



Regione del Veneto

Provincia di Treviso

**Comune di Castelfranco Veneto**

ELABORATO

**MS**

# Variante n.1 al Piano degli Interventi

## Microzonazione Sismica

### AMMINISTRAZIONE DI CASTELFRANCO VENETO:

*Sindaco*

Stefano Marcon

*Assessore all'Urbanistica*

Petronilla Olivato

UFFICIO URBANISTICA:

Responsabile Arch. Luca Pozzobon

### PROGETTAZIONE E VALUTAZIONE:

Dott. Urb. Gianluca Malaspina

*(coordinatore)*

Dott. Pian. Gianluca Ramo

Dott. Urb. Sara Margaretto

Dott. Pian. Michele Miotello

### SPECIALISTICHE

*Valutazione di Incidenza Ambientale*

Dott. For. Dino Calzavara

*Compatibilità Idraulica*

*Microzonazione sismica*

ADASTRA-ENGINEERING srl

Dott. Geol. Giovanni Rigatto

Adozione

DCC .....

Approvazione

DCC.....

Aprile 2019

## INDICE

<b>PREMESSA</b> .....	3
<b>1. Riferimenti normativi</b> .....	4
<b>2. Inquadramento geografico</b> .....	7
<b>3. Dati geotecnici e geofisici</b> .....	9
<b>4. Microzonazione Sismica di Secondo Livello</b> .....	10
<b>5. Metodologie di elaborazione e risultati</b> .....	16
<b>6. Analisi delle FAC - Faglie attive e capaci</b> .....	19
<b>7. Elaborati cartografici</b> .....	22
<b>8. Microzonazione Sismica di Terzo Livello</b> .....	26
<b>9. Analisi della suscettività alla liquefazione</b> .....	27
<b>10. Proposta di normativa tecnica per il Piano degli interventi</b> .....	36
<b>11. Bibliografia</b> .....	40
<b>12. Appendici</b> .....	43
<b>13. Glossario</b> .....	56
<b>14. Sigle</b> .....	59

## TAVOLE FUORI TESTO

<i>Codice</i>	<i>Titolo</i>	<i>Rev.</i>	<i>Data</i>
CI_18335_20190423_T01_00	Carta delle Indagini	00	23/04/19
HVSR_18335_20190423_T02_00	Carta delle frequenze fondamentali di risonanza e dell'amplificazione H/V	00	23/04/19
VS30_18335_20190423_T03_00	Carta delle Vs30	00	23/04/19
MS2_18335_20190423_T04_00	Carta della Microzonazione Sismica – Livello II Tavola 1	00	23/04/19
MS2_18335_20190423_T05_00	Carta della Microzonazione Sismica – Livello II Tavola 2	00	23/04/19
MS2_18335_20190423_T06_00	Carta della Microzonazione Sismica – Livello II Tavola 3	00	23/04/19
MS2_18335_20190423_T07_00	Carta della Microzonazione Sismica – Livello II Tavola 4	00	23/04/19

## ALLEGATI FUORI TESTO DIGITALI

<i>Codice</i>	<i>Titolo</i>	<i>Rev.</i>	<i>Data</i>
18335_20190423_ALL01_00	Indagini Remi	00	23/04/19
18335_20190423_ALL02_00	Indagini HVSR	00	23/04/19
18335_20190423_ALL03_00	Sondaggi ISPRA	00	23/04/19



## **PREMESSA**

Con determinazione n. 155 del 17 aprile 2018 il Comune di Castelfranco Veneto ha affidato ad Adastra Engineering srl l'incarico redazione dello studio di microzonazione sismica di 2° livello con approfondimenti di 3° livello, funzionali alla redazione del piano interventi.

L'approfondimento di 3° livello ha riguardato gli aspetti legati all'instabilità per liquefazione dei terreni.

La presente relazione è stata redatta ai sensi dell'OPCM 52 del 20.02.2013 e della DGR n. 1572 del 3.10.2013 e fa seguito allo studio di Microzonazione Sismica di Primo Livello redatto nel dicembre 2014 e successivamente aggiornato nel marzo 2017 al quale si rimanda per gli approfondimenti inerenti il quadro geologico di riferimento e per le caratteristiche sismologiche del territorio comunale.

L'incarico professionale è stato svolto dal Dr. Geol. Giovanni Rigatto. Si ringrazia la dr.ssa Chiara Levorato per la collaborazione tecnico-cartografica.

La presente relazione preliminare espone le modalità di acquisizione e di elaborazione dei dati geologici, geotecnici, sismici e cartografici che sono stati adottati nella realizzazione dello studio di Microzonazione Sismica realizzata secondo lo schema logico e le norme richiesti dagli ICMS 2008 e dalle *Linee guida per l'esecuzione di studi di Microzonazione Sismica della Regione Veneto* (DGR n. 1572 del 3.10.2013, all. A).

Gli elaborati sono stati allestiti secondo le indicazioni contenute in *Microzonazione Sismica, Standard di rappresentazione e archiviazione informatica* (Commissione tecnica per la microzonazione sismica, articolo 5, comma 7 dell'OPCM 13.11.2010, n. 3907, versione 4.0b, Roma, ottobre 2015) e nelle citate *Linee guida* (DGR 1572/2013) della Regione Veneto.

Le acquisizioni dei dati di campagna e le elaborazioni cartografiche sono state condotte nel mese di gennaio 2019.



## **1. Riferimenti normativi**

Legge 2 febbraio 1974, n. 64, Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.

Legge 10 dicembre 1981, n. 741, Ulteriori norme per l'accelerazione delle procedure per l'esecuzione di opere pubbliche.

Decreto del Ministro dei lavori pubblici 11 marzo 1988, 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 ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

Legge 24 febbraio 1992, n. 225, Istituzione del Servizio nazionale della protezione civile.

Decreto del Ministro dei lavori pubblici 16 gennaio 1996, Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche.

Decreto del Ministro dell'interno 13 Febbraio 2001, Adozione dei Criteri di massima per l'organizzazione dei soccorsi sanitari nelle catastrofi (G.U. n. 116 del 12 maggio 2001).

Decreto legislativo 31 marzo 1998, n. 112, Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle Regioni ed agli Enti locali, in attuazione del capo I della legge 15 marzo 1997, n. 59.

Decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380, Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia.

Legge 9 novembre 2001, n. 401, Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 7 settembre 2001, n. 343, recante disposizioni urgenti per assicurare il coordinamento operativo delle strutture preposte alle attività di protezione civile.

Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 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" (pubblicata nel Supplemento n. 72 alla Gazzetta Ufficiale n. 105 del 08/05/2003) modificata con ordinanza 3316 e 3431.

Testo ordinanza in 4 articoli:

- Allegato 1: Criteri per l'individuazione delle zone sismiche - Individuazione, formazione e aggiornamento degli elenchi delle medesime zone.
- Allegato 2: Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici.
- Allegato 3: Norme tecniche per il progetto sismico dei ponti.



- Allegato 4: Norme tecniche per il progetto sismico di opere di fondazione e di sostegno dei terreni.

Legge Regionale 07 novembre 2003 n. 27 art. 66, Indicazioni generali per uniformare le procedure di deposito dei progetti in zona sismica 2 e nei Comuni o parti del loro territorio interessati da opere di consolidamento degli abitati.

Ordinanza Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3316 del 2 ottobre 2003. Modifiche ed integrazioni all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003.

Deliberazione della Giunta Regionale del Veneto n. 67 del 03 dicembre 2003. Recepisce i criteri generali dell'Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003, ed approva la nuova classificazione sismica dei Comuni del Veneto.

Legge 27 luglio 2004, n. 186, Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 28 maggio 2004, n. 136, Disposizioni urgenti per garantire la funzionalità di taluni settori della pubblica amministrazione. Disposizioni per la rideterminazione di deleghe legislative e altre disposizioni connesse.

Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 3 maggio 2005, n. 3431, Ulteriori modifiche ed integrazioni all'O.P.C.M. 20 marzo 2003 n. 3274, recante «Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica».

Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 28 aprile 2006, n. 3519, Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone (G.U. n.108 del 11/05/2006).

Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri 12 ottobre 2007, Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni.

Norme Tecniche per le Costruzioni - Decreto 14/01/2008 del Ministero delle Infrastrutture (GU n.29 del 04/02/2008) e relativa Circolare esplicativa. Con la pubblicazione delle NTC08 vengono recepite molte delle indicazioni normative precedenti e riordinate in un unico codice.

Principali Norme Tecniche di riferimento:

- Capitolo 3 Azioni sulle costruzioni, §3.2 Azione sismica.



- 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.
- Capitolo 7 Progettazione per azioni sismiche (strutture nuove).

Deliberazione della Giunta Regionale del Veneto n. 3308 del 04 novembre 2008, Applicazione delle nuove norme tecniche sulle costruzioni in zona sismica. Indicazioni per la redazione e verifica della pianificazione urbanistica.

Deliberazione della Giunta Regionale del Veneto n. 71 del 22 gennaio 2008 "O.P.C.M. 28.4.2006, n. 3519: "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone. Direttive per l'applicazione". La Giunta Regionale stabilisce di prendere atto dei criteri generali di classificazione allegati all'Ordinanza PCM 3519 del 28 aprile 2006, innovativi rispetto all'OPCM 3274/2003, e della mappa di pericolosità sismica di riferimento, espressa in termini di accelerazione massima al suolo (amax) confermando, comunque, per quanto riguarda gli aspetti amministrativi, la classificazione sismica dei Comuni del Veneto di cui all'Allegato I della deliberazione del Consiglio Regionale n. 67/2003.

Legge 24 giugno 2009, n. 77 Conversione in legge, con modificazioni del decreto legge 28 aprile 2009, n. 39, recante interventi urgenti in favore delle popolazioni colpite dagli eventi sismici nella Regione Abruzzo nel mese di aprile 2009 e ulteriori interventi urgenti di protezione civile.

Decreto n. 69/2010, Linee guida per la realizzazione dello studio di compatibilità sismica per i Piani di Assetto del Territorio Comunali e Intercomunali.

OCDPC n. 52 del 20 febbraio 2013. Contributi per gli interventi di prevenzione del rischio sismico per l'anno 2012

DGR n. 1572 del 03 ottobre 2013. Fondo statale per interventi di prevenzione del rischio sismico di cui all'Ordinanza del Capo del Dipartimento della Protezione Civile n. 52 in data 20 febbraio 2013.

Decreto del Capo del Dipartimento della Protezione Civile n. 1431 del 15 aprile 2013, pubblicato nella G.U. del 10 luglio 2013 (L. 77/2009, art. 11).

OCDPC n. 171 del 19 giugno 2014: contributi per gli interventi di prevenzione del rischio sismico per l'anno 2013



DGR n. 1896 del 14 ottobre 2014. Attuazione dell'articolo 11 del decreto-legge 28 aprile 2009, n. 39, convertito, con modificazioni, dalla legge 24.06.09, n.77. O.C.D.P.C. 171 del 19 giugno 2014 (G.U. n. 145 del 25 giugno 2014). (L. 77/09, art. 11).

DGR n. 598 del 21 aprile 2015. Fondo statale per interventi di prevenzione del rischio sismico di cui all'Ordinanza del Capo del Dipartimento della Protezione Civile n. 171 in data 19 giugno 2014. Decreto del Capo del Dipartimento della Protezione Civile del 4 agosto 2014, pubblicato nella G.U. del 6 novembre 2014. (L. 77/2009, art. 11).

Norme Tecniche per le Costruzioni - Decreto 17/01/2018 del Ministero delle Infrastrutture (GU n.42 del 20/02/2018).

## **2. Inquadramento geografico**

Il Comune di Castelfranco Veneto è situato nella parte occidentale del territorio provinciale, in un ambito di transizione tra l'area di Alta Pianura in destra Piave e quella di Bassa Pianura delimitata dalla linea delle risorgive.

Il territorio comunale è caratterizzato da limitata differenziazione morfologica essendo situato totalmente in pianura: è posto tra quota 32 m s.l.m. e 60 m s.l.m., con pendenza media di circa il 3,5‰, giacitura Nord – Sud. Il principale corso d'acqua è il torrente Muson, che alimenta, unitamente al fosso Avenale, le Fosse Civiche del Castello. Gli altri corsi d'acqua comunali sono disposti in maniera quasi esclusiva nella parte sudoccidentale del territorio. Comprendono gli scoli Preula e Piovega, i rii Acqualonga e Rigosto (che sono classificati area SIC), i rii Brentella, Storta, la roggia Moranda, la canaletta Issavara, lo scolo Musoncello e la roggia Musonello. La superficie territoriale è pari a 51,32 km<sup>2</sup>. Il comune di Castelfranco Veneto confina a nord-ovest con Castello di Godego, a nord con Riese Pio X, a nord-est con Vedelago, a sud con Resana e Loreggia e ad ovest con San Martino di Lupari.





Figura 1 – Inquadramento geografico del comune di Castelfranco Veneto (Open Street Map)



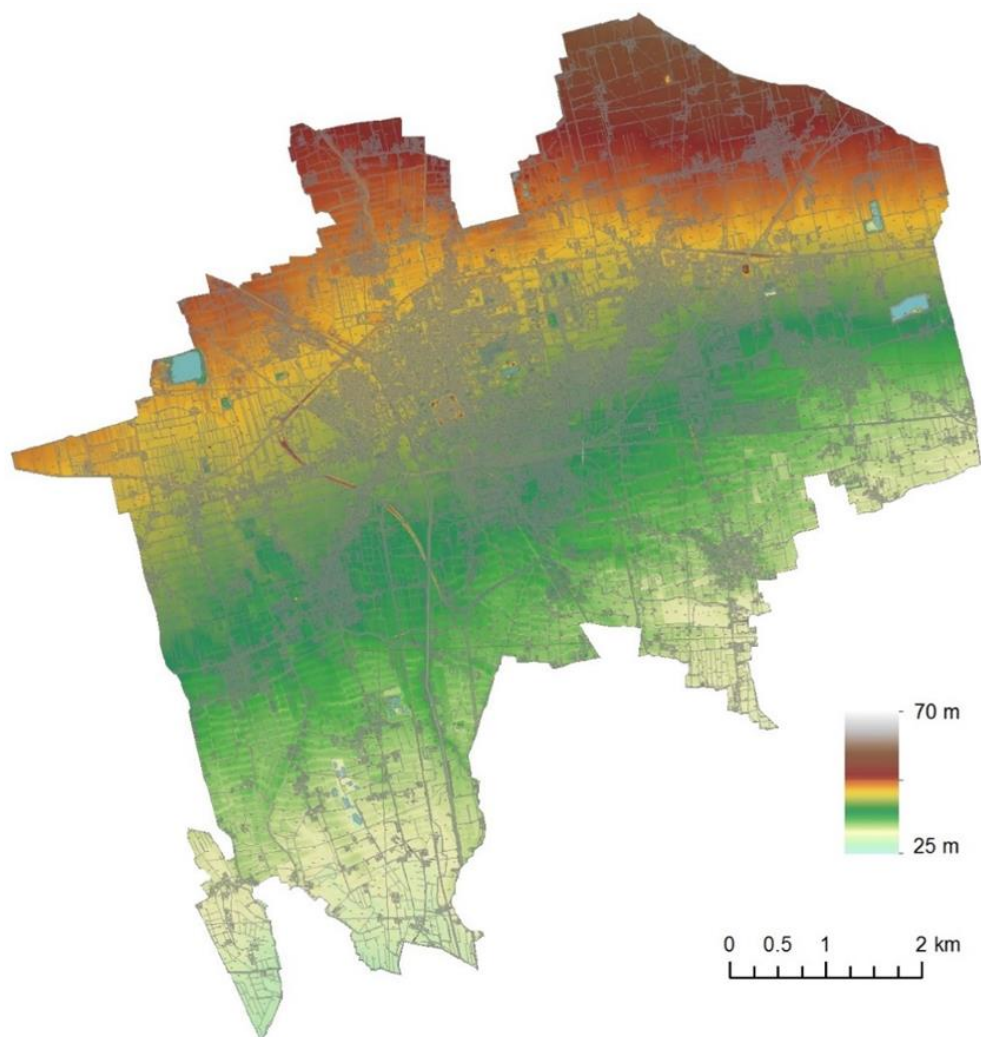


Figura 2 – DTM del territorio comunale.

### 3. Dati geotecnici e geofisici

#### 3.1 Fonti dei dati pregressi

Al fine di delineare il quadro geologico complessivo, sottoposto ad integrazione con ulteriori indagini geofisiche dedicate, sono state raccolte ed esaminate in chiave sismica tutte le informazioni fornite dal PAT, utilizzando in particolare le carte geo-litologica, geomorfologica e idrogeologica. Si è fatto in particolare riferimento allo studio di Microzonazione Sismica di I livello.

È stata inoltre consultata tutta la bibliografia edita e i materiali inediti disponibili e utilizzate le informazioni reperibili nelle banche dati dei portali web regionali e nazionali.



### 3.2 Il piano delle misure geofisiche integrative

Al fine di caratterizzare dal punto di vista sismico i terreni dell'area indagata, è stata condotta una serie di misure geofisiche in prossimità dei punti ritenuti più significativi. In particolare, sono state effettuate:

- 6 registrazioni di rumore sismico ambientale a stazione singola con elaborazione H.V.S.R. (Horizontal to Vertical Spectral Ratio – Metodo di Nakamura) per individuare le frequenze di risonanza dei depositi;
- 24 misure sismiche con tecnica ReMi (Refraction Microtremors) per la determinazione del profilo di velocità di propagazione delle onde S.

La scelta dei punti d'indagine è stata operata con l'obiettivo di definire al meglio le condizioni stratigrafiche e la potenziale amplificazione sismica locale dovuta alla sequenza sedimentaria. L'ubicazione delle misure effettuate viene riportata nell'apposita tavola allegata fuori testo (CI\_18335\_20190423\_T01\_00, Carta delle Indagini).

## 4. Microzonazione Sismica di Secondo Livello

Il presente studio è stato svolto al Secondo Livello (con approfondimenti di Terzo Livello). Le nuove Linee Guida Regionali per la microzonazione sismica vanno applicate agli studi di MS a corredo degli strumenti di pianificazione urbanistica comunale (P.A.T., P.I. e loro varianti di cui alla L.R. 11/2004). Anche i Piani Urbanistici Attuativi (PUA), nei comuni i cui strumenti urbanistici di livello superiore non contengono studi sismici, devono essere dotati di specifici studi di MS.

La metodologia prevede che il Secondo Livello di approfondimento sia applicato in sede di P.I. a tutte le parti di territorio suscettibili di amplificazione sismica individuati nella precedente fase e per le quali si prevedono trasformazioni urbanistiche del territorio che comportino un incremento dei carichi urbanistico/insediativi e per il territorio compreso nel perimetro del centro abitato così come previsti dalla normativa vigente.

Per quanto concerne il Comune di Castelfranco Veneto, lo studio di Microzonazione di Secondo Livello è stato effettuato su tutto il territorio comunale.

L'obiettivo del secondo livello di analisi è di compensare le incertezze del primo livello con approfondimenti conoscitivi e fornire quantificazioni numeriche, con metodi semplificati (abachi e leggi empiriche), della modificazione locale del moto sismico in superficie e dei fenomeni di deformazione permanente.



Il risultato fondamentale del secondo livello è la Carta di Microzonazione Sismica di Secondo Livello ottenuta associando la quantificazione numerica degli effetti, alle parti del territorio suscettibili di amplificazione sismica.

Lo studio di approfondimento è stato condotto attraverso una rete di misure HVSR e ReMi. L'obiettivo era la quantificazione numerica degli effetti di amplificazione sismica attraverso la stima dei fattori di amplificazione FA e FV. I valori dei fattori di amplificazione consistono nei valori di FA, fattore di amplificazione a basso periodo, e di FV, fattore di amplificazione a periodo proprio. Il primo corrisponde al fattore di amplificazione determinato intorno al periodo proprio per il quale si ha il massimo della risposta in accelerazione. Il secondo corrisponde al fattore di amplificazione a periodo proprio per il quale si ha la massima risposta in pseudovelocità.

#### 4.1. Determinazione dei valori di Fa e Fv

Sono state condotte misure di Vs30 su tutto il territorio comunale, integrate da alcune misure HVSR per definire con maggior accuratezza il campo di velocità delle onde S.

L'ubicazione delle indagini sismiche è riportata nella Carta delle Indagini (CI\_18335\_20190423\_T01\_00).

Il fine dell'approfondimento al Secondo Livello era quello di verificare ed eventualmente applicare la procedura prevista alle Linee guida nazionali (ICMS 2009) per fornire una stima della risposta sismica in termini di fattori di amplificazione topografica e litostratigrafica.

Per l'allestimento della Carta di Microzonazione Sismica di Secondo Livello si sono adottati gli Abachi di riferimento per gli effetti litostratigrafici (livello 2) previsti dalle ICMS 2008.

Per l'applicazione degli abachi si è proceduto nel modo seguente:

- Sono state utilizzate le informazioni stratigrafiche ricavabili dalle indagini geognostiche disponibili per costruire un modello geologico sufficientemente attendibile per il territorio comunale; apparentemente nessun carotaggio e penetrometria ha raggiunto il substrato.
- È stata quindi applicata la correzione tabellare ai valori di Vs30 (velocità equivalente nei primi 30 m) trasformandoli in Vsh (velocità equivalenti su tutto lo spessore del deposito). Si è considerato uno spessore dei depositi pari ad almeno 150 metri sulla scorta delle informazioni desunte dalla bibliografia che prevedono l'assenza di un substrato sismico entro tale intervallo di profondità.



- Considerando un profilo di velocità delle onde S variabile linearmente con pendenza massima, si sono utilizzati gli abachi pertinenti alle ghiaie e alle sabbie, utilizzando valori di accelerazioni di picco al suolo di 0.18 ag (per il territorio di Castelfranco Veneto la media è di 0.150-0.200 ag). La scelta del tipo di profilo è stata fatta sulla base delle conoscenze specifiche ottenute con gli approfondimenti di livello 2 e sulla considerazione che in presenza di ghiaie e sabbie antiche, addensate, il profilo di velocità tende a mantenersi costante ed è quindi preferibile orientarsi verso le tabelle riferite al profilo variabile linearmente con pendenza massima.
- Si è quindi ottenuta la stima dei fattori di amplificazione Fa e Fv per ciascun settore investigato; si tenga presente che le zone stabili sono caratterizzate sempre da un'amplificazione uguale a 1.0. Le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali sono invece caratterizzate da classi di fattori di amplificazione. Quando dalle analisi sviluppate con gli abachi sono state riscontrate deamplificazioni, per convenzione è stato attribuito alla microzona un valore uguale a 1.0.
- Sono stati cartografati i valori di Fa che sono stati interpolati attraverso una procedura di Natural Neighbour Interpolation realizzando la Carta della Microzonazione Sismica di Secondo Livello che interessa tutti i centri abitati del territorio comunale e le aree di espansione.

Per comprendere anche le limitazioni di tale approccio si tenga conto che gli abachi allegati alle ICMS 2008 sono realizzati sintetizzando i risultati di analisi numeriche monodimensionali di propagazione delle onde sismiche di taglio. Tali analisi sono di tipo non lineare equivalente e sono condotte su un modello di sottosuolo costituito da terreni stratificati orizzontalmente, poggianti su un semispazio. Più l'assetto geologico locale si discosta dalle condizioni monodimensionali e minore sarà l'affidabilità delle stime di valore di Fa e Fv.

ID_Indagine_ReMi	Id SofttMS	Vs30	Vs150	Fa	Fv
RM_01	026012L21REMI21	474	601	1.26	1.08
RM_02	026012L22REMI22	338	502	1.40	1.26
RM_03	026012L23REMI23	478	604	1.25	1.08
RM_04	026012L24REMI24	386	537	1.34	1.21



RM_05	026012L25REMI25	448	582	1.31	1.1
RM_06	026012L26REMI26	428	568	1.34	1.11
RM_07	026012L27REMI27	375	529	1.35	1.22
RM_08	026012L28REMI28	424	565	1.35	1.11
RM_09	026012L29REMI29	480	605	1.25	1.08
RM_10	026012L30REMI30	473	601	1.26	1.08
RM_11	026012L31REMI31	501	619	1.23	1.07
RM_12	026012L32REMI32	516	628	1.21	1.07
RM_13	026012L33REMI33	498	617	1.24	1.07
RM_14	026012L34REMI34	368	524	1.36	1.22
RM_15	026012L35REMI35	421	563	1.35	1.11
RM_16	026012L36REMI36	505	621	1.23	1.07
RM_17	026012L37REMI37	513	626	1.22	1.07
RM_18	026012L38REMI38	400	547	1.41	1.13
RM_19	026012L39REMI39	415	558	1.37	1.12
RM_20	026012L40REMI40	543	646	1.19	1.06
RM_21	026012L41REMI41	512	626	1.22	1.07
RM_22	026012L42REMI42	519	630	1.21	1.07
RM_23	026012L43REMI43	509	624	1.22	1.07
RM_24	026012L44REMI44	390	540	1.34	1.20

Tabella 1 – Valori di Fa e Fv

#### 4.2. Effetti topografici

In corrispondenza di due delle diverse cave aperte all'interno del territorio comunale sono presenti scarpate che rientrano nei casi previsti di amplificazione topografica, per le quali sono stati impiegati gli Abachi di riferimento per gli effetti topografici (livello 2) (ICMS 2008).

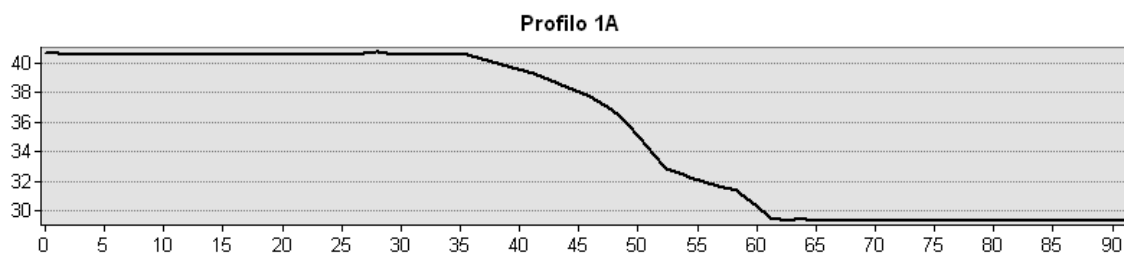
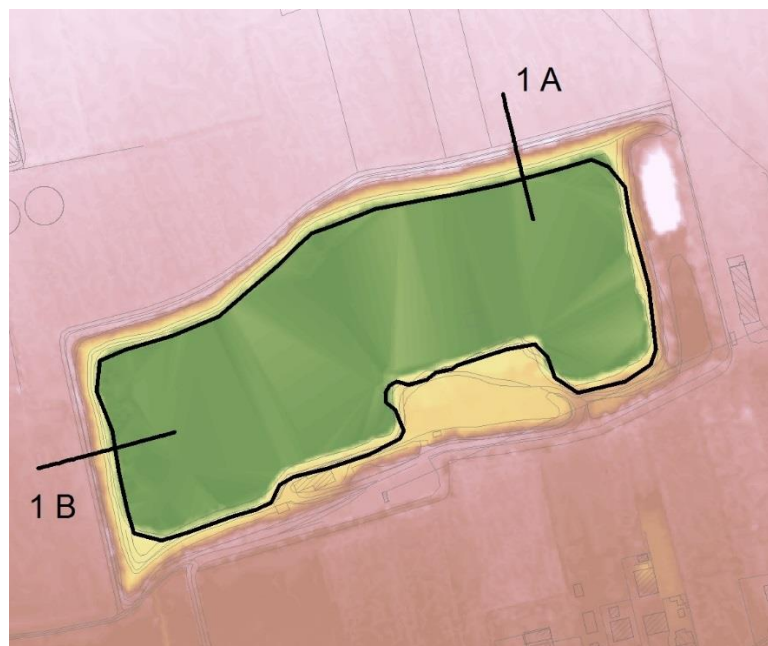
Tali abachi sono utilizzabili per il calcolo di fattori di amplificazione per le zone di scarpata caratterizzate da fronti di altezza (H) maggiori o uguali a 10 m, inclinazione del fronte principale ( $\alpha$ ) maggiore o uguale a 15° ed estensione del fronte superiore (L) almeno pari all'altezza H o comunque non inferiore ai 15-20 metri. Ai fini del presente studio è stato utilizzato l'Abaco per scarpate in terra (ICMS, 2008).

In particolare, all'interno della cava non si è rappresentato il valore di amplificazione topografica poiché il relativo poligono è interessato da instabilità per cedimento.

All'esterno si è considerato che le scarpate rientrino nel range compreso tra 10 e 20 m, come si può verificare dai profili condotti lungo le pareti delle cave rappresentati nelle figure seguenti. Considerando in entrambi i casi investigati un dislivello pari a 12 m, il

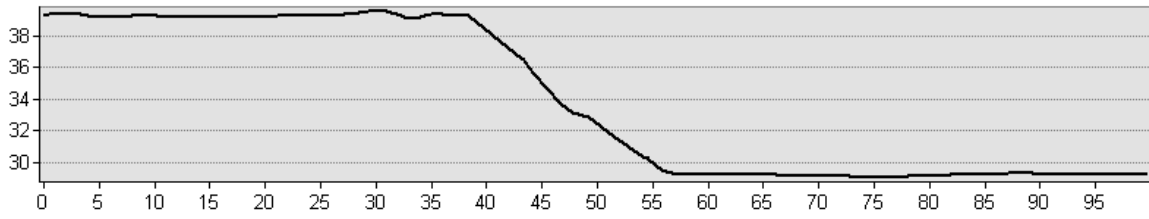


raggio d'influenza va a definire una fascia pari ad H. In corrispondenza del ciglio di cava il valore di amplificazione è massimo (e quindi pari a 1,1), mentre sul margine esterno della fascia di buffer è pari a 1. Questo significa che 1/2 buffer rientra nella categoria 1.1-1.2 (dove in realtà l'intervallo comprende 1,05-1,24). Poiché l'amplificazione varia linearmente, questo implica che un settore largo 6 m rientra nel range 1.1-1.2. In entrambi i casi però non si è rappresentato il valore di amplificazione topografica poiché l'intera area è interessata da instabilità per cedimento secondo quanto stabilito in sede di MS di Primo Livello.

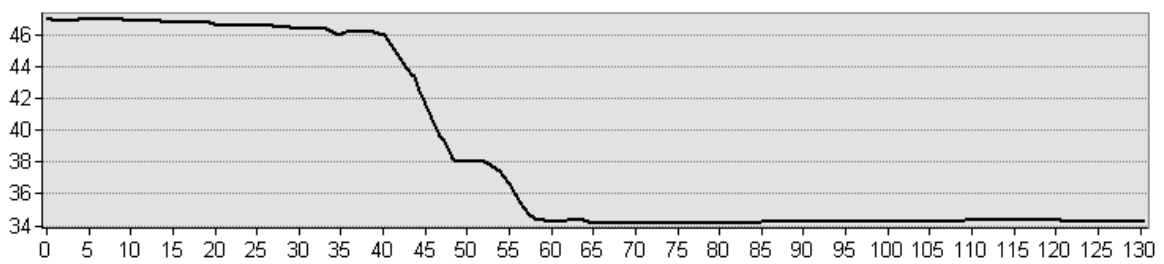




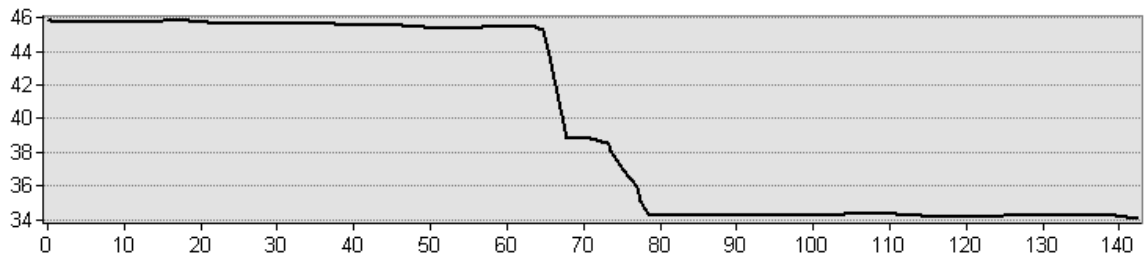
Profilo 1B



Profilo 2A



Profilo 2B





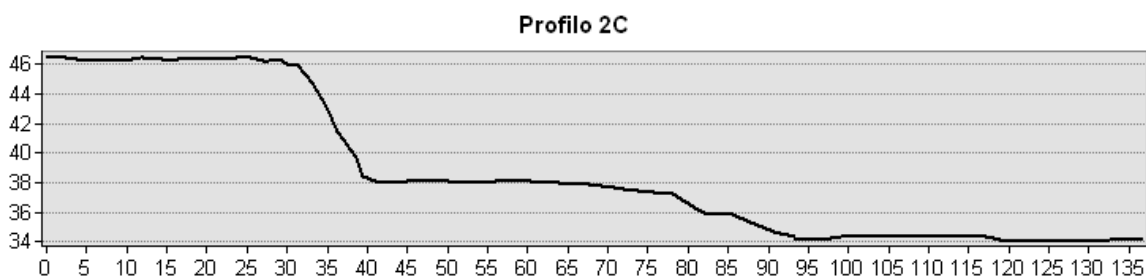


Figura 1 – Profili topografici delle due cave più profonde del comune di Castelfranco Veneto

#### 4.3. Verifica alla Liquefazione dei terreni

Il pericolo di liquefazione deve essere accertato in base alla possibilità di concomitanza di fattori scatenanti (caratteristiche dei terremoti attesi) e predisponenti (susceptibilità dei terreni).

Le linee guida nazionali prevedono che le zone suscettibili di instabilità della Carta di MS di Livello 2 siano 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.

Si rimanda agli approfondimenti di III Livello la verifica alla liquefazione dei terreni.

### 5. Metodologie di elaborazione e risultati

#### Indagini sismiche integrative: sensori impiegati

##### 5.1. Misure HVSr

La strumentazione a disposizione per la misura della frequenza fondamentale è stata la seguente:

- una stazione sismica Dymas 24 a 6 canali dotata di GPS per il timing.
- Un sismometro a periodo T di 1 s, linearizzato elettronicamente, con dinamica superiore a 130dB.

Questa strumentazione è di classe superiore rispetto ai normali tromografi disponibili in commercio in virtù della maggiore affidabilità dei segnali nel segmento di bassa frequenza dello spettro di ampiezza (che è poi quello tipico dei microtremori).

Per l'elaborazione dei dati geofisici è stata seguita la procedura consigliata nelle linee guida del SESAME (Site Effects assessment using Ambient Excitations), un progetto di



ricerca europeo condotto nel triennio 2003-2005 al fine di standardizzare e migliorare le tecniche di microzonazione sismica attraverso le misure del rumore ambientale. Preliminarmente alla procedura di analisi dei rapporti spettrali, le tracce sismiche registrate sono state verificate eliminando i disturbi transienti e quelle parti di registrazioni non adatte all'analisi. Una volta selezionata la parte di segnale stabile sono state calcolate, per ognuna delle tre componenti del moto, le ampiezze spettrali e gli spettri di potenza del "noise", procedendo successivamente, per il "rumore naturale", alla valutazione della distribuzione energetica in frequenza.

È stata inoltre eseguita la verifica dei criteri che permettono di definire il livello di affidabilità della misura e di identificare il picco significativo attraverso l'uso di test statistici opportuni.

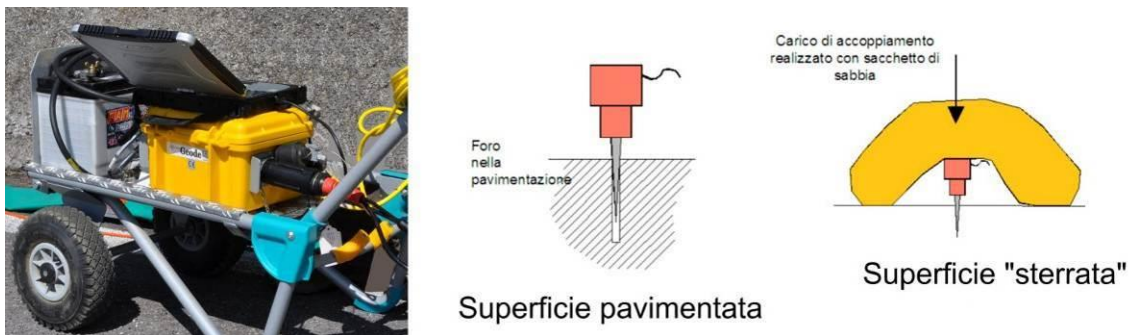


Figura 2 - Strumentazione per la misura della Vs. Sismografo a 24 canali Geometrics GEODE (a sinistra). Schema di accoppiamento dei geofoni su pavimentazione (al centro) o su strada sterrata o in ghiaia (a destra).

## 5.2. Misure della Vs

Per la misura della Vs con la tecnica Remi è stato utilizzato un sismografo Geometrics GEODE a 24 canali e 24 bit nella conversione A/D equipaggiato con sensori Oyo GEOSPACE a frequenza naturale di 4.5 Hz.

I geofoni sono stati stesi su terreno con spaziatura di 3 m e sono state effettuate sessioni di misura del rumore della durata di 30 s avvalendosi anche di una parziale energizzazione.

CODICE HVSR	CODICE SOFT MS	I° PICCO		II° PICCO		III° PICCO		IV° PICCO		V° PICCO	
		F <sub>0</sub>	A <sub>0</sub>	F <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	A <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	A <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>	A <sub>4</sub>
HV_01	026012P103	3.49	2.57	6.10	3.86	8.92	5.02	11.54	4.40		
HV_02	026012P104	4.36	5.16	5.89	5.42	42.43	3.79				
HV_03	026012P105	1.39	3.14	3.32	2.03	14.82	3.69				



HV_04	026012P106	3.27	3.19	4.12	3.29	11.21	4.91	14.20	3.80		
HV_05	026012P107	2.51	2.52	3.86	3.68	4.89	3.28	7.20	4.94	10.59	2.79
HV_06	026012P108	1.17	2.43	24.63	3.83	34.64	3.83	49.41	2.95		

Tabella 2 – Distribuzione dei valori di H/V e F° - Approfondimento di II Livello

CODICE REMI	CODICE SOFT MS	VS30
RM_01	026012L21REMI21	474
RM_02	026012L22REMI22	338
RM_03	026012L23REMI23	478
RM_04	026012L24REMI24	386
RM_05	026012L25REMI25	448
RM_06	026012L26REMI26	428
RM_07	026012L27REMI27	375
RM_08	026012L28REMI28	424
RM_09	026012L29REMI29	480
RM_10	026012L30REMI30	473
RM_11	026012L31REMI31	501
RM_12	026012L32REMI32	516
RM_13	026012L33REMI33	498
RM_14	026012L34REMI34	368
RM_15	026012L35REMI35	421
RM_16	026012L36REMI36	505
RM_17	026012L37REMI37	513
RM_18	026012L38REMI38	400
RM_19	026012L39REMI39	415
RM_20	026012L40REMI40	543
RM_21	026012L41REMI41	512
RM_22	026012L42REMI42	519
RM_23	026012L43REMI43	509
RM_24	026012L44REMI44	390

Tabella 3 – Distribuzione dei valori di Vs30 – approfondimento di II Livello



## **6. Analisi delle FAC - Faglie attive e capaci**

L'Italia è una delle zone più attive del Mediterraneo, in termini di tettonica attiva e sismicità. Molti terremoti storici hanno avuto effetti catastrofici (ad esempio: i terremoti del 1693 in Sicilia orientale, 1783 in Calabria, 1805 a Bojano, 1908 a Messina e 1915 nel Fucino) raggiungendo intensità MCS di XI grado (Magnitudo circa o leggermente superiore a 7). Studi paleosismologici hanno consentito di caratterizzare le faglie responsabili di molti di questi terremoti, dimostrando che le dislocazioni tardo pleistoceniche-oloceniche hanno interessato molte strutture prima considerate silenti.

Il Servizio Geologico d'Italia - ISPRA ha sviluppato il progetto ITHACA (ITaly HAZard from Capable faults) che prevede la realizzazione di un database creato per la raccolta e la facile consultazione di tutte le informazioni disponibili riguardo le strutture tettoniche attive in Italia, con particolare attenzione ai processi tettonici che potrebbero generare rischi naturali. Il progetto si occupa in modo particolare delle faglie capaci, definite come faglie che potenzialmente possono creare deformazione in superficie (<http://www.isprambiente.gov.it/it/banche-dati/suolo-e-territorio>).

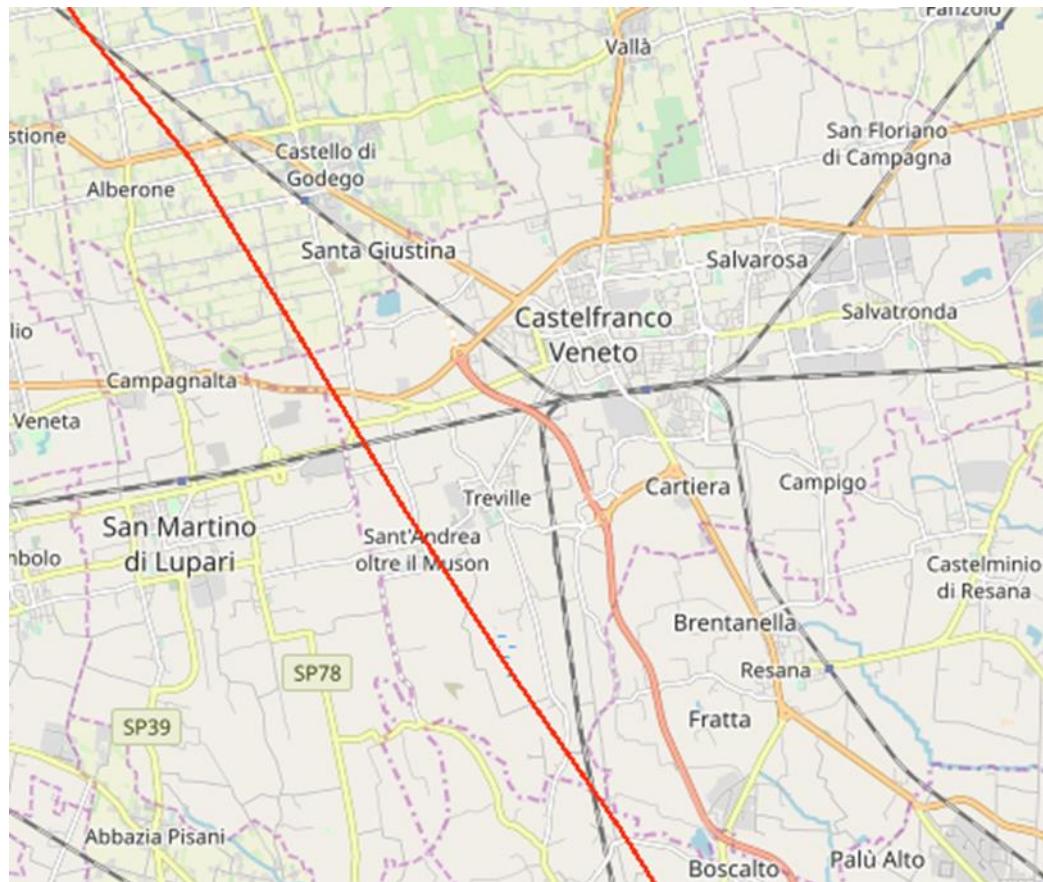


Figura 5 – Carta estratta per il Comune di Castelfranco Veneto (DB ITHACA, Portale del Servizio Geologico d'Italia – Ispra).

Lo studio di I livello tra gli elementi tettonico-strutturali individua come faglia inversa potenzialmente attiva incerta, la “Linea Sandrigo - Barchisso 2” posta nel settore occidentale del comune, con andamento NW-SE.

Per tale faglia non sono disponibili allo stato attuale studi sufficientemente accurati che consentano di definire la traccia planimetrica dell'intersezione del piano (o dei piani) di faglia con la superficie o che permettano di stabilire se effettivamente si tratti di una faglia capace. Infatti una faglia è detta capace se raggiunge la superficie producendo una frattura del terreno e l'andamento di questa rottura in superficie è la traccia superficiale della faglia.

Le analisi aerofogrammetriche prima (foto aeree, ortofoto, immagini LiDAR, immagini da satellite), e i rilievi geologici, geomorfologici di campagna poi, non hanno dato alcuna evidenza sul terreno della faglia nel territorio comunale.



## GENERAL IDENTIFICATION

FaultCode	77523
FaultName	Sandrigo - Barchisso 2
RegionName	Veneto
SystemName	Friuli thrust system
Synopsis	
Rank	SUBORDINATE

## GEOMETRY AND KINEMATICS

GeologicalSetting	
TectonicEnvironment	ND
Segmentation	No
AverageStrike	145
Dip	
DipDirection	NE
FaultLength	8,70000000
Geometry	
LocationReliability	500000
FaultDepth	0,00000000
Kinematics	NORMAL

## QUATERNARY

GeomorphicExpression	
SurfaceEvidence	ND
Monitoring_paleoseismology	
LastActivity	
ActivityReliability	
APPLIEDTECHNIQUE	Field studies

## SEISMIC PARAMETER

RecurrenceInterval	0
SlipRate	0,00000000
MaxCredibleRuptureLength	0,00000000
MaxCredibleSlip	0,00000000
TimeSinceLastEvent	0
MaxCredibleMagnitude	6,10000000
MaxCredibleIntensity	
StudyQuality	LOW
Notes	

## REFERENCES

OBJECTID	FaultCode	RefCode	Authors	Title	Reference	Year
8928	77523	172	CASTALDINI D. & PANIZZA M. (1991)	Inventario delle faglie attive tra i fiumi Po e Piave ed il lago di Como (Italia settentrionale).	Il Quaternario, 4(2), 333-410.	1991

Tabella 4 – Tabella con dati Ithaca della Faglia Sandrigo - Barchisso 2.



## 7. Elaborati cartografici

### 7.1. Carta delle indagini

La Carta delle Indagini per la Microzonazione Sismica di livello II deve contenere l'ubicazione delle indagini preesistenti ed eventualmente di quelle di nuova realizzazione. Nel presente studio le indagini sono state distinte per tipo e profondità raggiunta; a ciascuna indagine è stato assegnato un codice identificativo univoco (Id) e attraverso il set di dati raccolto è stato popolato il data base digitale messo a disposizione dalla Protezione Civile Nazionale (SoftMS, vers. 3), secondo codifiche predeterminate. Le indagini pregresse e quelle realizzate ex-novo sono state distinte secondo la data di realizzazione, che è riportata nel data base.

Le indagini sono state rappresentate in forma simbolica secondo quanto previsto dagli Standard di Rappresentazione informatica (Vers. 4.0b).

Il complesso di punti di indagine presenti sul territorio è suddiviso tipologicamente come segue:

INDAGINI PUNTUALI			
TIPO INDAGINE	CODICE	DEFINIZIONE INDAGINE per MS	TOTALE
Geotecnica in sito	CPT	Penetrometrica statica	8
Geotecnica in sito	DP	Prova penetrometrica dinamica pesante	5
Idrogeologia	PA	Pozzo per acqua	14
Geologia	S	Sondaggio a carotaggio continuo	16
Geologia	SD	Sondaggio a distruzione di nucleo	7
Geologia	T	Trincea o pozzetto esplorativo	34
Geofisica	HVSR	Microtremori a stazione singola	24

Tabella 5 - Numero di indagini puntuali classificate per tipologia

INDAGINI LINEARI			
TIPO INDAGINE	CODICE	DEFINIZIONE INDAGINE per MS	TOTALE
Geofisica	ReMi	Remi	35
Geofisica	MASW	MASW	9

Tabella 6 - Numero di indagini lineari classificate per tipologia





L'ubicazione delle prove è stata condizionata dalla morfologia del territorio e dal diverso grado di urbanizzazione. Sono state selezionate le indagini maggiormente significative ai fini della costruzione del modello sismo-stratigrafico.

#### 7.2. Carta della Microzonazione Sismica - Livello II

La carta è stata costruita sulla base di 24 misure di Vs30, integrate da altre misure condotte all'intorno, localizzate fuori carta.

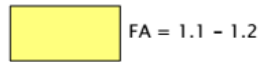
Il grado di risoluzione è ovviamente funzione della densità dei dati e pertanto è consigliabile che in sede di interventi di espansione nelle aree di approfondimento esaminate o di adeguamento nel centro storico siano condotte specifiche indagini e analisi a norma delle NTC18 e s.m.i.

L'intervallo dei valori di FA oscilla tra 1.19 e 1.41 mentre l'intervallo dei valori di FV è compreso tra 1.06 e 1.26.

Nella carta di microzonazione sismica in scala 1:5.000 sono stati interpolati i valori di FA. Nella carta sono infine cartografate le zone di attenzione per liquefazione, per crollo di cavità e per sovrapposizione di instabilità differenti, perimetrate sulla base dello studio di MS di Primo Livello.



## Zone stabili suscettibili di amplificazione locale

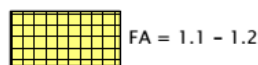


FA = 1.1 - 1.2



FA = 1.3 - 1.4

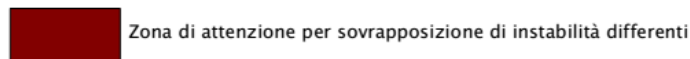
## Zone di attenzione per instabilità



FA = 1.1 - 1.2



FA = 1.3 - 1.4



Zona di attenzione per sovrapposizione di instabilità differenti



Zona di Attenzione per cedimenti differenziali

Figura 3 – Legenda delle Carte di MS di Secondo Livello del Comune di Castelfranco Veneto (Parametro FA).

### 7.3. Carta delle frequenze fondamentali di risonanza e dell'amplificazione H/V

La carta è stata redatta tenendo conto delle indagini eseguite nello studio di MS di Secondo Livello alle quali sono state aggiunte quelle realizzate per lo studio di Livello Primo. Sono stati rappresentati i picchi di frequenza con valore più elevato del rapporto H/V, escludendo i picchi secondari e i profili privi di un rapporto di amplificazione sufficientemente marcato.

Gli esiti delle indagini HVSR sono riportati nelle schede all'allegato 18335\_20190423\_ALL02\_00 (HVSR) al quale si rimanda per una descrizione puntuale delle stazioni di misura.

I valori sono rappresentati nella Carta delle frequenze fondamentali di risonanza e dell'amplificazione H/V (HVSR\_18335\_20190423\_T02\_00).



#### 7.4. Carta delle Vs30

Gli esiti delle indagini ReMi sono riportati nelle schede all'allegato 18335\_20190423\_ALL01\_00 (indagini ReMi) alle quali si rimanda per una descrizione puntuale delle stazioni di misura.

I valori sono rappresentati nella carta delle Vs30 (VS30\_18335\_20190423\_T03\_00).

Il valore di Vs30 varia da 338 m/s a 543 m/s. I suoli di fondazione, secondo i dettami delle NTC 2018, mostrano una distribuzione prevalente di suoli nella classe B (e solo subordinatamente nella classe C).

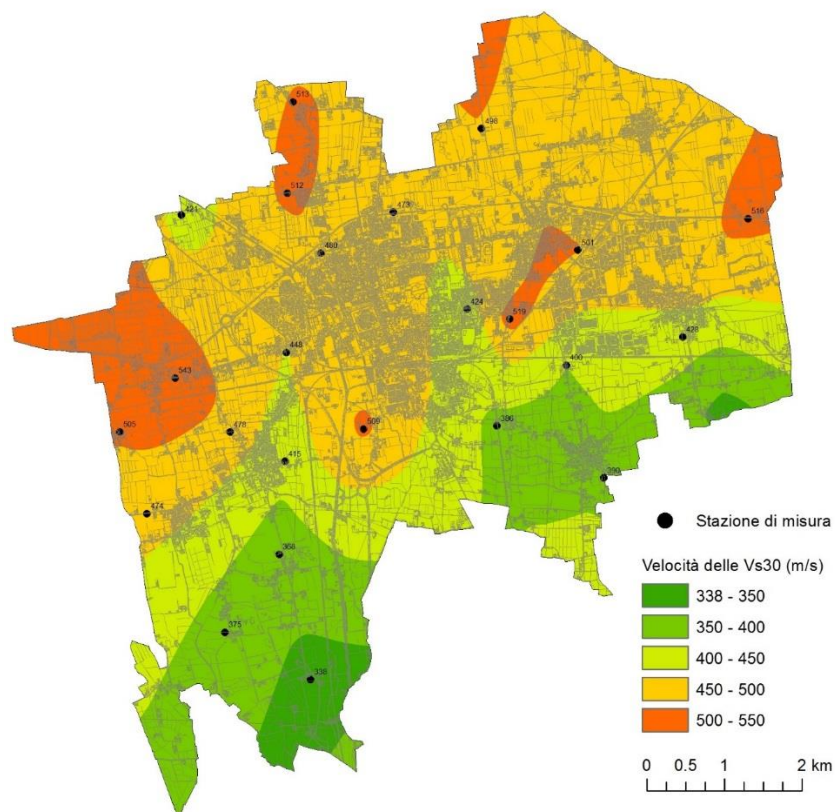


Figura 4 – Mappa di Vs30 interpolata.



## 8. Microzonazione Sismica di Terzo Livello

### 8.1. Premessa sulle zone suscettibili di instabilità

Le zone suscettibili di instabilità sono di tre tipi:

- Zone di Attenzione (ZA) negli studi per la Carta delle MOPS;
- Zone di Suscettibilità (ZS) negli studi per la Carta di MS;
- Zone di Rispetto (ZR) negli studi di per la Carta di MS.

Concettualmente, il significato dei tre tipi di zone è il seguente:

- Zone di Attenzione (ZA): sono zone nelle quali i dati a disposizione indicano la presenza di condizioni predisponenti l'instabilità in esame, ma non sono sufficienti, in quantità e tipologia, per definire se l'instabilità possa effettivamente verificarsi in caso di evento sismico; è possibile, tuttavia, ad esempio attraverso la consultazione di inventari, stabilire la presenza e/o l'accadimento di eventuali fenomeni in occasione di eventi sismici passati. Resta comunque l'opportunità di produrre, anche in questa fase, dati originali in situ e in laboratorio, se le informazioni disponibili non sono sufficienti.
- Zone di Suscettibilità (ZS): sono zone nelle quali, a seguito di una raccolta dati specifica per l'instabilità in esame e l'applicazione di metodi di analisi il più delle volte semplificati (per permettere un'applicazione dei risultati a un'area estesa), è possibile fornire una stima quantitativa della pericolosità.
- Zone di Rispetto (ZR): sono zone nelle quali, a seguito di una raccolta dati specifica per l'instabilità in esame e l'applicazione di metodi di analisi il più delle volte avanzati (per analizzare dettagliatamente aree limitate e/o particolarmente importanti), è possibile quantificare in modo affidabile la pericolosità.

C1	C2	C3	IL	ZONE	CARTA	LIVELLO MS
Si	Si	Si	-	Z <sub>A,LQ</sub> (Zona di Attenzione)	MOPS	1
Si	Si	Si	2 < IL ≤ 15	Z <sub>S,LQ</sub> (Zona di Suscettibilità alla liquefazione)	MS	3 (in alcune condizioni geologiche livello 2, limitatamente per a <sub>max</sub> )
Si	Si	Si	> 15	Z <sub>R,LQ</sub> (Zona di Rispetto)	MS	3

Tabella 7 - Schema riassuntivo per la verifica delle condizioni per l'individuazione delle zone (Linee Guida LQ, 2017)



La differenza tra Zona di Suscettibilità e Zona di Rispetto, al termine dello studio, è data, oltre che dall'applicazione dei metodi diversi di analisi ("avanzati" in ZR), dal diverso livello di pericolosità (più elevato nella ZR), espresso attraverso uno specifico parametro descrittivo dell'instabilità considerata (faglia attiva e capace, liquefazione, fenomeno franoso).

## **9. Analisi della suscettività alla liquefazione**

### **9.1. Descrizione del fenomeno fisico e delle zone di liquefazione**

Con il termine "liquefazione" si indicano vari fenomeni fisici (liquefazione in campo libero, mobilità ciclica, fluidificazione), osservati nei depositi e nei pendii sabbiosi saturi durante i terremoti forti ( $M_w \geq 5$ ), che hanno come elemento comune, per effetto dell'instaurarsi di condizioni non drenate, un incremento e un accumulo delle pressioni interstiziali che può provocare una drastica caduta della resistenza al taglio e quindi una perdita di capacità portante del terreno.

In particolare, in relazione alla geometria del problema, si definisce:

- **Liquefazione in campo libero** (free field liquefaction) il fenomeno di instabilità in assenza sforzi di taglio statici di taglio statici.
- In relazione alla severità dell'evento e nel caso in cui siano presenti sforzi di taglio statici, si definiscono:
- **Mobilità ciclica** (cyclic mobility) il fenomeno di instabilità in presenza sforzi taglio statici di entità inferiore alla resistenza al taglio post entità inferiore alla resistenza al taglio post-sisma;
- **Fluidificazione** (flow liquefaction) il fenomeno di instabilità in presenza sforzi taglio di entità superiore alla resistenza al taglio post-sisma.

In relazione alla severità dell'evento ed alle condizioni geometriche e di stato tensionale iniziale, gli effetti della liquefazione possono essere molto diversi.

In condizioni free field in genere prevalgono i fenomeni del tipo indicato di seguito:

- crateri, vulcanelli, fuoriuscite di acqua e sabbia;
- grandi oscillazioni e rotture del terreno;
- abbassamenti e sollevamenti del terreno.

La severità di questi fenomeni cresce al crescere dell'intensità sismica, dell'estensione della zona soggetta a liquefazione e al ridursi della soggiacenza della falda.



In presenza di sforzi di taglio statici prevalgono invece fenomeni del tipo indicato di seguito:

- movimenti orizzontali del terreno (lateral spreading);
- movimento di masse fluide/collasso di pendii naturali e artificiali;
- perdita di capacità portante delle fondazioni;
- galleggiamento di opere sotterranee;
- collasso di opere di sostegno e banchine portuali.

La liquefazione intesa in senso stretto (fluidificazione o soliflussione) causa effetti significativamente più severi di quelli osservabili nel caso di mobilità ciclica.

#### 9.2. Modalità di costruzione della Carta di MS - livello 3 (fase 1 delle Linee guida LQ)

Secondo quanto previsto dalle Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazione (LQ), versione 1.0, sono state condotte indagini nelle ZALQ definite in fase di Microzonazione di Primo Livello per arrivare alla determinazione delle ZSLQ -Zone di Suscettibilità alla liquefazione.

L'approfondimento di Terzo Livello è stato condotto grazie all'acquisizione dei risultati delle prove geofisiche (ReMi) condotte specificatamente per gli studi di MS.

Attraverso l'analisi dei dati ReMi è possibile raggiungere i seguenti obiettivi:

- stimare l'amplificazione per mezzo di abachi di amplificazione litostratigrafica;
- definire con dati più accurati la geometria della zona nella quale è possibile il verificarsi della liquefazione;
- attribuire per quella zona, con analisi semplificate, un Indice di potenziale di Liquefazione medio (IL), ripartito in quattro classi:

<b>IL</b>	<b>Classi</b>
$0 < IL \leq 2$	Nulla- Basso
$2 < IL \leq 5$	Moderato
$5 < IL \leq 15$	Alto
$IL > 15$	Molto Alto

Tabella 4 - Indice del potenziale di Liquefazione medio (IL) e relativa classificazione (Linee Guida LQ, 2017)

- stimare le incertezze dei risultati ottenuti dalle indagini in situ e dei metodi di analisi della suscettibilità;
- definire le aree di  $ZS_{LQ}$  e di  $ZR_{LQ}$ .



### 9.3. Verifica alla Liquefazione dei terreni

Trattandosi di uno studio a carattere pianificatorio è stato impiegato un approccio che comprende l'analisi dei profili di velocità delle onde di taglio, secondo i quali definire l'indice del potenziale di liquefazione medio, rimandando alle specifiche e puntuali analisi sulle verticali dei siti oggetto di espansione urbanistica secondo quanto previsto dalla NTC2018 e dalle Linee Guida LQ, 2017.

#### Liquefazione

I fenomeni di liquefazione dei terreni avvengono frequentemente in depositi sabbiosi e/o sabbioso limosi poco addensati, a granulometria uniforme, normalmente e sotto-consolidati, e saturi. Durante la fase di carico, le sollecitazioni indotte nel terreno, quali possono essere quelle derivanti da un evento sismico, possono causare un aumento delle pressioni interstiziali fino a eguagliare le tensioni efficaci (dovute al carico dei sedimenti soprastanti). Viene così annullata la resistenza al taglio del terreno secondo il principio delle pressioni efficaci di Terzaghi, e si assiste così a un fenomeno di fluidificazione del suolo.

È sufficiente che sia verificata l'esistenza di 4 condizioni predisponenti (AGI, 2008):

1. terreni sabbiosi
2. falda a profondità inferiore a 15 m
3.  $M_w$  attesa al sito  $>5$
4. Accelerazioni massime in superficie (PGA)  $>0.1$  g.

Nell'area del comune di Castelfranco Veneto i depositi francamente sabbiosi non sono frequenti mentre si trovano sedimenti spesso ghiaiosi e di spessore variabile; la variabilità tessiturale non consente di escludere la presenza di livelli liquefacibili.

La falda si trova a profondità variabili; a sud è molto prossima al piano campagna (intervallo 0-2 m).

L' $M_w$  attesa al sito è superiore a 5.

Le accelerazioni massime in superficie (PGA) sono comprese tra circa 0,15 e 0,20 g.

Pertanto, essendo tutte e quattro le condizioni verificate, si è resa necessaria un'indagine di approfondimento.



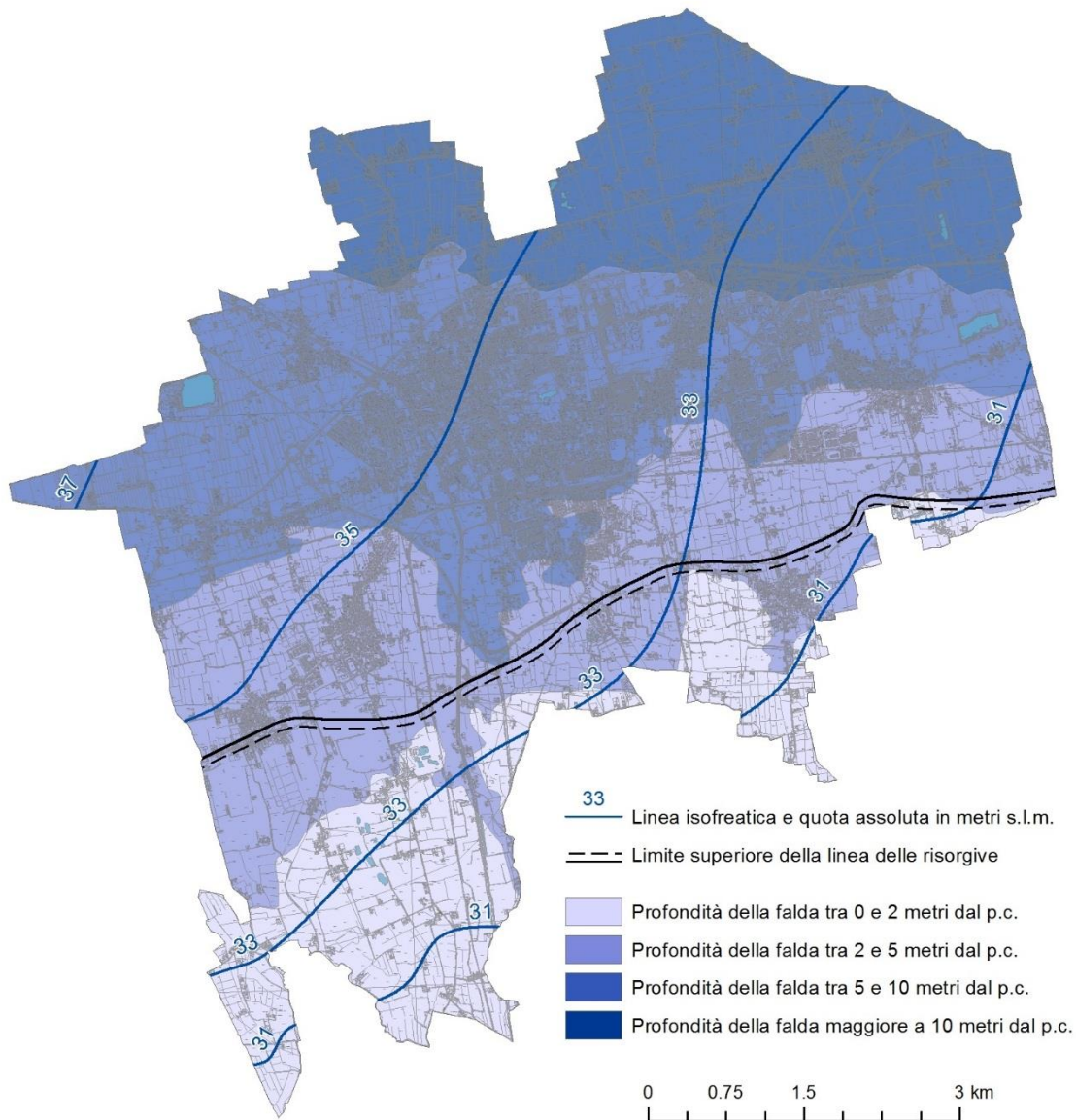


Figura 5 – Carta delle isofreatiche e della soggiacenza della falda del Comune di Castelfranco Veneto.

### Analisi preliminare delle Vs ai fini della liquefazione

#### **Premessa**

È stata condotta un'analisi dei profili di Vs30 applicando il metodo di verifica alla liquefazione basato sull'esame delle onde di taglio Vs. Per ciascun punto di stazione si è ricostruito il profilo verticale di velocità a intervalli di 2 m, potendo quindi confrontare in maniera omogenea l'intero set di dati acquisiti.

La validità del metodo è assicurata dal fatto che sia la Velocità Vs e sia la resistenza alla liquefazione CRR sono determinate dai medesimi fattori (ad esempio: rapporto dei vuoti,



stato di sforzo, storia dello sforzo, età geologica, ecc.). Inoltre, le Vs assicurano ulteriori vantaggi che possono essere così riassunti:

- contrariamente alle CPT, le misure di Vs sono possibili su qualunque tipo di substrato, sia soffice che addensato, consolidato o ghiaioso;
- la Vs è una proprietà meccanica intrinseca del suolo direttamente correlata al modulo di rigidità;
- la misura di Vs interessa un volume medio di terreno risultando maggiormente rappresentativa del sottosuolo ai fini della pianificazione;
- nella fase di realizzazione dello studio di MS viene solitamente eseguita una campagna di rilievi ReMi/MASW sufficientemente estesa all'intero territorio comunale consentendo un'adeguata rappresentazione dei parametri elastici, mentre di solito non vi è una paragonabile densità di prove geognostiche disponibili.

#### **Criteri adottati per la selezione dei punti potenzialmente liquefacibili**

L'analisi delle Vs è stata dapprima rivolta ad escludere quei terreni che nell'intero profilo di velocità mostrano valori superiori alla soglia minima per poter avere liquefazione potenziale.

Per questo fine sono state proposte in passato numerose procedure semplificate per calcolare la resistenza alla liquefazione di un suolo granulare usando la velocità delle onde di taglio (Robertson et al., 1992; Robertson e Write, 1997; Andrus e Stoke, 1997 e 2000; Andrus et al., 2003 e 2004, Kayen et al., 2013).

Esistono diversi grafici di correlazione CSR/Vs1 fondate su banche dati che hanno esaminato decine di casi di siti che hanno subito liquefazione.

In tali studi la velocità Vs è corretta dalla sovrappressione usando l'equazione:

$$V_{s1} = V_s C_{Vs} = V_s (P_a / \sigma'_v)^{0.25}$$

Dove

$V_{s1}$  = velocità delle onde di taglio corretta della sovrappressione;

$V_s$  = velocità delle onde di taglio misurate in situ;

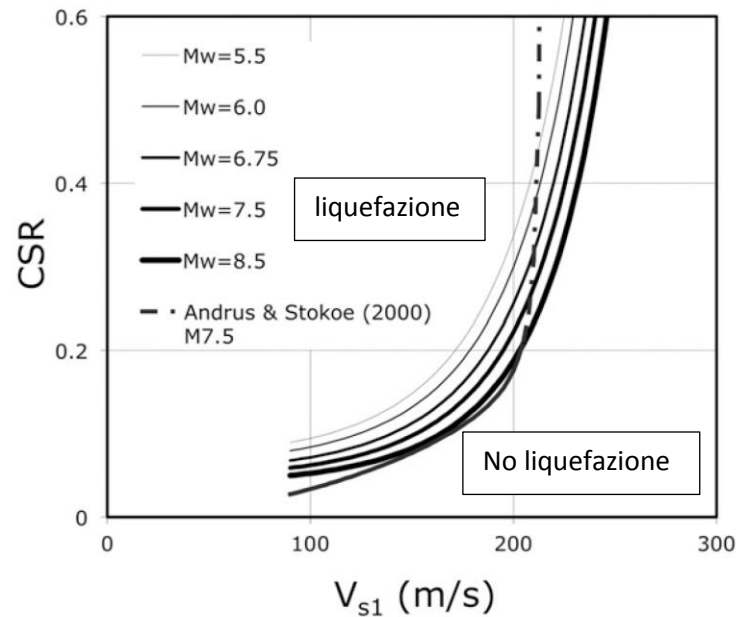
$P_a$  = pressione atmosferica approssimativamente pari a 100 kPa

$\sigma'_v$  = pressione effettiva alla stessa unità di misura di Pa



(secondo Scora, 1987, Kayen et al., 1992; Robertson et al., 1992; Kayen et al., 2013)

Nella figura seguente il grafico tratto da Kayen et al., 2013 mostra come la VS1 cambi in rapporto al CSR per valori variabili di Mw da 5.5 a 8.5.



**Fig. 6.** Correlation curves for magnitudes 5.5–8.5 ( $P_L = 15\%$ ;  $\sigma'_{vo} = 100$  kPa)

Figura 6 – Curve di correlazione CSR/VS1 secondo Kaye et al., 2013.

Da questa figura si evince come, in condizioni predisponenti alla liquefazione (secondo i parametri Mw, granulometria, profondità della falda, ecc.), per valori di  $V_{S1} > 215$  m/s non si abbia liquefazione (con relativamente bassi valori di CSR). Poiché secondo Kayen et al. (2013) per depositi superficiali si stabilisce che CVS sia da considerare al massimo 1,5, ne consegue che il limite inferiore di Vs sia pari a: 143 m/s. Considerando tuttavia in via cautelativa un CVS pari a 1 (tenuto conto che il contributo principale alla liquefazione si trova in corrispondenza della fascia 0-5 m) il valore di Vs risulta comunque pari a circa 210 m/s. Per il presente studio si è utilizzato un valore di soglia prudenziale pari a 220 m/s.



### **Analisi preliminare dei valori di Vs**

Sono stati presi in considerazione tutti i punti stazione ReMi eseguiti per il presente studio.

L'analisi dei profili di Vs ha permesso di riconoscere per alcuni siti valori inferiori a 220 m/s e solo per i primi due/quattro metri di profondità. Il valore minimo è risultato pari a 131 m/s.

Si è quindi applicato per questi valori il metodo semplificato di Andrus e Stokoe (1997) modificato (i relativi calcoli sono riportati in figura 9).

Sono stati utilizzati i seguenti parametri d'ingresso. Si consideri che tale analisi è particolarmente conservativa poiché è stato considerato per ciascun singolo parametro il valore più cautelativo riscontrabile.

- $\gamma=1.9$
- profondità falda per ogni singola indagine
- Vs di ogni singola indagine
- $M=6,6$
- $F_c < 5\%$
- $A_{max}=0.15$  (zona 3)



VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE				
(da prove sismiche a rifrazione)				
Metodo semplificato				
Metodo di Andrus e Stokoe (1997) modificato				
<b>PARAMETRI:</b>				
$\gamma$	=	1.9	g/cm <sup>3</sup>	
$\sigma_{va}$	=	0.38	kg/cm <sup>2</sup>	
$\sigma_{va}'$	=	0.38	kg/cm <sup>2</sup>	
profondità della prova	=	200	cm	
profondità falda	=	690	cm	
$\gamma_{H2O}$	=	1	g/cm <sup>3</sup>	
Pressione neutra	=	0	kg/cm <sup>2</sup>	
z	=	2	m	
$V_s$	=	180		
$V_{s1c}$	=	220	m/s	
				FC<5% 220
				FC=20% 210
				FC>35% 200
$V_{s1}$	=	229.26		
M	=	6.6		
MSF	=	1.52	se M<7.5	
		1.39	se M>7.5	
<b>FORMULE:</b>			<b>RISULTATI:</b>	
$V_{s1}$	=	$V_s (1/\sigma_{va})^{0.25}$		229.26
				$V_{s1}$
R	=	$0.03^* (V_{s1}/100)^2 + (0.9(V_{s1c}-V_{s1})) - (0.9V_{s1c})$	=	0.056386767
				R
T	=	$0.65^* [(a_{ms}/g) * (\sigma_{va}'/\sigma_{va})] * r_d * VMSF$	se M<7.5 =	0.054160273
			se M>7.5 =	0.059555312
				$T_{M<7.5}$
				$T_{M>7.5}$
$a_{ms}/g$	=	0.15		
$r_d$	=	0.847		
$F_s = R/T$	>	1	se M<7.5 =	1.041109352
			se M>7.5 =	0.946796602
				Verificato $F_s$
				Liquefacibile

\*Software Freeware distribuito da geologi.it!  
 Studio Geologico Dott. Sebastiano Giovanni Monaco  
 Via Torrente Trapani n. 13 - MESSINA (ME) - 98121 -  
 E mail: sg.monaco@libero.it - Tel: 3394103820

Figura 7 – Software di valutazione della liquefazione secondo Andrus e Stokoe, 1997 (modificato);  
 ©S.B. Monaco, Messina.

I calcoli sono stati ripetuti per ciascun sito che presentava  $V_s < 220$  m/s.

	PROF. FALDA (m)	PROF. PROVA (h)	VSh	Fs
REMI 1	2.6	2	131	verificato
REMI 2	1.7	4	216	verificato
REMI 3	3	2	177	verificato
REMI 4	4.2	2	157	verificato
REMI 5	6.9	2	176	verificato
REMI 7	1.9	4	217	verificato
REMI 8	7	2	173	verificato
REMI 14	2.3	2	170	verificato
REMI 16	5.5	2	169	verificato
REMI 19	3.5	2	145	verificato

Tabella 5 – Tabella riassuntiva dei siti oggetto di calcolo.



**Tutti i profili di Vs disponibili hanno dato un  $F_s > 1$  risultando quindi verificati ai fini della liquefazione.**

#### 9.4. Interpretazioni e incertezze

E' necessario tener conto delle limitazioni di tale approccio.

Nel caso dell'analisi di Vs sono stati considerati i valori medi su intervalli di 2 metri con punti di misura distribuiti arealmente sull'intero territorio comunale in numero rappresentativo per uno studio volto alla pianificazione. Benché in questa fase non siano state utilizzate anche le misure di Vs pregresse (non si disponeva dei dati di campagna per poter rielaborare omogeneamente i dati ai fini della MS di terzo livello) i valori di Vs30 erano comunque genericamente compatibili con la presenza di terreni non liquefacibili. Pertanto lo studio, che ha un carattere pianificatorio, non può considerare eventuali specifiche e limitate condizioni locali che dovranno essere valutate di volta in volta secondo la normativa vigente e in funzione delle specifiche destinazioni d'uso del sito.



## 10. Proposta di normativa tecnica per il Piano degli interventi

### 10.1. Premessa

- a. Tutti gli interventi che prevedano nuove costruzioni, modifiche strutturali, ampliamenti, ristrutturazioni e opere infrastrutturali nel territorio comunale di Castelfranco Veneto, dovranno essere progettati adottando criteri antisismici di cui al D.M. 17.01.2018 (NTC 2018) e alle eventuali s.m.i. relative agli argomenti specifici.
- b. La carta di microzonazione sismica di secondo livello, basata su fattori di amplificazione elaborati con abachi e metodi semplificati, deve essere utilizzata come approccio per inquadrare la possibile risposta sismica locale e per progettare la tipologia di indagini necessarie in sede esecutiva.
- c. La scelta della tipologia e metodologia di indagine dovrà essere commisurata all'importanza dell'opera e, in ogni caso, dovrà essere adeguatamente motivata.

### 10.2. Modalità di applicazione degli approfondimenti a norma del DM 17.01.2018 (NTC 2018)

Il D.M. 17.01.2018, al paragrafo 2.4.2 "Classi d'uso", in presenza di azioni sismiche e con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, suddivide le costruzioni in quattro classi d'uso definite in base alla frequentazione, alla funzione, alle attività e all'utilizzo.

Su tutto il territorio comunale dovranno essere effettuate le indagini e gli studi indicati di seguito.

- a. Classe I: costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

**Prescrizioni:** per queste costruzioni, in funzione dell'ubicazione e della tipologia, potranno essere utilizzati i dati e le informazioni sismiche contenuti nello studio di microzonazione sismica, oppure eseguite indagini come illustrato per gli edifici in classe II.

- b. Classe II: costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in classe d'uso III o in classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.





**Prescrizioni:** per queste costruzioni si prevede l'esame dei dati e delle informazioni sismiche contenuti nello studio di microzonazione sismica e, quindi, l'applicazione di metodi semplificati per valutare l'amplificazione sismica locale.

**Tipologie di indagine:** per l'applicazione dei metodi semplificati si riporta rimanda a quanto indicato dal D.M. 17.01.2018 al paragrafo 3.2.2 "ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, bisogna valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, come indicato nel paragrafo 7.11.3, In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, VS. I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità VS per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2".

Pertanto, la determinazione della velocità delle onde di taglio Vs, dovrà essere fatta utilizzando indagini sismiche, in foro (cross-hole, down-hole, cono sismico) o in superficie (MASW, ReMi, ESAC, sismica a rifrazione). Per le indagini in superficie sarà preferibile abbinare l'uso di tecniche attive e passive. Abbinare alle determinazioni di Vs si dovranno eseguire anche misure di rumore sismico ambientale a stazione singola (tecnica HVSR), al fine di stabilire la frequenza fondamentale di vibrazione dei terreni (o il periodo proprio), da confrontarsi con le frequenze proprie degli edifici. Le acquisizioni e le elaborazioni di queste misure seguiranno le linee guide del Progetto SESAME.

c. Classe III: costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

**Prescrizioni:** si veda il successivo punto d), Classe IV.

d. Classe IV: costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5



novembre 2001, n. 6792, “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade”, e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

**Prescrizioni:** per le costruzioni ricadenti nelle classi III e IV si prevede l’analisi della Risposta Sismica Locale (RSL) come indicato al paragrafo 7.11.3 del D.M. 17.01.2018 “Risposta Sismica e stabilità del sito”.

Per l’analisi di RSL dovranno essere acquisiti i parametri necessari alla ricostruzione del modello geotecnico e sismostratigrafico del sottosuolo, con particolare attenzione alla ricostruzione della profondità e della morfologia del substrato rigido o di un deposito ad esso assimilabile. L’analisi di RSL dovrà essere condotta utilizzando codici di calcolo monodimensionali, bidimensionali o tridimensionali, in funzione dell’assetto strutturale del sottosuolo.

**Tipologie di indagine:** oltre a quanto previsto dalla normativa, si sottolinea la necessità di eseguire le seguenti indagini per una corretta modellazione:

- esecuzione di sondaggi geognostici per la definizione della successione sismostratigrafica e delle diverse “unità” geotecniche;
- prove sismiche in foro (cross hole, down hole, cono sismico) finalizzate alla conoscenza della velocità delle onde di taglio fino ad un’idonea profondità, in funzione dell’opera in progetto e, comunque, se possibile, fino a raggiungere il “bedrock sismico”;
- prelievo di campioni di terreno e successive analisi di laboratorio per valutare la dipendenza della rigidità e dello smorzamento del livello deformativo, e per la determinazione, in dipendenza del legame costitutivo adottato per i terreni, dei parametri di ingresso necessari alle analisi. Le prove di laboratorio possono consistere in prove cicliche di taglio torsionale o di taglio semplice, prove di colonna risonante, prove triassiali cicliche, ecc.;
- la relazione illustrativa delle indagini dovrà contenere i grafici relativi alle misure effettuate ed alla loro interpretazione.

### 10.3. Analisi di Risposta Sismica Locale

Si dovrà applicare a:



Edifici e opere elencati nella DGRV n. 3645 del 28 novembre 2003, allegati A e B e nel Decreto del capo della Protezione Civile n. 3685 del 21 ottobre 2003 (edifici e opere di interesse strategico ai fini di protezione civile e rilevanti per l'uso).



## 11. Bibliografia

- Bard, P.Y. and Bouchon, M.; 1985: The 2D resonance of sediment-filled valleys. Soc. Am., 75, 519-541.
- Bosellini A. and Doglioni C. (1988): Progradation Geometries of Triassic Carbonate Platforms of the Dolomites, and Their Large-Scale Physical Stratigraphy. AAPG excursion in the Dolomites: Guide book. Mediterranean Basins - Nice Conference, Field Trip n. 6, 1-45.
- Bondesan A. e Busoni S.; 2015: Geomorfologia della provincia di Treviso, Grafiche Antiga, 176 pp, due carte allegate in scala 1:250.000.
- Burrato P., Ciucci F. and Valensise G.; 2003: An inventory of river anomalies in the Po Plain, Northern Italy: Evidence for active blind thrust faulting. Ann. Geophys., 46, pp. 865-882.
- Burrato et al.; 2008: Sources of Mw 5+ earthquakes in northeastern Italy and western Slovenia: An updated view based on geological and seismological evidence.
- Castellarin A.; 2002: The Italian side of the Transalp seismic reflection profile-geological overview. Boll. Soc. Geol. Ital., Spec. Vol. 1, pp. 61-65.
- Castellarin A. and Cantelli L.; 2000: Neo-Alpine evolution of the Southern Eastern Alps. J. Geodyn., 30, 251-274.
- Dal Piaz G.V., Antonelli R., Barbieri G., Dal Prà A., De Zanche V., Grandesso P., Mietto P., Sedeà R., Zanferrari A. and Spagna V.; 1988: Carta Geologica del Veneto Scala 1:250.000. Note illustrative. Servizio Geologico d'Italia and Regione Veneto, SELCA, Firenze, Italy, 31 pp.
- Doglioni C.; 1990: Thrust tectonics examples from the Venetian Alps. Studi Geol.
- Favero V. e Grandesso P.; 1982: Nuovi affioramenti di Pliocene marino nei dintorni di Bassano del Grappa – Vicenza, Memorie della Società Geologica Italiana, 24, pp. 71-77.
- Francesco R. (2014, inedito): La tecnica HVSR.
- Gruppo di Lavoro MS; 2008: Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome. Dipartimenti della Protezione Civile, Roma "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica".
- Loke; 2001: Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies.
- Mazzola M.; 2003: Carta Freatimetrica Provinciale – deflussi di magra, rilievi marzo 2002, Provincia di Treviso – Assessorato alle Politiche per l'Ambiente.



- Mazzola M.; 2003: Carta della Soggiacenza– Idrogeologia e carta freaticometrica della provincia di Treviso. Provincia di Treviso – Assessorato alle Politiche per l’Ambiente.
- Meletti C. and Valensise G.; 2004: Zonazione sismogenetica ZS9 - App.2 al Rapporto Conclusivo. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Roma, Italy, 38 pp.
- Meletti C., Patacca E. and Scandone P.; 2000: Construction of a seismotectonic model: The case of Italy. Pageoph, 157, pp. 11-35.
- Nakamura, Y.; 1989: A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, Quaterly Report Railway Tech. Res. Inst., 30, pp. 25–30.
- Nakamura, Y.; 2000: Clear identification of fundamental idea of Nakamura’s technique and its applications, Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand.
- Nogoshi, M. and Igarashi, T.; 1971: On the Amplitude Characteristics of Microtremor (Part 2) (in Japanese with English abstract), Jour. Seism. Soc. Japan, 24, pp. 26-40.
- Olivotto M. (2013) Relazione geologica (R5), Zeta Esse sc, Piano di Assetto del Territorio del Comune di Castelfranco Veneto .
- Park, C. B., Xia, J., and Miller, R. D.; 1998: Ground roll as a tool to image near-surface anomaly: 68th Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, pp. 874–877.
- Regione del Veneto “Linee guida per l’esecuzione di studi di microzonazione sismica”, Allegato A.
- Slejko D., Carulli G.B., Carraro F., Castadini D., Cavallin A., Doglioni C., Iliceto V., Nicolich R., Rebez A., Semenza E., Zanferrari A. and Zanolla C.; 1987: Modello sismotettonico dell’Italia nord-orientale. CNR, Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (GNDR), Trieste, Italy, 84 pp.
- Slejko D., Carulli G.B., Nicolich R., Rebez A., Zanferrari A., Cavallin A., Doglioni C., Carraro F., Castaldini D., Iliceto V., Semenza E. and Zanolla C.; 1989: Seismotectonics of the eastern Southern-Alps: A review. Boll. Geof. Teor. Appl., 31, pp. 109-136.
- Slejko D., Rebez A. and Peruzza L.; 2003: Analisi e studi necessari per la valutazione della pericolosità sismica del territorio veneto. Rel. 2/03-OGA-1, Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale, Trieste, 38 pp.



Stokoe, K. H., II, Wright, G. W., James, A. B., and Jose, M. R.; 1994: Characterization of geotechnical sites by SASW method, in Woods, R. D., Ed., Geophysical characterization of sites: Oxford Publ.

Sugan M., L.Peruzza; 2011: Distretti sismici del Veneto. Boll. Geof. Teor. Appl., 52, suppl. 4, pp. 3-90.

Valensise G. and Pantosti D.; 2001: Database of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy. Ann. Geof., 44, pp. 1-180.

Zanferrari A., Bollettinari G., Carobene L., Carton, A., Carulli G. B., Castaldini D., Cavallin A., Panizza, M., Pellegrini G. B., Pianetti F., Sauro U.; 1982: Evoluzione neotettonica dell'Italia Nord Orientale. Mem. Sc. Geol., 35, pp. 355-376.



## 12. Appendici

### 12.1. La tecnica dei microtremori (Refraction Microtremors – ReMi)

Le tecniche di misura dei microtremori (denominata anche degli stendimenti sismici lineari passivi) è una derivazione delle tecniche SASW (Spectral Analysis of Surface Waves) e MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) che si basano sull'elaborazione delle proprietà spettrali delle onde di superficie per la costruzione di un modello verticale di velocità di propagazione delle onde di taglio.

Il principio ispiratore della tecnica SASW e MASW è il carattere dispersivo delle onde di Rayleigh quando queste si propagano in un mezzo stratificato. La dispersione consiste nella variazione della velocità di fase a diverse frequenze. All'aumento della lunghezza d'onda (abbassamento di frequenza) la profondità coinvolta dalla propagazione dell'onda è via via maggiore. È quindi possibile, impiegando onde di un certo intervallo di frequenza, caratterizzare le proprietà acustiche dei terreni sino ad una certa profondità. La velocità delle onde di taglio viene ricavata sulla base della seguente equazione:

$$V_S \approx 0.9V_{RAYLEIGH} \quad (1);$$

Il coefficiente che lega  $V_{RAYLEIGH}$  a  $V_S$  presenta una scarsa variabilità al variare del rapporto di Poisson e si considera quindi che il valore di 0.9 possa essere valido nella maggior parte dei casi.

Una volta che la curva di dispersione è stata calcolata dai dati si può impiegare una tecnica di modellazione diretta (forward modeling) associata a tecniche di best fitting per stimare il profilo verticale di velocità delle onde di taglio ( $V_S$ ).

I rilievi SASW (Stokoe et al, 1994) consistono nel fare misure di velocità di fase delle onde di superficie a varie lunghezze d'onda ed usare queste misure per calcolare la curva di dispersione del sito. Alla figura seguente compare un tipico schema di un sistema di registrazione per misure SASW. Le velocità di fase sono ricavate per confronto diretto degli spettri di ampiezza e fase di ciascuna coppia di sismometri, ottenuti istantaneamente in sito tramite un oscilloscopio che esegue una trasformata veloce di Fourier.





Tipiche spaziature dei ricevitori, per l'alta risoluzione, sono pari a 2, 3 e 5 m. Queste spaziature consentono di valutare il profilo di molti terreni sino alla profondità di 50-70 m.

La tecnica di rilievo MASW (Park et al., 1998) è stata sviluppata in parte per superare le difficoltà dell'applicazione dei rilievi SASW in ambienti rumorosi. La registrazione simultanea di 12 o più canali fornisce infatti una ridondanza statistica delle misure di velocità di fase migliorando la qualità del processo analitico. Il salvataggio delle tracce nel dominio temporale, previsto dal metodo, permette inoltre di analizzare in post-elaborazione le onde di Rayleigh. Mediante una particolare analisi spettrale (overtone analysis) è possibile diagrammare velocità di fase e frequenza. In questo dominio è possibile distinguere il modo fondamentale delle onde di superficie dal quale stimare la curva di dispersione e successivamente, mediante un processo di inversione, derivare il profilo 1-D della VS. La ripetizione delle misure lungo un profilo a basi multiple consente di evidenziare le variazioni laterali della Vs.

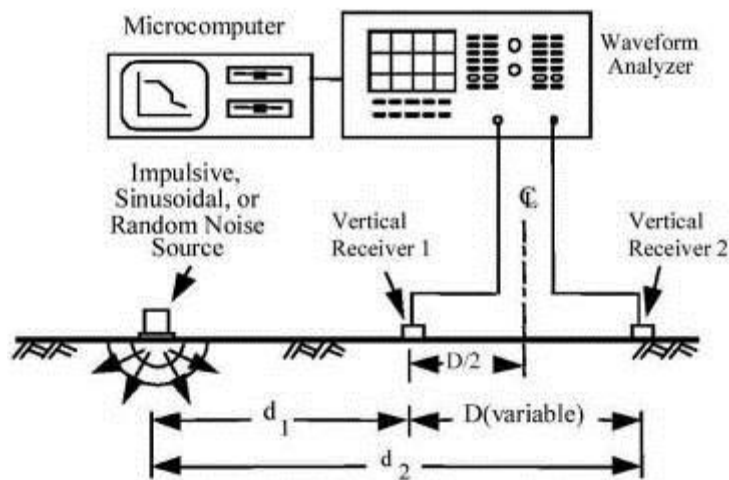


Figura 8 - Tipico schema di strumentazione per misure SASW con un sistema a due canali di registrazione (tratto da Stokoe et al., 1994).

La tecnica di analisi del sottosuolo mediante l'uso dei microtremori prende origine dagli studi e dalle sperimentazioni condotte da J. Louie presso la Nevada University. Il metodo combina la semplicità operativa del SASW con l'elevata risoluzione nei terreni più superficiali propria del MASW. I microtremori vengono registrati mediante uno stendimento lineare da 12 o più geofoni a bassa frequenza senza la necessità di dover



operare con un sorgente attiva. I dati vengono acquisiti mediante la classica strumentazione impiegata per i rilievi a rifrazione. Generalmente si impiegano geofoni con frequenza compresa nell'intervallo 4-14 Hz e tempi di registrazione di 15-30 s. L'impiego di campionatori di elevata dinamica (i.e. superiori a 144 dB) consente poi di dimezzare la frequenza utile campionabile rispetto a quella nominale dei geofoni. È quindi teoricamente possibile registrare onde di superficie il cui contenuto in frequenza è compreso nell'intervallo tra 2 Hz e 25-30Hz. Questo intervallo, in condizioni ottimali, può consentire di stimare, con buon dettaglio, il profilo della VS nei primi cento metri di profondità. Il rumore registrato viene convertito dal dominio x-t al dominio p-f (slowness-frequenza). Il parametro slowness (p), detto anche parametro di raggio, corrisponde all'inverso della velocità secondo la (2):

$$p \left[ \frac{s}{m} \right] = \frac{1}{V_{RAYLEIGH}}; \quad (2);$$

Un esempio di spettro di potenza (p-f) delle onde di superficie (un esempio in tal senso è visibile alla figura seguente).

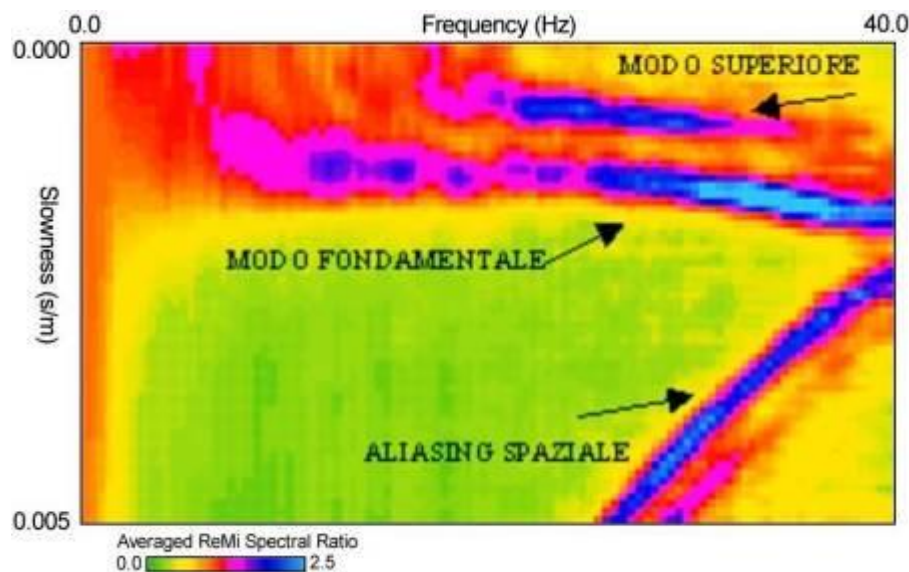


Figura 9 - Tipico spettro p-f di onde di Rayleigh nel quale si osservano un modo fondamentale ed una serie di modi superiori di vibrazione.

Nello spettro p-f sono chiaramente visibili una serie di eventi che presentano elevata energia e coerenza di ampiezza e fase. In particolare si distinguono i lobi spettrali del modo fondamentale delle onde di superficie (con carattere tipicamente dispersivo) ed



anche di alcuni modi superiori (onde di superficie di ordine superiore, onde di pressione, suono e rumore incoerente). In questo dominio viene stimata la curva di dispersione del modo fondamentale. Questa fase di analisi del dato è particolarmente critica in quanto vi possono essere alcuni casi nei quali i rami dei modi superiori sono più energetici di quello del modo fondamentale.

Nel caso del dato ReMi si ipotizza che la posizione della sorgente (rumore ambientale) non sia nota e quindi la velocità spettrale è di una velocità apparente. La curva di dispersione viene quindi individuata nella zona di transizione tra la massima potenza spettrale e la zona dello spettro nella quale il segnale è nullo.

Dopo aver individuato la curva di dispersione si procede con una tecnica di modellazione diretta e cioè si calcola la curva di dispersione teorica a partire da un modello acustico iniziale del sottosuolo. Il modello di sottosuolo viene quindi modificato, in termini di spessori e velocità delle onde S, sino a che la curva calcolata si sovrappone ai dati sperimentali. Lo scarto quadratico medio (errore RMS – Root Mean Square) tra misure sperimentali e curva calcolata è il principale indicatore di qualità del processo di modellazione. È evidente che in questo tipo di approccio solutorio non c'è univocità del risultato in quanto alla formazione del parametro fondamentale contribuiscono due variabili: lo spessore dello strato e la velocità e lo stesso valore parametrico può essere con combinazioni delle due variabili. In genere l'ambiguità viene risolta con l'ausilio di vincoli che consentano di "bloccare" una delle due variabili (disponibilità di dati stratigrafici o di altre misure geofisiche, etc.). Nel presente studio il problema dell'equivalenza non si pone in quanto la determinazione della  $V_s$  (come richiesto dalla normativa sismica nazionale) è stata fatta su uno spessore medio di 30 m di profondità senza la necessità di risolvere velocità alla scala del singolo strato, se non durante la fase di elaborazione.

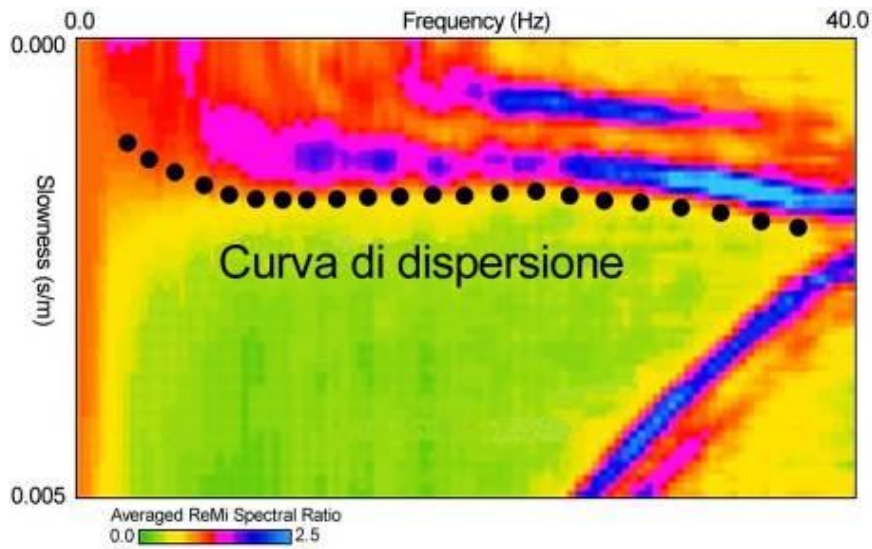


Figura 10 - Esempio di determinazione (picking) della curva di dispersione del modo fondamentale delle onde di Rayleigh.

Il risultato è dato quindi dalla sommatoria dei contributi dei singoli strati secondo la (3):

$$V_s 30 = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_i}}; \quad (3);$$

dove  $h_i$  e  $V_i$  rappresentano rispettivamente lo spessore e la velocità dell' $i$ -esimo strato.

Nella formulazione della VS30 una eventuale stima errata di spessore e/o velocità di uno strato viene forzatamente compensata nella stima di velocità e spessore in un altro segmento della colonna acustico-stratigrafica.

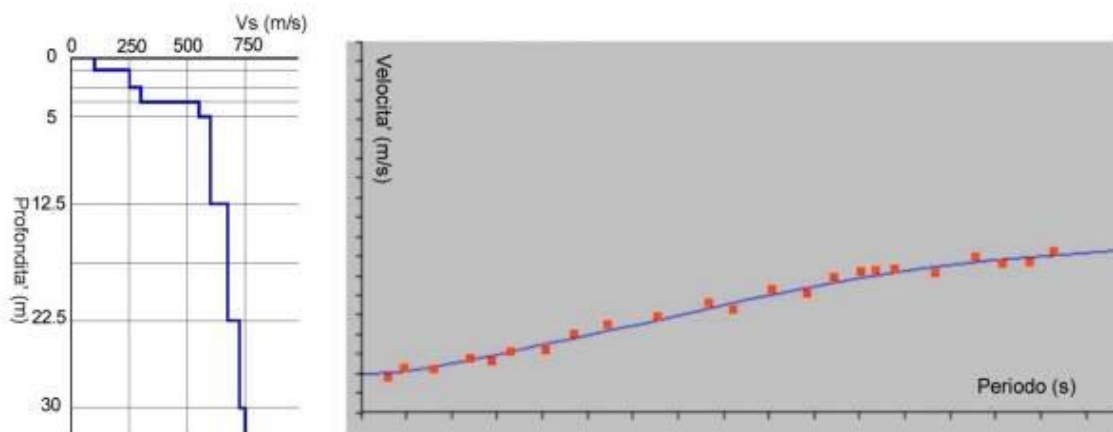


Figura 11 - Esempio di modellazione 1D della VS. Modello geometrico-acustico del sottosuolo (a sinistra). Confronto tra dati sperimentali (circoli rossi) e curva teorica (linea continua in blu) calcolata dal modello (a destra).



## 12.2. La tecnica HVSR

Il testo seguente riprende un testo originale inedito prodotto da R. Francese (2014) che a sua volta si basa su una traduzione di un articolo di Nakamura (1989, 2000).

La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) detta anche QTS (Quasi-Transfer Spectra) ha avuto recentemente molta attenzione in virtù della sua semplicità per identificare alcune importanti caratteristiche dinamiche dei suoli e delle strutture. La tecnica nasce da un'idea iniziale di Nogoshi and Igarashi (1971) ed è stata successivamente perfezionata da Nakamura (1989, 2000).

### Le vibrazioni del suolo

La comprensione della natura fisica e della composizione del campo d'onda che produce le vibrazioni del suolo è il primo elemento per comprendere questa tecnica. Il primo aspetto riguarda la sorgente delle vibrazioni ambientali ed il secondo, che comunque dipende dal primo, riguarda invece il modo di vibrazione delle onde che raggiungono la superficie. È poi importante sapere in questo campo d'onda (a) qual è il rapporto tra le onde di corpo (P, S) e le onde di superficie (Rayleigh e Love) e tra le onde superficiali (b) qual è il rapporto tra onde di Rayleigh ed onde di Love e infine, sempre per le onde superficiali, (c) qual è il rapporto tra modo fondamentale e modi superiori. I punti (b) e (c) ad oggi sono ancora da chiarire completamente.

Le vibrazioni del terreno possono essere distinte in due tipi: onde naturali ed onde antropiche e questo molto spesso corrisponde anche ad una differenziazione in termini del contenuto in frequenza (in special modo nelle aree urbane). Le basse frequenze (i.e. inferiori ad 1 Hz) sono prevalentemente di origine naturale e dovute all'azione delle onde marine (che hanno la massima energia intorno a 0.2 Hz). Nelle zone costiere le frequenze possono essere anche più alte (intorno a 0.5 Hz) e sono dovute all'interferenza tra l'onda incidente la costa e quella di ritorno. Frequenze molto basse sono anche quelle dovute ai piccoli movimenti crostali. Nell'ambito delle sorgenti naturali vanno annoverate anche il vento e l'acqua che scorre nel reticolo idrografico tuttavia le frequenze sono generalmente superiori ad 1 Hz.

Le alte frequenze (i.e. superiori ad 1 Hz) sono generalmente legate all'attività antropica (traffico di veicoli, navi e treni, industrie, etc.) e le sorgenti sono tipicamente sulla superficie terrestre (o poco sotto come nel caso delle metropolitane). Queste sorgenti



sono cicliche nell'alternanza giorno-notte e festività-lavoro. Ovviamente anche nel caso delle sorgenti non-naturali vi possono essere frequenze più basse, ma sono legate a situazioni locali (grandi motori, dighe, etc.).

Le sorgenti a bassa frequenza più energetiche sono spesso lontane (tipicamente mari ed oceani) e l'energia si propaga sotto forma di onde superficiali guidate nella crosta. La lunghezza d'onda è tale da consentire una grande penetrazione in profondità con associati fenomeni di diffrazione in corrispondenza di importanti discontinuità che localmente possono originare altre onde di superficie, ma anche onde P ed S. L'energia nella banda spettrale compresa tra 0.1 Hz ed 1.0 Hz si attenua via via che le onde penetrano nell'entroterra. In linea di principio c'è quindi più energia dovuta a onde naturali in vicinanza delle coste e meno all'interno dei continenti.

Le sorgenti ad alta frequenza sono generalmente locali ed il campo d'onda è costituito da onde di superficie, ma anche da onde di corpo (P ed S). All'aumentare della distanza le onde superficiali diventano prevalenti.

In letteratura sono disponibili pochi dati sulle proporzioni tra onde di corpo e onde superficiali e soprattutto sulle proporzioni tra onde di Rayleigh e di Love e modi fondamentali e superiori. I microsismi di bassa frequenza sono prevalentemente costituiti da onde di Rayleigh nel modo fondamentale.

<b>Vibrazioni</b>		
	<b>Microsismi</b>	<b>Microtremori</b>
Frequenza	0.1 Hz - 0.5 Hz sino ad 1 Hz	0.5 Hz - 1.0 Hz sino a 10 Hz
Sorgente	Mari ed oceani	Traffico, industria, etc
Campo d'onda	Onde superficiali	Onde superficiali ed onde di corpo
Ampiezza	In relazione alle tempeste	Ciclica giorno-notte festività-riposo
Rayleigh / Love	Campo d'onda incidente prevalentemente Rayleigh	Ampiezze confrontabili. Forse prevalenza delle onde di Love
Modo	Tipicamente fondamentale	Possibilità di modi superiori alle alte frequenze

Tabella 6 – Tipologia di vibrazioni

Le vibrazioni sono quindi abbastanza complesse in particolar modo alle alte frequenze dove il contributo antropico è più importante. Nell'interpretazione di dati HVSr è quindi importante considerare quali siano i contributi prevalenti delle diverse fasi (P, S, Rayleigh, Love) e dei diversi modi.



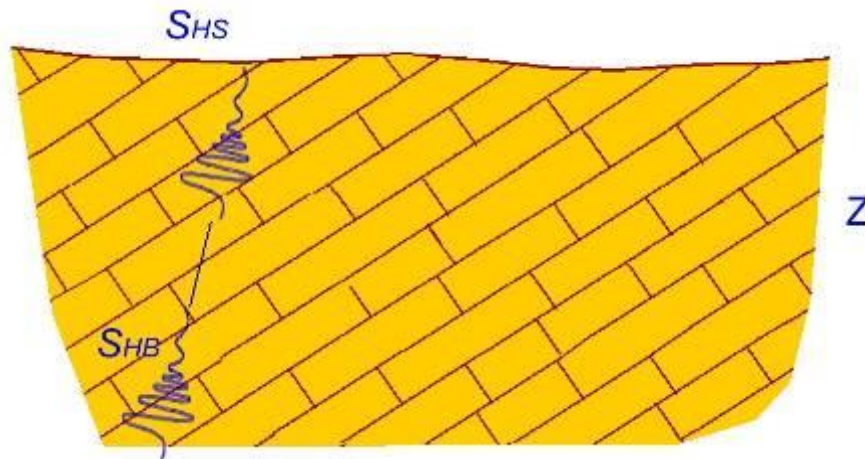


Figura 12 – Condizioni di sottosuolo rigido.  $S_{HS}$ : spettro dei microtremori alla superficie topografica;  $S_{HB}$ : spettro dei microtremori sul substrato (bedrock sismico).

Nakamura osserva che il rapporto tra la vibrazione orizzontale e verticale del terreno durante un terremoto è pari a circa 1 se il suolo è rigido. Secondo questo punto di vista nei suoli compatti non c'è un prevalere in termini di energia di una componente rispetto all'altra, le vibrazioni in senso orizzontale hanno la stessa energia di quelle verticali.

Le vibrazioni, in presenza di suoli poco compatti (tipicamente lenti) vengono invece amplificate. In prima approssimazione si può assumere che la vibrazione orizzontale si amplifichi attraverso la riflessione multipla delle onde di taglio, mentre la vibrazione verticale si amplifichi attraverso le riflessioni multiple delle onde di pressione.

Con le tipiche velocità di propagazione delle onde P (intorno ai 1000 m/s) le vibrazioni di frequenza uguale ed inferiore ai 10 Hz non vengono amplificate in modo significativo attraverso riflessioni multiple dovute a strati superficiali di bassa velocità. Le onde di Rayleigh subiscono invece amplificazioni verticali significative. L'effetto verticale dell'onda di Rayleigh può essere stimato come rapporto tra vibrazione verticale alla superficie e vibrazione verticale al substrato. L'effetto dell'onda di Rayleigh sulla componente verticale si avvicina a 0 quando questo rapporto vale 1.

Nelle ipotesi di Nakamura (1989) il modello geologico di partenza quindi è quello di un substrato veloce ubicato ad una profondità  $Z$  sul quale insiste uno strato superficiale di sedimenti caratterizzati da proprietà elastico-acustiche scadenti (i.e. bassa velocità).



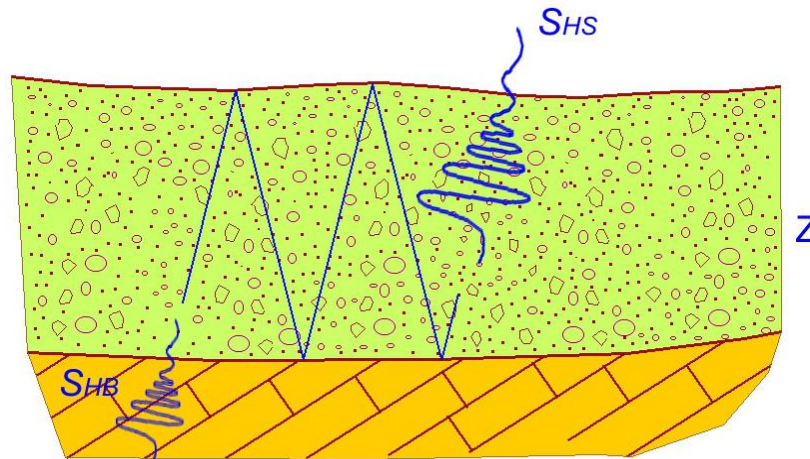


Figura 13 - Modello geologico di partenza nell'ipotesi di Nakamura (1989).  $S_{HS}$ : spettro dei microtremori alla superficie topografica;  $S_{HB}$ : spettro dei microtremori sul substrato (bedrock sismico).

La conoscenza dell'effetto dell'onda di Rayleigh consente di rimuoverla dalla vibrazione e stimare la sola funzione di trasferimento delle onde di taglio.

La funzione di trasferimento (TF), utilizzando le vibrazioni (microtremori), dell'ampiezza del moto delle onde di taglio che passano da un substrato rigido alla superficie attraversando un mezzo "sofficcio" si stima secondo la (1).

$$T_F = \frac{S_{HS}}{S_{HB}}; \quad (1)$$

$S_{HS}$  rappresenta lo spettro dei microtremori alla superficie topografica e  $S_{HB}$  rappresenta lo spettro dei microtremori sul substrato (bedrock sismico). Come abbiamo visto il microtremore può essere un insieme di onde di corpo (P ed S) e di onde superficiali (Rayleigh e Love) e queste ultime possono essere largamente prevalenti. È quindi necessario sottrarre la componente delle onde superficiali dal termine  $S_{HS}$  per ottenere correttamente la funzione di trasferimento.

Nakamura assume che le onde di Rayleigh siano presenti nello spettro verticale alla superficie ( $S_{VS}$ ) e non nello spettro verticale del base ground ( $S_{VB}$ ), assumendo ancora che il tremore verticale non è amplificato dagli strati superficiali (più prossimi alla superficie) la quantità  $E_S$  rappresenta l'effetto dell'onda di Rayleigh sul tremore verticale.

$$E_S = \frac{S_{VS}}{S_{VB}}; \quad (2)$$



Se non ci sono onde di Rayleigh  $E_S=1$  mentre  $E_S$  avrà valore più grande di 1 all'aumento dell'effetto delle onde di Rayleigh. Assumendo che l'effetto delle onde di Rayleigh è lo stesso sia per la componente orizzontale che per quella verticale  $T_F/E_S$  è sicuramente una più affidabile stima della funzione di trasferimento.

La nuova funzione di trasferimento è data dalla (3):

$$T_{FF} = \frac{T_F}{E_S} = \frac{R_S}{R_B}; \quad (3)$$

- dove  $R_S = S_{HS}/S_{VS}$  e  $R_B = S_{HB}/S_{VB}$ .  $R_S$  ed  $R_B$  si possono ottenere dividendo lo spettro orizzontale delle vibrazioni per lo spettro verticale delle stesse vibrazioni che corrispondono rispettivamente alle vibrazioni di un terremoto rispettivamente alla superficie ed al bedrock.  $R_B$  assume il valore di 1 per un intervallo relativamente ampio di frequenze. Nominalmente sul substrato rigido la propagazione è quasi in tutte le direzioni. Quindi:

$$R_B \approx 1 \rightarrow T_{FF} = R_S = \frac{S_{HS}}{S_{VS}}; \quad (4)$$

questo significa che la funzione di trasferimento può essere stimata esclusivamente dalle vibrazioni misurate alla superficie. In pratica le vibrazioni verticali alla superficie incorporano le vibrazioni orizzontali sul substrato sostituendo quindi le seconde. La presenza dell'onda di Rayleigh tende a rendere nulla questa sostituzione, ma siccome  $R_S$  assume all'incirca il valore di 1 nell'intervallo di frequenza dove l'onda di Rayleigh prevale diventa trascurabile nella stima della funzione di trasferimento.

Secondo alcuni altri autori (Bard, 1998) il picco del rapporto H/V dipende dalla presenza di onde di Rayleigh, ma Nakamura (2000) afferma che questo dipende solo dalla similarità dell'andamento del rapporto H/V dei microtrempi e dell'H/V del modo fondamentale dell'onda di Rayleigh.

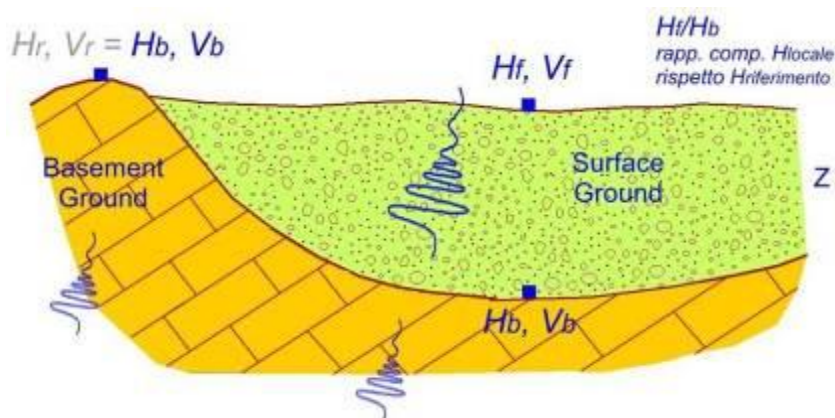


Figura 14 – Rappresentazione schematica di un profilo trasversale ad una valle alpina

Proviamo a spiegare meglio l'assunto di base immaginando di trovarci nelle condizioni della figura che può rappresentare una valle alpina. La vibrazione (microtremore) viene suddivisa in due parte in funzione del fatto che contenga l'onda superficiale (Rayleigh) ed altre onde. Gli spettri orizzontali e verticali sul fondovalle ( $H_f, V_f$ ) possono essere scritti come segue:

$$\begin{aligned} H_f &= A_h \cdot H_b + H_{rayleigh}; \\ V_f &= A_v \cdot V_b + V_{rayleigh}; \end{aligned} \quad (5)$$

$A_h$  ed  $A_v$  sono i fattori di amplificazione orizzontale e verticale di un'onda di corpo (P, S) incidente la superficie.  $H_b$  e  $V_b$  sono gli spettri orizzontali e verticali della vibrazione delle onde di corpo (P ed S) entro il substrato rigido.  $H_{rayleigh}$  e  $V_{rayleigh}$  sono invece gli spettri nella direzione orizzontale e verticale dell'onda di Rayleigh.

$$\begin{aligned} T_h &= \frac{H_f}{H_b}; \\ T_v &= \frac{V_f}{V_b}; \end{aligned} \quad (6)$$

$T_h$  e  $T_b$  sono le amplificazioni (funzioni di trasferimento) della vibrazione orizzontale (onda S) e di quelle verticali (onda P) alla superficie della valle rispetto al fianco dove il substrato è affiorante. In generale la velocità dell'onda P è molto più elevata (anche di 3 volte) rispetto a quella dell'onda S, in questa situazione stratigrafica la componente verticale,



nell'intervallo di frequenza dove la componente orizzontale viene fortemente amplificata, non viene amplificata ( $A_v=1$ ). Se non c'è effetto dell'onda di Rayleigh  $V_f \cong V_b$ , se invece  $V_f > V_b$  questo viene considerato come dovuto alle onde superficiali. Stimando quindi dell'effetto dell'onda di Rayleigh:  $V_f/V_b = T_v$  l'amplificazione orizzontale ( $T^*_h$ ) può essere scritta come:

$$T^*_h = \frac{T_h}{T_v} = \frac{\frac{H_f}{V_f}}{\frac{H_b}{V_b}} = \frac{QTS}{\frac{H_b}{V_b}} = \frac{\left[ A_h + \frac{H_{rayleigh}}{H_b} \right]}{\left[ A_v + \frac{V_s}{V_b} \right]}; \quad (7)$$

dove la QTS (Quasi Transfer Function):

$$QTS = \frac{H_f}{V_f} = \frac{A_h \cdot H_b + H_{rayleigh}}{A_v \cdot V_b + V_{rayleigh}} = \frac{H_b}{V_b} \cdot \frac{\left[ A_h + \frac{H_{rayleigh}}{H_b} \right]}{\left[ A_v + \frac{V_{rayleigh}}{V_b} \right]}; \quad (8)$$

Nell'equazione (8),  $H_b/V_b \cong 1$ .  $H_{rayleigh}/H_b$  e  $V_{rayleigh}/V_b$  sono invece associate al percorso dell'energia delle onde di Rayleigh. Quando la quantità delle onde di Rayleigh è elevata il secondo termine diventa dominante e  $QTS = H_{rayleigh}/V_{rayleigh}$  e la frequenza più bassa di picco di  $H_{rayleigh}/V_{rayleigh}$  è quasi uguale alla frequenza  $F_0$  più bassa di  $A_h$ . Intorno alla frequenza fondamentale  $F_0$  l'amplificazione verticale  $A_v=1$ . La QTS evidenzia chiaramente un picco stabile alla frequenza fondamentale  $F_0$ . Anche quando l'influenza dell'onda di superficie è significativa il termine  $V_{rayleigh}$  diventa piccola (determinando la presenza di un picco nel diagramma  $H_{rayleigh}/V_{rayleigh}$ ) nell'intervallo di frequenza intorno al picco determinato dalla riflessione multipla delle onde SH (vibrazione orizzontale).  $QTS = A_h$  se le vibrazioni del substrato  $V_b$  sono molto più energetiche rispetto alle onde di Rayleigh. Ecco che QTS rappresenta in prima approssimazione la frequenza fondamentale (di risonanza) determinata dalla riflessione multipla delle onde SH nello strato lento superficiale a prescindere dal grado di influenza delle onde di Rayleigh.

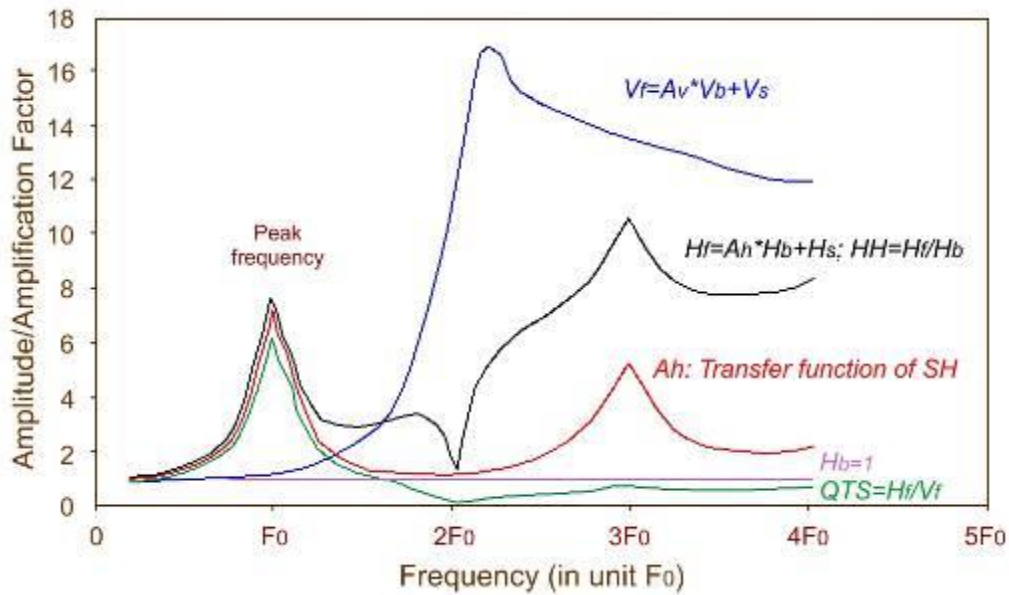


Figura 15 – Diagramma frequenza/amplificazione

Confrontando schematicamente le diverse componenti:

$V_f \rightarrow$  Componente \_verticale \_fondovalle;

$H_f \rightarrow$  Componente \_orizzontale \_fondovalle;

$H_b \rightarrow$  Componente \_orizzontale \_substrato;

$A_h \rightarrow$  FunzioneTrasferimento \_mod oSH (teorica);

$QTS \rightarrow$  QuasiTransferFunction :  $\left( \frac{H_f}{V_f} \right)$ ;

si possono fare alcune considerazioni. Dal momento che  $H_f$  contiene il contributo delle onde di Rayleigh  $H_f/H_b$  (che è uguale a  $H_f$  in quanto  $H_b = 1$  essendo il valore di riferimento) è più grande rispetto alla funzione di trasferimento teorica ( $A_h$ ) delle onde SH. Nel caso in cui vi sia grande influenza delle onde di Rayleigh QTS diventa minore di 1 (cresce il moto verticale  $V_f$ ) in un ampio intervallo di frequenze più elevate comunque di quella fondamentale (o di risonanza)  $F_0$ .

Le principali onde che costituiscono le vibrazioni (i microtremori) sono onde di corpo (P ed S) oppure onde di Rayleigh o ancora, in funzione dell'ubicazione e delle condizioni al contorno, può essere una combinazione dei due tipi di onde. Se calcoliamo la QTS essa ci indica correttamente la frequenza fondamentale di risonanza (per effetto della riflessione multipla delle onde SH) ed il fattore di amplificazione.



### **13. Glossario**

*Tratto da "Gruppo di lavoro MS, 2008. Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica. Conferenza delle Regioni e delle Province autonome – Dipartimento della protezione civile, Roma, 3 vol. e Cd-rom" con modifiche*

**BEDROCK SISMICO** : Sequenza litostratigrafica caratterizzata da una velocità delle onde di taglio  $V_s$  maggiore od uguale a 800 m/s.

**EFFETTI LOCALI (O DI SITO)** – Effetti dovuti al comportamento del terreno in caso di evento sismico per la presenza di particolari condizioni lito-stratigrafiche e morfologiche che determinano amplificazioni locali e fenomeni di instabilità del terreno (instabilità di versante, liquefazioni, faglie attive e capaci, cedimenti differenziali, ecc...).

**ELEMENTI (O BENI) ESPOSTI** – Ciò che può essere negativamente affetto da un evento sismico e sul quale viene svolta l'analisi di rischio sismico. È identificabile attraverso categorie omogenee e sistemi che possono subire perdite a seguito di evento sismico. Esempi di categorie e sistemi esposti sono: ambiente, popolazione, attività economiche, servizi pubblici, beni culturali, ecc....

**FENOMENI DI INSTABILITA' DEL TERRENO** – Modificazioni permanenti del terreno quali fenomeni franosi, fenomeni di liquefazione o densificazione (addensamento), fagliazione superficiale, ecc. dovuti ad un evento sismico.

**MICROZONAZIONE SISMICA (MS)** – Valutazione della pericolosità sismica locale attraverso l'individuazione di zone del territorio caratterizzate da comportamento sismico omogeneo. In sostanza la MS individua e caratterizza le zone stabili, le zone stabili suscettibili di amplificazione locale del moto sismico e le zone suscettibili di instabilità in caso di terremoto.

**PERICOLOSITA' SISMICA** – Stima quantitativa dello scuotimento del terreno dovuto a un evento sismico, in una determinata area. La pericolosità sismica può essere analizzata con metodi probabilistici, nei quali le incertezze dovute alla grandezza, alla localizzazione e al tempo di occorrenza del terremoto sono esplicitamente considerati. Tale stima include le analisi di pericolosità sismica di base e di pericolosità sismica locale.

**PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE** - Componente della pericolosità sismica dovuta alle caratteristiche sismologiche dell'area (tipo, dimensioni e profondità delle sorgenti sismiche, energia e frequenza dei terremoti). La pericolosità sismica di base calcola (generalmente in maniera probabilistica), per una certa regione e in determinato periodo



di tempo, i valori di parametri corrispondenti a prefissate probabilità di eccedenza. Tali parametri (velocità, accelerazione, intensità, ordinate spettrali) descrivono lo scuotimento prodotto dal terremoto in condizioni di suolo rigido e senza irregolarità morfologiche (terremoto di riferimento). La scala di studio è solitamente regionale. Una delle finalità di questi studi è la classificazione sismica a vasta scala del territorio, finalizzata alla programmazione delle attività di prevenzione e alla pianificazione dell'emergenza. Costituisce una base per la definizione del terremoto di riferimento per studi di microzonazione sismica.

**PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE** - Componente della pericolosità sismica dovuta alle caratteristiche locali (litostratigrafiche e morfologiche, v. anche effetti locali). Lo studio della pericolosità sismica locale è condotto a scala di dettaglio partendo dai risultati degli studi di pericolosità sismica di base (terremoto di riferimento) e analizzando i caratteri geologici, geomorfologici, geotecnici e geofisici del sito; permette di definire le amplificazioni locali e la possibilità di accadimento di fenomeni di instabilità del terreno. Il prodotto più importante di questo genere di studi è la carta di micro zonazione sismica.

**PGA DI BASE (Peak Ground Acceleration)** – Accelerazione orizzontale massima nel sito di riferimento rigido con morfologia orizzontale. **PGA DI SITO** – Accelerazione orizzontale massima nel sito indagato.

**RIDUZIONE DEL RISCHIO (O MITIGAZIONE DEL RISCHIO)** - Azioni intraprese al fine di ridurre le probabilità, le conseguenze negative, o entrambe, associate al rischio (ISO, Guide 73:2002).

**RISCHIO SISMICO** - Probabilità che si verifichi o che venga superato un certo livello di danno o di perdita in termini economico-sociali in un prefissato intervallo di tempo ed in una data area, a causa di un evento sismico.

**RISPOSTA SISMICA LOCALE (AMPLIFICAZIONE LOCALE)** – Modificazione in ampiezza, frequenza e durata dello scuotimento sismico dovuta alle specifiche condizioni litostratigrafiche e morfologiche di un sito. Si può quantificare mediante il rapporto tra il moto sismico alla superficie del sito e quello che si osserverebbe per lo stesso evento sismico su un ipotetico affioramento di roccia rigida con morfologia orizzontale. Se questo rapporto è maggiore di 1, si parla di amplificazione locale.

**VULNERABILITA' SISMICA** – Propensione al danno o alla perdita di un sistema a seguito di un dato evento sismico. La vulnerabilità viene detta primaria se relativa al danno fisico



subito dal sistema a seguito del danno fisico. Per ogni sistema, la vulnerabilità può essere espressa in maniera diretta attraverso la definizione della distribuzione del livello di danno o di perdita a seguito di un dato scuotimento o in maniera indiretta attraverso indici di vulnerabilità ai quali correlare danno e scuotimento. La distribuzione del danno apparente agli elementi strutturali o non strutturali di un edificio al variare dello scuotimento sismico fornisce una misura della vulnerabilità primaria. La distribuzione del costo di riparazione di un edificio in relazione al danno apparente o meccanico è una misura di vulnerabilità secondaria.





#### **14. Sigle**

CPSL Carta della pericolosità sismica locale;  
CPT (Cone Penetration Test) Prova penetrometrica statica;  
CH Carotaggio sismico in foro secondo la metodologia Cross-Hole;  
DH Carotaggio sismico in foro secondo la metodologia Dow-Hole;  
Fa Fattore di amplificazione a basso periodo (determinato intorno al periodo proprio per il quale si ha il massimo della risposta in accelerazione);  
Fv Fattore di amplificazione a periodo proprio (per il quale si ha la massima risposta in pseudo velocità);  
MS Microzonazione Sismica;  
MOPS Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica;  
PAT Piano di assetto del Territorio (L.R. 11/2004);  
PATI Piano di assetto del territorio intercomunale (L.R. 11/2004);  
PI Piano degli interventi (L.R. 11/2004);  
PSL Pericolosità Sismica Locale;  
PUA Piano Urbanistico Attuativo;  
RS Rischio sismico;  
RSL Risposta Sismica Locale;  
SDMT Prova dilatometrica con modulo sismico;  
SPT (Standard Penetration Test) Prova penetrometrica dinamica.

*Dr. Geol. Giovanni Rigatto*

The image shows a circular professional stamp in blue ink. The text inside the stamp reads: "ORDINE DEI GEOLOGI", "Dott. Geol. Giovanni RIGATTO", and "N° 839". Below the stamp is a handwritten signature in black ink that reads "Giovanni Rigatto".