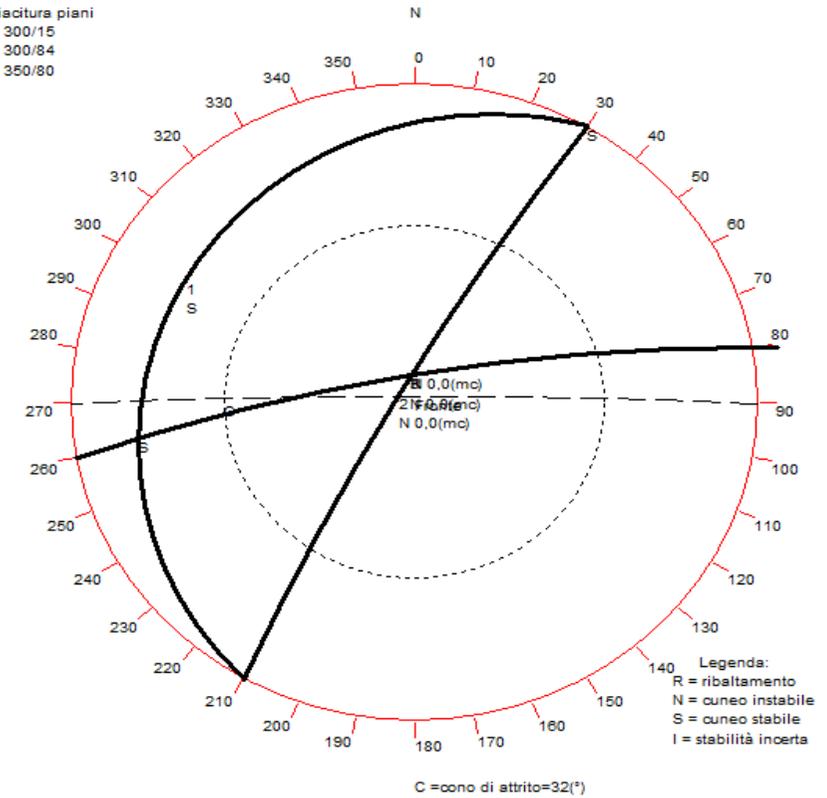
<b>D</b>	<b>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti</b> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 inferiori a 180 m/s (ovvero NSPT,30 < 15 nei terreni a grana grossa e cu,30 <70 kPa nei terreni a grana fina).
<b>E</b>	<b>Terreni dei sottosuoli C o D per spessore non superiore a 20 m</b> , posti sul substrato di riferimento (con Vs > 800 m/s).

Dalla ricostruzione del quadro geofisico emerso dal presente studio, si ritiene opportuno inserire il sito in oggetto di studio nella **Categoria B** (*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT,30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu,30 >250 kPa nei terreni a grana fina).

Fasolin Massimo, geologo

## Diagramma equiangolare equatoriale di Wulff

Giacitura piani  
 1) 300/15  
 2) 300/84  
 3) 350/80



**Giacitura del fronte del versante o dell'asse della galleria**

Immersione (°): **360**      Inclinazione (°): **88**

Cono d'attrito (°): **32**

Correzione da applicare a BRMR:-60

Classificazione ammasso roccioso

**Scheda 3**

Annulo 5 art. 2 21/ks  
 25 AGO. 1994  
 6055

Comune di Torri del Benaco

Provincia di Verona

Sistemazione del parcheggio  
 nell'area portuale del capoluogo

Studio di fattibilità

Indagine Geognostica



Studio di Geologia Applicata  
 dott. Fernando Cavagnari  
 via Venturini, 2 - Verona

**Classificazione C.S.I.R.- Rock Mass Rating 1989 (Bieniawski)**

CLASSE	BRMR (stimato)	RMR (stimato)	Qualità dell' ammasso roccioso	Coesione (k Pa)	Angolo d'attrito(°)
III	52	45	Discreta	260	31
A1 - Resistenza roccia integra					
Resistenza alla compressione monoassiale (MPa)= 67,0				A1 = 7	
A2 - Rock Quality Designation					
Rock Quality Designation (R.Q.D.) % = 49				A2 = 10	
A3 - Spaziatura dei giunti					
Spaziatura media dei giunti (cm) = 15,00				A3 = 7	
A4 - Condizione dei giunti					
Lunghezza media dei giunti (m):				Indice parziale = 4	
Apertura media dei giunti (mm):				Indice parziale = 1	
Rugosità media dei giunti:				Indice parziale = 3	
Riempimento medio dei giunti (mm):				Indice parziale = 2	
Condizione di alterazione dei giunti:				Indice parziale = 3	
				A4 = 13	
A5 - Condizioni idrauliche					
A5 = 15					
A6 - Orientamento dei giunti					
A6 = -7					
BRMR (Basic RMR) = A1 + A2 + A3 + A4 + A5					
RMR = A1 + A2 + A3 + A4 + A5 + A6					
GSI (Geological Strength Index)= A1 + A2 + A3 +A4 +10 = 47					

Classificazione ammasso roccioso

Scheda 4

Verona, 24 agosto 1994

## 1.0. - PREMESSA

Su incarico dell'Amministrazione Comunale di Torri del Benaco (VR) si è condotto lo studio di fattibilità sull'area portuale che sarà interessata da lavori di sistemazione, comprendenti la realizzazione di:

- parcheggio interrato con piano calpestio a circa 2,5 - 3 m sotto l'attuale piano campagna;

- n.2 palazzine ad uso commerciale elevantesi per uno o due piani fuori terra e dotate di piano interrato.

L'area d'intervento, già adibita in passato a campo sportivo ed attualmente utilizzata come parcheggio all'aperto, giace poco a Sud e ad un centinaio di metri dal Castello Mediceale ed è delimitata a monte dalla strada statale n° 249, a valle da viale Marconi che si svolge pressoché parallelo alla sponda lacuale, dalla quale dista una quarantina di metri.

Il costruendo parcheggio si estende su di un'area trapezoidale di 70 x 60 m circa di dimensioni massime; le due palazzine ad uso commerciale occuperanno la fascia più meridionale dell'area d'intervento in adiacenza all'area di parcheggio, e si estenderanno su di un'area di complessivi 30x30 m circa.

## 2.0. - CONDIZIONI GEOLOGICHE E IDROGEOLOGICHE

### 2.1. - INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

L'area allo studio è compresa nella fascia litorale che degrada con debole pendenza dal rilievo montuoso alla sponda lacuale; l'originaria morfologia di tale zona, che comprendeva l'abitato di Torri d.B., è stata variamente modificata dall'attività antropica, in particolare l'area d'intervento si presenta livellata a quota di circa 67 s.l.m., prossima a quella della sponda lacuale e ad 1 - 2 m sopra il livello medio lago.

Peraltro non ci sono stati segnalati fenomeni esondativi in occasione delle maggiori piene lacuali, né l'area risulta soggetta a sommersione ancorché occasionale in conseguenza di drenaggio impedito o difficoltoso di acque superficiali.

Nella "Carta delle penali ai fini edificatori" di Tav. 10 redatta per la documentazione geologica del P.R.G., l'intera fascia litorale è ascritta alla classe di terreno "buono" cui corrispondono nella legenda della carta medesima "condizioni geomorfologiche favorevoli, assenza di frane od erosioni attive, drenaggio buono con falda mediana profonda, condizioni geomecchaniche buone e buona capacità portante".

L'assetto dei luoghi e l'esistente bibliografia e cartografia geologica attestano che la fascia costiera in debole pendenza verso lago corrisponde ad un'ampia conoidale detritica; in base alla cartografia geologica redatta per il P.R.G. sembra che tale conoida tragga origine da un'antica frana di crollo della pendice rocciosa, il cui accumulo è stato successivamente rimaneggiato dall'azione dei corsi d'acqua torrentizi oltreché dall'erosione litorale.

Dall'originario accumulo farebbero parte anche i calcari paleocenici che affiorano in corrispondenza del vicino colle del Castello, e che sono stati ritracciati da scavi anche poco a monte della strada statale non lungi dall'area in esame: essi costituirebbero blocchi alloctoni di roccia scivolata in massa in occasione dell'antico evento franso.

L'alloctono roccioso è peraltro di norma celato da copertura detritica di variabile granulometria e di origine morenica, fluvio-glaciale od anche torrentizia; nella stratigrafia del vicino pozzo elencato al n. 8 nella relazione allegata alla citata documentazione geologica del P.R.G. tale copertura presenta natura ghiaioso-sabbiosa e ciottolosa e raggiunge spessore massimo ai 20 m sopra la falda rocciosa; il sottosuolo detritico ospita una falda freatica la cui piezometrica risulta pressoché coincidente con il livello medio del lago.

In una serie di sondaggi geognostici, eseguiti a lago ed in prossimità della sponda lacuale ad un centinaio di metri a Sud dell'area in esame (cfr. "Progetto per la costruzione di un porto ad uso ricovero imbarcazioni da diporto" redatto nel 1987 per l'Amministrazione) e spinti per 5-15 m sotto il fondo lacuale senza peraltro raggiungere la falda rocciosa, la copertura detritica risulta costituita da depositi di più eterogenea granulometria, che comprendono:

-al tetto: depositi lacuali o palustri recenti, di pochi metri di spessore e di scar-

massima consistenza (da prove scissometriche con Torvane risulta una coesione non drenata  $c_u > 0,2 \text{ kg/cm}^2$ );

-al centro: orizzonte ghiaioso-sabbioso e ciottoloso di 5-7 m di spessore, medio-cementato addensato (da 9 a 33 colpi/30 cm in prove S.P.T.);

-al letto: depositi palustri costituiti da argilla grigiastria localmente torbosa, di media compattezza ( $c_u \approx 0,5 \text{ kg/cm}^2$ ).

## 2.2. - INDAGINI GEONOSTICHE

Al fine di verificare l'effettiva natura dell'immediato sottosuolo in vista degli interventi in progetto, si sono eseguite n. 2 trincee geonostiche a mezzo escavatore meccanico e n. 4 profili geologici con Georadar, le cui caratteristiche sono illustrate in allegato.

Le due trincee, ubicate alle estremità dell'area sottesa dal costruendo parcheggio, hanno rivelato la seguente stratigrafia:

- trincea n.1 (presso il vertice sud-ovest dell'area di parcheggio):

da p.c. a -0,2 m: riporto costituito da ghiaietto e sabbia;

da -0,2 a -0,7 m: suolo agrario costituito da riporto terroso con ghiaia e ciottoli;

da -0,7 a -2,5 m: prevalente sabbia con ghiaia e rari ciottoli (max 6 cm) poligenici dotata di evidente isorientazione debolmente immergente verso sud, saturata -1,3 m;

- trincea n.2 (presso il vertice nord-est dell'area di parcheggio, con p.c. più elevato di  $\approx 40 \text{ cm}$  rispetto alla precedente):

da p.c. a -0,2 m: riporto costituito da ghiaietto e sabbia;

da -0,2 a -2,5 m: sabbia ghiaiosa con ciottoli (max 6 cm) poligenici, dotata di evidente isorientazione debolmente immergente verso sud, saturata da -1,3 m.

Il materiale ghiaioso e sabbioso, che rappresenta il primo sottosuolo dell'area indagata, è verosimilmente correlabile con gli analoghi orizzonti della copertura detritica identificati dalle stratigrafie del pozzo e dei sondaggi citati in 2.1.

Si tratta di depositi alluvionali (fluvio-glaciali o torrentizi) ben classificati e che

traggono origine dall'erosione di depositi morenici, come ci testimonia la natura poligenica della frazione ghiaiosa e ciottolosa.

Essi costituiscono il materasso permeabile ed acquifero che ospita la falda freatica già artina dal pozzo citato in 2.1.; la superficie freatica è stata raggiunta a quota più elevata nella trincea n.2 (più a monte) che nella trincea n.1 (a valle), e comunque assai prossima a quella del lago alla data di esecuzione delle indagini.

E' comunque lecito ritenere, stante la probabile continuità dell'orizzonte acquifero sotto il fondo del lago, che la falda sia in comunicazione con il lago medesimo e ne sia drenata in condizioni di magra, ed alimentata nei periodi di maggior innalzamento del livello lacuale: è quindi da attendersi che la superficie freatica nell'area in esame risalga per periodi anche prolungati a quota ancor più prossima a quella del piano campagna.

I 4 profili georadar (eseguiti da monte a valle su sezioni di 40-55 m di lunghezza tra loro parallele e spaziate di 25 m traverso l'area d'intervento) confermano la presenza della superficie idrica e la natura ghiaiosa e ciottolosa del sottosuolo almeno fino alla profondità d'indagine, prossima ai 4,5 m sotto il piano campagna; inoltre essi evidenziano chiaramente come il terreno naturale sia celato da variabile spessore di terreno di riporto o rimareggiato in conseguenza a precedenti scavi, fino a profondità variabili da 0,7 a 1,5 m.

I fianchi delle trincee di scavo costituiti entro il sottosuolo sabbioso-ghiaioso si sono rivelati pressoché immediatamente franosi anche prima che il fondo scavo raggiungesse la falda idrica: ciò conferma lo scarso grado di addensamento dell'orizzonte, già testimoniato dai modesti valori di resistenza rivelato dalle prove S.P.T. eseguite nei fori dei sondaggi a lago citati in 2.1.

L'angolo di naturale declivio del materiale ghiaioso-sabbioso, misurato sui fianchi di cumuli a sezione conica costruiti per caduta dalla benna dell'escavatore, è risultato compreso tra 29° e 36° con valore medio prossimo ai 30°-32°; tale valore può essere indicativamente assunto come rappresentativo dell'angolo d'attrito residuo del materiale medesimo.

### 3.0. - CONCLUSIONI ED AVVERTENZE

Come segnalato, l'area d'intervento non è soggetta a fenomeni esondativi o franosi; l'immediato sottosuolo è costituito da sabbie ghiaiose poco addensate; acquifere già ad un metro o poco più sotto l'attuale piano campagna.

L'esecuzione di piani interrati risulta quindi senz'altro onerosa, anche perché è improbabile che la superficie freatica possa essere depressa per pompaggio a quota inferiore a quella della vicina superficie lacustre come invece richiede l'esecuzione dello scavo in progetto; ove tale operazione si rivelasse possibile, ad evitare il rischio di cedimenti di fabbricati esistenti si dovrà comunque verificare che l'abbassamento della piezometria non si estenda alle non lontane aree edificate, soprattutto in prossimità del lato meridionale ove esiste un albergo in adiacenza all'area di progetto.

Gli interrati dovranno essere impermeabilizzati sia al fondo che lungo le murature perimetrali; la soletta di base dovrà essere dimensionata in modo da contrastare la spinta dell'acqua, che come segnalato in 2.2, potrebbe anche risalire a meno di 1 metro dal piano campagna attuale.

Per quanto riguarda le opere di fondazione, esse dovranno essere definite in base a indagini geognostiche spinte entro una profondità significativa non inferiore alla decina di metri dal piano di posa, al fine di accertare lo spessore dell'orizzonte sabbioso-ghiaioso nonché le caratteristiche meccaniche di questo e delle eventuali argille ad esso soggettive; le indagini dovranno consistere di sondaggi a carotaggio continuo con prove S.P.T. in foro, che potranno essere integrati da prove penetrometriche dinamiche SCPT utili anche per accertare il grado di addensamento dell'orizzonte sabbioso-ghiaioso.

Infine, essendo il territorio comunale ascritto a zona sismica di 2ª categoria si dovrà verificare che il sottosuolo sabbioso-ghiaioso saturo e poco addensato non sia soggetto al rischio di liquefazione.

In particolare, in conformità a quanto proposto in "Elementi per una guida alle indagini di Microzonazione sismica" edito da C.N.R. nel 1986 a cura del Progetto Finalizzato Geodinamica, si dovrà innanzitutto verificare se la granulometria di tali materiali

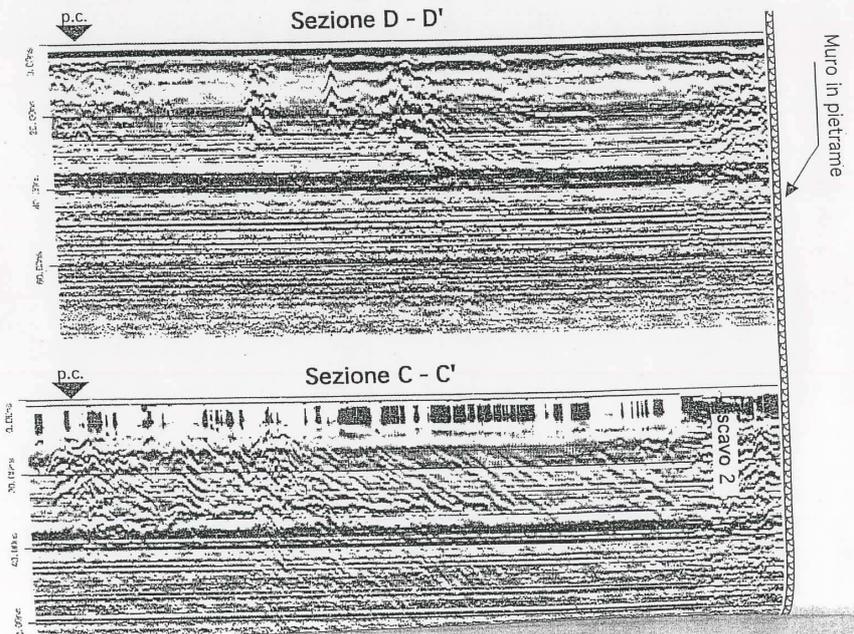
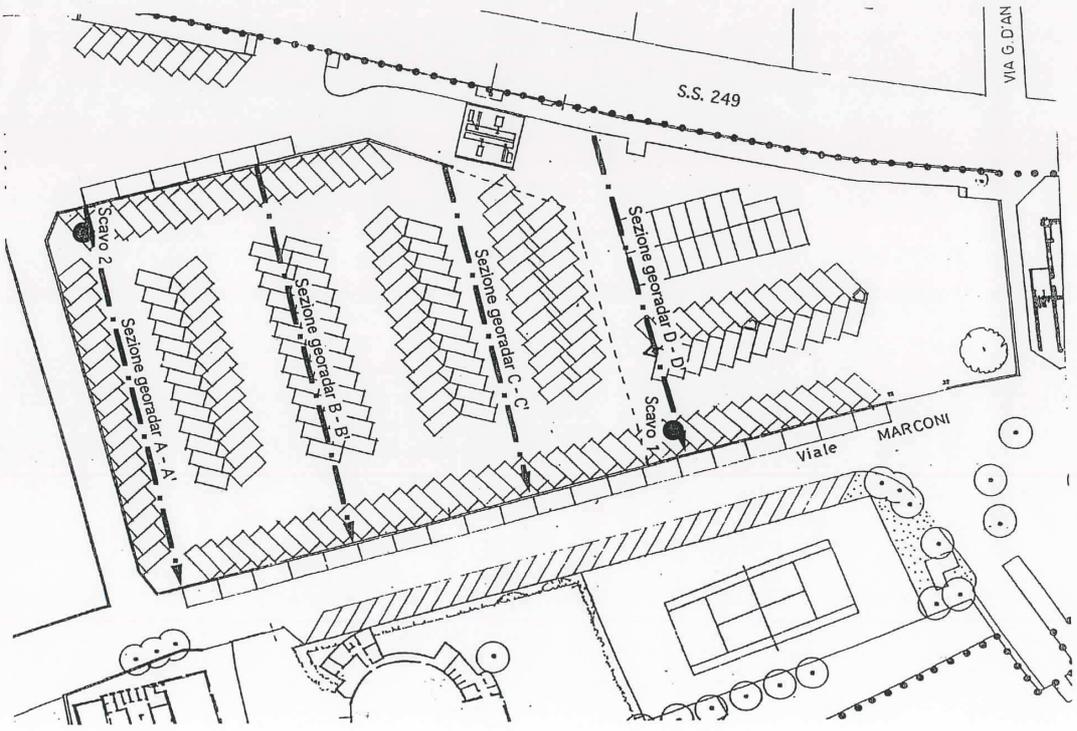
presenti un diametro efficace  $0,074 \text{ mm} < D_{50} < 2 \text{ mm}$ ; in tale ipotesi, si dovrà verificare il fattore di sicurezza nei confronti della liquefazione, p.e. conformemente a quanto indicato da C.N.R. in op.cit., utilizzando a tale scopo i dati delle prove S.P.T. o SCPT.

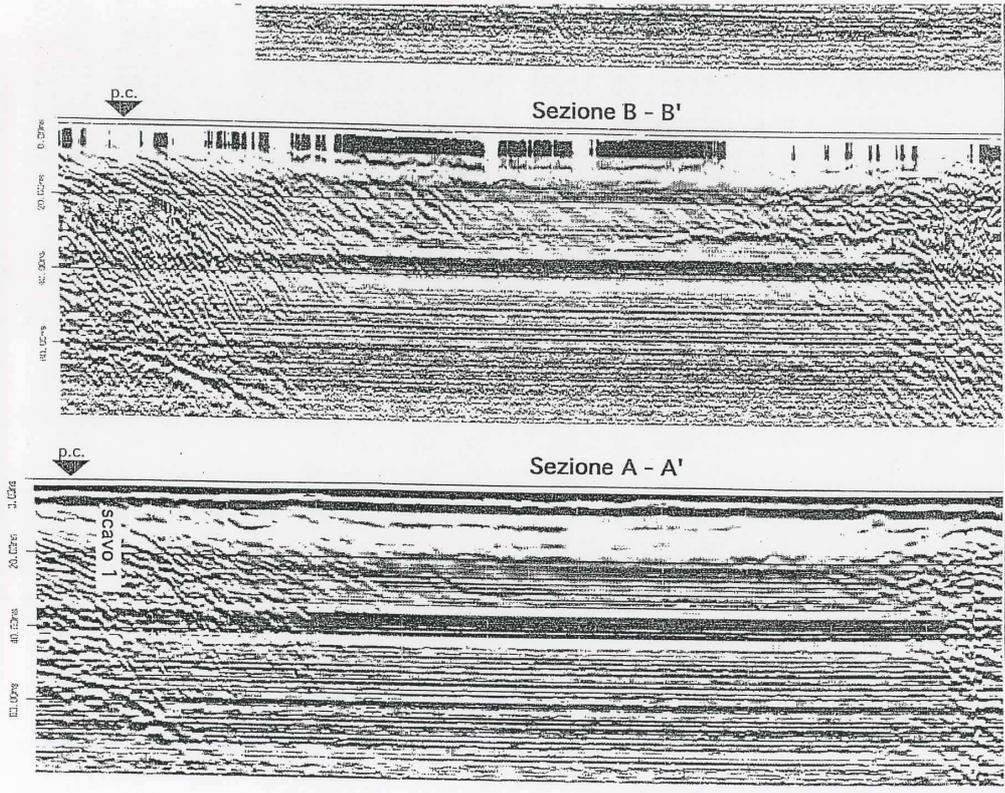
Ove tale fattore di sicurezza risultasse inferiore a 1,5 si dovrà provvedere all'addensamento del terreno di fondazione, p.e. a mezzo di vibrofoctazione.

dott. geol. Fernando Cavagnari



**Pianta di posizione**  
degli scavi geognostici e delle sezioni georadar  
scala 1:600

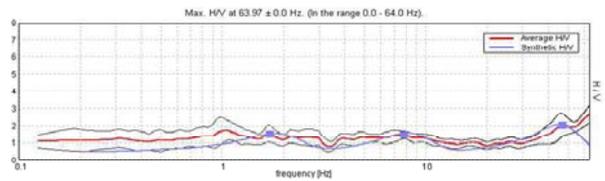




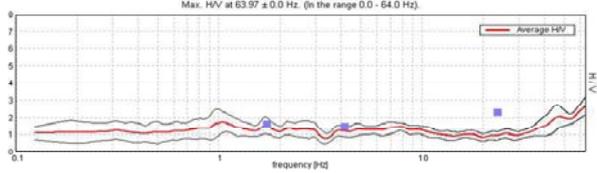
**TORRI\_BENACO, H01**

Strumento: TRZ-0104/01-10  
 Inizio registrazione: 05/03/14 14:03:38 Fine registrazione: 05/03/14 14:19:39  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN  
 Dato GPS non disponibile  
 Durata registrazione: 0h16'00" Analizzato 85% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestra: 20 s  
 Tipo di lisciamo: Triangular window  
 Lisciamo: 10%

**H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO**



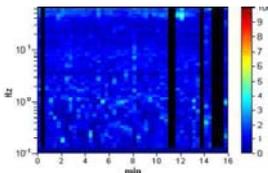
**RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE**



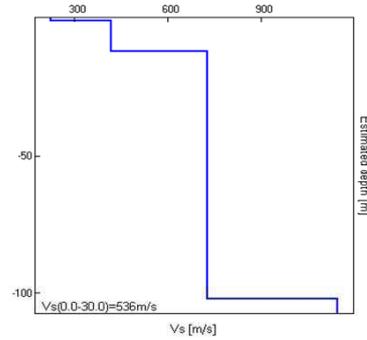
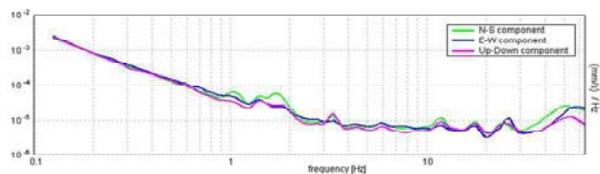
Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
1.20	1.20	224	
12.20	11.0	420	
102.20	90.0	780	
inf.	inf.	11470	

Vs(0.0-30.0) = 536 m/s

**SERIE TEMPORALE H/V**



**SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI**

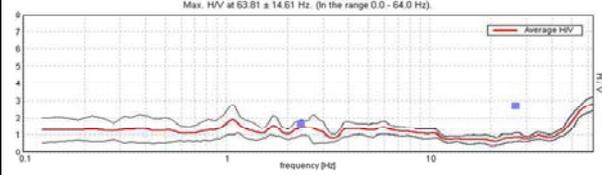


**TORRI\_BENACO, H02**

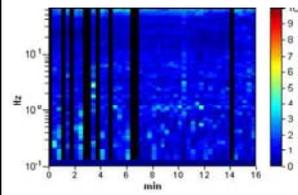
Strumento: TRZ-0104/01-10  
 Inizio registrazione: 05/03/14 14:32:34 Fine registrazione: 05/03/14 14:48:35  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN  
 Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h16'00" Anallizzato 79% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestra: 20 s  
 Tipo di lisciamo: Triangular window  
 Lisciamo: 10%

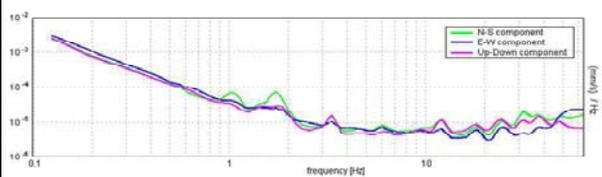
**RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE**



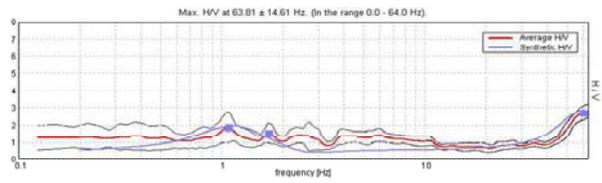
**SERIE TEMPORALE H/V**



**SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI**

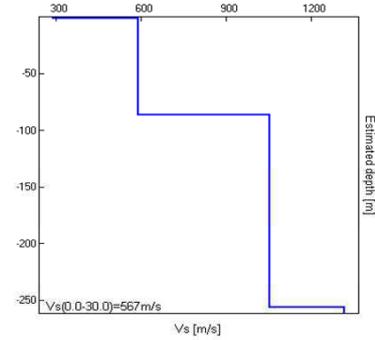


**H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO**



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
1.20	1.2	290	0.42
86.2	85.0	591	
256.2	170.0	1055	
inf.	inf.	1316	

Vs(0.0-30.0)=m/s



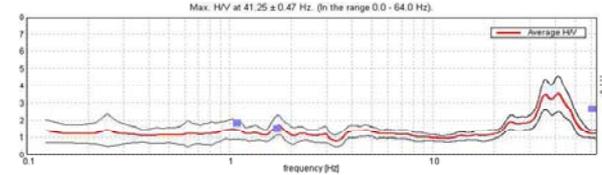
Sismica passiva HVSR  
 Posizione H 02  
 Allegato H02

**TORRI\_BENACO, H03**

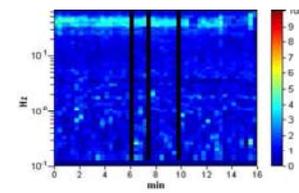
Strumento: TRZ-0104/01-10  
 Inizio registrazione: 05/03/14 15:01:43 Fine registrazione: 05/03/14 15:17:43  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN  
 Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h16'00" Anallizzato 94% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestra: 20 s  
 Tipo di lisciamo: Triangular window  
 Lisciamo: 10%

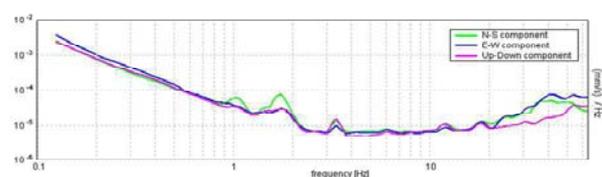
**RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE**



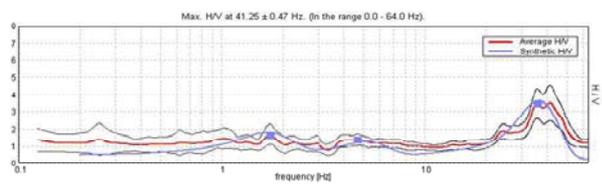
**SERIE TEMPORALE H/V**



**SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI**

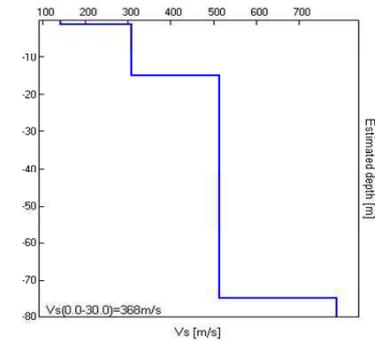


**H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO**



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
1.0	1.0	143	0.42
15.0	14.0	309	
75.0	60.0	514	
inf.	inf.	786	

Vs(0.0-30.0) = 368 m/s



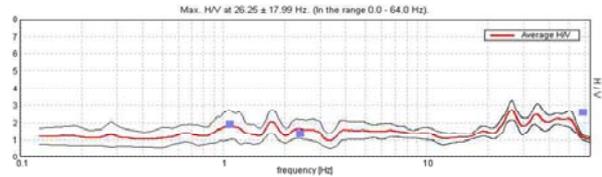
Sismica passiva HVSR  
 Posizione H 03  
 Allegato H03

**TORRI\_BENACO, H04**

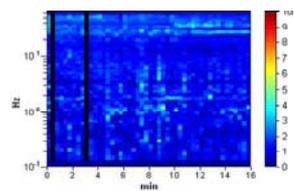
Strumento: TRZ-0104/01-10  
 Inizio registrazione: 05/03/14 15:50:03 Fine registrazione: 05/03/14 16:06:03  
 Nom canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
 Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h16'00". Analizzato 96% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestra: 20 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window  
 Lisciamento: 10%

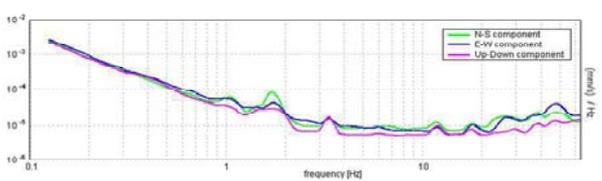
**RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE**



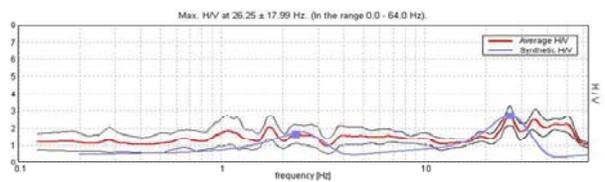
**SERIE TEMPORALE H/V**



**SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI**

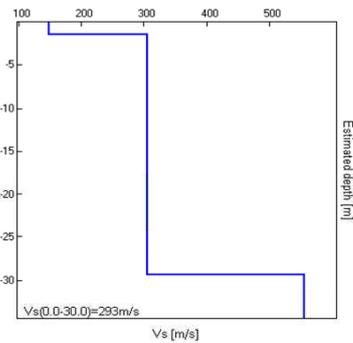


**H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO**



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
1.40	1.4	148	0.4
29.4	28.0	305	0.4
inf.	inf.	556	0.4

Vs(0.0-30.0)= 293 m/s



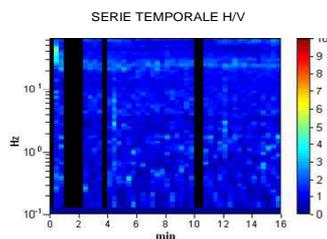
Sismica passiva HVSR  
 Posizione H 04  
 Allegato H04

**TORRI\_BENACO, H05**

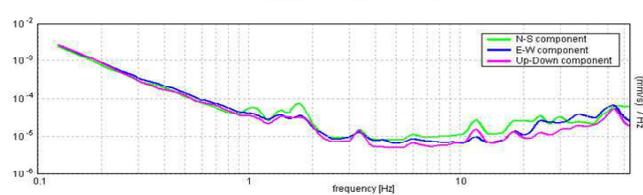
Strumento: TRZ-0104/01-10  
 Inizio registrazione: 05/03/14 16:14:16 Fine registrazione: 05/03/14 16:30:16  
 Nom canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
 Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h16'00". Analizzato 83% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestra: 20 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window  
 Lisciamento: 10%

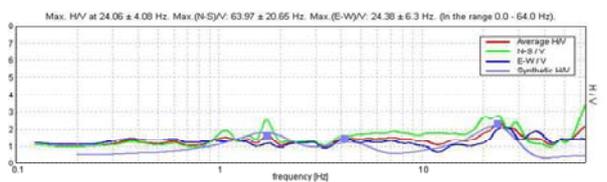
**RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE**



**SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI**

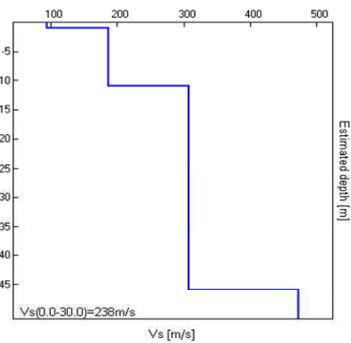


**H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO**



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
1.0	1.0	94	0.42
13.0	12.0	187	
48.0	35.0	308	
inf.	inf.	473	

Vs(0.0-30.0)= 238 m/s



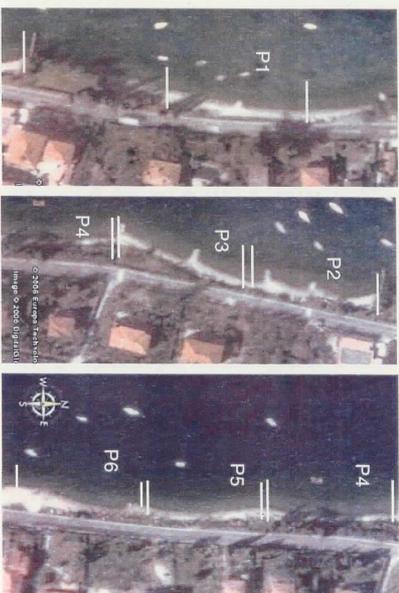
Sismica passiva HVSR  
 Posizione H 05  
 Allegato H05



## 1. INTRODUZIONE

La Veneto Strade S.p.A. intende realizzare l'adeguamento della S.R. 249 "Gardesana Orientale" (intervento n.183) realizzando una **percorso ciclopedonale** in taglio alla strada regionale sul lato lago immediatamente a sud dell'abitato di Torri del Benaco tra le progressive km 60+235 e 61+530. La PSV S.r.l., incaricata dell'attività di service a supporto della progettazione ha richiesto alla società GG Service S.a.s. di effettuare un'indagine sismica su una tratta di complessivi 450 m, allo scopo di individuare la posizione del substrato calcareo sul quale verrà impostata la fondazione del muro di sostegno della passeggiata.

È stato scelto di adottare la metodologia sismica a rifrazione con metodo tomografico in maniera tale da ricostruire con adeguato dettaglio la geometria del target.



La tratta in questione è stata ricoperta con sei stese sismiche di 69 m ciascuna, utilizzando un sistema a 24 canali con spaziatura dei geofoni di 3m.

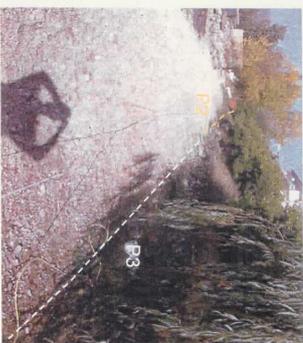
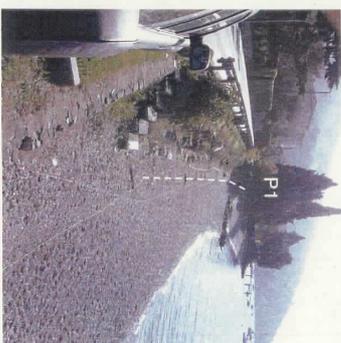
Ciascun transetto è separato dal successivo di una distanza geofonica, ad eccezione del primo che è separato dal secondo da un'interruzione di maggior estensione, a causa della presenza di un tratto occupato da proprietà privata.

Per ottenere dati congrui per un processo di inversione tomografica sono state eseguite 9 basi di energizzazione per linea sismica corrispondenti ad una frequenza di un'energizzazione ogni tre stazioni geofoniche ed integrate da due tiri esterni.

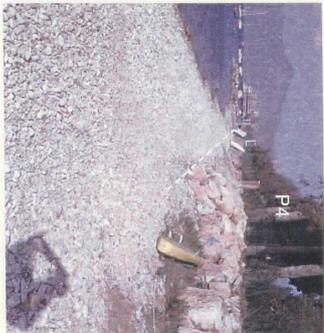
3

Nell'immagine satellitare precedentemente riportata è indicata la posizione dei singoli stendimenti. In aggiunta ai dati sismici a rifrazione sono stati raccolti, per ogni profilo, anche quelli dei microtremori secondo la tecnica ReMi, allo scopo di fornire anche la categoria del suolo di fondazione come previsto dal D.M. 14 settembre 2005.

Tutti gli stendimenti sono stati posizionati al limite dell'area di battigia, al piede della scarpata che racorda il piano stradale o le proprietà private con la spiaggia, ad eccezione della linea 2, il cui inizio è impostato a quota strada mentre a circa metà dello stendimento, è ripassato a livello della spiaggia.



4



Immagini degli stendimenti sismici eseguiti

## 2. CENNI METODOLOGICI

La tecnica di sismica a rifrazione si basa sul concetto che una sorgente meccanica eccita il sottosuolo inviando onde elastiche che si propagano in profondità e vengono parzialmente deviate (rifratte) lungo l'interfaccia che separa due mezzi a differente impedenza acustica ( $\rho \cdot V$ ) ed in parte proseguono verso il basso finché l'energia viene completamente assorbita dal mezzo in cui si propaga.

L'effetto di queste onde è la formazione di vibrazioni che vengono captate da sensori posti sulla superficie, generalmente elettromagnetici, in grado di trasformare la sollecitazione meccanica, che subisce la massa mobile del magnete, in un segnale elettrico che, debitamente amplificato, viene riprodotto su monitor e memorizzato su supporto informatico.



Esempio schematico (total-rifrazione) del percorso dei raggi sismici "tro esterno" di un modello sismico a due strati

La lettura dei tempi di primo arrivo della vibrazione ai differenti sensori (geometricamente disposti in linea sul terreno secondo un profilo) è riferita all'istante zero, che è quello che corrisponde all'istante dell'energizzazione del terreno.

Essa consente la loro ubicazione su un diagramma cartesiano ottenendo le dromocrone relative ad ogni punto di energizzazione. Il grafico che ne risulta è costituito da una serie di segmenti la cui inclinazione corrisponde alla velocità di propagazione delle onde elastiche nel mezzo.

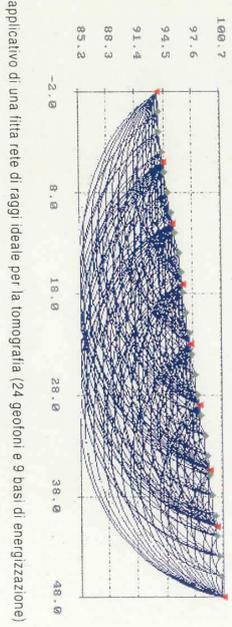


Dromocrona relativa all'esempio schematico

Dall'analisi delle dromocrona è possibile (e questo è il dato fondamentale dell'interpretazione) definire il numero dei sismostriati presenti nel sottosuolo (ovviamente per la finestra temporale adottata che è funzione della lunghezza dello stendimento e della quantità di energia utilizzata).

L'interpretazione per la risoluzione geometrica dei sismostriati (profondità e velocità) si avvale di diverse metodologie di calcolo dalle più semplici procedure dirette (Hagedoorn, 1959; Barry, 1967), seguendo le leggi generali dell'ottica, a quelle più complesse sia 1D che 2D che elaborano i dati mediante la tecnica del GRM (Palmer, 1980), del Ray-tracing o della tomografia (Hampson & Russell, 1984; Olsen, 1989).

La finalità della tomografia è la dettagliata esplorazione del modello di distribuzione della velocità in un mezzo. Essa si basa sui primi arrivi ottenuti per set plurimi di coppie sorgente-ricevitore: la sola limitazione è quella che i raggi sismici formino una rete completa e cioè, idealmente, ciascun punto del mezzo investigato dovrebbe essere attraversato dai raggi in tutte le direzioni.



Esempio applicativo di una fitta rete di raggi ideale per la tomografia (24 geofoni e 9 basi di energizzazione)

Il metodo tomografico si basa sul principio della rifrazione critica di raggi monocromatici che si retro-propagano in superficie e per la cui simulazione è richiesto un gradiente di velocità positivo.

Pertanto l'applicabilità dell'analisi è limitata a variazioni laterali di velocità non elevate e per morfologie della superficie topografica e dei rifrattori non essasperate.

Nella figura che segue è riportato un diagramma di flusso che rappresenta lo schema evolutivo del processo di inversione.

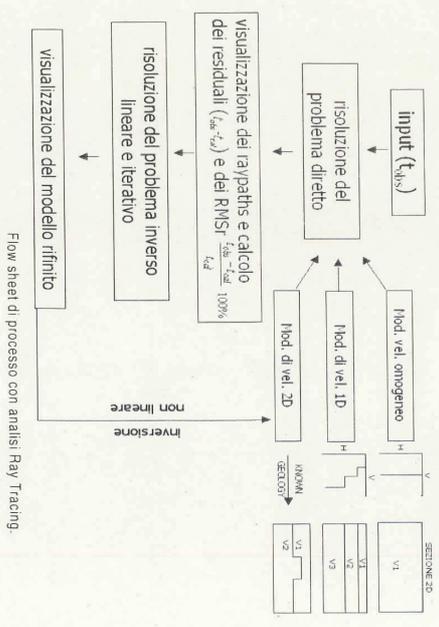
Oltre all'input fornito dai tempi di primo arrivo misurati ( $t_{obs}$ ), è sempre necessario introdurre un modello iniziale, che può essere scelto tra semispazio a velocità costante, mezzo stratificato a velocità crescente con gradiente fisso o con step di velocità o modello 2D strutturato in base al livello di conoscenza del sito indagato: la risoluzione del problema diretto avviene per semplice computazione geometrico-temporale tracciando i raggi che attraversano nel minor tempo disponibile le celle in cui è stato suddiviso il modello iniziale.

Il calcolo dei residui rappresenta cella per cella l'input per la risoluzione del problema inverso che è di tipo linearizzato con la possibilità di scelta di diversi criteri di ricerca (back projection, damped least squares, max. smoothness e max. flatness constrain).

Attualmente la prima soluzione dell'inversione viene utilizzata come input 2D per la successiva, ripetendo l'analisi in maniera iterativa ed adottando l'ottimizzazione per smoothness o max. flatness constrain.

In questo caso l'inversione è di tipo non lineare ed il risultato principale è l'estremizzazione del bending dei raggi.

Questo accorgimento permette di approdare a soluzioni più realistiche soprattutto nei casi in cui sono presenti impedenze acustiche elevate.



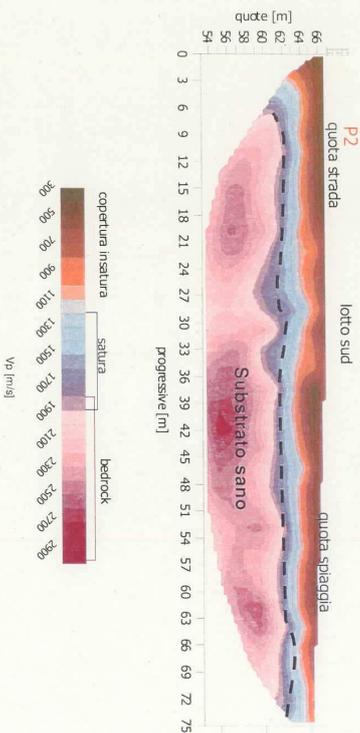
### 3. ANALISI DEI RISULTATI

I modelli sismici ottimizzati ottenuti con il processo di inversione sopra descritto mostrano che il sottosuolo, investigato per una profondità di oltre 12 m, è costituito da materiali con  $V_p$  rapidamente crescenti verso il basso e con valori prevalenti superiori a 1300m/s ad eccezione di quanto registrato nell'ultimo profilo dove la sezione è contrassegnata da velocità decisamente inferiori.

La breve distanza dal pelo d'acqua ed il piccolo dislivello esistente tra il punto di indagine e la quota lago consente di affermare che velocità superiori a 1300m/s corrispondono a sedimenti sciolti saturi. L'interfaccia tra i materiali soprastanti, che come si è detto sono di spessore molto contenuto, ha un andamento sub orizzontale che rafforza l'interpretazione della presenza di una tavola d'acqua che è sostenuta dal substrato roccioso carbonatico la cui posizione è stata fatta coincidere con l'intervallo di velocità tra 1900 e 2000m/s.

Al di sopra di questi valori si nota infatti come le velocità risentano di una apprezzabile variazione laterale con differenze che possono raggiungere anche i 1000 m/s determinando così la probabile posizione di zone di maggiore e minore fratturazione che sono facilmente leggibili sulle sezioni riportate in allegato.

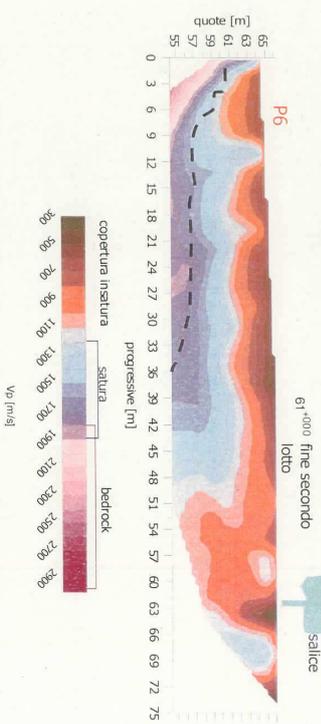
Come esempio si citano la sezione del profilo 2 e quella del profilo 5 in cui si nota la presenza di noduli ad alta velocità interrotti da fasce a velocità inferiore corrispondenti a setti lapidei di maggior fratturazione.



Fa eccezione il profilo 1 dove al contrario si osserva una velocità crescente con la profondità ed una notevole omogeneità laterale.

Il profilo è quello che si differenzia sensibilmente rispetto ai precedenti per il fatto di non avere un substrato litoide prossimo alla superficie, bensì di lasciare individuare la presenza di un solco erosivo ben accentuato, di profondità non conosciuta, ma sicuramente superiore alla trentina di metri e di ampiezza considerevole, non avendo potuto apprezzare il fianco meridionale che si ubica a sud dello stendimento e comunque all'esterno del lotto di progetto.

In questa sezione di velocità si riconosce molto chiaramente la quota della falda che apparentemente subisce una depressione in corrispondenza del riporto sul quale cresce il salice.



Le acquisizioni di sismica passiva ottenute utilizzando lo stesso array della rifrazione, oltre allo scopo di classificare il terreno di fondazione avevano quello di consentire l'apprezzamento dell'inclinazione della superficie di erosione del substrato. Le profondità calcolate mediante la rifrazione come noto rappresentano la distanza più breve intercorrente tra rifrattore e geofoni, che

coincide con la profondità verticale al di sotto dei sensori solo nel caso che il rifratore sia sub orizzontale (v. schema seguente).

Nel presente contesto geologico e geomorfologico è verosimile attendersi una superficie di erosione inclinata e quindi una profondità di intersezione verticale maggiore di quella segnalata dai modelli proposti. Il modello delle Vs ottenuto mediante elaborazione delle onde di superficie consente invece di determinare le profondità sul piano verticale in quanto le onde di rayleigh si muovono polarizzate proprio su questo piano percorrendo delle traiettorie differenti da quelle dei raggi rifratti o riflessi. Si riporta come esempio il modello relativo al profilo 1 dove si può agevolmente verificare come la profondità del bedrock sia di circa 5.5 m, mentre quella calcolata con la tomografia sismica, assunta in corrispondenza dell'isolina 2000 m/s, sia invece di circa 3.5m. L'inclinazione della superficie di erosione può essere stimata in  $40^\circ$ , tuttavia, tenendo conto della variabilità legata alle irregolarità morfologiche, si può assumere che l'inclinazione reale possa essere compresa in un intervallo tra  $30^\circ$  e  $40^\circ$ .

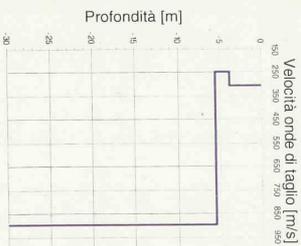
$D = H$  > rifratore piano  
 $D < H$  > rifratore inclinato  
 Profilo sismico

copertura  
 H, D

bedrock

Schema relativo alla distinzione tra profondità sulla verticale (H) e distanza minima dal rifratore (D): caso del rifratore inclinato.

Essendo il bedrock inferiore alla profondità di 10 m e considerando che le fondazioni del muro sono impostate sui depositi superficiali insaturi, la categoria del suolo di fondazione ricade in categoria B.



Profilo verticale Vs (profilo ReMi 1)

#### 4. CONCLUSIONI

L'indagine di sismica a rifrazione con metodo tomografico effettuata a supporto dello studio geologico e geotecnico per il progetto di adeguamento della S.R. 249 "Gardesana Orientale" tra le progressive 60+235 e 61+530 ha consentito di delineare la struttura sismica del sottosuolo e di definire la geometria dell'interfaccia roccia copertura.

Il bedrock risulta essere relativamente prossimo alla superficie e ad una distanza, considerata perpendicolare al rifratore, compresa tra 3 e 5m. Fa eccezione il tratto all'estremità meridionale dove il bedrock si approfondisce notevolmente.

Il substrato sostiene una copertura grossolana che si presenta saturata a partire da meno di 1 metro dalla superficie.

Le velocità che caratterizzano il substrato presentano delle variazioni laterali abbastanza significative che delimitano delle zone a maggior e minor fratturazione. Nel complesso l'ammasso appare di buona qualità non avendo individuato penalizzazioni significative dal punto di vista delle velocità che risultano sempre superiori a 2000m/s.

Le indagini ReMi complementari a quelle tomografiche sono state effettuate per consentire la stima della inclinazione della superficie di erosione che rappresenta normalmente un'incognita per la corretta interpretazione dei dati a rifrazione. In questo caso si è riscontrato che le differenze di profondità tra i due modelli sono HVs è circa pari a 2/1,6 DVP.

Da questo rapporto si deduce che il substrato immerge verso il lago con una inclinazione compresa tra  $30^\circ$  e  $40^\circ$ .

Pr. 23-2010

REGIONE DEL VENETO

PROVINCIA DI VERONA

COMUNE DI TORRI DEL BENACO

*Progetto per la costruzione di un fabbricato  
di civile abitazione in Via Fogazzaro*

## RELAZIONE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E GEOTECNICA

(D.M. 14.01.2008)



*dr.ssa geol. NICOLETTA TOFFALETTI*  
*Nicoletta Toffaletti*

COMMITTENTE: **SIGNORA PIPPA DANIELA**

DATA: 12 ottobre 2009

La legge sui diritti d'autore (22/04/41 n° 633) e quella relativa all'Ordine Professionale dei Geologi (03/02/63 n° 112) vietano la riproduzione ed utilizzazione anche parziale di questo documento, senza la preventiva autorizzazione degli autori.

☒ 37042 Caldiero (VR) - via G. Marconi 21 ☎/☎ 045 6152173 📠 339 5773948 @ geonio@jumpy.it

## Indice

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE</b> .....	<b>1</b>
1.1	PREMESSA.....	1
1.2	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO DI PROGETTO.....	2
<b>2</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO</b> .....	<b>5</b>
2.1	GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA.....	6
2.2	IDROGEOLOGIA.....	9
<b>3</b>	<b>INDAGINI, CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA</b> .....	<b>13</b>
3.1	VOLUME SIGNIFICATIVO.....	13
3.2	PROVE IN SITO.....	14
3.3	PROFILO LITOSTRATIGRAFICO.....	15
3.4	PROPRIETA' IDROGEOLOGICHE.....	16
3.5	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	17
3.6	CARATTERIZZAZIONE SISMICA.....	18
<b>4</b>	<b>ANALISI TECNICO - GEOLOGICA DELL'INTERVENTO DI PROGETTO</b> .....	<b>23</b>
4.1	VERIFICA DELLA CAPACITA' PORTANTE.....	23
4.2	VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI.....	26
4.3	VALUTAZIONE DI STABILITA' DELLE PARETI DI SCAVO E DELLE NUOVE SCARPAE.....	27
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONI</b> .....	<b>33</b>

## 1 Introduzione

### 1.1 Premessa

Per conto della Signora Pippa Daniela è stato eseguito uno studio tecnico - geologico a supporto del Progetto per la costruzione di un fabbricato di civile abitazione da ubicarsi in Via Fogazzaro nel Comune di Torri del Benaco (VR).

Le indagini in sito e le valutazioni dei parametri geotecnici sono state effettuate in ottemperanza a quanto disposto dal **D.M. 14 gennaio 2008 "Norme tecniche per le costruzioni"**, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale del 4 febbraio 2008 ed entrato in vigore il 1 luglio 2009. Lo studio tecnico - geologico è stato quindi eseguito al fine di:

- verificare la situazione geologica, geomorfologia e idrogeologica generale dell'area e quindi le problematiche geologiche - tecniche del sito in esame;
- ricostruire l'assetto stratigrafico del sottosuolo oggetto dell'intervento di progetto;
- determinare le caratteristiche meccaniche del terreno di fondazione;
- riconoscere le proprietà del sistema idrogeologico locale;
- elaborare i parametri tecnici necessari per la corretta scelta e dimensionamento delle strutture fondazionali in fase progettuale.

Criterio di analisi per la definizione delle suddette finalità, è stata l'indagine sul territorio delle caratteristiche geomorfologiche, geologiche e idrogeologiche; in situ, l'esecuzione di due sondaggi geognostici meccanici eseguiti a mezzo di escavatore e di una indagine di sismica passiva ha permesso inoltre di accertare la natura e le proprietà idrogeologiche e geotecniche di dettaglio del sottosuolo nell'area di intervento; sulla scorta dei dati tecnici di progetto, delle indagini geognostiche effettuate per la caratterizzazione tecnico - geologica del lotto in oggetto e dei dati acquisiti dall'analisi bibliografica inerente l'area d'intervento, si è proceduto all'elaborazione dei dati geologici ed idrogeologici e quindi alla caratterizzazione tecnico - geologica del sito e alla verifica di comparabilità dell'intervento di progetto.

### 1.2 Descrizione dell'intervento di progetto

Ai fini della presente relazione, si descrivono sinteticamente i caratteri di interesse del progetto redatto dal geom. Mauro Cavallari, a cui si rimanda per una dettagliata caratterizzazione. Il progetto in esame concerne la costruzione di un fabbricato di civile abitazione in Via Fogazzaro nel Comune di Torri del Benaco, identificato al catasto al Foglio n. 11, Mappali n. 425, 2298, 2299, 2302, di proprietà della Signora Pippa Daniela.

L'intervento proposto viene realizzato secondo la Variante Residenziale n. 5 del P.R.G. in corrispondenza dell'area ineditata indicata con il n. 31, attualmente destinata all'uso agricolo. Il lotto in esame ha una larghezza massima di 33,00 m e lunghezza massima di 62,00 m ed è confinante a nord con la Valle demaniale Colonghe, ad ovest con la Strada Comunale delle Colonghe che si collega con Via A. Fogazzaro, a sud e ad est con altre proprietà private.

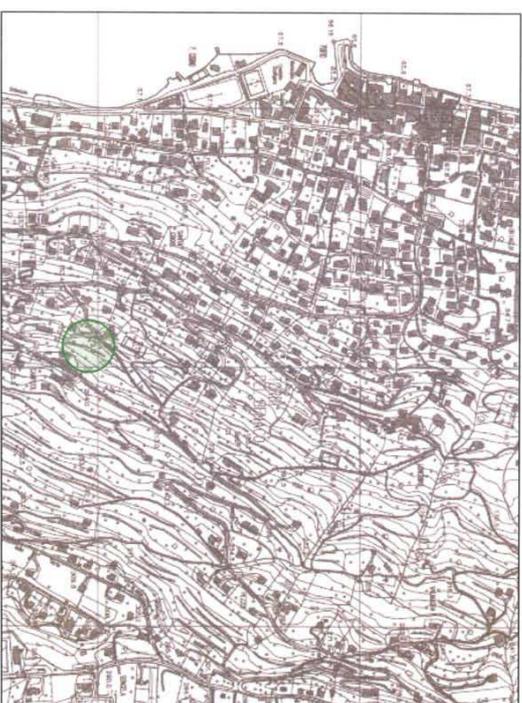
L'intervento prevede la realizzazione di un fabbricato unifamiliare composto da un piano interrato e da due piani fuori terra (più la copertura), dalla forma sub rettangolare con dimensioni, in pianta, di circa 13 x 8 m.

Il piano interrato è destinato ai locali accessori dell'abitazione, in particolare è prevista l'autorimessa di 55,80 mq con accesso carrajo lungo lo scivolo posto sul lato nord della proprietà. La realizzazione di tale porzione interrata comporterà l'esecuzione di fronti di scavo dell'altezza stimata minima di circa 3,50 m.

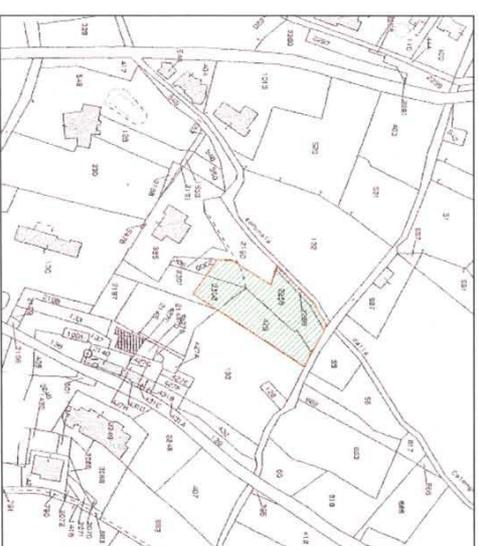
Essendo l'area di intervento caratterizzata dalla presenza di scarpate e/o rotture di pendenza, è inoltre prevista la sistemazione delle aree esterne con rimodelamento, in particolare, della scarpata posta lungo il settore occidentale; ciò consentirà quindi di riutilizzare parte del volume delle terre da scavo e minimizzare gli effetti del trasporto verso aree esterne. Ad esito di precedenti indagini geologiche preliminari, il progetto propone, al fine di garantire la stabilità del sito, la realizzazione di idonee palificazioni sul versante ovest a contenimento di eventuali fenomeni erosivi e/o di smottamento.

L'edificio verrà allacciato alla rete fognaria pubblica, oltre che agli altri sottoservizi, e non sono quindi presenti scarichi di reflui al suolo di alcun genere. In addegnamento alle prescrizioni della Valutazione di Compatibilità Idraulica allegata alla Variante Residenziale n. 5 al P.R.G., la gestione delle acque di origine meteorica comporterà la raccolta delle acque dei pluviali del tetto in una vasca a tenuta per consentire il riutilizzo ai fini di irrigazione del giardino; detta vasca a tenuta sarà dotata di una tubazione di "troppo pieno" la quale condurrà l'acqua in eccesso ad una trincea drenante di superficie 14,00 mq. La trincea drenante verrà realizzata secondo le metodologie indicate nella Relazione integrativa di Compatibilità idraulica redatta dallo studio di Ingegneria & Geologia S.r.l. ed allegata alla Variante Residenziale n. 5 al P.R.G. sopra citata. L'eventuale acqua in accesso non smaltita dalla trincea drenante verrà convogliata nella Valle Colonghe posta a nord dell'area di intervento.

**Figura 1 - Corografia dell'area di intervento**  
(estratto della Sezione n. 101133 "Torri del Benaco"  
della CARTA TECNICA REGIONALE ALLA SCALA 1:10.000)



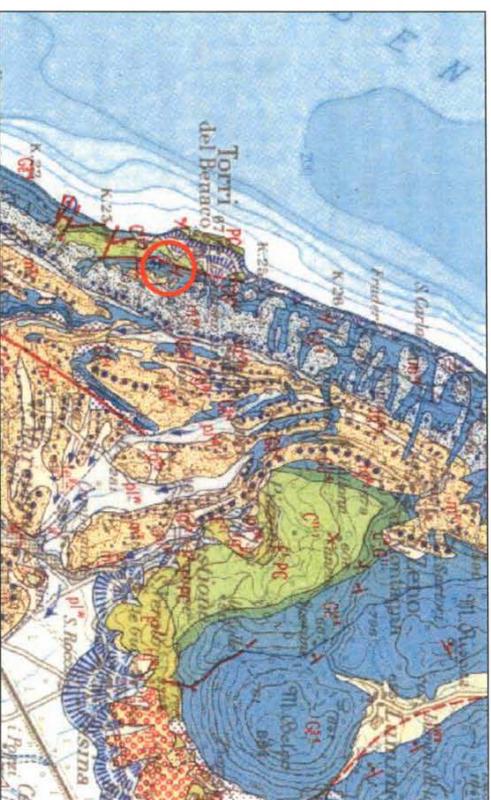
**Figura 2 - Estratto del Foglio n. 11 della Planimetria Catastale**



## 2 Caratterizzazione e modellazione geologica del sito

Per meglio caratterizzare lo studio oggetto della presente relazione, l'inquadramento geologico - territoriale dello stato attuale dei luoghi è stato esteso all'area della fascia del Garda Orientale, ambito geografico nel quale ricade l'intervento di progetto, con l'obiettivo di individuare i processi morfogenetici che interferiscono con l'attività antropica.

Figura 3 - Estratto, non in scala, del Foglio 48 "PESCHIERA DEL GARDA" della CARTA GEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:100.000



**LEGENDA:** GC<sup>4</sup> = Calcarei oolitici di San Vigilio (MALENIANO - TOARCIANO); GC<sup>1-3</sup> = Rosso Ammonitico (TTOMIANO INFERIORE - BAIOCIANO); E<sup>1-PC</sup> = Calcarei marnosi (CUSIANO - PALEOCENE); m<sup>R</sup> = morene ghiaiose, talora debolmente cementate; r (RSS) = morene ghiaiose rosse (RSS); m<sup>V</sup> = morene ghiaiose bianche (WÜR); pl<sup>M</sup> = pluviale wurmiano (WÜR);

○ = area di indagine

### 2.1 Geologia e geomorfologia

L'ossatura del versante sud - occidentale della terminazione meridionale della dorsale del Monte Baldo, sulla quale è collocata l'area di intervento di progetto, risulta costituita da una pila di rocce sedimentarie, marine, di natura carbonatica, terrigena, terrigeno-carbonatica, vulcanoclastica e vulcanica con età compresa fra il Triassico superiore ed il Miocene inferiore, a cui si sovrappongono, in discontinuità e discordanza, i depositi di origine continentale del Quaternario.

Nell'ambito dell'area oggetto di analisi, il rilevamento geologico di campagna ha permesso di riconoscere ed individuare i termini litostratigrafici di seguito elencati, distinti, in base all'ambiente deposizionale originario, in formazioni sedimentarie marine (a) e depositi continentali quaternari (b).

#### (a) FORMAZIONI SEDIMENTARIE MARINE

Benché i litotipi costituenti la successione sedimentaria marina formino l'ossatura del versante sud - occidentale della terminazione meridionale della dorsale del Monte Baldo, nell'area oggetto di analisi essi affiorano in esigui lembi isolati, laddove gli agenti del modellamento morfologico hanno asportato la copertura morenica. Procedendo dai termini più antichi ai più recenti, si sono individuate le seguenti formazioni geologiche:

- **Calcarei Grigi di Noriglio, Formazione di Teno e Calcarei Oolitici di S. Vigilio** (Lias - Dogger p.p.) - la successione comprende diverse classi di rocce carbonatiche associabili ad un sistema deposizionale di piattaforma di tipo bahamiano, a sedimentazione oolitica ai margini e peritidale o lagunare e palustre all'interno. Essa è distinta in un membro inferiore (Lias inferiore) con depositi ciclici di piana tidale quali calcareniti oolitiche, bioclastiche ed oncolitiche, micriti con intercalazioni argillose e stromatoliti e in un membro superiore con depositi ciclici di tipo lagunare - palustre quali lumachelle e calcari biostromali intercalati a micriti lamine. La successione ha nel complesso una potenza massima di 400 m.
- **Rosso Ammonitico** (Dogger - Malm) - calcari pelagici nodulari di colore rosso mattone, rosato e bianco, con ammoniti, belemniti, stromatoliti e hard-ground; si distinguono un Rosso ammonitico inferiore con potenza di 7-8 m, ed uno superiore con potenza di 13-14 m, separati generalmente da un hard-ground ad ossidi polimetallici e/o da intercalazioni di calcari selciferi.

La giacitura dei litotipi calcarei costituenti la successione sedimentaria marina presenta una uniforme immersione ad occidentale con valori medi compresi fra i 10° - 20°; in rapporto alla diversa giacitura del versante, essa rappresenta una stratificazione del tipo a franapoggio più o meno inclinata del pendio.

**(b) DEPOSITI CONTINENTALI QUATERNARI**

I depositi continentali quaternari affiorano diffusamente nell'area di indagine e ricoprono la gran parte del substrato lapideo. Nell'area di indagine essi sono rappresentati esclusivamente dai depositi settentrionali dell'enorme anfiteatro morenico del Garda, costituito dai materiali detritici trasportati dai potenti ghiacciai gardensi sviluppatisi con il susseguirsi, nel corso dell'ultimo milione di anni, di almeno quattro periodi a clima freddo (glaciazioni denominate, dalla più antica alla più recente: Gunz, Mindel, Riss, Würm). La sua elaborazione è attribuita in prevalenza all'ultima glaciazione, quella würmiana, datata 75.000 - 15.000 anni fa.

Si sono nello specifico distinti i:

- **Depositi morenici** (Pleistocene superiore) - si tratta di depositi caotici di ghiaia e sabbia in matrice limo sabbiosa e generalmente risultano ben addensati, con locali livelli parzialmente cementati e ben compattati e talora con grossi blocchi. La potenza di tali depositi si attesta mediamente sui circa 5-8 m lungo i versanti e pari ad alcune decine di metri in corrispondenza dei rilievi.

- **Depositi fluvioglaciali** (Pleistocene superiore) - si tratta dei depositi associati agli antichi scaricatori fluvioglaciali dell'anfiteatro morenico, i cui litotipi sono rappresentati da alluvioni fluvioglaciali e pluviofluviali, prevalentemente ghiaioso - sabbiose o limosi. Essi presentano spessore variabile tra pochi metri fino a circa 60 m in corrispondenza del campo sportivo di Albisano.

Dal punto di vista strutturale l'intero settore del Monte Baldo rientra nel sistema strutturale delle Giudicarie, che interessa il territorio dal massiccio cristallino dell'Adamello fino alla Val d'Adige. Questo è dominato da accavallamenti a vergenza orientale di blocchi monoclinali con direzione NNE - SSO a cui si riconducono l'anticlinale asimmetrica del Monte Baldo e la sinclinale di Ferrara di Monte Baldo.

Anche il regolare fianco sud - occidentale della terminazione meridionale della dorsale del Monte Baldo risulta interrotto sul suo bordo orientale da una faglia anch'essa giudicariense e che prosegue verso SO oltre Garda fino a Sirmione.

Il territorio oggetto di indagine risulta interessato da un sistema di faglie minori di direzione giudicariense, in corrispondenza della Valle di Albisano - Val Volpara; tale sistema è verosimilmente collegato al movimento di basculamento verso ovest del grande blocco monoclinale del Monte Baldo.

L'area di intervento di progetto è collocata sul versante sud - occidentale della terminazione meridionale della dorsale del Monte Baldo, che si estende dalla riva del Lago di Garda fra le località Punta S. Vigilio e Frader (circa 65 m), fino alla culminazione delle cime del Monte Luppia (m 416), Monte Lenzino (m 479), Monte Canforal (m 426).

Il suddetto versante, la cui ossatura è costituita da una pila di rocce sedimentarie di origine marina presenta complessivamente una morfologia regolare e monoclinale, con quote che decrescono, nella direzione ESE - ONO, dai 400 m dello spartiacque ai 65 m s.l.m. in prossimità dello specchio lacustre. Nel dettaglio la morfologia è invece articolata dalla presenza della terminazione nord - orientale dell'enorme anfiteatro morenico pedemontano del Garda, rappresentato da alcuni cordoni morenici allineati lungo la direzione del pendio, alternati a depressioni inframoreniche endoreiche o associabili a scaricatori fluvioglaciali che si sviluppano parallelamente alla direzione dei cordoni morenici stessi.

L'area assunta ad indagine per le finalità della presente relazione rappresenta una porzione di tale versante con quote che decrescono dai circa 380 m s.l.m. nel settore orientale ai 150 m s.l.m. nel settore nord - occidentale. Da un punto di vista morfologico si possono distinguere due settori separati dalla linea di quota 300 m s.l.m.: uno occidentale, al di sotto della isopisa 300 m s.l.m., ed uno orientale al di sopra di tale isopisa.

Il settore occidentale, dove ad una quota di circa 175 m s.l.m. è ubicata anche l'area di intervento, è caratterizzato da un pendio regolare e l'acclività media si attesta su valori costanti di circa 15°. La copertura morenica è prevalente ed è elaborata nella forma di un cordone morenico che si estende anche al di fuori dell'area di indagine con andamento NNE - SSW, fra la Punta S. Vigilio e la località Prandine.

Il reticolo idrografico attivo si sviluppa attualmente nella direzione di massima pendenza del versante e quindi perpendicolarmente alla linea di costa con direzione E - W. Esso si presenta alquanto poco gerarchizzato con corsi d'acqua a ridotto bacino idrografico e alvei fortemente incisi nel versante a formare delle forre. Il regime idrologico è di tipo torrentizio con deflusso idrico strettamente dipendente dal regime pluvionetrico locale.

A margine dello specchio lacustre i corsi d'acqua elaborano i conoidi alluvionali, sede per lo più di centri abitati, che risultano stabilizzati.

Nelle rimanenti porzioni del territorio le acque di origine meteorica dilavano in maniera diffusa il versante lungo la direzione di massima pendenza.

Il settore orientale presenta un pendio interrotto da due strette valliicole a fondo piatto associate agli antichi paleovalvei fluvio-glaciali, che si sviluppano parallelamente alla direzione dei cordoni morenici con andamento NNE - SSW. I paleovalvei fluvio-glaciali risultano attualmente inattivi e privi di un corso d'acqua superficiale. Essi determinano comunque una funzione di richiamo idrico ed il deflusso, per ruscellamento diffuso, scorre verso sud.

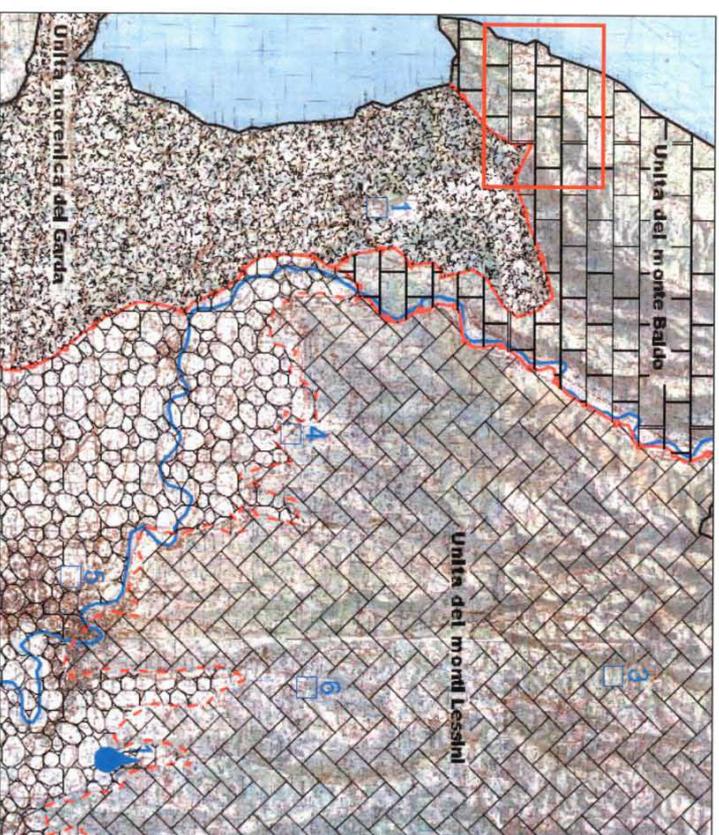
Al di fuori dei paleovalvei fluvio-glaciali, il territorio è contrassegnato da un cordone morenico, che, con direzione NNE - SSW, corrisponde alla culminazione della dorsale con le cime del Monte Luppia (m 416), Monte Lenzino (m 479), Monte Canforal (m 426) fino alla località Schena. In tale ambito, le acque meteoriche dilavano il versante nella direzione di massima pendenza e cioè verso W.

Numerose forme morfologiche di origine antropica modellano nel dettaglio il versante in esame: si tratta di forme puntuali e/o lineari, come la presenza di rievati e sbancamenti per la viabilità o per l'edilizia ed opere di regimazione idraulica; negli anni passati l'acclività dei versanti è stata inoltre modificata dalla pratica agricola così che, ove sono presenti le coltivazioni locali (soprattutto oliveto), il versante è stato reso meno pendente tramite sbancamenti e terrazzamenti artificiali a muretti a secco o a scarpate, mentre, ove prevale la copertura boschiva, i versanti presentano pendenza a volte di grado elevato. Essendo, ad oggi, la pratica agricola una delle attività economiche ancora diffuse, non si osservano fenomeni di dissesto idrogeologico superficiali legati all'abbandono dei terrazzamenti agricoli artificiali di versante.

## 2.2 Idrogeologia

A scala regionale, l'area in esame rientra nella "Zona degli acquiferi di montagna" della potente Serie idrogeologica veneta, che è localmente rappresentata dall'**Unità Idrogeologica del Monte Baldo** (cfr. Figura 4).

**Figura 4 - Individuazione delle Unità idrogeologiche presenti nel settore nord occidentale della Provincia di Verona**  
(fonte: Piano d'ambito dell'AATO Veronese)



L'Unità del Monte Baldo è ospitata nelle rocce di natura carbonatica, terrigena, terrigeno-carbonatica, vulcanoclastica e vulcanica con età compresa fra il Triassico inferiore e il Miocene inferiore, la cui struttura idrogeologica di base è rappresentata dalla parte più alta della Dolomia Principale, dai Calcarei Oolitici e dai Calcarei Grigi; in essa è particolarmente sviluppato un carsismo per condotti. Assieme ai calcari argillosi del Cretaceo, permeabili per fessurazione e fratturazione, essa costituisce l'**Acquifero Carbonatico inferiore**, caratterizzato da elevata capacità di immagazzinamento e trasmissione idrica grazie alla sua notevole estensione e potenza.

Ad esso è sovrapposto un **Acquifero Carbonatico superiore**, di età paleogenea, permeabile per fratturazione e carsismo nelle porzioni carbonatiche e per fessurazione (fessure da

raffreddamento) e porosità (vacuoli legati all'espansione dei prodotti volatili durante la fase di consolidamento) nelle porzioni vulcaniche. L'Acquifero superiore è caratterizzato da elevata capacità di infiltrazione e trasmissione, ma di modesta produttività per limitata estensione e potenza.

La ricarica è dovuta in massima parte alla infiltrazione diretta delle precipitazioni meteoriche nell'area delle Alpi meridionali e, in minor misura, ai corsi d'acqua, specialmente in corrispondenza dei periodi di piena.

La discarica ha luogo attraverso le sorgenti di vario tipo, attraverso la ricarica nei tratti drenanti dei corsi d'acqua ed infine come alimentazione dell'acquifero della fascia pedemontana della pianura, laddove si determinano situazioni di dilavamento.

Alla scala dell'area oggetto di indagine, la zona degli acquiferi montani è inoltre ospitata nei depositi morenici del Garda il cui limite inferiore è rappresentato dal basamento marino. Essi sono caratterizzati da permeabilità per porosità ed è tipicamente costituito da acquiferi caotici, dove la circolazione idrica risulta particolarmente complessa per l'esistenza di continue variazioni litologiche e di permeabilità sia in senso verticale che orizzontale, che determinano la presenza di più falde sovrapposte, tra loro intercomunicanti sia attraverso le soluzioni di continuità dei sedimenti meno permeabili che attraverso il flusso di drenanza.

Localmente la ricarica è dovuta alla infiltrazione diretta delle precipitazioni meteoriche e, in minor misura, ai corsi d'acqua, specialmente in corrispondenza dei periodi di piena.

La discarica ha luogo attraverso le sorgenti di vario tipo, attraverso la ricarica nei tratti drenanti dei corsi d'acqua, i prelievi per vari usi ed infine come alimentazione dell'acquifero carbonatico, laddove si determinano situazioni di continuità idraulica.

### 3 Indagini, caratterizzazione e modellazione geotecnica

In dettaglio il terreno oggetto dell'intervento di progetto è stato attentamente indagato da un punto di vista geomorfologico, litostratigrafico, geotecnico e geomecanico al fine di evidenziare eventuali fenomeni di dissesto idrogeologico in atto, di analizzare le attuali modalità di smaltimento delle acque di precipitazione meteorica e di circolazione idrica sotterranea più superficiale. Vista quindi la situazione geologica e morfologica locale evidenziata dal rilievo di campagna e considerata la tipologia dell'intervento oggetto di analisi, il sottosuolo interessato dall'opera in progetto è stato quindi sottoposto a specifica indagine geognostica, al fine di determinare sperimentalmente il profilo litostratigrafico, le proprietà idrogeologiche, le caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni da utilizzare nella definizione del modello geotecnico di sottosuolo e in sede di verifica preliminare della sicurezza e delle prestazioni delle opere di fondazione.

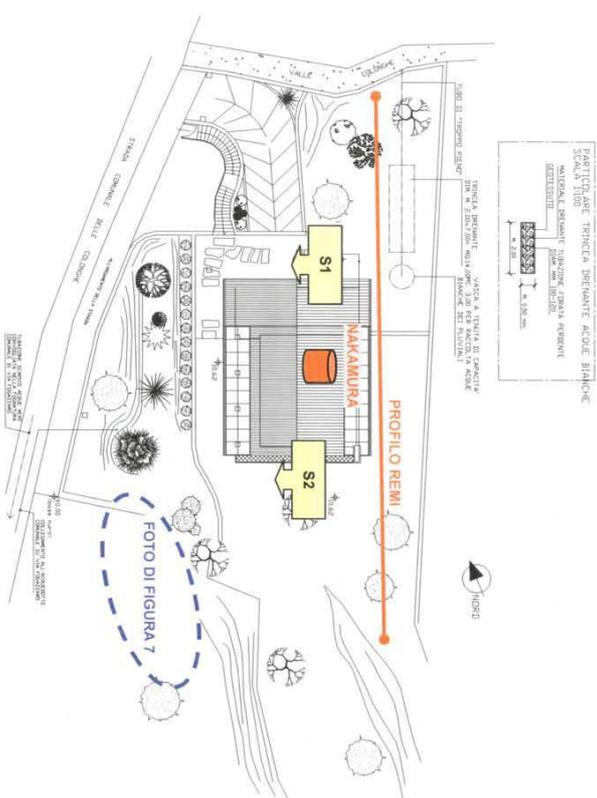
#### 3.1 Volume significativo

Le indagini geotecniche devono essere programmate in funzione del tipo di opera e/o intervento e devono riguardare il volume significativo e devono permettere la definizione dei modelli geotecnici di sottosuolo necessari alla progettazione. Per **volume significativo di terreno** si intende la parte di sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che influenza il manufatto stesso. Nei terreni omogenei, la profondità di sottosuolo influenzata (D) è pari a 1-2 volte il valore della larghezza significativa dell'opera (B) per le fondazioni superficiali (platee, travi e pilinti; A.G.I., 1977). Considerato che, ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo di riferimento per la definizione dell'azione sismica di progetto, da un punto di vista normativo si intendono i primi 30 m di profondità sotto il piano fondazionale, tale valore è assunto come volume significativo per il caso in esame.

#### 3.2 Prove in sito

La scelta della metodologia e del programma di indagini è stata basata sulla natura litologica del terreno ipotizzata in funzione delle informazioni a disposizione e delle osservazioni geomorfologiche di superficie, che hanno evidenziato la presenza di un terreno a potenziale eteropia laterale e verticale rappresentato dalla presenza di formazioni sedimentarie marine e depositi continentali quaternari. Presso l'area di intervento è stata quindi effettuata una campagna di prove e misure in sito, rappresentate dall'esecuzione di un'indagine geognostica diretta, costituita da due sondaggi con escavatore meccanico denominati S1 e S2 della profondità massima di 4,40 m dal p.c. locale e di una indagine di sismica passiva, costituita dall'esecuzione di un profilo ReMi di 46 m di lunghezza orientato nord - sud e di un test di Nakamura effettuato al centro dello stendimento (cfr. Figura 4 e allegati).

**Figura 5 - Ubicazione delle prove in sito  
(la base progettuale è estratta dal Progetto redatto dal geom. Mauro Cavallari)**



### 3.3 Profilo litostratigrafico

La campagna di prove e misure in sito ha permesso innanzitutto di accertare il profilo litostratigrafico di dettaglio del sottosuolo in corrispondenza del sedime del nuovo fabbricato, sulla scorta della conoscenza geologica locale acquisita con il rilevamento di campagna.

Dal punto di vista metodologico il profilo litostratigrafico di dettaglio del terreno di fondazione dell'area oggetto di analisi è stato *direttamente* desunto dalla visione diretta del materiale presente nelle pareti delle trincee esplorative S1 e S2, così come peraltro ricostruito nell'Allegato. Da tale rilevamento, eseguito in data 9 ottobre 2009, si è potuto osservare che localmente i depositi morenici, costituiti da clasti da centimetrici a decimetrici in matrice limo sabbiosa a struttura caotica e molto addensati e/o cementati, presentano uno spessore di circa 4,0 m e poggiano su strati di calcari oolitici con giacitura a franapoggio meno inclinato del versante. In superficie, per uno spessore variabile da 1,0 a 1,6 m, i depositi morenici si presentano rimaneggiati in funzione delle dinamiche di dilavamento di versante e assumono la forma di detrito di versante dal tipico colore rossastro.

L'esecuzione dell'indagine di sismica passiva ha consentito di verificare che lo spessore della copertura morenica, lungo la sezione di indagine del profilo ReMi, si ispessisce procedendo da sud verso nord, passando da un valore minimo di 3,0 m ad uno massimo di 6,0 m. Il test di Nakamura conferma invece che in corrispondenza dell'ingombro dell'edificio in progetto lo spessore dei depositi morenici è di circa 4,25 m.

**Tabella 6 - Profilo litostratigrafico schematico desunto dall'interpretazione delle prove S1 e S2**

Strato	Profondità dal p.c. (m)	Litologia correlata
1	0,0 - 1,6	Detrito di versante costituito dal rimaneggiamento dei sottostanti depositi morenici
2	1,6 - 4,0	Depositi morenici ghiaiosi in matrice limo sabbiosa, ben addensati e/o cementati
-3	4,0 - 4,4	Substrato roccioso di natura carbonatica

Tale situazione litostratigrafica è inoltre chiaramente esposta su di un affioramento posto in corrispondenza dell'accesso della proprietà presente a sud dell'area di intervento come documenta la seguente ripresa fotografica. Ciò consente di evidenziare che anche a valle della scarpata esistente nel settore occidentale dell'area di intervento la copertura morenica è completamente erosa e/o asportata a seguito di azione antropica.

**Figura 7 - Affioramento lungo una parete di spancamento presente al confine sud occidentale dell'area di intervento**



### 3.4 Proprietà idrogeologiche

Per quanto riguarda le proprietà idrogeologiche di dettaglio del sottosuolo indagato, il rilevamento geologico - tecnico ha permesso di accertare che i terreni oggetto dell'intervento di progetto sono principalmente afferenti all'Unità Idrogeologica del Monte Baldo, localmente permeabile per fessurazione primaria e secondaria e carsismo dei calcari; in corrispondenza degli spessori più potenti della coltre morenica superficiale è presente un acquifero morenico

con permeabilità per porosità. Il rilevamento geologico - tecnico eseguito in data 9 ottobre 2009 ha consentito di verificare che le porzioni superficiali di tali unità idrogeologiche sono completamente insature.

L'assetto idrogeologico dei terreni in esame condotta su un ambito più vasto rispetto al sito oggetto dell'intervento di progetto (cfr. paragrafo 2.2), porta inoltre a confermare le evidenze sperimentali relative all'assenza di una circolazione idrica permanente di una qualche rilevanza quantitativa all'interno dei primi orizzonti di sottosuolo. Non si esclude comunque la presenza discontinua di falde effimere legate all'infiltrazione meteorica diretta in corrispondenza degli eventi piovosi più intensi.

Le acque di ruscellamento superficiale, di origine meteorica, vengono parzialmente intercettate del reticolo fognario misto che interessa l'area urbanizzata limitrofa e parzialmente convogliate dalla contigua Valle delle Colonghe, il cui impluvio è interrotto localmente dalla Strada Comunale delle Colonghe.

### 3.5 Caratterizzazione geotecnica

L'area oggetto di intervento giace su un terreno di origine morenica, elaborato dai potenti ghiacciai gardensi; si tratta di un tipico terreno di trasporto, sciolto, a granulometria mista variabile sia in senso verticale che laterale con cementazione secondaria. Le dimensioni dei granuli sono comprese fra la classe della sabbia grossolana a quella dei piccoli ciottoli con elementi dalle dimensioni decimetriche e a volte massi. La classe maggiormente diffusa è quella della ghiaia. I clasti presentano forme poligonali e buon grado di arrotondamento.

Per quanto riguarda le **proprietà geotecniche** del sottosuolo, sulla scorta del rilevamento geologico - tecnico eseguito, esse sono state determinate sulla base di riferimenti bibliografici, nonché sulla base di precedenti esperienze della scrivente.

Ad esclusione dell'orizzonte più superficiale costituito dal terreno vegetale, le proprietà geotecniche dell'ammasso terroso possono ritenersi da buone a ottime, con valori dei parametri geotecnici riassunti nella seguente tabella; tali caratteristiche sono inoltre avvalorate dall'assenza di una falda superficiale e dall'ottima capacità di drenaggio del terreno stesso.

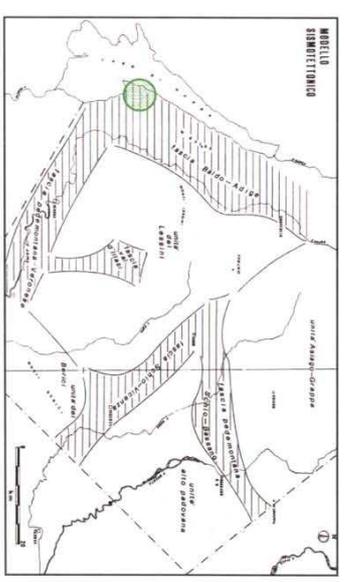
**Tabella 8 - Modello geotecnico di sottosuolo**  
 ( $\emptyset$  = angolo di attrito,  $Cu$  = coesione non drenata,  $\gamma_{nat}$  = peso di volume)

Strato	Litologia	$\emptyset$ (°)	$Cu$ (kN/mq)	$\gamma_{nat}$ (kN/mc)
1	Detrito di versante costituito dal rimaneggiamento dei sottostanti depositi morenici	33	-	19,00
2	Depositi morenici ghiaiosi in matrice limo sabbiosa, ben addensati e/o cementati	33	-	19,00
3	Substrato roccioso di natura carbonatica	40	-	22,00

### 3.6 Caratterizzazione sismica

Secondo il modello di zonazione sismotettonica del C.N.R. del 1987<sup>1</sup>, tutto il Comune di Torri del Benaco si colloca all'interno della "Fascia Baldo - Adige".

**Figura 9 - Modello sismotettonico dell'area fra il Lago di Garda e il Monte Grappa**



Il territorio del Comune di Torri del Benaco, assieme a gran parte del Garda centro - settentrionale, dove si sviluppa la "Fascia Baldo - Adige", è caratterizzata da una sismicità concentrata e frequente con terremoti di intensità elevata, verificatisi sia nel periodo storico che nel periodo recente. Qui si registra infatti l'esistenza di una delle più importanti linee

strutturali della fascia prealpina, ovvero quella della "Linea tettonica delle Giudicarie" che percorre il margine orientale del lago fino a congiungersi con il sovrascorrimento della Valsugana e, più a Nord, con la Linea della Pusteria. In particolare l'attività sismica relativa all'ultimo secolo pare dominata da un elevatissimo numero di terremoti di intensità inferiore al VII grado MCS, con profondità ipocentrale compresa fra - 7 km e - 20 km.

Da ciò deriva l'inserimento storico del Comune di Torri del Benaco nella 2<sup>a</sup> categoria della vecchia classificazione sismica nazionale.

La pericolosità sismica del sito dipende fortemente dalle condizioni litologiche e morfologiche, che possono avere un ruolo fondamentale nell'amplificare localmente l'onda sismica e conseguentemente i danni.

Nello specifico il versante oggetto di indagine è impostato su di un orizzonte morenico poggiante su di un substrato roccioso di natura prevalentemente carbonatica. In tali condizioni l'onda sismica, incidente verticalmente dal basso, avvicinandosi agli strati più superficiali, incontra bruscamente materiali meno rigidi e conseguentemente la sua velocità diminuisce in modo drastico, producendo un aumento delle ampiezze e della durata del movimento del suolo in superficie. Tali vibrazioni, se prolungate ed intense, possono provocare notevoli assestamenti nei depositi incoerenti superficiali con granulometria a partire dalla classe delle sabbie, essenzialmente per riduzione dell'indice dei vuoti, ed il cedimento differenziale delle opere sovrastanti.

Da un punto di vista morfologico elemento di pericolosità sismica è la presenza delle varie scarpate naturali o artificiali. Esse, per effetto del fenomeno della risonanza, possono amplificare i valori spaziali e temporali dell'onda sismica, quando il moto proprio di oscillazione entra in interferenza con quello del sisma.

Secondo la mappatura sismica dell'OPCM n. 3519 del 28 Aprile 2006, la cui applicazione è stata definita dalla Regione Veneto con DGRV n. 71 del 22 Gennaio 2008, il territorio comunale di Torri del Benaco (e anche l'area di interesse) è rappresentato da un valore di ag riferito a suoli rigidi caratterizzati da  $V_{s30} > 800$  m/s compreso tra **0,150g e 0,175g**, ricadendo in **Zona 2 - medio grado di sismicità** (valori riferiti ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni - mappa 50° percentile). Tale zonazione è inoltre confermata nelle mappe interattive dell'INGV richiamate dal vigente D.M. 14 Gennaio 2008 (<http://essel.mi.ingv.it/>).

<sup>1</sup> Consiglio Nazionale delle Ricerche, Gruppo nazionale per la difesa dai terremoti MODELLO SISMOTETTONICO DELL'ITALIA NORD-ORIENTALE a cura di Dario Slejko et alii, Trieste 1987.

Secondo il D.M. 14 gennaio 2008, le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati<sup>2</sup>, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche. La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{vr}$ , nel periodo di riferimento  $V_r$  dato dal prodotto della via nominale  $V_n$  dell'opera strutturale per il coefficiente d'uso  $C_u$ .

Allo stato attuale, la pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento è fornita dai dati pubblicati sul sito <http://essel.mi.ingv.it/>.

Ai fini della definizione della azione sismica di progetto, è necessario individuare la **categoria di sottosuolo di riferimento** sulla base dei valori della velocità equivalente di  $V_{s30}$  [m/s], inteso come velocità media di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio, o sulla base del valore di  $N_{SP,30}$ , parametro di resistenza del sottosuolo dedotto attraverso l'esecuzione di prove penetrometriche dinamiche, o sulla base della coesione non drenata media  $C_{u,30}$ . L'esecuzione dell'indagine di sismica passiva, ed in particolare l'esecuzione del profilo ReMfi di 46 m di lunghezza lungo il lato orientale dell'area di intervento (cfr. paragrafo 3.2 e relazione allegata), ha permesso di determinare sperimentalmente il valore locale del parametro  $V_{s30}$  [m/s], che si ricorda essere quello che meglio di ogni altro parametro fisico caratterizza i materiali dal punto di vista del loro comportamento meccanico. Detto parametro si calcola attraverso la relazione:

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

dove  $h_i$  e  $V_i$  indicano lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio  $\gamma < 10^{-6}$ ) dello strato  $i$  esimo per un totale di  $N$  strati presenti nei 30 metri superiori. Con il profilo ReMfi si è determinato un profilo sismico di velocità del sottosuolo ottenendo una ricostruzione che prevede la presenza di materiale sciolto (la copertura morenica) fino ad una profondità variabile da 3,0 a 6,0 procedendo da sud verso nord. Da questo si è potuto ricavare il valore di  $V_{s30}$  che consente di classificare il profilo stratigrafico del sottosuolo di fondazione in funzione della ipotetica profondità di posa delle fondazioni; in relazione a

<sup>2</sup> Nei confronti delle azioni sismiche sono stati *limiti di esercizio* lo Stato Limite di Operatività (SLO) e lo Stato Limite di Danno (SLD); sono stati *limiti ultimi* lo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV) e lo Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC).

quanto definito al punto 3.2.2 dell'Allegato del D.M. 14 gennaio 2008, per fondazioni impostate a piano campagna o a -2,0 m di profondità la categoria di sottosuolo è risultata - B -, mentre per fondazioni impostate a -4 o -6 m di profondità è risultata - A -.

Tabella 10 - Categoria di sottosuolo

Profondità di imposta della fondazione	Categoria	Descrizione
0 m	B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_s$ ,30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s
2 m		
4 m	A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_s$ ,30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m
6 m		

Si precisa che non sono presenti depositi di terreni sabbiosi sciolti sotto falda o argillosi plastici tali da implicare la necessità di valutare il grado di liquefazione ed eventualmente l'inserimento del terreno all'interno delle Categorie S1 e S2.

Ai fini della verifica delle **condizioni topografiche**, essendo il sito d'intervento assimilabile ad una configurazione superficiale semplice, esso può essere inserito nella categoria T2, avendo il versante di interesse una pendenza media di circa 15° che aumenta localmente a causa della presenza di numerose scarpate e/o rotture di pendenza.

Tabella 11 - Categoria topografica

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T2	Pendi con inclinazione media $i > 15^\circ$

## 4 Analisi tecnico - geologica dell'intervento di progetto

In base al D.M. 14 gennaio 2008 la progettazione geotecnica è svolta sulla base di verifiche di sicurezza relative agli stati limiti ultimi (SLLU) e di analisi relative alle condizioni di esercizio (SLE). Per ogni stato limite ultimo in particolare deve essere rispettata la seguente condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove  $E_d$  è il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione e  $R_d$  è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico; nella formulazione della resistenza  $R_d$  compare esplicitamente un coefficiente  $\gamma_R$  che opera direttamente sulla resistenza del sistema.

Il valore di progetto della resistenza  $R_d$  può essere determinato:

- in modo analitico, con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici del terreno, diviso per il valore del coefficiente parziale  $\gamma_M$  specificato nella Tab. 6.2.II dell'Allegato del D.M. stesso e tenendo conto, ove necessario, dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  specificati nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera;
- in modo analitico, con riferimento a correlazioni con i risultati di prove in sito, tenendo conto dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  riportati nelle tabelle contenute nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera dello stesso allegato;
- sulla base di misure dirette su prototipi, tenendo conto dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  riportati nelle tabelle contenute nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera dello stesso allegato.

Nel caso in esame è applicabile la metodologia di cui al punto b), avendo stimato i parametri geotecnici del terreno in funzione di correlazioni con i risultati di prove in sito.

### 4.1 Verifica della capacità portante

La verifica della capacità portante (o carico limite  $q_{lim}$ ) rappresenta uno degli stati limite ultimi di tipo geotecnico (GEO) per le fondazioni superficiali ed esprime il collasso per carico

limite dell'insieme fondazione-terreno. Si precisa che per la valutazione della capacità portante del terreno e per le conseguenti verifiche dei cedimenti sono state esaminate alcune ipotesi preliminari relative alla tipologia ed al dimensionamento delle strutture di fondazione, tenendo a ribadire che tali verifiche della stabilità dell'entità terreno - fondazione sono da considerarsi indicative e non costituiscono pertanto fase progettuale, ma rappresentano un'ipotesi di lavoro sui parametri geotecnici emersi dall'indagine geognostica in sito.

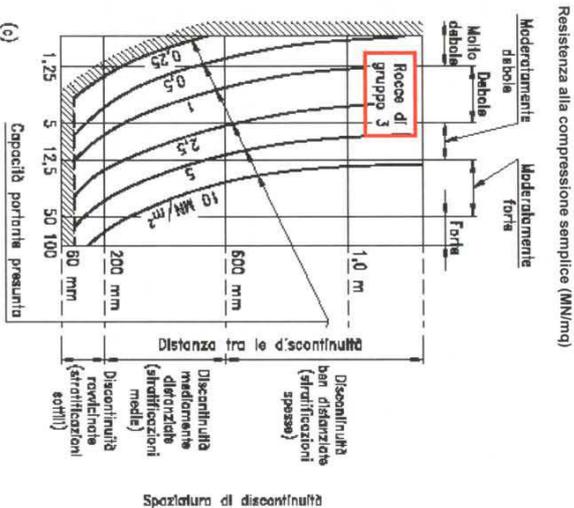
Dal punto di vista generale la capacità portante (o carico limite  $q_{lim}$ ) di una fondazione superficiale rappresenta la pressione massima che una fondazione può trasmettere al terreno prima che questo raggiunga la rottura. Tale caratteristica non è una qualità intrinseca del terreno, a differenza delle proprietà geotecniche dei litotipi considerati, ma dipende essenzialmente da queste ultime, dalla forma e dalla geometria, ecc. Le principali equazioni sviluppate per il calcolo della capacità portante schematizzano il terreno come un mezzo continuo, omogeneo e isotropo, a comportamento rigido plastico e per il quale vale il criterio di rottura di *Mohr-Coulomb*.

Sulla base del progetto redatto dal Geom. Mauro Cavallari e delle caratteristiche geologico - tecniche di dettaglio del sottosuolo desunte dall'elaborazione dei risultati della campagna di indagine, si assume che, essendo lo spessore della copertura morenica mediamente di circa 4,0 m e la profondità del piano di posa delle fondazioni di circa - 3,5 m dal p.c., il sedime di fondazione del nuovo edificio sia approfondito fino ad intercettare completamente i litotipi calcarei del substrato roccioso e cioè lo Strato 3 della Tabella 8 (cfr. capitolo 3). Le locali condizioni geologiche e le caratteristiche dei litotipi, associate alla tipologia edificatoria prevista, sono quindi tali da permettere l'adozione di fondazioni dirette, compatibilmente con i carichi previsti dal Progettista.

In queste condizioni le fondazioni superficiali su roccia possono essere progettate con il metodo che prevede l'utilizzo di un valore presunto della portanza, determinato in maniera empirica, sulla base dell'esperienza comparabile e di risultati delle misure in sito.

In via del tutto preliminare ed indicativa, per gli ammassi rocciosi aventi caratteristiche analoghe a quelle del caso in analisi, la portanza presunta per plinti quadrati si può ottenere dall'esame della Figura 12, nell'ipotesi che la struttura possa sopportare cedimenti pari allo 0,5% della larghezza della fondazione.

**Figura 12 - Portanza presunta per fondazioni su roccia**  
 (estratto da: Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - UNI EN 1997-1:1997)



CLASSIFICAZIONE DELLE ROCCE TENERE E FRATTURATE	
Gruppo	Tipo di roccia
1	Calcarei e dolomie puri Arenarie carbonatiche di bassa porosità
2	Ignee Calcarei oolitici e marnosi Arenarie ben cementate Siltiti carbonatiche diagenizzate Rocce metamorfiche, comprendenti ardese e scisti (sfaldatura/filiazione orizzontale)
3	Calcarei molto marnosi Arenarie scarsamente cementate Ardese e scisti (sfaldatura/filiazione inclinata)
4	Siltiti e argilliti non cementate

Ad ogni modo, sulla base delle considerazioni sovraespresse, tenuto conto delle condizioni geologico - geomorfologiche locali e delle caratteristiche variabili dei litotipi di imposta, si ritiene giustificato assumere, con adeguato margine di sicurezza, un valore di **capacità portante limite** valido per tutta la porzione del fabbricato pari a **600 kN/mq  $\equiv$  60,00 t/mq  $\equiv$  6,00 kg/cmq**. Tale risultato è l'espressione di una situazione generalizzata che potrebbe discostarsi da quanto prospettato: si consiglia, quindi, di non superare il valore suggerito.

La verifica agli stati limiti ultimi di tipo geotecnico per il collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3). Considerato che nel caso in esame si sono stimati i parametri geotecnici del terreno in funzione di correlazioni con i risultati di prove in sito (per i quali i coefficienti parziali nella combinazione M1 sono pari a 1,0), il valore di progetto della resistenza può essere determinato tenendo conto dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  riportati nella tabella 6.4.1, mediante l'Approccio 2 (A1+M1+R3). In tale approccio il coefficiente parziale  $\gamma_R$  per la verifica allo stato ultimo di fondazioni superficiali per la capacità portante nella combinazione R3 è pari a 2,3<sup>3</sup>.

Si ricorda che il valore del carico limite  $q_{lim}$  dovrà essere ricalcolato sulla base delle effettive scelte progettuali, una volta nota l'entità e l'eccentricità dei carichi; il piano di posa delle fondazioni dovrà essere preparato a regola d'arte, prevedendo che il terreno di fondazione non subisca rianneeggiamenti e deterioramenti: esso dovrà essere regolarizzato e protetto con conglomerato magro, per avvantaggiare una diffusione del carico su di un'area più ampia di terreno.

#### 4.2 Valutazione dei cedimenti

Considerata la natura del substrato roccioso sul quale si va a realizzare il nuovo fabbricato e la tipologia di opera in progetto, si ritiene giustificato assumere che i cedimenti siano da considerarsi trascurabili sia in valore assoluto che differenziale.

Ad ogni modo, **il nuovo edificio, le nuove opere di sostegno (nella fattispecie i muri di contenimento) e l'adeguamento della Strada Comunale delle Colonghe dovranno essere fondati su di un substrato roccioso dalle caratteristiche geomecaniche uniformi**; pertanto, in fase di realizzazione, qualora si verifici che i diversi piani di fondazione presentino disomogenee caratteristiche geomecaniche o si verificino locali ispessimenti del terreno di copertura, per garantire un'omogeneità di comportamento ed evitare così possibili assediamenti, dovrà essere accertata la presenza costante dell'ammasso roccioso omogeneo su tutta la base d'appoggio. Nel caso in cui non venga verificata tale condizione, si provvederà ad approfondire lo scavo fino al raggiungimento del substrato roccioso più tenace, eseguendo delle bonifiche per sostituzione con magrone di calcestruzzo per il livellamento della quota

<sup>3</sup> Nel D.M. 11 marzo 1988 il fattore di sicurezza è pari a 3.

d'imposta delle fondazioni. Tali considerazioni non sono ovviamente applicabili al muro di sostegno previsto al perimetro orientale dell'area di intervento che verrà invece fondato sui depositi morenici, prevedendo, dove necessario, la bonifica per sostituzione con magrone di calcstruzzo dell'orizzonte di terreno vegetale e dello strato potenzialmente interessato da problemi derivanti da variazioni di volume per cambiamenti di umidità stagionali, per essiccazione e per effetto del gelo. In ogni caso, il piano di posa delle fondazioni dovrà essere preparato a regola d'arte e dovrà essere regolarizzato e protetto con calcstruzzo magro.

### 4.3 Valutazione di stabilità delle pareti di scavo e delle nuove scarpate

La realizzazione del piano interrato nell'edificio di progetto comporterà la formazione di **fronti di scavo dell'altezza stimata massima di circa 4,20 m** sul lato meridionale, settentrionale e orientale, al fine di intercettare il substrato roccioso sottostante i depositi di origine morenica.

Ai fini della sicurezza di cantiere si ritiene necessaria una verifica della stabilità di tali fronti di scavo liberi, per la quale è stato utilizzato il metodo dell'equilibrio limite che consiste nella stima di un coefficiente di sicurezza alla traslazione e/o rotazione della massa di terreno compresa fra la superficie della scarpata di scavo e la superficie di scorrimento potenziale imposta; tale coefficiente o fattore di sicurezza, denominato F.S., rappresenta un indice del grado di stabilità del pendio. Il coefficiente di sicurezza globale del pendio viene calcolato attraverso il rapporto fra la resistenza al taglio massima disponibile lungo la superficie di rottura (o resistenza disponibile) e gli sforzi tangenziali mobilitati lungo tale piano (o resistenza mobilitata):

$$F.S. = \frac{T_{max}}{T_{mob}} \quad [\text{adimensionale}]$$

dove: F.S. = fattore di sicurezza

Tmax = resistenza al taglio massima

Tmob = sforzo tangenziale mobilitato

All'equilibrio il valore è F.S. = 1, anche se per i disposti del D.M. 11 marzo 1988 e per consuetudine pratica, la stabilità può dirsi raggiunta solo nel caso in cui F.S. > 1,3.

Il metodo prevede alcune assunzioni:

- la massa di terreno è considerata perfettamente rigida;
- la rottura del versante avviene per scorrimento di una massa di terreno lungo una superficie al momento della rottura;
- la resistenza del terreno viene mobilitata completamente e contemporaneamente lungo l'intera superficie.

Diverse teorie, sulla base della superficie di scivolamento attesa, prevedono una diversa soluzione analitica per il calcolo del F.S. Nel caso di superfici di scivolamento circolari o complesse, la massa di terreno viene discretizzata in un numero di strisce verticali definite conc, dei quali vengono analizzate le caratteristiche geometriche e statiche. La risoluzione analitica, prevedendo un numero elevato di incongne, risulta staticamente indeterminata, pertanto il calcolo viene effettuato in modo iterativo, assegnando cioè una valore di "tentativo" al fattore di sicurezza e calcolando il fattore di sicurezza rispetto all'equilibrio delle forze o dei momenti fino ad ottenere una soddisfacente convergenza dei risultati. I diversi metodi reperibili in letteratura si differenziano tra loro nell'introduzione delle ulteriori ipotesi, che in genere riguardano la direzione e il punto di applicazione delle forze all'interfaccia dei conc.

L'analisi di stabilità all'equilibrio limite dell'intervento di progetto è stata condotta, in condizioni statiche ed in condizioni dinamiche associate all'azione sismica, con l'ausilio del Programma di calcolo Slope V.8 della GeoStru Software (Licenza d'uso n. 1245). Il programma di calcolo opera secondo le metodologie LEM (Metodo dell'Equilibrio Limite), in base alle varie teorie di Bishop, Jambu semplificato, Fellenius e Bell.

Per la verifica di stabilità del fronte di scavo è stato utilizzato il **Metodo di Jambu Semplificato** (1967), ritenuto il più idoneo per analizzare un ammasso terroso. Con tale metodo non viene trascurato nessun contributo di forze agenti sui blocchi e le equazioni usate per risolvere il problema sono:

$$\sum F_v = 0; \quad \sum M_0 = 0; \quad \text{Criterio di rottura}$$

$$F = \frac{\sum \{c + b + (W - u \times b + AX) \times \tan \varphi\} \times \frac{\sec \alpha}{1 + \tan \alpha \times \tan \varphi / F}}{\sum W \times \sin \alpha}$$

I valori di F e di AX per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre  $AX = 0$  ed iterare per il calcolo del fattore di sicurezza.

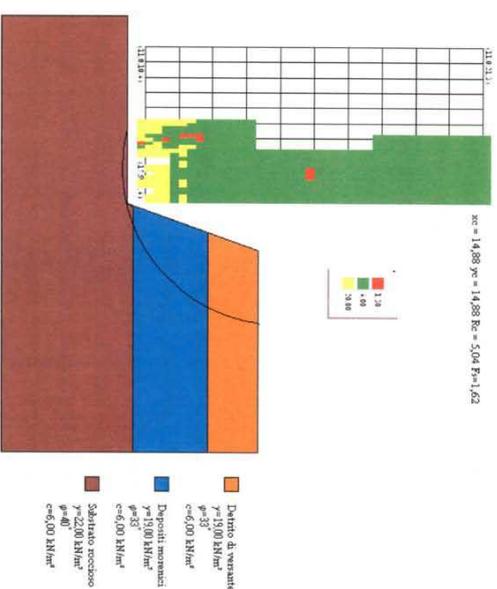
Quando vengono trattate superfici di scorrimento di forma qualsiasi il braccio delle forze cambia (nel caso delle superfici circolari resta costante e pari al raggio) a tal motivo risulta più conveniente valutare l'equazione del momento rispetto allo spigolo di ogni blocco:

$$F = \frac{\sum \{c \times b + (W - u \times b + AX) \times \tan \varphi\} \times \frac{\sec^2 \alpha}{1 + \tan \alpha \times \tan \varphi / F}}{\sum W \times \tan \alpha}$$

Nell'analisi di stabilità a breve termine relativa a scavi provvisori in terreni prevalentemente coesivi, vengono utilizzati i parametri geotecnici in condizioni non-drenate ed in termini di tensioni totali, in considerazione della bassa permeabilità dei litotipi. Per quanto attiene invece ai terreni con comportamento granulare, come nel nostro caso, vengono al contrario utilizzati in parametri in condizioni drenate ed in tensioni efficaci. A tal fine viene adottato un angolo di attrito  $\Phi'$  derivato dall'indagine in sito mentre per quanto riguarda la coesione apparente, relazionata all'umidità ed alla cementazione temporanea nella matrice, viene utilizzato la metodologia proposta da *Previallo-Simoni* (1989). Secondo gli autori tale valore varia da un massimo di 16 kN/mq fino a zero con una legge di degradazione con il tempo. Nel caso specifico, ipotizzando che lo scavo resti aperto circa 12 mesi, si ottiene un valore della coesione pari a 9 kN/mq.

Dalle analisi effettuate, i cui risultati sono riportati nella Figura 13, si evince come, nelle condizioni al contorno assunte, la stabilità a breve termine dei fronti di scavo sia garantita nei terreni morenici adottando inclinazioni sull'orizzontale delle scarpate non superiori a circa 70° con un F.S. minimo pari a 1,94 (> 1,3). Dal punto di vista dimensionale per uno scavo di circa 4,2 m ne deriva un arretramento in testa pari a circa 1,5 m.

**Figura 13 - Analisi di stabilità all'equilibrio limite (Jumbhu semplificata) lungo un fronte di scavo ipotetico (altezza di scavo pari a 4,20 m)**



- Al fine comunque di evitare fenomeni di distacco di blocchi di terreno dal ciglio, possibili soprattutto con la dissecazione del terreno dopo lo scavo, ovvero con l'eliminazione della frazione di acqua capillare ed interstiziale, si dovranno adottare le seguenti precauzioni:
- copertura dei fronti di scavo con teli impermeabili;
  - realizzazione di canalette perimetrali in testa allo scavo per l'allontanamento degli eccessi di precipitazione;
  - distanza di mezzi operatori pesanti non inferiore a 3 m dal ciglio scavo;
  - distanza di depositi temporanei di materiale non inferiore a 3 m dal ciglio scavo;
  - distanza della gru di cantiere non inferiore a 3 m dal ciglio scavo.

In corrispondenza delle rotture di versante, attuali e/o di progetto, si dovranno realizzare gli opportuni **sistemi di drenaggio delle acque ipogee di origine meteorica**, poiché non si esclude la presenza, in corrispondenza dei periodi piovosi, di circolazione idrica nelle porzioni più superficiali del sottosuolo, soprattutto al contatto fra la coltre superficiale di origine morenica ed il substrato roccioso; tale circolazione idrica potrà anche essere innescata dalla presenza della Valle delle Colonghe a nord dell'area di intervento e della trincea drenante

posta a monte del muro di sostegno della rampa di accesso al piano interrato del fabbricato che si suggerisce venga all'uopo opportunamente impermeabilizzato. Le acque di drenaggio dovranno essere allontanate e smaltite in condizioni di sicurezza a valle delle opere in progetto, nel rispetto delle proprietà sottostanti. Si suggerisce inoltre, con l'occasione dei lavori di adeguamento della Strada Comunale delle Colonghe, di garantire la continuità all'impiuvio della Valle delle Colonghe, attualmente obliterato dalla strada suddetta.

In merito alla **risagomatura della scarpata presente nel settore occidentale** dell'area di intervento, con avanzamento del profilo topografico attuale attraverso il riporto della terra da scavo ottenuta dalla realizzazione dell'interrato (che consentirà, fra l'altro, di minimizzare gli effetti del trasporto dello stesso verso aree esterne), si evidenzia che, in assenza di idonee opere di sostegno, la stabilità del versante di progetto potrà essere garantita solo con valori di inclinazione indicativamente di circa  $30 \div 35^\circ$  rispetto all'orizzontale. Si conferma quindi la necessità già espressa ad esito di precedenti indagini geologiche preliminari, di realizzare idonee palificazioni sul versante ovest a contenimento di eventuali fenomeni erosivi e/o di smottamento del terreno di riporto, il cui dimensionamento esula dagli obiettivi e contenuti della presente Relazione Geologica e Geotecnica.

## 5 Conclusioni

La presente Relazione Geologica, Idrogeologica e Geotecnica redatta a supporto del Progetto per la costruzione di un fabbricato di civile abitazione in Via Fogazzaro nel Comune di Torri del Benaco (VR), ed in ottemperanza al D.M. 14 gennaio 2008 ha permesso di analizzare in dettaglio lo stato attuale del territorio oggetto di intervento, evidenziando che l'area in esame non presenta situazioni morfologiche, strutturali, idrogeologiche o geotecniche sfavorevoli alla realizzazione degli interventi in progetto.

L'analisi morfologica, geologica ed idrogeologica dello stato attuale del territorio oggetto di intervento e di un suo adeguato intorno ha permesso di accertare che:

- da un punto di vista **morfologico**, l'area oggetto di intervento è ubicata ad una quota di 175 m s.l.m. sul versante ovest del Monte Baldo;
- in corrispondenza del sedime del fabbricato in progetto, in superficie la **litologia** è rappresentata da depositi morenici, costituiti da clasti centimetrici in matrice limo sabbiosa a struttura caotica e molto addensati e/o cementati; essi presentano uno spessore di circa 4,0 m e poggiano su strati di calcari oolitici con giacitura a franapoggio meno inclinato del versante che vengono a giorno alla base della scarpata posta nel settore sud occidentale dell'area di intervento;
- i **parametri geotecnici** dell'ammasso terroso e roccioso possono ritenersi da buoni a ottimi; lo strato 3, di natura calcarea, che si ritiene possa costituire il sedime di fondazione del nuovo edificio, è caratterizzato da parametri geomecanici cautelativi corrispondenti ad un Peso per unità di volume ( $\gamma$ ) pari a 22,00 kN/mc e ad un angolo di attrito ( $\varphi$ ) di 40°;
- in merito alle **proprietà idrogeologiche** del sottosuolo indagato, l'esecuzione dell'indagine ha permesso di accertare l'assenza di falda idrica nelle porzioni più superficiali del sottosuolo oggetto di intervento; non si esclude la presenza di falda e/o circolazione idrica effimera in relazione alla presenza della Valle delle Colonghe a nord dell'area di intervento e alla futura presenza della trincea drenante posta a monte del muro di sostegno della rampa di accesso al piano interrato del fabbricato;

- la **caratterizzazione sismica** del sito di intervento ha consentito di verificare che il profilo stratigrafico locale, a seconda della profondità di imposta delle fondazioni, appartiene alla categoria di sottosuolo di riferimento - B - o - A -, e categoria topografica - T2 -;
- nell'immediato intorno dell'area di intervento **non sono presenti fenomeni di dissesto idrogeologico**.

L'ANALISI TECNICO - GEOLOGICA CONDOTTA DELL'INTERVENTO DI PROGETTO ha permesso di verificare:

- la **Capacità portante di sicurezza**, calcolata sulla base delle proprietà geotecniche acquisite e nell'ottica di un sistema fondale del nuovo edificio impostato sul substrato roccioso, è valutata pari a  $Q_{lim} = 600 \text{ kN/mq} \cong 60,00 \text{ t/mq} = 6,00 \text{ kg/cmq}$  (si ricorda che tale valore dovrà essere ricalcolato sulla base delle effettive scelte progettuali);
- per quanto riguarda i **cedimenti**, considerata la natura rocciosa del terreno di fondazione, sono da considerarsi trascurabili sia in valore assoluto che differenziale;
- per soddisfare le **condizioni di stabilità dei fronti di scavo connessi alla realizzazione del piano interrato dell'edificio residenziale**, questi dovranno avere un'inclinazione sull'orizzontale inferiore o pari a 70°;
- in merito alla **risagomatura della scarpata presente nel settore occidentale** dell'area di intervento, con avanzamento del profilo topografico attuale attraverso il riporto della terra da scavo ottenuta dalla realizzazione dell'interrato (che consentirà, fra l'altro, di minimizzare gli effetti del trasporto dello stesso verso aree esterne), si evidenzia che, in assenza di idonee opere di sostegno, la stabilità del versante di progetto potrà essere garantita solo con valori di inclinazione indicativamente di circa  $30 \div 35^\circ$  rispetto all'orizzontale; si conferma quindi la necessità, già espressa ad esito di precedenti indagini geologiche preliminari, di realizzare idonee palificazioni sul versante ovest a contenimento di eventuali fenomeni erosivi e/o di smottamento del terreno di riporto, il cui dimensionamento esula dagli obiettivi e contenuti della presente Relazione Geologica e Geotecnica.

Quali MODALITÀ OPERATIVE DI INTERVENTO si esprime quanto segue:

- il nuovo edificio, le nuove opere di sostegno (nella fattispecie i muri di contenimento) e l'adeguamento della Strada Comunale delle Colonghe dovranno

**essere fondati su di un substrato roccioso dalle caratteristiche geomecchaniche uniformi;** pertanto, in fase di realizzazione, qualora si verifici che i diversi piani di fondazione presentino disomogenee caratteristiche geomecchaniche o si verifichino locali ispessimenti del terreno di copertura morenica, per garantire un'omogeneità di comportamento ed evitare così possibili assediamenti, dovrà essere accettata la presenza costante dell'ammasso roccioso omogeneo su tutta la base d'appoggio. Nel caso in cui non venga verificata tale condizione, si provvederà ad approfondire lo scavo fino al raggiungimento del substrato roccioso più tenace, eseguendo delle bonifiche per sostituzione con magrone di calcestruzzo per il livellamento della quota d'imposta delle fondazioni. Tali considerazioni non sono ovviamente applicabili al muro di sostegno previsto al perimetro orientale dell'area di intervento che verrà invece fondato sui depositi morenici, prevedendo, dove necessario, la bonifica per sostituzione con magrone di calcestruzzo dell'orizzonte di terreno vegetale e dello strato potenzialmente interessato da problemi derivanti da variazioni di volume per cambiamenti di umidità stagionali, per essiccazione e per effetto del gelo. In ogni caso, il piano di posa delle fondazioni dovrà essere preparato a regola d'arte e dovrà essere regolarizzato e protetto con calcestruzzo magro:

le fondazioni dovranno essere gettate subito dopo l'esecuzione dello scavo per evitare il rammollimento del terreno per effetto dell'umidità, diversamente si consiglia di lasciare uno strato di 10-15 cm di terreno naturale da rimuovere quando si è pronti per il getto; inoltre il piano di posa degli elementi strutturali di fondazione dovrà essere regolarizzato e protetto con conglomerato magro, per avvantaggiare una diffusione del carico su di un'area più ampia di terreno;

nel caso di fermo cantiere prolungato o in occasione di precipitazioni intense le aree di scavo dovranno essere ricoperte con teli impermeabili; i mezzi pesanti, i depositi di materiale, le gru dovranno avere una distanza non inferiore ai 3 m dal ciglio di scavo; dovranno essere realizzate delle canalate perimetrali in testa allo scavo per raccogliere ed allontanare in sicurezza le acque di precipitazione meteorica che possono provocare solchi di ruscellamento lungo le pareti di scavo;

in corrispondenza delle rotture di versante, attuali e/o di progetto, si dovranno realizzare gli opportuni **sistemi di drenaggio delle acque ipogee di origine meteorica**, poiché non si esclude la presenza, in corrispondenza dei periodi piovosi, di circolazione idrica nelle porzioni più superficiali del sottosuolo, soprattutto al contatto fra la coltre superficiale di origine morenica ed il substrato roccioso; per lo stesso motivo si

suggerisce che l'edificio residenziale in progetto venga all'uopo opportunamente impermeabilizzato;

in generale, considerato il potenziale andamento della superficie dell'ammasso roccioso, anche a breve distanza, e la geomorfologia dei luoghi, sarà necessario verificare all'inizio dei lavori la situazione locale, in modo da confermare o meno la concordanza con le notizie raccolte in questa fase.

Caldiero, 12 ottobre 2009

**dr.ssa geol. NICOLETTA TOFFALETTI**  
via Guglielmo Marconi 21 - 37042 Caldiero (VR)  
tel. 045 6152173 / 339 5773948



Sondaggio		Metodo di perforazione	
<b>S1</b>		<b>MECCANICO CON ESCAVATORE</b>	
<b>DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA E STRATIGRAFIA</b>			
COMMITTENTE: Signora Daniela Pippa			
LAVORO: Indagine geologica e geotecnica			
LOCALITA': Via Fogazzaro, Comune di Torri del Benaco (VR)			
DATA: 9 ottobre 2009			
Profondità da p.c. (m)	Campioni	Descrizione litologica	Soggiacenza falda (m da p.c.)
0,00 - 1,60		Detrito di versante costituito dal rimaneggiamento dei sottostanti depositi morenici	
1,60 - 4,00	A *	Depositi morenici ghiaiosi in matrice limo sabbiosa, ben addensati e/o cementati	-
4,00 - 4,20		Substrato roccioso di natura carbonatica	

\* campione medio da cumulo di scavo prelevato tra 0 e 4,20 m di profondità da p.c.

**NOTE:**

- Verticalità mantenuta a breve termine.
- Si sono verificate venute d'acqua.



Sondaggio	Metodo di perforazione <b>MECCANICO CON ESCAVATORE</b>		
<b>S2</b>	<b>DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA E STRATIGRAFIA</b>		
COMMITTENTE: Signora Daniela Pippa LAVORO: Indagine geologica e geotecnica LOCALITA': Via Fogazzaro, Comune di Torri del Benaco (VR) DATA: 9 ottobre 2009			
Profondità da p.c. (m)	Campioni	Descrizione litologica	Soggiacenza falda (m da p.c.)
			-
			-
			-
0,00 - 1,00		Detrito di versante costituito dal rimaneggiamento dei sottostanti depositi morenici	
1,00 - 4,20		Depositi morenici ghiaiosi in matrice limo sabbiosa, ben addensati e/o cementati	
4,20 - 4,40		Substrato roccioso di natura carbonatica	

**NOTE:**

- Verticalità mantenuta a breve termine.
- Si sono verificate venute d'acqua.



**ANALISI DI STABILITA' ALL'EQUILIBRIO LIMITE DEL PENDIO**  
**RELAZIONE DI CALCOLO**  
 (Programma di calcolo Slope V.8 - GeoStru Softwarehouse - Licenza d'uso 1245)

**Ricerca della superficie di scorrimento critica**

In presenza di mezzi omogenei non si hanno a disposizione metodi per individuare la superficie di scorrimento critica ed occorre esaminare un numero elevato di potenziali superfici.  
 Nel caso vengano ipotizzate superfici di forma circolare, la ricerca diventa più semplice, in quanto dopo aver posizionato una maglia dei centri costituita da m righe e n colonne saranno esaminate tutte le superfici aventi per centro il generico nodo della maglia m X n e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

**Analisi di stabilità dei pendii con JANBU**

Numero di strati 3,0  
 Numero dei concii 10,0  
 No sistema:

**Superficie di forma circolare**

**Maglia dei Centri**

Ascissa vertice sinistro inferiore xi (m) 10,98  
 Ordinata vertice sinistro inferiore yi (m) 10,59  
 Ascissa vertice destro superiore xs (m) 15,85  
 Ordinata vertice destro superiore ys (m) 21,33  
 Passo di ricerca 10,0  
 Numero di celle lungo x 10,0  
 Numero di celle lungo y 10,0

**Vertici profilo**

N	X (m)	Y (m)
1	10,0	10,0
2	16,0	10,0
3	17,5	14,2
4	24,0	14,2

**Vertici strato .....1**

N	X (m)	Y (m)
1	10,0	10,0
2	16,0	10,0
3	16,95	12,6
4	24,0	12,6

**Vertici strato .....2**

N	X (m)	Y (m)
1	10,0	10,0
2	16,0	10,0
3	16,15	10,2
4	24,0	10,2

**Stratigrafia**

c: coesione; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo; K: Modulo di Winkler

Strato	c (kN/m <sup>2</sup> )	Fi (°)	G (kN/m <sup>3</sup> )	Gs (kN/m <sup>3</sup> )	K (kg/cm <sup>3</sup> )	Litologia
1	6,00	33,00	19,00	21,00	4,00	Detrito di versante
2	6,00	33,00	19,00	21,00	0,00	Depositi morenici
3	6,00	40,00	22,00	24,00	0,00	Substrato roccioso

**Risultati analisi pendio**

Fs minimo individuato 1,62  
 Ascissa centro superficie (m) 14,88  
 Ordinata centro superficie (m) 14,88  
 Raggio superficie (m) 5,04

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

**Analisi dei concii: superficie...xc = 14,877 yc = 14,882 Rc = 5,036 Fs=1,6212**

Nr.	B (m)	Alfa (°)	Li (m)	Wi (N)	c (kN/m <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (N)	Ni (N)	Ti (N)
1	0,62	-10,6	0,63	932,46	6,0	40,0	0,0	1665,23	3909,88
2	0,62	-3,4	0,62	1973,93	6,0	40,0	0,0	2224,72	4155,67
3	0,62	3,7	0,62	1953,61	6,0	40,0	0,0	1710,95	3838,08
4	0,62	10,8	0,63	870,57	6,0	40,0	0,0	310,9	3059,93
5	0,62	18,2	0,65	13761,86	6,0	40,0	0,0	11239,17	10404,49
6	0,74	26,6	0,83	39316,18	6,0	33,0	0,0	33947,72	22387,33
7	0,5	34,9	0,61	32805,69	6,0	33,0	0,0	28541,95	20010,55
8	0,62	43,2	0,85	35471,32	6,0	33,0	0,0	31076,52	25675,66
9	0,62	54,1	1,06	27210,43	6,0	33,0	0,0	23978,69	27676,3
10	0,62	71,2	1,93	13961,45	6,0	33,0	0,0	7536,58	37748,39

# Lottizzazione a Torri del Benaco

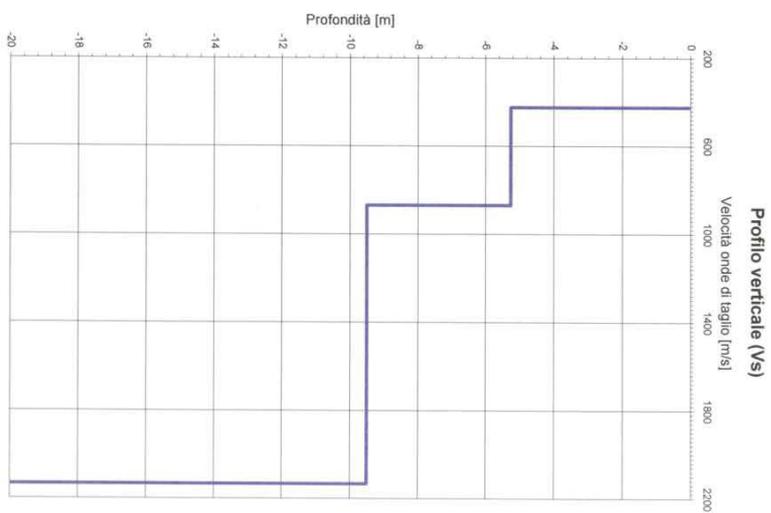
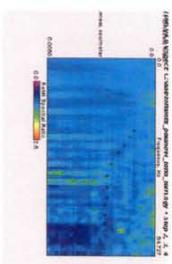
## Vs Refraction Microtremor

Profondità piano di fondazione:  
Vs1:  
Categoria sottosuolo di  
fondazione

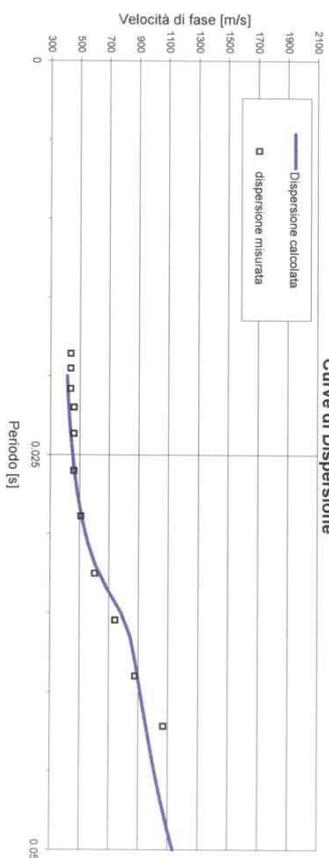
0m	425	B
2m	425	B
4m	425	A
6m	2095	A

$i=5,2m$

Spettro di potenza p-f



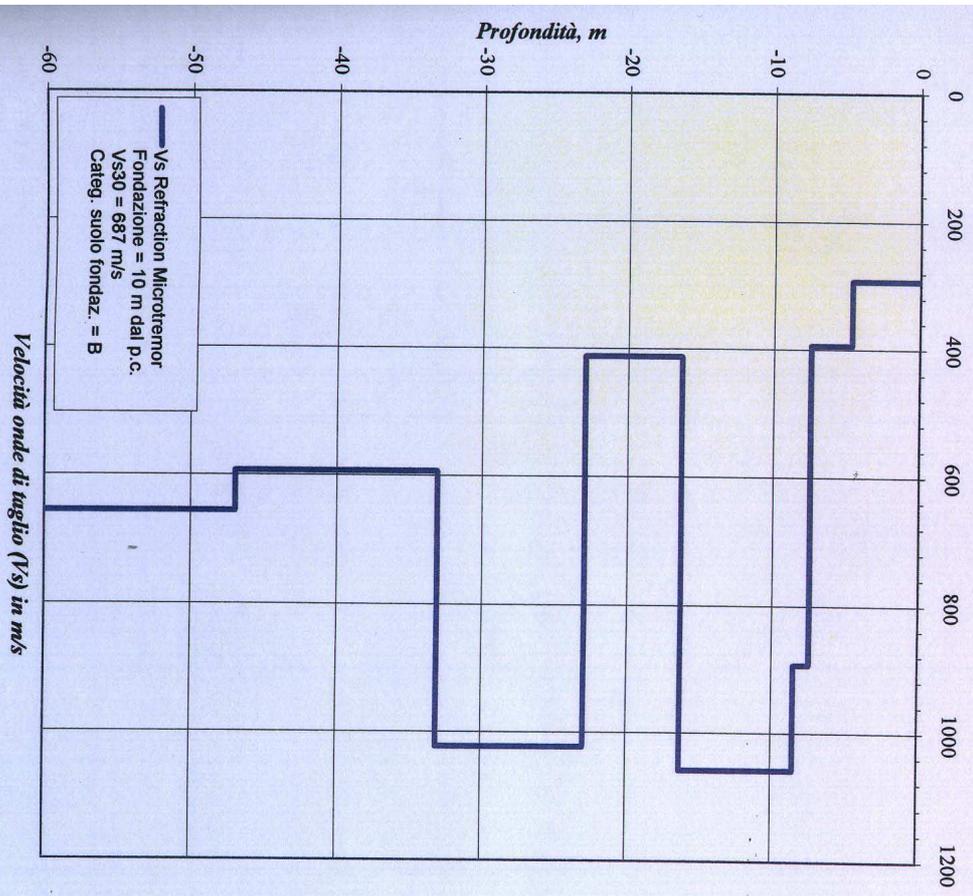
Curve di Dispersione



**WANGER S.R.L.**

VIA GALVANI, 4/A BOLZANO

**Garage interrato - Torri del Benaco (VR)**  
**Profilo ReMi**  
**Vertical Seismic Profile delle Vs**  
**(calcolato con ReMi)**



**LOTTIZZAZIONE TURISTICA "CRERO"**  
**PROGETTO DI UN ALBERGO IN LOCALITÀ CRERO**  
**NEL COMUNE DI TORRI DEL BENACO (VR)**  
**-Progetto di variante edilizia al P.d.C.202/06 del 20/1/2007-**

**RELAZIONE GEOLOGICA**

SULLE INDAGINI, CARATTERIZZAZIONE E MODELLOZIONE GEOLOGICA DEL SITO  
AI SENSI DEL DM 14-1-2008 E DELLE NTA DEL PIANO DI AREA GARDA BALDO

IL GEOLOGO

**ORDINE DEI GEOLOGI**  
**GEOL. GENKAMMER**  
TRENTO - ALTO ADIGE / SUDTIROL  
DOTT. GEOL.  
**MICHELE NOBILE**  
N° 30



sommario:

**RELAZIONE GEOLOGICA**

SULLE INDAGINI, CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO  
AI SENSI DEL DM 14-1-2008 E DELLE NTA DEL PIANO DI AREA GARDA BALDO

1	PREMESSA.....	3
2	DOCUMENTAZIONE CONSUL TATA.....	5
3	NORMATIVA E RACCOMANDAZIONI DI RIFERIMENTO .....	6
3.1	NORMATIVA NAZIONALE .....	6
3.2	NORMATIVA LOCALE .....	6
4	INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	6
4.1	PREMESSA.....	6
4.2	SINTESI DEI RISULTATI.....	8
5	ASPETTI GEOLOGICI.....	10
6	INTERAZIONE TRA VINCOLI GEOLOGICI E LOTTIZZAZIONE.....	16
7	ASPETTI IDROGEOLOGICI.....	20
8	MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO .....	21
9	INCERTEZZE NELLA RICOSTRUZIONE DEL MODELLO GEOLOGICO.....	23
10	ANALISI DEL PROGETTO E DELLE PROBLEMATICHE GEOLOGICHE.....	24
11	RISPOSTA SIMICA LOCALE .....	24
12	VERIFICA DELLA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI DI FONDAZIONE.....	26
13	CONSIDERAZIONI SULLO SMALTIMENTO DELLE ACQUE METEORICHE .....	27
14	INDICAZIONI SULLA STABILITÀ IDROGEOLOGICA DELL'AREA RAMPA DI ACCESSO AI GARAGE INTERRATI.....	28
15	CONCLUSIONI.....	30



**1 PREMESSA**

Su incarico e per conto del committente, società WANGER S.R.L., viene di seguito redatta la presente relazione geologica sulle indagini caratterizzazione e modellazione geologica del sottosuolo a supporto del Progetto di Variante Edilizia al P.d.C.202/06 del 20/11/2007 per la realizzazione di un albergo in località Crero nel Comune di Tori del Benaco (Vr). Si tratta di un progetto di variante individuato con i seguenti riferimenti catastali: Comune di Tori del Benaco, Sezione Unica, Foglio 4 mappale 57 (parte), mappale 61 (parte), 62 (parte), mappale 64, mappale 434, mappale 435, mappale 436, mappale 534, mappale 535, mappale 536 (parte), mappale 1130 (parte).



Figura 1 – Ubicazione dell'area di studio (estratto planimetrico catastale)

La lottizzazione di cui sopra è stata autorizzata con Permesso di Costruire n. 181/06 del 13.10.2006 e successiva variante n. 188/07 del 20.11.2007. Il progetto edilizio, di cui alla presente proposta di variante, fa riferimento al Permesso di Costruire n.202/06 del 20.11.2007.

Il Piano di Lottizzazione approvato prevedeva un piani-volumetrico composto sostanzialmente da due grandi corpi di fabbrica con porzioni di altezza variabile, a due e tre piani, di rilevante impatto visivo sia dalla strada verso il borgo di Cero, sia da punti di visuale più lontani o dal lago. Con la presente variante si propone una diversa impostazione progettuale volta alla massima integrazione tra il progetto architettonico ed il sito modellando la lottizzazione secondo un profilo "a terrazze" che segua sostanzialmente il pendio del terreno esistente. Questa scelta progettuale, contestualmente allo sviluppo di corpi di fabbrica su un solo piano fuori terra e un approfondimento maggiore dei piani interrati, permette di rendere molto meno impattante l'aspetto complessivo dei fabbricati.

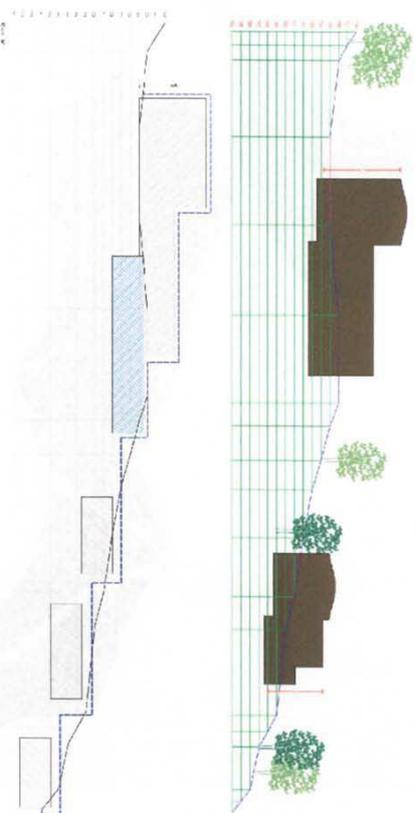


Figura 2 – Confronto tra sezione tipo progetto già approvato (in alto) e variante proposta (in basso)

Il presente studio geologico definisce, con preciso riferimento al progetto ed ai vincoli urbanistici di carattere idrogeologico, i lineamenti geomorfologici della zona nonché i processi morfologici e la loro tendenza evolutiva, la successione illustratigrafica locale, con la descrizione della natura e della distribuzione spaziale dei litotipi, del loro stato di alterazione e fratturazione e della loro degradabilità; inoltre illustra lo schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea.

Per la redazione del presente elaborato si fa riferimento ad uno specifico rilievo geologico e geomorfologico dell'area e ad una mirata campagna d'indagini geologiche – geotecniche - geofisiche eseguite in passato sull'area; allo scopo sono stati anche consultati indagini e prove realizzate in aree vicine.

La relazione è stata redatta, in ottemperanza a quanto previsto dai:

- **D.M. 14/1/2008 "Testo Unico – Nuove Norme Tecniche Per le Costruzioni"**
- **NTA del Piano di Area Garda Baldo**
- **Circolare Regione Veneto n° 9/2000**
- **D.M. 11/3/88 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione", Legge n.64 del 2 febbraio 1974, art. 1**

La relazione sulla modellazione sismica (§ C 3.2 delle NTC), non essendo stati realizzati specifici studi di risposta sismica locale, ma solo la determinazione per via indiretta del parametro delle Vs 30 così come previsto dalla "Prima direttiva per l'applicazione del decreto del ministero delle infrastrutture e dei trasporti 14 gennaio 2008", viene ricompresa nella relazione geologica.

## 2 DOCUMENTAZIONE CONSULTATA

1. *Relazione geologica e geotecnica per il progetto di costruzione di un complesso residenziale a Cero – Studio Associato Geologia Applicata – rel 2282/1/06*
2. *Relazione idrogeologica per il progetto di costruzione di un complesso residenziale in località Cero nel Comune di Torri del Benaco – Studio Associato Geologia Applicata – rel 2282/2/07*
3. *Integrazione alla relazione geologica e geotecnica per il progetto di costruzione di un complesso residenziale in località Cero nel Comune di Torri del Benaco – Studio Associato Geologia Applicata – rel 2282/2/07*

### 3 NORMATIVA E RACCOMANDAZIONI DI RIFERIMENTO

#### 3.1 NORMATIVA NAZIONALE

- A.G.I. 1977 - Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche.
- D.M. LL.PP. 11.03.88 - "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- DECRETO 21 OTTOBRE 2003 della Presidenza del Consiglio dei Ministri - Dipartimento Protezione Civile
- O.P.C.M. 3362/2004 e succ. mod.
- MINISTERO INFRASTRUTTURE E TRASPORTI. 2008 - Testo Unico - Nuove Norme tecniche per le costruzioni
- CICOLARE 2 FEBBRAIO 2009, N° 617 - Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14.01.2008.
- DLGS. 152/2006 - "Norme in materia ambientale"

#### 3.2 NORMATIVA LOCALE

- D.G.R.V. 2424 dell'8 agosto 2008 - "Procedure operative per la gestione delle terre e rocce da scavo ai sensi dell'art. 186 del decreto legislativo 3 aprile 2006, N°152"
- Piano di Tutela delle Acque del Regione Veneto, redatto nel 2004 ai sensi dell'art. 44 del D.Lgs. 152/99 e successivamente aggiornato con Del. G.R.V. n. 2267 del 24 luglio 2007

### 4 INDAGINI GEOGNOSTICHE

#### 4.1 PREMESSA

In considerazione della tipologia di depositi geologici presenti nell'area in esame (depositi glaciali, detritici di versante ed ammasso roccioso) e degli interventi progettuali previsti in variante, avendo già a disposizione un buon numero di indagini sia nell'area (indagini eseguite nel 2006) che nelle zone limitrofe, ed anche di affioramenti dei terreni, in accordo con il progettista non è stato reputato necessario effettuare alcuna integrazione d'indagine, ritenendo esaustivi i dati a disposizione.

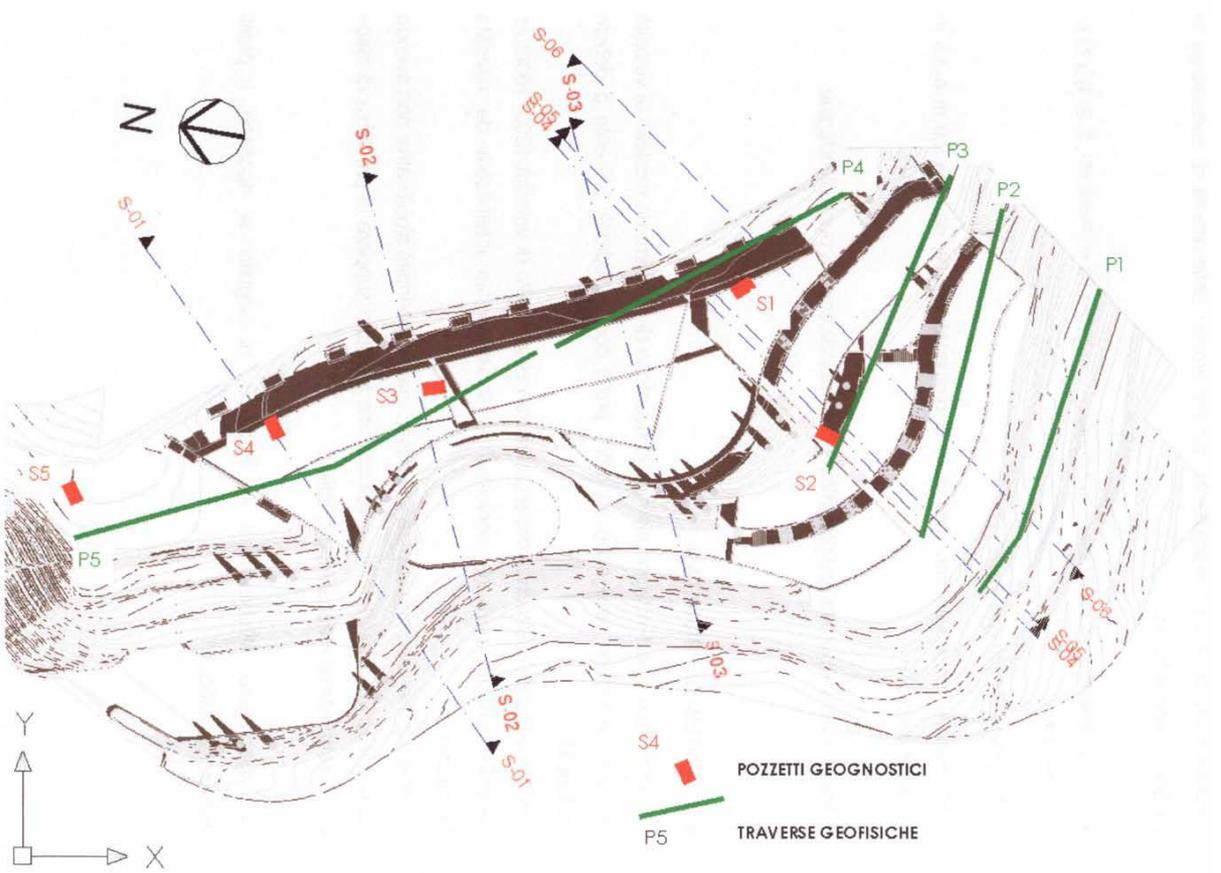


Figura 3- Planimetria indagini eseguite

L'indagine consultata ed eseguita in sito nell'ambito delle attività di consulenza al progetto è consistita in:

- N°5 stendimenti sismici a rifrazione di lunghezze variabili da 50 m (Profili n°1, 2, 3, 4) a 75 m (profilo n°5);
- N° 1 profilo sismico tipo "ReMi"
- n°5 pozzetti geognostici con escavatore di profondità variabili da circa 2,0 m a 4,5 m dall'attuale p.c.;

In figura 3 viene riportata una planimetria con l'ubicazione dei punti di indagine.

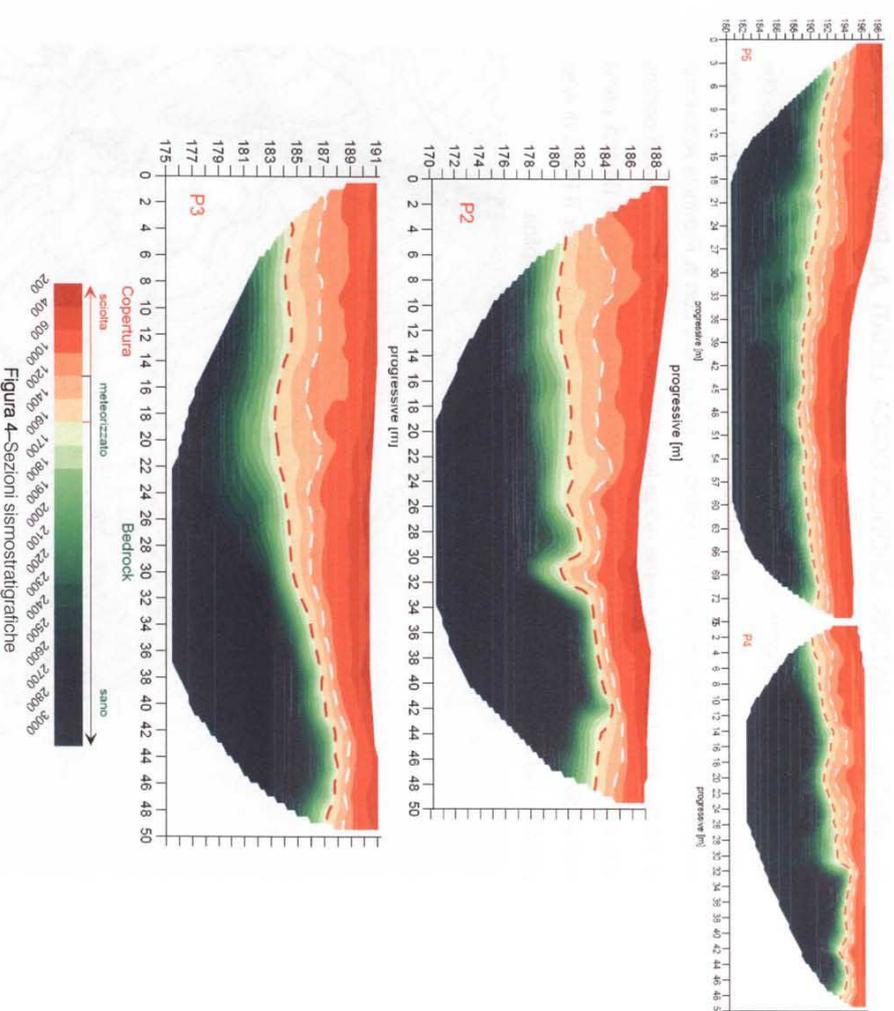
#### 4.2 SINTESI DEI RISULTATI

I risultati ottenuti dall'indagine sismica consentono di produrre un modello di velocità che appare essere omogeneo su tutti i profili con il bedrock presente a debole profondità.

L'indagine pone l'interfaccia roccia-copertura nell'intervallo di velocità 1200- 1600m/s ritenendo che la porzione corticale del substrato sia interessata da marcata fessurazione.

L'ammasso roccioso non appare interessato da discontinuità significative non avendo riconosciuto variazioni laterali di velocità che facciano supporre la presenza di fasce con caratteristiche meccaniche scadenti.

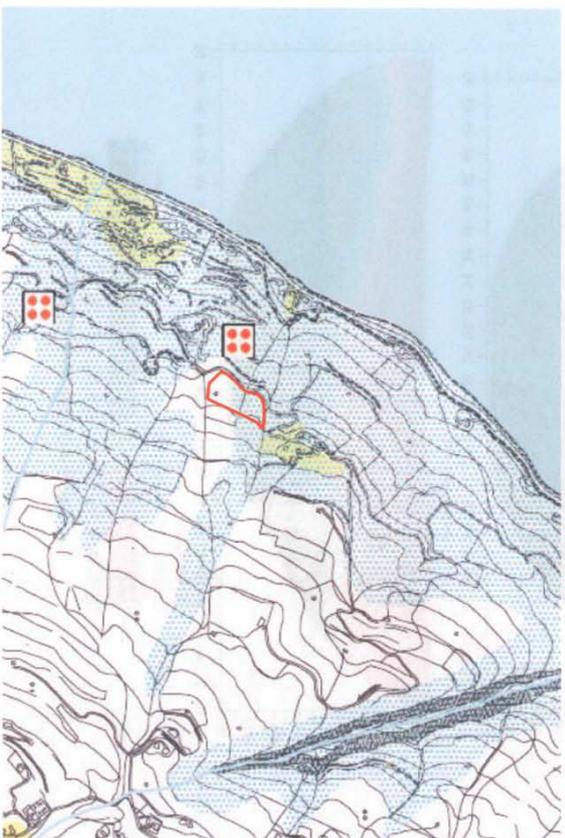
Con riferimento all'ubicazione in figura 3, di seguito si riportano i profili sismostratigrafici:



L'indagine geofisica ha trovato riscontro nei pozzetti effettuati i quali hanno evidenziato la presenza del basamento roccioso a poca profondità (Pz 1 - Pz2) superiormente sigillato dalla copertura glaciale identificata dalle indagini con velocità inferiori ai 1000 m/s.

## 5 VINCOLI DI NATURA IDROGEOLOGICA LEGATI AL PIANO DI AREA GARDA – BALDO

Le norme di seguito riportate si riferiscono esclusivamente alla sezione del Piano che comprende il territorio o parte del territorio del comune di Torri del Benaco e delle località limitrofe. Geograficamente il Piano confina a nord con la Provincia Autonoma di Trento, ad est costeggia il fiume Adige fino al Comune di Pastrengo, a sud confina con la Provincia di Mantova e ad ovest confina con la Provincia di Brescia prima seguendo il corso del fiume Mincio e poi attraverso il Lago di Garda. Il Piano di Area individua nel suo ambito le aree da assoggettare a specifica disciplina.



### SISTEMA DELLE AREE E DEGLI ELEMENTI DI INTERESSE NATURALISTICO

	Area di frana		Zona soggetta a pericolo di valanghe
	Zona soggetta a frana diffusa per crollo		Zona soggetta ad allagamento
	Siti con presenza di frana		Zona di pericolosità idraulica
	Zona denudata per erosione accelerata		Zona con emergenza della falda idrica

Figura 5 – Ubicazione dell'area di studio  
(Estratto da tavola 2.4 Sistema delle Fragilità "Piano di Area Garda – Baldo")

Nel titolo terzo delle Norme di Attuazione del Piano s'individuano gli ambiti soggetti a fenomeni d'instabilità (Art.5 ), gli ambiti e gli elementi soggetti a fenomeni di vulnerabilità idrogeologica (Art.6), i corridoi di difesa dall'inquinamento acustico ed elettromagnetico (Articoli 6 e 7) i pozzi, le cave e le discariche. Nel dettaglio l'area rientra nelle zone soggette ad allagamento, disciplinate dall'art. 6 secondo cui:

[...] I Comuni, il Genio Civile e gli altri enti competenti:

- individuano le zone di tutela ai sensi dell'art. 41 della L.R.11/04 e successive modificazioni;
- dettano norme per la messa in sicurezza dal rischio di dissesto idrogeologico;
- predispongono opportune schede al fine di definire la natura degli interventi possibili, anche sui fabbricati, a seconda del livello di pericolosità e instabilità delle aree stesse

[...]Prescrizioni e Vincoli:

Sono vietati quegli interventi che portano ad un utilizzo del suolo tale da aggravare il fenomeno di dissesto e instabilità, come la tombinatura dei canali di scolo e dei fossati di guardia ai margini delle infrastrutture.

Gli interventi di migliona fondaria, concordati con gli enti competenti, devono essere realizzati in modo tale da comportare un miglioramento idraulico della situazione di fatto esistente. Nella progettazione di nuove infrastrutture devono essere previste opere tali da garantire la soluzione di pericoli derivanti dal rischio idraulico.

## 6 CONSIDERAZIONI SUI VINCOLO DI ALLAGAMENTO ESISTENTE

Si prevede di realizzare un complesso residenziale alberghiero, costituito da alcune schiere di edifici situati su livelli differenti, con garage ai piani interrati. Gli interventi in oggetto non prevedono alcuna tombinatura della rete idrografica presente, né dei fossi di guardia esistenti o ai margini delle nuove strade e viali di servizio alla lottizzazione. Non è prevista, inoltre, alcuna interazione con il valo presente a nord dell'area (nuovi attraversamenti, modifiche della sezione d'alveo etc..). Il rio che scorre al margine nord dell'area presenta un alveo impostato in roccia, con briglie ed opere di regimazione che garantiscono adeguate condizioni di sicurezza geomorfologica nei confronti di dinamiche geomorfologiche attive in seno all'alveo (Foto 1-2).

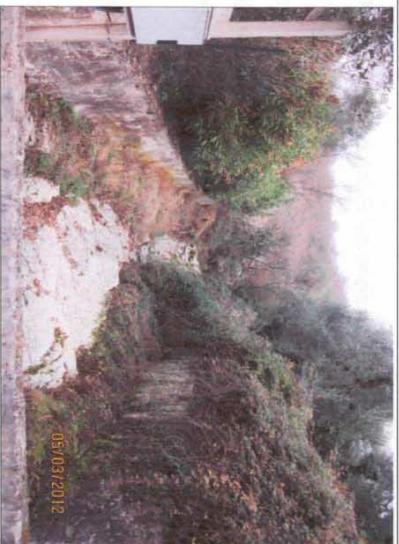


Foto 1 – Alveo impostato in roccia con arginatura



Foto 2 – Birgilia filtrante in alveo impostata in roccia



Foto 3 – Panoramica del Vaio verso monte

Si tratta di un rio temporaneo ed effimero che si genera solamente in condizioni di piovosità importanti e prolungate, con vegetazione in alveo (Foto 3) e che, per la maggior parte dell'anno risulta secco. All'interno la lottizzazione non interessa alcun corso d'acqua ma si sviluppa lungo un impluvio appena accennato, il quale non risulta interessato da alcuna circolazione idrica né presenta un alveo o una linea d'impluvio ben definita, né tanto meno un solco erosivo. La gestione delle acque meteoriche di scolo dalle nuove superfici prevederà, una serie di opere e presidi in modo tale da ottemperare a quanto richiesto dalle direttive comunicarie in materia di risparmio idrico e dalla normativa regionale ("Piano di Tutela Acque della Regione Veneto – Norme Tecniche di Attuazione") con particolare riferimento agli art. 30 - 31 - 39 (Scarichi su suolo, scarichi su sottosuolo, Acque meteoriche di dilavamento e di prima pioggia) nel rispetto del principio dell'invarianza idraulica (Delibera G.P. N° 2948 del 6 ottobre 2009). A tal proposito si rimanda alla relazione idrologica di compatibilità idraulica (rel 2987/3-12) per gli approfondimenti del caso. Nell'area non sussistono le condizioni geologiche per uno smaltimento di tutta la portata nel sottosuolo insaturo, stante la presenza di terreni giaciali praticamente impermeabili, ma è possibile smaltire solo localmente piccole quantità d'acqua all'interno dell'ammasso roccioso fratturato più permeabile. In considerazione della presenza dei due ri ai lati della lottizzazione, le acque di scolo meteoriche delle nuove superfici potranno esser scaricate nei corpi idrici, previa la realizzazione di misure ed opere compensative previste dallo studio di compatibilità idraulica (volumi per il recupero dell'acqua piovana e per il riutilizzo per usi irrigui–domestici, vasche di laminazione in grado di trattener l'onda di piena e di restituirla laminata nel corpo idrico recettore etc..). Lo scarico idrico dovrà esser autorizzato dall'ente preposto. Si fa presente, infine, che il conferimento dopo laminazione nel vaio presente a nord dell'area veniva auspicato anche dal Genio Civile che, con lettera del 20/04/2004 a firma del dirigente responsabile Ing. A. Avanzino, si esprimeva affermando che ".....dovrà essere, inoltre, posta attenzione al drenaggio e all'allontanamento delle acque, sia superficiali sia sotterranee, le quali andranno smaltite lungo gli impluvi naturali senza dispersioni e concentrazioni nel sottosuolo".



Gli interventi previsti, una volta attuate le misure compensative d'invarianza idraulica, non comporteranno quindi un aggravio delle condizioni rispetto alla tipologia di evento ipotizzabile (allagamento). Si reputano, perciò, gli interventi compatibili con i vincoli di tipo idrogeologico legati al Piano di Area Garda Baldo; relativamente a tale aspetto non sussistono quindi ostative di carattere idrogeologico alla realizzazione della variante in oggetto.

## 7 ASPETTI GEOLOGICI

L'area in esame è ubicata in corrispondenza della sponda orientale del Lago di Garda. Per la sua ubicazione si fa riferimento alla C.T.R., elemento 101133 "Torri del Benaco", mentre per l'assetto geologico generale si fa riferimento alla Carta Geologica d'Italia, Foglio "Paschiera" (FIGURA 6). Dal punto di vista strutturale, l'area si colloca nel dominio tettonico del Monte Baldo; si tratta di più sistemi di faglie verticali e sub verticali con movimento trascorrente o transpressivo, ricollegabili alla linea tettonica Giudicariense presente ad ovest e da strutture plicative, quali l'anticlinale del Monte Baldo. La località di Crero si attesta sulle pendici sudoccidentali della dorsale del Monte Baldo, un massiccio carbonatico di età giurassico-cretacea che durante l'era glaciale separava il ghiacciaio della Valle dell'Adige ad est dal ghiacciaio del Garda ad ovest. E' per questo motivo che alle sue pendici si ritrovano testimonianze di depositi di genesi glaciale, parte dei quali costituiscono, con potenze estremamente varie, il sottosuolo dell'area di studio. Il sottosuolo del sito in esame è infatti costituito da calcari compatti, di colore grigiastro, ascrivibili alla formazione giurassica dei "Calcarì Grigi", ricoperti da sedimenti morenici, rimaneggiati nella parte superiore.

Per quanto riguarda i depositi glaciali, essi sono costituiti da ciottoli e ghiaie poligeniche, medio-grossolane, con clasti ben arrotondati, di dimensioni variabili fino a circa 10-15 cm, immersi in abbondante matrice sabbiosa da debolmente limosa a limosa; essi si organizzano in "cordoni" con direzioni più o meno parallele alla sponda lacustre.

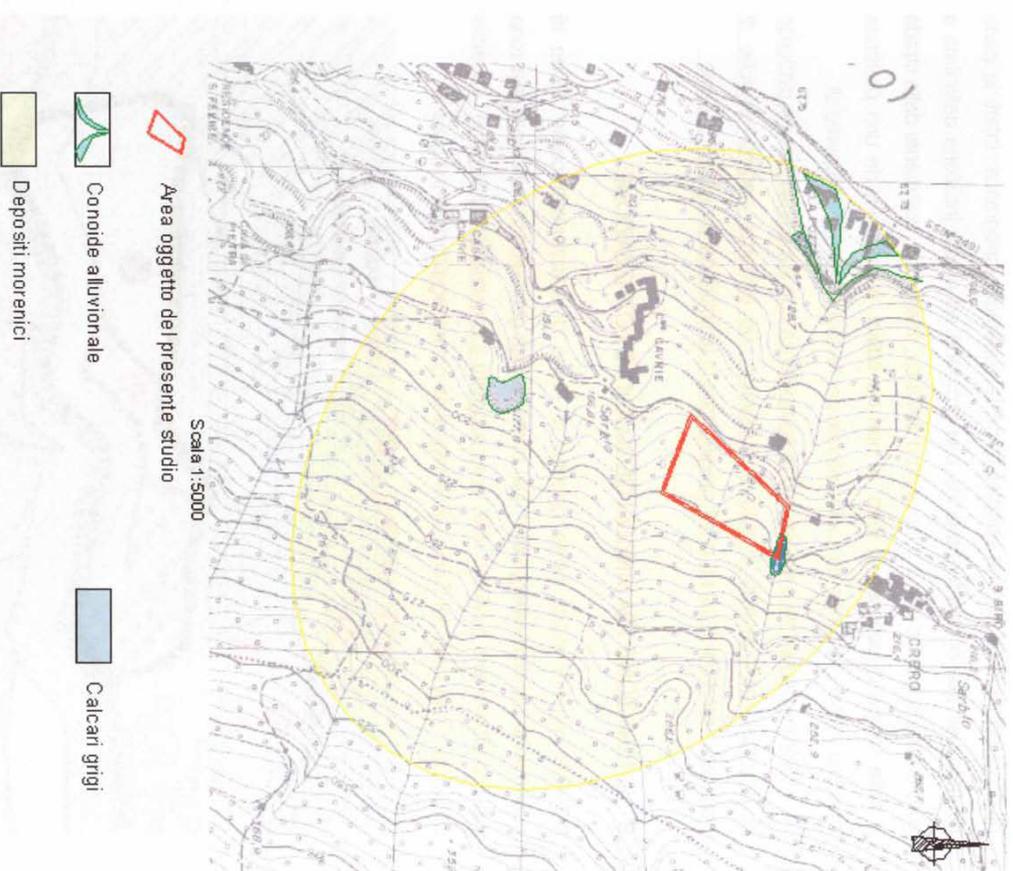


Figura 6- Carta geologica (Estratto dal Foglio "Paschiera" - Carta geologica d'Italia)

Dal punto di vista geomorfologico l'intera area è caratterizzata da un'alternanza di dossi ed incisioni che ne caratterizzano la superficie topografica: infatti la parte centrale dell'area è caratterizzata da una profonda ed ampia incisione delimitata a nord ed a sud da due dossi. Il limite nord dell'area, **interessata solamente dalla strada e dalla rampa di accesso al lotto e non da edifici**, è costituito da una profonda incisione valliva che funge da scolo naturale per le acque piovane e superficiali.

Nell'area in esame e nell'intorno di competenza non sono state rilevate evidenze di processi morfogenetici in atto o quiescenti, né evidenze geomorfologiche di processi neotettonici, tali da poter pregiudicare la fattibilità del progetto in esame.

## 8 INTERAZIONE TRA VINCOLI GEOLOGICI E LOTTIZZAZIONE

Il P.R.G. vigente indica l'area oggetto di Piano di lottizzazione come "**Zona di espansione turistico-alberghiera**". Dal punto di vista geologico in adiacenza alla zona turistico alberghiera troviamo una "area soggetta a prescrizioni geologiche" impartite dall'Ufficio Regionale del Genio Civile segnalata col tratteggio rosso in figura 7.

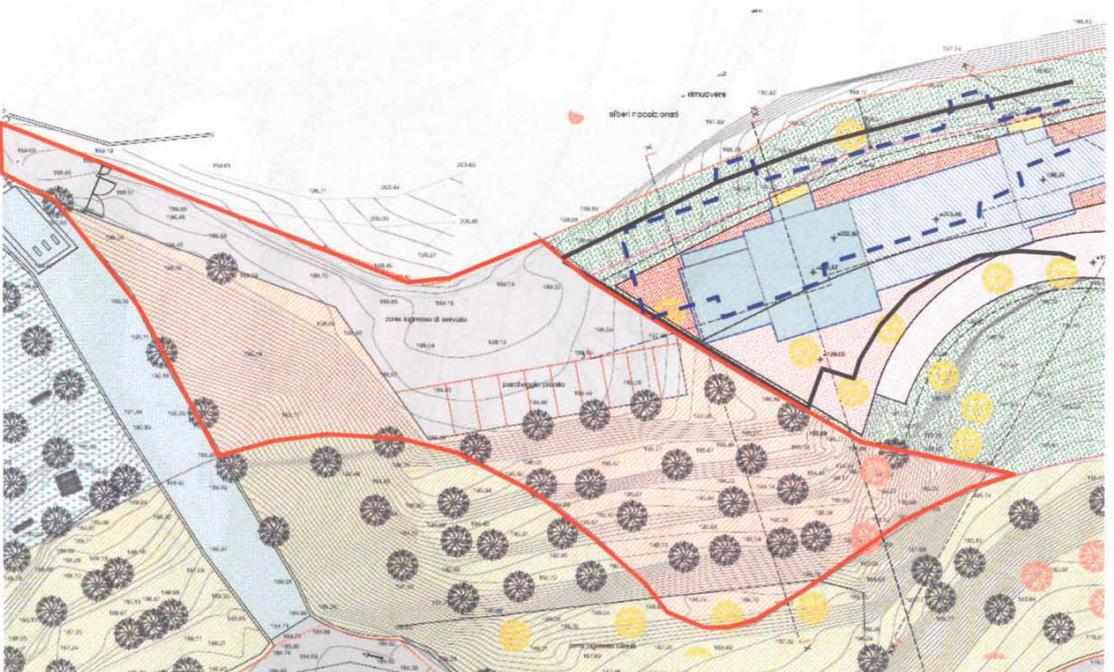


Figura 7-Estratto del Piano Regolatore Generale

La linea di dislivvio che segna il margine nord dell'area di studio è limitata da una scarpata morfologica acclive che, nonostante la stabilità generale rilevata dal presente studio, nel 1999 fu interdetta all'edificazione dagli strumenti urbanistici vigenti.



Figura 8a-Sovrapposizione interventi rispetto al vincolo geologico esistente



- ZONA CON PRESCRIZIONE GEOLOGICA
- PERIMETRO EDIFICATO DI PROGETTO
- PERIMETRO EDIFICATO GIÀ APPROVATO

Figura 8b- Sovrapposizione aree di progetto e di variante rispetto al vincolo geologico esistente

Si fa però presente che, in tale fascia di ineditabilità, il progetto già approvato non prevedeva di realizzare alcun edificio o manufatto, ma solamente la rampa di accesso ad un parcheggio sotterraneo interamente posizionato al di fuori della zona ineditabile.

Tale aspetto era già stato valutato, coinvolgendo i servizi provinciali e regionali preposti alla valutazione (Genio Civile di Verona e Direzione Geologia della Regione del Veneto) i quali concordavano che il vincolo di ineditabilità si riferiva solamente ai nuovi edifici, mentre erano escluse tutte le opere accessorie ed infrastrutturali a servizio della nuova lottizzazione. Nel caso specifico essi concordavano che la rampa di accesso al lotto, essendo un'opera infrastrutturale, oltretutto funzionale ad un'area edificabile già autorizzata, non rientrava nelle opere interdette all'edificazione, per cui ne consentivano la realizzazione.

La variante in progetto recependo tali indicazioni è stata approntata in modo da rispettare il vincolo di ineditabilità e ripropone, nell'area a vincolo geologico, sostanzialmente gli stessi interventi previsti in progetto e già autorizzati, ovvero una strada di accesso al lotto con annesso un piccolo parcheggio a cielo aperto ed una rampa di accesso ai parcheggi interrati, quindi opere infrastrutturali funzionali all'area edificabile già approvata (Figura 8a - 8b).

Il fatto che le nuove strutture siano più incassate nell'ammasso roccioso, rispetto al progetto approvato, costituisce un fattore positivo nei confronti della stabilità generale dell'area.

**Per tale motivo si reputano gli interventi compatibili con i vincoli geologici esistenti e riteniamo quindi che non esistano ostacoli di carattere geologico alla realizzazione della variante in oggetto.**

## 9 ASPETTI IDROGEOLOGICI

I depositi glaciali, di natura granulare ghiaioso-sabbiosa, costituiscono un'unità idrogeologica a permeabilità primaria per porosità generalmente modesta e localmente bassa, in corrispondenza di porzioni a granulometria più fine. Durante lo scavo dei pozzi geognostici (luglio 2006) non è stata rilevata alcuna circolazione idrica nel sottosuolo fino alla profondità indagata (2,0-4,0 m). Considerata la situazione stratigrafica che caratterizza il sottosuolo e la bassa permeabilità dei terreni di deposizione naturale, è facile prevedere che, nel caso di forti o prolungati apporti meteorici, venga ad instaurarsi una circolazione idrica epidermica, seppur modesta, sia all'interfaccia terreni sciolti/roccia che tra terreni naturali e terreni di riporto. Per tale ragione è da preveder un drenaggio a tergo dei muri di contenimento e della soletta basale per mantenere asciutti i vari interrati scaricando le acque per gravità a valle negli impluvii presenti, così come indicato dal Genio Civile con lettera del 20/04/2004 a firma dell'allora dirigente responsabile Ing. A. Avanzini.

La permeabilità dei depositi glaciali, è stata misurata entro 2 campioni rimaneggiati prelevati nell'area in esame, empiricamente in via indiretta attraverso correlazioni con la granulometria dei terreni (Hazen 1910). Il valore del coefficiente di permeabilità  $K$  viene stimato sulla base della formula di Hazen [1911]:

$$K = C (D_{10})^2 / 10^4 \quad (\text{m/s})$$

dove:

$C$  costante, variabile tra 70-170; in genere, per una prima stima si assume  $C = 100$

$D_{10}$  Diametro corrispondente al 10% di passante, in mm

Questi i risultati delle analisi granulometriche condotte sui 2 campioni rimaneggiati prelevati entro i terreni glaciali nell'area:

Campione	Profondità [m]	Ghiaia (%)	Sabbia (%)	Limf (%)	Argille (%)	Permeabilità da Hazen (m/s)
C1	1,0-1,2	45,2	21,1	23,2	10,5	$1 \times 10^{-5}$
C2	1,0-1,2	36,2	44,2	16,0	3,6	$2 \times 10^{-5}$

Tabella 9.A – Quadro riassuntivo prove di laboratorio e permeabilità

## 10 MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO

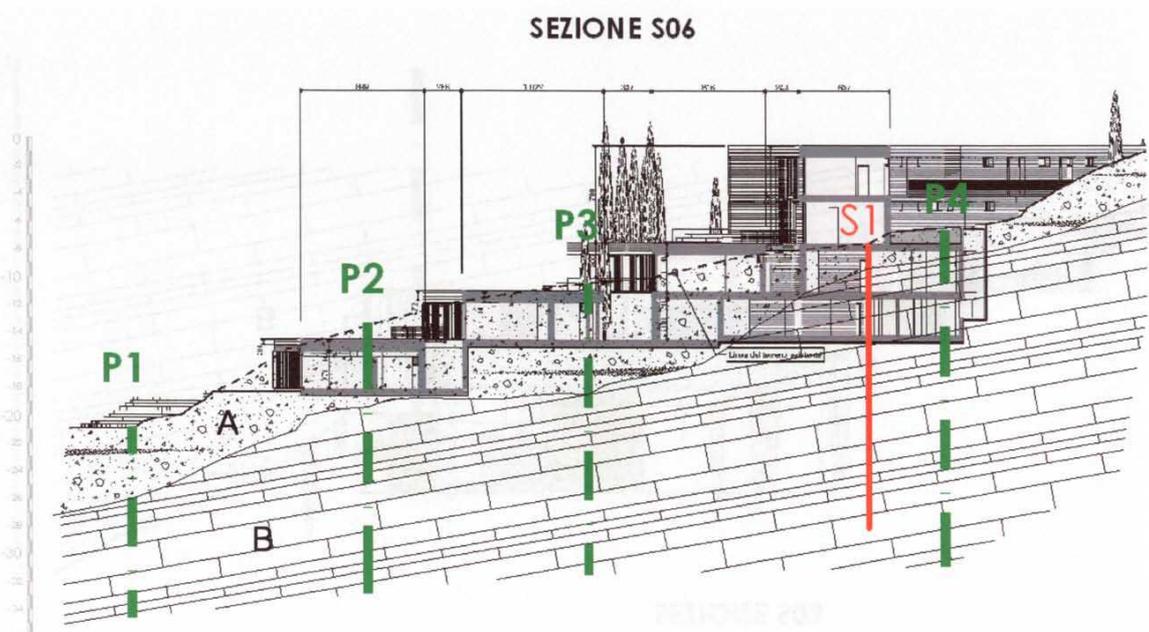


Figura 9A – Modello geologico di riferimento (Sezione S06)

### SEZIONE S03

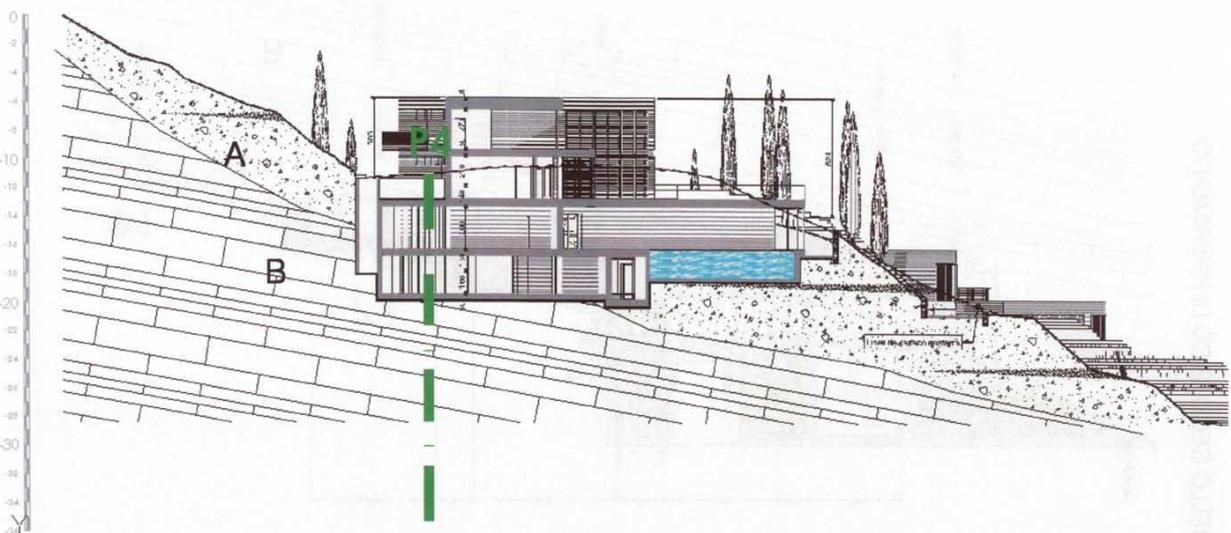


Figura 9B-Modello geologico di riferimento (Sezione S03)

Con riferimento alle sezioni progettuali S06 ed S03 di seguito si riporta il modello stratigrafico riconosciuto per l'area sulla base di uno specifico rilievo geologico e geomorfologico dell'area e di una mirata campagna d'indagini geologiche - geotecniche - geofisiche eseguite nell'area nell'ambito della attività di consulenza al progetto originario già approvato; allo scopo sono stati anche consultati indagini e prove realizzate in aree vicine nell'ambito di altri lavori.

UNITÀ LITOSTRATIGRAFICA	CARATTERISTICHE GEOLOGICHE	CARATTERISTICHE LITOLOGICHE
Unità A	Deposito glaciale appartenente al Sinterma del Garda	Ciotoli e ghiaie poligeniche, ben arrotondate, in abbondante matrice sabbiosa da debolmente limosa a limosa, moderatamente addensate
Unità B	Formazione de i Calcarei Grigi (Giurassico)	Calcarei, debolmente marnosi, organizzati in strati decimetrici superiormente alterati e fratturati

#### 11 INCERTEZZE NELLA RICOSTRUZIONE DEL MODELLO GEOLOGICO

Potrebbero sussistere leggere incertezze locali, sull'andamento dell'interfaccia tra copertura quaternaria ed ammasso roccioso, specie nel tratto nord occidentale, indagato solo da una traversa sismica, che comunque non inficiano la validità generale del modello, relativamente alle scelte progettuali effettuate.



## 12 ANALISI DEL PROGETTO E DELLE PROBLEMATICHE GEOLOGICHE

Il progetto prevede la realizzazione di un complesso residenziale alberghiero, costituito da alcune schiere di edifici situati su livelli differenti, con garage ai piani interrati. Alla luce della situazione geologica ed idrogeologica descritta nei capitoli precedenti, le interazioni terreno struttura verteranno attorno ai seguenti aspetti:

- Definizione dell'azione sismica di progetto.
- Verifica della liquefazione dei terreni in condizioni sismiche.
- Considerazioni sullo smaltimento delle acque
- Indicazioni preliminari sulle scelte fondazionali
- Le considerazioni preliminari sulle modalità di scavo

I primi 3 punti vengono compiutamente trattati di seguito mentre per gli ultimi due punti si rimanda alla relazione geotecnica di seguito riportata.

## 13 RISPOSTA SISMICA LOCALE

Con l'approvazione del nuovo D.M. 14 gennaio 2008 "Nuove norme tecniche per le costruzioni", l'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire da una "pericolosità sismica di base" in condizioni ideali di sito (suolo rigido di categoria A).

Allo stato attuale la pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento è fornita dai dati pubblicati sul sito <http://sesse1.mi.ingv.it/>. Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle nuove NTC, dalle accelerazioni  $a_g$  e dalle relative forme spettrali, definite su sito di riferimento rigido orizzontale (suolo di categoria A), in funzione dei tre parametri:

$a_g$  = accelerazione orizzontale massima del terreno

$F_o$  = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in acceler. orizz.

$T^*_c$  = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in acceler. orizz.

Le forme spettrali previste dalle NTC sono caratterizzate da prescelte probabilità di superamento e vite di riferimento, così determinate, per individuare infine, a partire dai dati di pericolosità sismica, le corrispondenti azioni sismiche:



la vita di riferimento  $V_R$  della costruzione (cap. 2.4 del NTC);  
le probabilità di superamento nella vita di riferimento  $P_{VR}$  associate a ciascuno degli stati limite considerati, secondo la tabella di seguito riportata.

Stati Limite		$P_{VR}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$
Stati limite di esercizio	SLO	31%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SIC	5%

A tal fine è conveniente utilizzare, come parametro caratterizzante la pericolosità sismica, il periodo di ritorno dell'azione sismica  $T_R$ , espresso in anni.

Fissata la vita di riferimento  $V_R$ , i due parametri  $T_R$  e  $P_{VR}$  sono immediatamente esprimibili, l'uno in funzione dell'altro, mediante la seguente espressione:

$$T_R = - \frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

La vita di riferimento  $V_R$  si ricava per ciascun tipo di costruzione moltiplicando la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $CU$  dipendente dalla classe di attribuzione dell'edificio.

Per qualunque punto del territorio non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T^*_c$ , possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento, utilizzando come peso gli inversi delle distanze, secondo la relazione:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$

I valori di riferimento dei parametri  $a_g$  ( $g$ )  $F_o$  (adimensionale) e  $T^*_c$  (espresso in secondi) sono calcolati con riferimento alle coordinate geografiche dell'edificio in oggetto utilizzando il codice di calcolo della Geostru, disponibile in rete, per edificio in classe I con vita nominale  $V_N$  50 anni.

Il citato D.M. 14.01.08 prevede la possibilità di caratterizzare il terreno di fondazione ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto attraverso la determinazione del parametro  $V_{s_{60}}$ . Detto parametro si calcola attraverso la relazione:

$$V_{s_{60}}=30 \text{ [m]}/\Sigma I=1,1 N h_1 V_1$$

dove:

$h_1$  e  $V_1$  indicano lo spessore in metri e la velocità [m/s] delle onde di taglio (per deformazioni di taglio  $\gamma < 10^{-6}$ ) dello strato  $i$ -esimo per un totale di  $N$  strati presenti nei 30 metri di terreno al di sotto del piano di imposta delle fondazioni, per fondazioni superficiali, o alla testa dei pali per fondazioni su pali.



Stato Limite	Tr [anni]	$a_g$ [g]	Fo	Tc [s]
Operatività (SLO)	30	0,044	2,494	0,232
Danno (SLD)	50	0,059	2,519	0,240
Salvaguardia vita (SLV)	475	0,166	2,435	0,277
Prevenzione collasso (SLC)	975	0,214	2,484	0,279
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

Sulla base dell'indagine geofisica realizzata, si individua la seguente categoria di profilo stratigrafico del suolo di fondazione: **Categoria di suolo di fondazione B.**

In realtà, vista la presenza di piani interrati, parte delle strutture saranno fondate in roccia (Categoria A) ma ad ogni modo, in via cautelativa, per le azioni sismiche si potrà considerare una categoria di sottosuolo B.

#### 14. VERIFICA DELLA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI DI FONDAZIONE

Nella tabella seguente vengono riportate le verifiche alla liquefazione in condizioni sismiche, facendo riferimento alle accelerazioni sismiche previste per un'opera in classe II, con vita nominale della struttura pari a 100 anni per lo Stato Limite di salvaguardia della Vita.

Di seguito si riporta la distribuzione granulometrica che deve essere esterna alle zone indicate nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  (figura 8a) e nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$  (figura 8b).

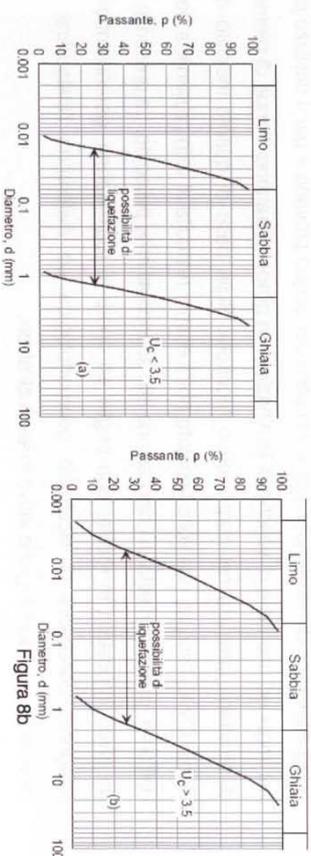


Figura 8b

#### VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

CONDIZIONE	$a_g > 0,1 g$ (Vita nom. struttura-50 anni)	Soggiacenza falda $s < 15 m$	$(N)_{60} < 30$	Fuso granulometrico	Possibilità Liquefazione
POSSIBILITÀ LIQ.	SI	NO	NO	NO	NO

Come si vede per l'opera non sussiste il rischio di liquefazione dei terreni di fondazione con particolare riferimento alle condizioni 2-3-4.

#### 15. CONSIDERAZIONI SULLO SMALTIMENTO DELLE ACQUE METEORICHE

Il progetto in questione prevede di realizzare una nuova lottizzazione in un'area attualmente adibita a verde agricolo. La gestione delle acque meteoriche di scolo dalle nuove superfici dovrà prevedere, in fase di progettazione definitiva - esecutiva, una serie di opere e presidi in modo tale da ottemperare a quanto richiesto dalle direttive comunitarie in materia di risparmio idrico e dalla normativa regionale ("Piano di Tutela Acque della Regione Veneto - Norme Tecniche di Attuazione") con particolare riferimento all'art 38 (Acque meteoriche di dilavamento e di prima pioggia).

Allo scopo si dovrà ottemperare anche a quanto indicato dal Genio Civile con lettera del 20/04/2004 a firma del dirigente responsabile Ing. A. Avanzino il quale si esprimeva affermando che "...dovrà essere, inoltre, posta attenzione al drenaggio e

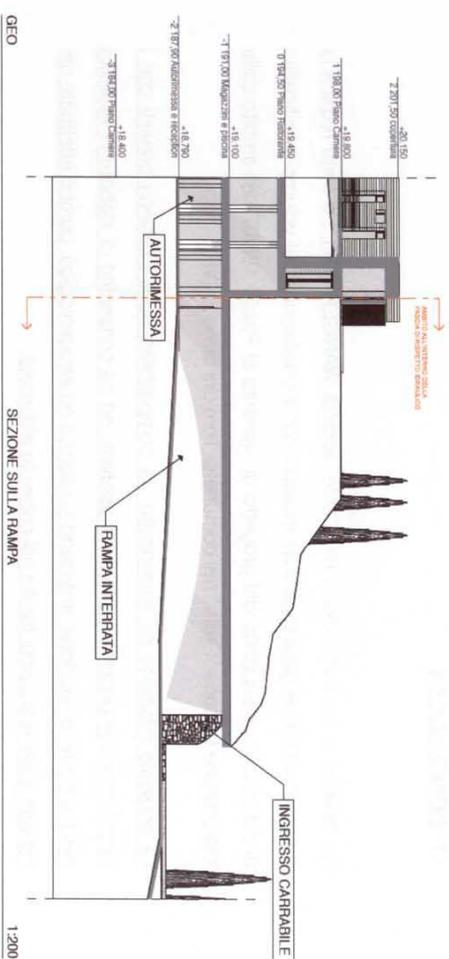
*all'allontanamento delle acque, sia superficiali sia sotterranee, le quali andranno smaltite lungo gli impluvi naturali senza dispersioni e concentrazioni nel sottosuolo\*.*

Region per cui si dovranno realizzare una o più vasche a tenuta stagna, adeguatamente dimensionate, per il recupero dell'acqua piovana e per il riutilizzo per usi irrigui ed una serie di vasche di laminazione in grado di trattener l'onda di piena e di restituirla laminata nel corpo idrico recettore. Sulla base di quanto indicato dal Genio Civile, l'acqua, una volta laminata potrà essere restituita al vaio presente a nord dell'area, previa richiesta di concessione allo scarico all'ente preposto. La presenza di un alveo impostato in roccia, con briglie ed opere di regimazione, garantiranno le adeguate condizioni di sicurezza geomorfologica ed eviteranno l'instaurarsi di dinamiche geomorfologiche attive in seno all'alveo.

## 16 INDICAZIONI SULLA STABILITÀ IDROGEOLOGICA DELL'AREA RAMPÀ DI ACCESSO AI GARAGE INTERRATI

Il progetto prevede la realizzazione di una rampa di accesso al garage interrato che interesserà parzialmente un'area soggetta a prescrizioni geologiche. Relativamente alla fattibilità urbanistica di tale opera si rimanda al capitolo 6. La rampa sarà presumibilmente costituita da uno scatolare in cls per la cui messa in opera dovranno esser previsti scavi di altezza fino a 10 metri circa, nel versante.

I sopralluoghi effettuati, hanno evidenziato che l'area è sostanzialmente stabile e non vi sono dissesti di alcun tipo in atto. L'unica criticità, dal punto di vista geologico, è data dall'acclività del sito, soprattutto per quanto concerne la fascia settentrionale del lotto, motivo per il quale quel particolare settore è stato classificato come ineditabile. Allo stato attuale il versante è stabile e non vi sono dissesti in atto e con i nuovi interventi in progetto non sarà modificato sostanzialmente il profilo del pendio naturale del terreno.



Ad ulteriore cautela le pareti di scavo della rampa di accesso al garage, che interesseranno terreni sciolti di copertura (indicativamente i primi 3-4 metri dall'indagine sismica), saranno sostenute da micropali che avranno la funzione, oltre che di sostentamento delle nuove opere infrastrutturali (strada - muri di contenimento, ecc.), anche di consolidare il pendio. Per la parte di scavo in roccia (profondità prevista oltre i 4 metri) in funzione dei riscontri in corso d'opera si deciderà, se del caso, l'eventuale intervento di consolidamento più idoneo (chiodi, reti, barbacani etc..)

**Per tale motivo, in considerazione dello sviluppo previsto per la rampa della variante progettuale, che rispetto al progetto originario non taglia il versante parallelamente ma entra nel pendio direttamente interessandolo solo per la larghezza della rampa, la variante risulta meno impattante sulla stabilità generale del pendio.**

**Anche in configurazione di variante al progetto, la stabilità dell'area è quindi garantita.**



## 17 CONCLUSIONI

Su incarico e per conto del committente, società WANGER S.R.L., è stata redatta la presente relazione geologica sulle indagini con modellazione del volume significativo di sottosuolo a supporto del progetto di variante al P.d.C. 188/07 nell'ambito della lottizzazione turistica "Creoro" nel comune di Torri del Benaco (VR).

La presente relazione ha evidenziato la compatibilità degli interventi previsti con i vincoli e con le penali geologiche esistenti, ed ha consentito di stabilire la fattibilità della variante in relazione all'assetto geologico ed idrogeologico, purché effettuata nel rispetto delle indicazioni fornite nel presente elaborato.

La presente relazione è redatta in ottemperanza ai contenuti del D.M. 14 gennaio 2008 "Nuove norme tecniche per le costruzioni" e con riferimento al D.M. 11.03.88, soddisfa i requisiti urbanistici di rilevanza geologica e costituisce documento progettuale idoneo per il rilascio della concessione ad edificare.

In corso d'opera si deve controllare la rispondenza tra il modello geologico di riferimento assunto in progetto e la situazione effettiva, differendo di conseguenza la caratterizzazione geotecnica ed il progetto esecutivo, così come previsto dalla normativa di settore.

Mezzocorona, ottobre 2012



**WANGER S.R.L.**  
VIA GALVANI, 4/A BOLZANO

## LOTTIZZAZIONE TURISTICA "CREORO" PROGETTO DI UN ALBERGO IN LOCALITÀ CREORO NEL COMUNE DI TORRI DEL BENACO (VR)

-Progetto di variante edilizia al P.d.C.202/06 del 20/11/2007-

### RELAZIONE GEOTECNICA

SULLE INDAGINI, CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE DEL  
VOLUME SIGNIFICATIVO DI TERRENO

IL PROGETTISTA

IL GEOTECNICO



Sommario:

**RELAZIONE GEOTECNICA**  
**SULLE INDAGINI, CARATTERIZZAZIONE E MODELLEZIONE DEL VOLUME**  
**SIGNIFICATIVO DI TERRENO**

1	PREMESSE.....	33
2	INDAGINI ESEGUITE.....	33
3	MODELLO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO .....	34
4	INTERAZIONI CON ACQUE SOTTERRANEE DI CIRCOLAZIONE .....	37
5	INDICAZIONI SULLA CAPACITÀ PORTANTE DEI TERRENI.....	37
6	MODALITÀ ESECUTIVE DEGLI SCAVI .....	38
7	MODALITÀ ESECUTIVE DELLA RAMPA DI ACCESSO AL GARAGE.....	41
8	CONCLUSIONI.....	41

## 1 PREMESSE

La presente relazione fa esplicito riferimento al modello geologico definito nella relazione geologica di cui alla parte prima del presente documento.

Gli interventi in progetto che avranno valenza geotecnica saranno dati dalle modalità di scavo e di profilatura degli sbancamenti, dalle verifiche di stabilità delle eventuali opere di sostegno e dalle verifiche fondazionali. Non essendo però in questa fase note le azioni progettuali, tali verifiche potranno essere elaborate solamente a seguito della progettazione definitiva ed esecutiva delle singole strutture. In questo elaborato viene trattata la modellazione geotecnica del sito ed anche alcune indicazioni di carattere preliminare sulle modalità di esecuzione degli scavi, sulle problematiche fondazionali e sulle modalità di esecuzione della rampa di accesso al garage.

Il presente elaborato viene quindi redatto i in ottemperanza a:

- D.M. 14 gennaio 2008 "Nuove norme tecniche per le costruzioni".
- UNI ENV 1997-1 – Eurocodice 7 "Progettazione Geotecnica.
- D.M. 11/3/88

## 2 INDAGINI ESEGUITE

L'indagine eseguita in sito nell'ambito delle attività di consulenza al progetto originario è consistita in:

- N°5 stendimenti sismici a rifazione di lunghezze variabili da 50 m (Profili n°1, 2, 3, 4) a 75 m (profilo n°5);
- N° 1 profilo sismico tipo "ReMi"
- n°5 pozzetti geognostici con escavatore di profondità variabili da circa 2,0 m a 4,5 m dall'attuale p.c.;

Per la planimetria con l'ubicazione dei punti di indagine, si rimanda alla relazione geologica (Figura 3) mentre in appendice viene riportata l'indagine geofisica effettuata.

### 3 MODELLO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO

Entro il volume significativo di sottosuolo interagente con le opere in progetto la distinzione delle unità su base stratigrafica assume anche rilevanza come distinzione in termini di omogeneità fisico meccanica, su base geotecnica. Questo il modello:

#### SEZIONE S03

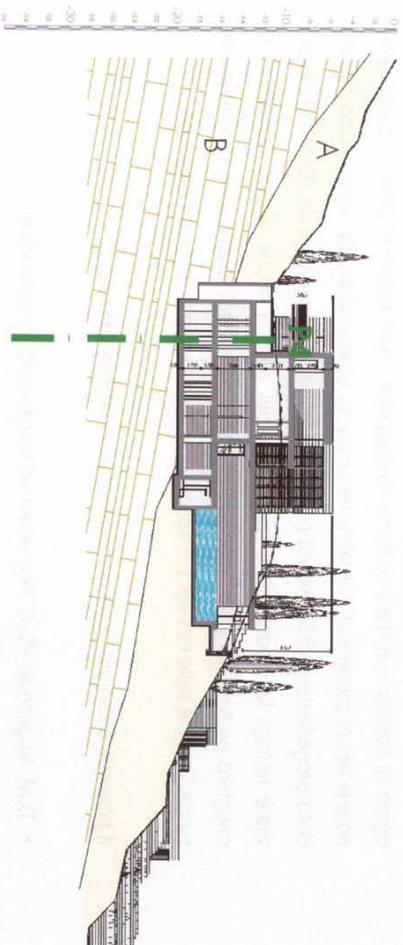


Figura 1 – Sezione stratigrafica - geotecnica indicativa (S03)

#### SEZIONE S06

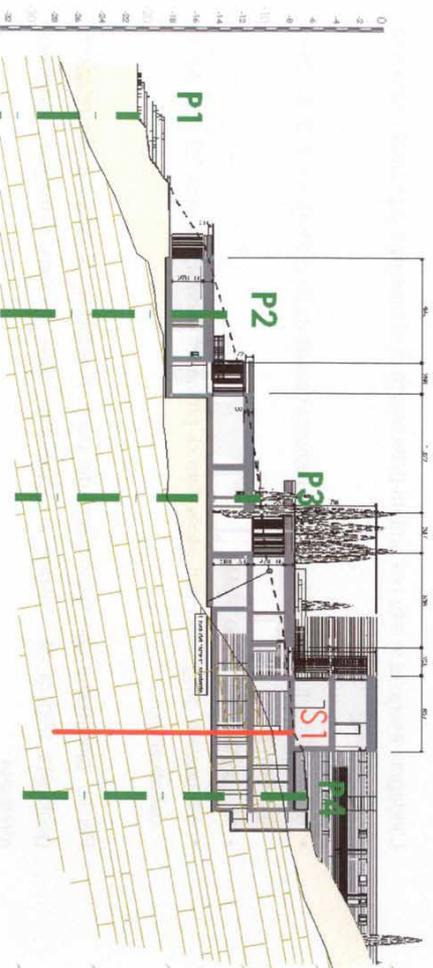


Figura 2 – Sezione stratigrafica - geotecnica indicativa (S03)

**UNITA' A:** Ciottoli e ghiaie poligeniche, ben arrotondate, in abbondante matrice sabbiosa da debolmente limosa a limosa, moderatamente addensate.

- peso di volume  $\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$
- angolo di resistenza al taglio di picco  $\phi' = 36^\circ$
- angolo di resistenza al taglio a volume costante  $\phi_{av} = 33^\circ$
- coesione a lungo termine  $C' = 2-3 \text{ KPa}$

**UNITA' B:** Calcari, debolmente marnosi, organizzati in strati decimetrici superiormente alterati e fratturati. Per la classificazione geomeccanica di massima del substrato roccioso si fa riferimento alle condizioni peggiori di ammasso rinvenute nei pressi del sito, facendo riferimento al sistema classificativo Bieniawski 1989 di cui si riporta scheda del rilievo di campagna.

#### RILIEVO GEOMECCANICO

PARAMETRO GEOMECCANICO	CAMPO VALORI
Resistenza a compressione monassiale	25 MPa
R.O.D. %	< 40 %
N° di famiglie di discontinuità	$\geq \text{N}^\circ 3$
Spaziatura delle discontinuità	Giunto di strato = < 5 cm Fratture subverticali = 2 m Apertura = 0-50 mm
Condizioni delle discontinuità	Tipo di riempimento = limoso di alterazione - cataclastico di disgregazione Persistenza delle discontinuità = -5 -20 m Indice JRC di rugosità = 0-5 (giunti lisci)
Condizioni idrauliche	Grado di alterazione elevato Secche - Umidie
Effetto dell'Orientazione delle discontinuità	Stavorevole



Le caratteristiche di resistenza dell'ammasso roccioso sono determinate mediante il criterio di rottura non lineare di Hoek e Brown (1980), espresso dalla seguente equazione:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_c (m_b \sigma_2 / \sigma_c + s)^2 \quad (1)$$

che stabilisce per un intervallo di tensioni principali ( $\sigma_1$ - $\sigma_2$ ) assegnate le caratteristiche di resistenza della massa rocciosa.  $m_b$  rappresenta in valore della costante  $m$  del criterio di Hoek-Brown per l'ammasso roccioso mentre  $s$  e  $a$  sono due costanti che dipendono dalle caratteristiche dell'ammasso (tipo di roccia e grado di fratturazione); con  $\sigma_c$  si intende la resistenza a compressione monoassiale della roccia inatta (FIGURA 3).

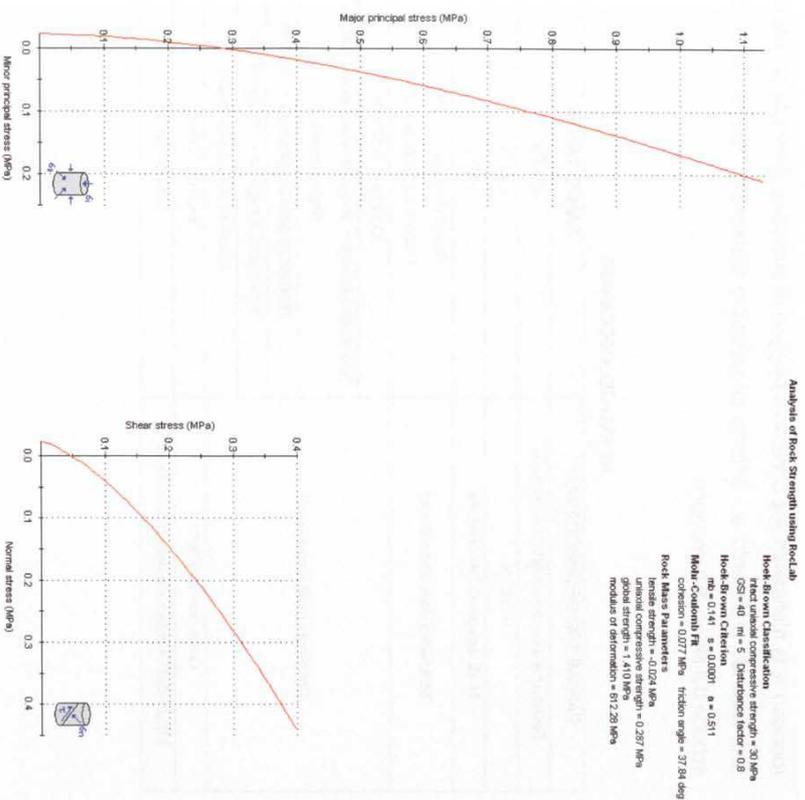


Figura 3 – Parametri di resistenza e deformabilità dell'ammasso



CRITERIO DI HOEK - BROWN	VALORE
PESO DI VOLUME DELLA ROCCIA	25 KN/m <sup>3</sup>
COESIONE	70 KPa
ANGOLO D'ATTRITO	38.0°
MODULO DI DEFORMAZIONE	600 MPa

#### 4 INTERAZIONI CON ACQUE SOTTERRANEE DI CIRCOLAZIONE

Dal punto di vista idraulico va osservato che la realizzazione degli scavi per l'inserimento delle strutture interrato potrebbe determinare localmente infiltrazione di acque nello scavo con accumulo delle stesse e ristagno tra parete di scavo ed opera. Per tale ragione è da prevedere un drenaggio a tergo dell'opera, come meglio indicato in relazione geologica.

#### 5 INDICAZIONI SULLA CAPACITÀ PORTANTE DEI TERRENI

Le buone caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni costituenti il sottosuolo dell'area oggetto di studio consentono la realizzazione di strutture di fondazione di tipo diretto, a pilino isolato o nastriforme.

Considerata la presenza della roccia a debole profondità e la variabilità della profondità di alloggiamento delle fondazioni, il primo problema da risolvere sarà quello di impostare i piani fondazionali, possibilmente su piani di posa omogenei, interamente in roccia od interamente nei materiali sciolti (depositi glaciali). Di seguito si esaminano 2 situazioni geologiche possibili.

1) Per le fondazioni allagate interamente in roccia, non si ravvedono particolari problematiche né relativamente ai carichi dei nuovi edifici, né di cedimenti, data la compressibilità praticamente nulla della roccia. Sarà invece importante disporre di una certa omogeneità fisico-meccanica del piano di posa dell'edificio ed un geologo



dovrà valutare in fase di scavo l'assenza di cinematismi critici in seno all'ammasso roccioso e, se del caso, dovrà predisporre i necessari presidi.

2) Per quanto concerne le fondazioni alligate entro i depositi glaciali, anche in questo caso non si ravvedono problematiche, stante la complessiva buona vocazione del complesso detritico glaciale. In via puramente indicativa e preliminare le tensioni scaricate dalle strutture sui terreni di fondazione risultano verificate, in considerazione della presenza di un solo piano fuori terra e di diversi piani interrati con relativo scarico litostatico. Si fa presente però che nel caso a livello fondazionale venissero rinvenuti eventuali livelli più limoso-argillosi questi dovranno esser asportati per circa 1 metro e sostituiti con i terreni di scavo ghiaioso - sabbiosi appartenenti al gruppo A1a, opportunamente rullati e compatitati in strati da 30 cm con i mezzi meccanici di scavo (Modulo richiesto sul piano d'appoggio fondazionale del terreno sostituito e compatitato  $Me=80MPa$ ).

Il progetto in esame prevede anche la realizzazione di piscine. Per questo tipo di intervento, date le buone caratteristiche del sottosuolo e date le caratteristiche costruttive delle opere, si suggerisce la posa delle vasche su platee di fondazione.

Anche in questo caso non si ravvedono problematiche in considerazione del fatto che il peso del terreno asportato è circa dello stesso ordine di grandezza, se non maggiore, dei carichi dovuti alla struttura in progetto.

## 6 MODALITÀ ESECUTIVE DEGLI SCAVI

Gli scavi necessari alla costruzione degli interrati avranno profondità molto variabili fino ad un massimo prossimo a circa 9 -10 m dall'attuale p.c. e dovranno essere compiuti in condizioni di sicurezza, secondo le vigenti normative; qualora compiuti senza opere di contenimento (quali paratie berlinesi, pareti chiodate od similari), gli scavi dovranno mantenere un una pendenza di sicurezza anche per il breve termine. Di seguito si riportano le verifiche preliminari per i fronti di scavo interamente sagomati in materiale sciolto. Si fa presente che sono valutazioni di carattere preliminare ed indicativo che andranno affinate sulla base del progetto definitivo – esecutivo dei singoli lotti.



Secondo il recente D.M. 14/1/2008 le verifiche sulla stabilità dei fronti di scavo devono essere condotte con modalità analoga a quella indicata per i manufatti sciolti (Cap. 6.8 NTC). Le verifiche geotecniche dei fronti vengono perciò effettuate secondo:

Approccio 1 - Combinazione 2: (A2+M2+R2)

La normativa prevede che al peso dell'unità di volume della massa potenzialmente instabile vada applicato il coefficiente  $A2 \gamma_{S1} = 1.0$ . I parametri fisico meccanici vanno ridotti secondo la tabella di seguito riportata. Secondo la normativa in materia di scavi e opere di sostegno (D.M. 14 gennaio 2008 – capitolo 6.) deve essere rispettata la condizione:  $E_d \leq R_d$ , con:

$E_d$  = valore di progetto dell'azione o degli effetti delle azioni.

$R_d$  = valore di progetto della resistenza del terreno.

PARAMETRO	GRANDEZZA DA RIDURRE	COEFFICIENTE PARZIALE	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_\phi$	1.25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_c$	1.25
Peso di volume	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	1.0

Per le verifiche di sicurezza dei fronti scavo il coefficiente  $R2 = \gamma_R = 1.1$

Di seguito si riportano i parametri geotecnici d'ingresso per le verifiche dei fronti scavo, considerando nel breve termine il contributo della coesione apparente presente nel materiale in condizioni naturali, stimata in circa 7 kPa. Le verifiche vengono eseguite utilizzando il diagramma di Hoek e Bray schema n°1 (FIGURA 4), specifico per valutazioni di stabilità di fronti scavo, con estradosso subpianeggiante, senza filtrazione alla base ed in assenza di sovraccarichi al contorno. Le verifiche vengono eseguite per altezze  $\leq 9-10$  m, così come riportato in FIGURA 4.

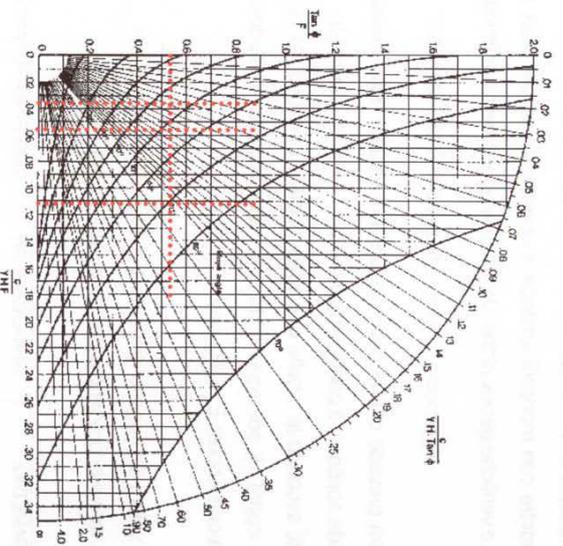


Figura 4 – Diagramma n°1 di Hoek e Bray per scavi asciutti

Adottando un coefficiente di sicurezza  $R2 = \gamma R = 1.1$  come previsto dal D.M. 14.01.08, di seguito vengono indicati i profili a breve termine, funzione dell'altezza di scavo:

per $H_1 \leq 3$ m	→	$\beta_1 = 70^\circ$
per $H_2 \leq 6$ m	→	$\beta_2 = 52^\circ$
per $H_3 \leq 9$ m	→	$\beta_3 = 45^\circ$

Gli angoli di profilatura sopra indicati si riferiscono a scavi realizzati nei materiali sciolti di copertura; tutti gli scavi compiuti in roccia, invece, potranno essere eseguiti con profilature subverticali ( $\sim 75^\circ-80^\circ$ )

Un geologo dovrà valutare in fase di scavo l'assenza di cinematismi critici in seno all'ammasso roccioso e, se del caso, dovrà predisporre i necessari presidi (rimozione delle porzioni instabili, consolidamento mediante chiodatura, etc..).

## 7 MODALITÀ ESECUTIVE DELLA RAMPA DI ACCESSO AL GARAGE

Come già trattato in relazione geologica, il progetto prevede la realizzazione di una rampa di accesso al garage interrato che sarà presumibilmente costituita da uno scatorolare in dis per la cui messa in opera dovranno esser previsti scavi di altezza fino a 10 metri circa, nel versante. Le pareti di scavo della rampa di accesso al garage, che interesseranno terreni sciolti di copertura (indicativamente i primi 3-4 metri dall'indagine sismica), saranno sostenute da micropali che avranno la funzione, oltre che di sostentamento delle nuove opere infrastrutturali (strada – muri di contenimento, ecc..), anche di consolidare il pendio. Per la parte di scavo in roccia (profondità prevista oltre i 4 metri) in funzione dei riscontri in corso d'opera si deciderà, se del caso, l'eventuale intervento di consolidamento più idoneo (chiodi, reti, barbacani ecc..).

## 8 CONCLUSIONI

Su incarico e per conto del committente, società WANGER S.R.L., è stata redatta la presente relazione geotecnica sulle indagini con modellazione del volume significativo di sottosuolo a supporto del progetto di variante al P.d.C. 189/07 nell'ambito della lotizzazione turistica "Creiro" nel comune di Torri del Benaco (VR).

Il presente elaborato è redatto in ottemperanza ai contenuti del D.M. 14 gennaio 2008 "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni", fa riferimento alla relazione geologica del progetto definitivo e costituisce documento progettuale idoneo per il rilascio della concessione ad edificare. La presente relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno riguarda la fase del progetto esecutiva e viene di seguito integrata con le previste verifiche della sicurezza e delle prestazioni di cui al capitolo 6.2.3. delle NTC.

Mezzocorona, ottobre 2011

## APPENDICI

-1 – Indagini geostatiche