



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



REGIONE DEL VENETO



CONFERENZA DELLE REGIONI E
DELLE PROVINCE AUTONOME

Attuazione dell'articolo 11 dalla legge 24 giugno 2009, n.77

MICROZONAZIONE SISMICA

Livello 2

Relazione illustrativa

Regione Veneto

Comune di Limana



Regione Veneto	Soggetto realizzatore IGS SRL dott. geol. David Pomarè Montin dott.ssa geol. Cristina Gerdol	Data Giugno 2022
	 	

Indice

1. Introduzione	2
2. Dati geotecnici e geofisici	5
2.1. Indagini pregresse	6
2.2. Nuove indagini eseguite	6
3. Metodologie di elaborazione e risultati	6
3.1. Parametri sismici indagati	7
3.2. Metodologie di indagine	10
3.3. Note relative alle modalità esecutive	12
3.4. Note relative all'elaborazione dei dati	12
3.5. Approfondimenti di Livello 2	13
4. Elaborati cartografici	17
4.1. Carta di Microzonazione Sismica Livello 2	17
4.2. Commenti finali e criticità	19

1. Introduzione

Con parere di competenza ai sensi della D.G.R. 1572/2013 e dell'art. 89 del D.P.R. 380/2001 espresso in data 06/08/2018 prot. 337891 relativamente al Piano degli Interventi del Comune di Limana (BL), l'UO Geologia Direzione Difesa del Suolo della Regione Veneto ha prescritto, per il completo adeguamento alla citata deliberazione, la realizzazione di uno studio di microzonazione sismica di 2°/3° livello che comprenda tutte le parti del territorio per le quali si prevedono trasformazioni urbanistiche del territorio od incremento dei carichi urbanistici, nonché il territorio compreso nel perimetro del "centro abitato", così come previsto dalla normativa vigente.

Pertanto, il Comune di Limana ha affidato alla società IGS SRL l'incarico professionale per la redazione dello studio di Microzonazione Sismica di 2° livello (di seguito MS2) del territorio comunale.

L'incarico è stato svolto in conformità alle disposizioni e leggi vigenti in materia, in particolare ai sensi dell'O.P.C.M. n.3907 del 13/11/2010, dell'O.P.C.M. n.4007 del 29/02/2012 e dell'O.P.C.M. n. 52 del 20/02/2013.

Il presente studio è stato condotto in conformità alle indicazioni fornite dalle commissioni regionali e statali, ovvero:

- "Linee guida Regionali per la Microzonazione Sismica", ovvero l'allegato A alla DGR 1572/13;
- O.C.D.P.C. n.171 del 19/06/2014;
- D.G.R. 1896 del 14/10/2014
- "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica" approvati dalla Conferenza delle regioni e delle Province autonome del 13/11/2008;
- "Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica – Versione 4.2 – Roma, dicembre 2020";

Si citano inoltre alcuni riferimenti, anche se superati dalle citate delibere: DGR 71/2008, DGR 2877/2008, D.lgs. 163/2006 e abrogazione DGR n. 3308/08.

Gli approfondimenti di Livello 2 e Livello 3 si possono intraprendere solo se esistono già studi di Livello 1 (Carta delle MOPS). I tre livelli di studio non sono sequenziali, ma vengono realizzati in funzione della complessità geologico tecnica del territorio ed è possibile passare dal Livello 1 (obbligatorio) al Livello 2 oppure al Livello 3. Gli studi di Livello 1 (Carta delle MOPS), sulla base della complessità geologico tecnica del territorio esaminato, devono stabilire in quali aree c'è la possibilità di procedere ad approfondimenti di Livello 2 o ad approfondimenti di Livello 3 e, in definitiva, costruire un'unica Carta di MS.

Quindi, sulla base della complessità geologica, una Carta di MS potrà essere costituita da:

- solo aree con approfondimento di Livello 2
- aree con approfondimento di Livello 2 e aree con approfondimento di Livello 3
- solo aree con approfondimento di Livello 3

Per quanto attiene il territorio del Comune di Limana si è proceduto con approfondimenti esclusivamente di Livello 2, volti alla quantificazione degli effetti legati all'amplificazione litostratigrafica.

Lo Studio di Microzonazione Sismica di livello 2 si pone due obiettivi da raggiungere in sequenza:

- compensare alcune incertezze del livello 1 con approfondimenti conoscitivi;

- fornire quantificazioni numeriche, con metodi semplificati (abachi e leggi empiriche), della modificazione locale del moto sismico in superficie (zone stabili suscettibili di amplificazioni locali) e dei fenomeni di deformazione permanente (zone suscettibili di instabilità).

Per il raggiungimento di tali obiettivi si possono determinare modificazioni delle geometrie delle zone individuate precedentemente nella Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS - livello 1). Operazione preliminare per la predisposizione del livello 2 è costituita, infatti, dall'analisi della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica al fine di individuare le aree con i maggiori livelli di incertezza e programmare eventuali nuove indagini. L'approfondimento di livello 2 è finalizzato alla realizzazione della "Carta di Microzonazione Sismica".

Per l'espletamento dello studio si è fatto riferimento principalmente allo Studio di Microzonazione Sismica di primo livello del territorio comunale redatto dagli scriventi a maggio 2022. Accanto alla documentazione bibliografica (cartacea e online), sono state reperite inoltre le seguenti documentazioni:

- Studio di Microzonazione Sismica di primo livello (dott. geol. Enzo De Biasio, 2012);
- Siti inquinati da solventi clorurati in località Sampoi e Baorche - Nuove indagini geognostiche - Relazione conclusiva (Dott. Eugenio Colleselli, 2014)
- Siti inquinati da solventi clorurati in località Sampoi e Baorche - Relazione sull'utilizzo degli isotopi ambientali per l'approfondimento del quadro di circolazione idrica sotterranea e di inquinamento (Prof. Marco Petitta, 2015);
- P.A.T.I. Comuni di Limana e Trichiana (dott. geol. Enzo De Biasio, 2017);
- Piano di Caratterizzazione e analisi di rischio sanitario ambientale sito-specifica (Geo Coleselli, 2017);
- Relazioni di compatibilità Idraulica, geologica e sismica relative alla variante n.1 al P.I. del Comune di Limana (dott. Geol. David Pomarè Montin, 2017);
- Relazione tecnica Miglioramenti al sistema di controllo delle acque sotterranee della ex discarica di tipo 2B in postgestione - Ditta EPTA S.p.A. - Sede di Limana (dott. Geol. Eros Tomio, 2019);
- Investigazione di un'area soggetta a problematiche di deflusso idrico, nei pressi del Civico 91 di Via Peden - Loc. Valmorel (Limana-BL) (IGS srl, 2020);
- Relazioni di compatibilità Idraulica, geologica e sismica relative alla variante n.2 al P.I. del Comune di Limana (IGS srl, 2021).

Nell'ambito dello Studio di MS1, a completamento degli studi geologici e delle indagini pregresse a disposizione, era stata effettuata una campagna di indagini geofisiche integrativa. Tale campagna, effettuata il giorno 16 febbraio 2022 comprende:

- **N.8 analisi multicanale delle onde di superficie MASW** (Multichannel Analysis of Surface Waves) con stendimenti da 22.0 m e 33.0 m e distanza inter-geofonica rispettivamente di 2.0 e 3.0 m, con doppio scoppio esterno allo stendimento, per la valutazione del profilo verticale delle velocità delle onde di taglio (calcolo $V_{s,eq}$);
- **N.8 indagini sismiche passive HVSr** (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) per la valutazione delle caratteristiche dinamiche del sito dal punto di vista sismico (calcolo frequenza di risonanza del sito).

Tali indagini sono state svolte nell'intento di fornire una quantificazione della modificazione locale del moto sismico in superficie ai fini degli approfondimenti di livello 2 in programma.

L'area di studio è stata definita in modo tale da comprendere tutte le aree interessate da urbanizzazione consolidata e dalle nuove previsioni insediative. I commi 4 e 5 dell'OPCM 52 del 20 febbraio 2013 che definiscono i criteri di individuazione delle aree oggetto di approfondimenti di MS:

4. Sono escluse dall'esecuzione della microzonazione sismica le zone che incidono su Aree Naturali Protette, Siti di Importanza Comunitaria (SIC), Zone di Protezione Speciale (ZPS) e Aree adibite a verde pubblico di grandi dimensioni, come indicate nello strumento urbanistico generale che:

- a) non presentano insediamenti abitativi esistenti alla data di pubblicazione della presente ordinanza;*
- b) non presentano nuove edificazioni di manufatti permanenti o interventi su quelli già esistenti;*
- c) rientrano in aree già classificate R4 dal piano per l'assetto idrogeologico (PAI).*

5. La presenza nelle aree di manufatti di classe d'uso «I» ai sensi del punto 2.4.2 del D.M. 14.01.2008, di modeste dimensioni e strettamente connessi alla fruibilità delle aree stesse, non determina la necessità di effettuare le indagini di microzonazione sismica.

L'area di studio di MS2 in particolare è stata leggermente modificata rispetto a quella utilizzata per la MS1, riducendola localmente, escludendo le aree esterne alle perimetrazioni definite nel P.A.T.I. vigente. L'area di studio definita (**Figura 1.1**), con superficie pari a circa 15.5 km², comprende:

- le aree di urbanizzazione consolidata residenziale e produttive;
- le linee preferenziali di espansione;
- gli ambiti di edificazione diffusa, comprese le nuove previsioni.

Per quanto riguarda gli aspetti di inquadramento generale geologico, geomorfologico e sismico, nonché la descrizione del modello di sottosuolo, si rimanda ai **Cap. 2, 3, 4 e 5** della **Relazione illustrativa dello Studio di MS1** redatta dagli scriventi nel maggio 2022.

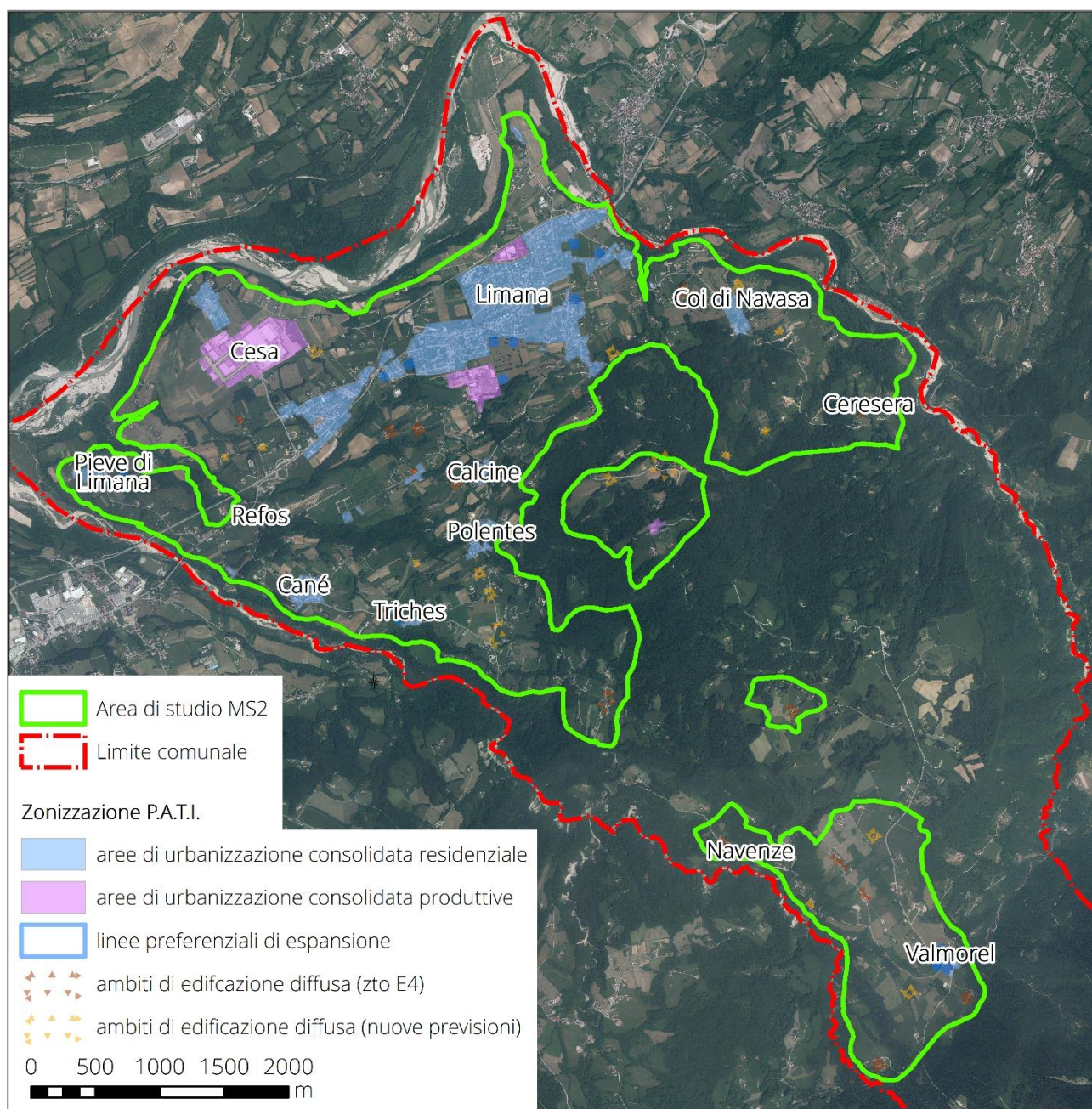


Figura 1.1: ubicazione dell'area di studio di MS di Livello 2.

2. Dati geotecnici e geofisici

Come detto in precedenza, al fine di integrare il quadro conoscitivo e definire il modello geologico del sottosuolo, nell'ambito dello Studio di MS1 è stata effettuata una campagna di indagini geofisiche *ex-novo*. La pianificazione delle indagini da eseguire è stata volta ad indagare le aree non coperte dalle indagini pregresse reperite. Le indagini sono state dunque eseguite essenzialmente in corrispondenza dei nuclei abitati che non erano stati presi in considerazione nel precedente studio di MS1 del 2012 e che non risultavano interessati dalle indagini pregresse. Si tratta in particolare di indagini sismiche di tipo attivo (MASW) e passivo (HVSr). Si rimanda al **Capitolo 3** per l'illustrazione dei metodi e delle modalità operative, nonché delle procedure di elaborazione dei dati acquisiti. Le indagini hanno permesso di delineare il modello

geologico e geotecnico del sottosuolo, oltre a definire le diverse risposte dei terreni indagati in caso di evento sismico.

2.1. Indagini pregresse

Per quanto riguarda le indagini pregresse sono state raccolte ed archiviate nell'ambito dello Studio di MS1 le seguenti indagini puntuali e lineari:

- N.4 Trincee geognostiche (da studio di MS1 dott. geol. Enzo De Biasio, 2012);
- N.31 Prospezioni sismiche passive HVSR (di cui N.7 da studio di MS1 dott. geol. Enzo De Biasio, 2012, N.19 da P.I. n.1 dott. Geol. David Pomarè Montin 2017 e N.5 da P.I. n.2 IGS srl 2021)
- N.20 Prospezioni sismiche attive MASW (di cui N.15 da P.I. n.1 dott. Geol. David Pomarè Montin 2017 e N.5 da P.I. n.2 IGS srl 2021);
- N.2 Tomografie elettriche (da investigazione di un'area soggetta a problematiche di deflusso idrico, nei pressi del Civico 91 di Via Peden - Loc. Valmorel (IGS srl, 2020);
- N.37 Sondaggi a carotaggio continuo, con relative prove SPT (N.30) e LeFranc (N.11), di cui 26 che hanno intercettato il substrato roccioso (dagli studi di Dott. Eugenio Colleselli, 2014 e 2017, Prof. Marco Petitta, 2015 e dott. Geol. Eros Tomio, 2019).

Per un totale di 135 indagini (72 siti di indagine puntuali e 22 siti di indagine lineari).

Per il dettaglio si rimanda al *database* delle indagini e ai relativi *shapefile* "Ind_pu" e "Ind_ln".

2.2. Nuove indagini eseguite

La nuova campagna di indagini effettuata il giorno 16 febbraio 2022 comprende:

- N.8 analisi multicanale delle onde di superficie MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) con stendimenti da 22.0 m e 33.0 m e distanza inter-geofonica rispettivamente di 2.0 e 3.0 m, con doppio scoppio esterno allo stendimento, per la valutazione del profilo verticale delle velocità delle onde di taglio (calcolo $V_{s,eq}$);
- N.8 indagini sismiche passive HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) per la valutazione delle caratteristiche dinamiche del sito dal punto di vista sismico (calcolo frequenza di risonanza del sito).

Le nuove indagini sono state archiviate assieme a quelle pregresse, ottenendo così un totale complessivo di:

- 121 indagini puntuali (80 siti di indagine puntuali);
- 30 indagini lineari (30 siti di indagine lineari).

3. Metodologie di elaborazione e risultati

Come sopra esposto al fine di integrare il quadro conoscitivo e definire il modello geologico del sottosuolo, si è reso necessario, nell'ambito dello Studio di MS1, programmare ed eseguire una campagna di indagini attraverso i metodi comunemente applicati agli studi di microzonazione sismica (MASW + HVSR), ma con tecniche di elaborazione più all'avanguardia. Queste consistono di fatto nell'analisi congiunta della dispersione della velocità di differenti tipologie di onde di superficie (Rayleigh e Love) che consente di rafforzare la validità del modello sismo-stratigrafico, in quanto questo viene ottenuto partendo non da una sola informazione (dispersione onde R) ma da diverse informazioni (dispersione onde R e onde L) riguardanti il medesimo sito di indagine. Anche il rapporto spettrale ricavato mediante tecnica HVSR, a partire dai

microtremori ambientali registrati in sito, è stato preso come dato input, in alcuni casi, per l'elaborazione congiunta tra MASW (onde R+L) e HVSR. Il modello stratigrafico così ottenuto risulta pertanto validato da tre differenti tipologie di acquisizioni sismiche. Le nuove prospezioni sismiche, pianificate come sopra descritto, sono volte alla quantificazione della modificazione locale del moto sismico in superficie (approfondimenti di livello 2).

Lo scopo delle prospezioni sismiche condotte è la parametrizzazione sismica del sottosuolo, ed in particolare:

- la valutazione dello stato di addensamento dei depositi (attraverso il profilo di V_s) al di sopra del substrato rigido di riferimento, da cui dipende l'entità dell'amplificazione delle onde sismiche in caso di terremoto;
- la valutazione della frequenza fondamentale del terreno f_0 (ed eventuali frequenze secondarie), utile a valutare la possibilità o meno che si verifichino fenomeni di doppia risonanza (terreno-struttura) conoscendo il periodo di oscillazione di un edificio.

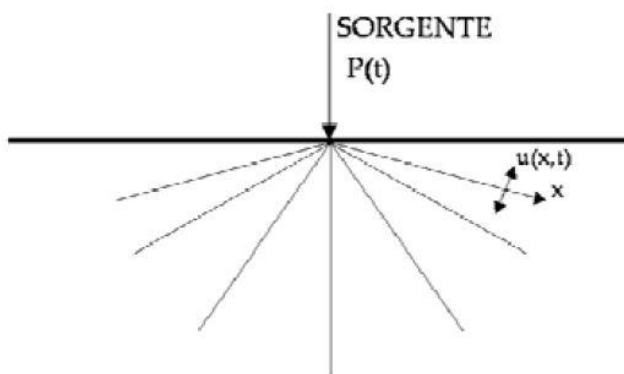
Tale analisi viene condotta sulla base di una serie di parametri introdotti da normativa, come V_{seq} , f_0 , determinabili con metodi indiretti quali ad esempio MASW e HVSR, rispettivamente classificati come metodi attivi e passivi in funzione della natura del segnale registrato.

Prima di riportare sinteticamente i principi fondamentali dei metodi MASW e HVSR, applicati nell'ambito del presente studio a livello comunale, vengono brevemente descritti i parametri sismici indagati.

3.1. Parametri sismici indagati

Le indagini eseguite, come i vari metodi sismici in generale, non sono altro che registrazioni di segnali mediante accelerometri o velocimetri; i segnali registrati possono avere varia origine: terremoti; perturbazioni prodotte in modo artificiale per prove geofisiche; perturbazioni prodotte da macchine, traffico stradale e ferroviario, ecc.. Generalmente le frequenze proprie di queste sorgenti sono differenti, come la sensibilità degli strumenti atti alla loro registrazione; la distinzione quindi di un determinato segnale permette di valutare come si comporta il terreno attraversato.

Le vibrazioni meccaniche sono una forma di energia che si propaga con una certa velocità, V , dipendente dal mezzo attraversato, in tutte le direzioni, imprimendo ai punti del mezzo attraversato movimenti di tipo oscillatorio intorno a una posizione di equilibrio.



Nel terreno lo stato vibratorio è legato al fatto che le particelle sono legate fra loro da vincoli elastici e non sono quindi totalmente libere di muoversi. Si generano così delle onde progressive di sforzo e di deformazione (longitudinali e/o trasversali rispetto alla direzione di propagazione) che si propagano con una

velocità che dipende dal tipo di terreno e che, per analogia con le onde generate dai terremoti, vengono denominate “onde sismiche”.

In generale le vibrazioni si attenuano con la distanza dalla sorgente e, a meno che il sistema oscillante non riceva continuamente energia dall'esterno (come nel caso delle macchine vibranti), sono per lo più smorzate nel tempo.

Le vibrazioni possono essere:

- *Periodiche:*

quando fissato un punto la vibrazione si ripete uguale a se stessa ad intervalli regolari (ad es. le vibrazioni generate da macchine industriali):

- esiste un intervallo di tempo T (periodo) tale che $u(t+T) = u(t)$, essendo $u(t)$ lo spostamento al tempo t ;
- possono essere nella loro forma più semplice di tipo armonico o nella forma più generale con una componente aleatoria;
- bastano pochi parametri per descriverle.

- *Non periodiche (o irregolari):*

- possono essere di tipo impulsivo (generate ad es. da esplosioni, caduta di gravi) o transitorio (generate da terremoti o dal traffico);
- possono essere ricondotte ad una sommatoria di infiniti moti periodici ciascuno rappresentabile con pochi parametri (Teorema di Fourier), dalla cui analisi (analisi spettrale) si può dedurre il moto risultante.

L'energia prodotta dalla sorgente si propaga nel mezzo producendo vari tipi di onde, raggruppabili in onde di corpo e onde di superficie.

Onde di superficie

Con il metodo MASW le onde modellate sono le onde di superficie, delle quali viene registrata e modellata la dispersione di velocità. Tali onde sono generate artificialmente mediante delle battute verticali o orizzontali o anche mediante sorgenti esplosive. Le onde di superficie vengono chiamate così perché la loro ampiezza decrementa in modo esponenziale con la profondità e la loro propagazione interessa quindi un limitato spessore superficiale (la cui profondità dipende dalla lunghezza d'onda considerata). Rispetto alle onde di corpo (P ed S), la loro ampiezza è notevolmente maggiore e per questo motivo tipicamente dominano qualsiasi dataset sismico (spesso per tale motivo sono indicate con l'espressione “*ground roll*”). Le onde di superficie si distinguono in onde di Rayleigh e onde di Love.

Le **onde di Rayleigh (R)** si propagano secondo fronti d'onda cilindrici e producono vibrazioni che sono la risultante di una vibrazione polarizzata su un piano verticale, in direzione perpendicolare alla direzione di propagazione, e di una vibrazione orizzontale polarizzata lungo la direzione di propagazione. Il moto risultante sul piano verticale è ellittico retrogrado. La deformazione indotta è sia di taglio che di compressione. Assumono un ruolo fondamentale nelle “misure sismiche di superficie”.

Le **onde di Love (L)** producono vibrazioni orizzontali polarizzate nella direzione perpendicolare alla direzione di propagazione e deformazioni di taglio. Sono onde legate alla stratificazione dei terreni e derivano dalla riflessione multipla tra superficie inferiore e superiore di uno strato di terreno in cui rimangono intrappolate

le onde S. Come le onde S non si trasmettono nei fluidi. La velocità delle onde di Love dipende marcatamente dalla frequenza dell'eccitazione.

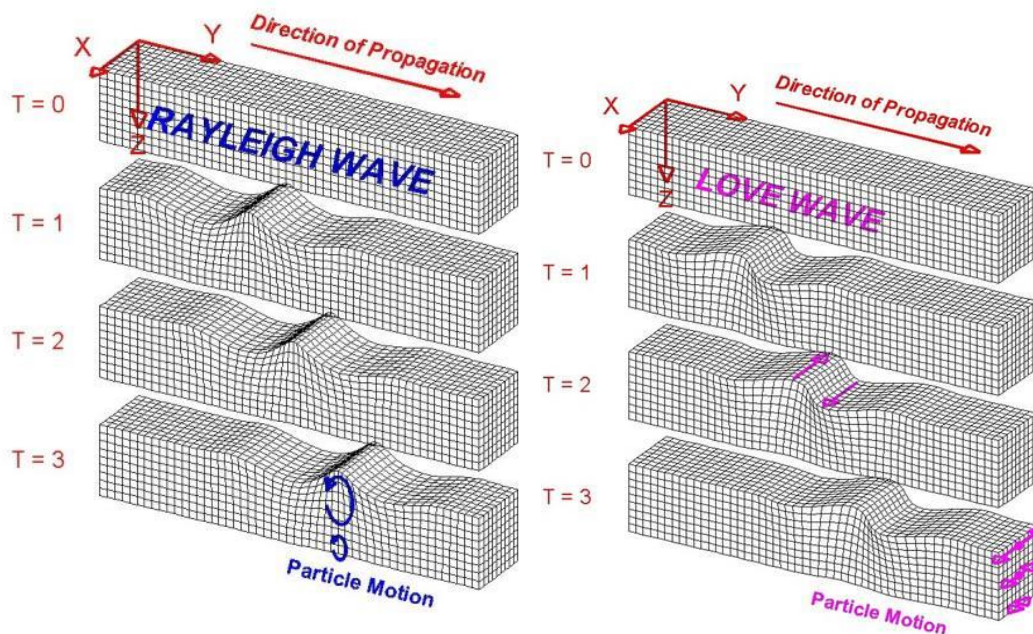


Figura 3.1: Movimento di una particella del caso di un'onda di Rayleigh e di un'onda di Love.

Microtremori ambientali

Il metodo HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) si basa sulla misura dei microtremori (oscillazioni del suolo indotte da sorgenti naturali ed antropiche) e sul calcolo del rapporto tra le componenti orizzontali e verticali del segnale acquisito, al fine di individuare la frequenza di risonanza delle onde S di un sito.

I microtremori si chiamano così perché sono oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel campo prossimo all'epicentro. Il loro studio risale già agli anni '50 (Gutenberg, 1958) e le sorgenti che ne causano la loro perturbazione possono essere molteplici: onde del mare, venti, perturbazioni meteorologiche locali e regionali, microsismi tettonici e vulcanici e alle frequenze più alte anche fattori antropici. Di seguito riporto una classificazione (Gutenberg, 1958) dei microtremori in base alle bande di frequenza.

Sorgente	Banda di frequenza secondo Gutenberg (1958) (Hz)
Onde sulla costa	0,05-0,1
Perturbazioni meteorologiche su grande scala	0,1-0,25
Cicloni oceanici	0,3-1
Condizioni meteorologiche locali	1,4-5
Tremori vulcanici	2-10
Rumore urbano	1-100

I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume, P o S. In essi giocano un ruolo fondamentale le onde superficiali Rayleigh e Love, che hanno velocità prossima a quella delle onde S.

3.2. Metodologie di indagine

I principi fondamentali del metodo MASW

Il metodo MASW si basa sull'analisi della dispersione del segnale sismico nel sottosuolo. Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di superficie, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato, dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di superficie rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che queste si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

È possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica, la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times \nu$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Superficie possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

Le onde di superficie decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

Con il metodo MASW viene modellata la dispersione della velocità delle onde di superficie, il quale impulso può essere generato mediante delle battute su di una piastra metallica appoggiata al suolo. Le onde di superficie si distinguono in onde di Rayleigh e onde di Love.

Le onde di Rayleigh (R) si propagano secondo fronti d'onda cilindrici e producono vibrazioni che sono la risultante di una vibrazione polarizzata su un piano verticale, in direzione perpendicolare alla direzione di propagazione, e di una vibrazione orizzontale polarizzata lungo la direzione di propagazione. Il moto risultante sul piano verticale è ellittico e retrogrado. La deformazione indotta è sia di taglio che di compressione.

Le onde di Love (L) producono solo vibrazioni orizzontali polarizzate nella direzione perpendicolare alla direzione di propagazione e deformazioni di taglio. Sono onde legate alla stratificazione dei terreni e derivano dalla riflessione multipla tra superficie inferiore e superiore di uno strato di terreno in cui rimangono intrappolate le onde S. Come le onde S non si trasmettono nei fluidi. La velocità delle onde di Love dipende marcatamente dalla frequenza dell'eccitazione.

Le onde di Love possono essere acquisite solamente utilizzando geofoni orizzontali disposti perpendicolarmente rispetto allo stendimento sismico, mentre le onde di Rayleigh possono essere acquisite

sia utilizzando geofoni verticali (registrando perciò la componente verticale del moto ellittico dell'onda di Rayleigh) che orizzontali, disposti parallelamente allo stendimento (registrando così la componente radiale del moto ellittico dell'onda di Rayleigh). Per provocare onde di Love è necessaria una sorgente di taglio (es. battuta a lato di una traversina), mentre per quanto riguarda le onde di Rayleigh è possibile utilizzare una forza verticale (es. battuta su piastra) oppure una sorgente esplosiva.

I principi fondamentali del metodo HVSR

La tecnica denominata "HVSR", acronimo di "Horizontal to Vertical Spectral Ratio", fu introdotta inizialmente da Nogoshi e Igarashi nel 1971 ed applicata per la prima volta da Nakamura nel 1989, il quale la propose come strumento speditivo per stimare l'incidenza delle condizioni locali sull'amplificazione dello scuotimento dovuto ad un sisma. Il metodo si basa sulla misura dei microtremori (oscillazioni del suolo indotte da sorgenti naturali ed antropiche) e sul calcolo del rapporto tra le componenti orizzontali e verticali del segnale acquisito, al fine di individuare la frequenza di risonanza delle onde S di un sito. Quest'ultima, infatti, coincide con la frequenza alla quale si verifica un alto valore del rapporto HV, cioè un picco nella curva del rapporto spettrale (Lachet & Bard, 1994). La tecnica è comunemente utilizzata anche per determinare lo spessore dei sedimenti sciolti al di sopra di un substrato rigido (Bard & Bouchon, 1985). Infatti, l'individuazione di una frequenza di risonanza deriva dalla presenza di un contrasto di impedenza (l'impedenza di taglio è il prodotto tra densità e V_s) tra due strati con proprietà fisiche differenti (ad esempio tra uno strato di sedimenti sciolti e il bedrock), che causa un parziale intrappolamento delle onde sismiche nello strato soprastante.

La tecnica HVSR permette dunque in primo luogo di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito f_0 . Successivamente, come ulteriore sviluppo, la stima del parametro normativo $V_{s,eq}$ attraverso un processo di inversione del problema iniziale. Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione. Se queste sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate.

Si esegue una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x,y,z) con una singola stazione. Tale registrazione deve essere effettuata, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata non inferiore ai 20 minuti.

Si esegue un'operazione detta di *windowing*, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del succitato progetto SESAME tale dimensione, detta *Long Period*, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre "*long*", che sono sincronizzate fra le tracce.

Queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione.

Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a *tapering* e/o lisciamento secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute a tale scopo idonee.

Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea.

Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale Z, ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia. Questo permette quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di *windowing*.

Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito.

L'ulteriore ipotesi che questo rapporto spettrale possa ritenersi una buona approssimazione dell'ellitticità del modo fondamentale della propagazione delle onde di Rayleigh, permette di confrontare questi due al fine di ottenere una stima del profilo stratigrafico. Tale procedura, detta di inversione, consente di definire il profilo sostanzialmente in termini di spessore e velocità delle onde di taglio. Avendo quindi una stima del profilo della velocità delle onde di taglio, è possibile valutarne il parametro normativo $V_{s,eq}$.

3.3. Note relative alle modalità esecutive

Prospezioni MASW

Per la misura è stato utilizzato un sismografo a 24 canali, dinamica 24 bit (Pasi srl, mod.16S12-U). Sono stati eseguiti stendimenti lineari di lunghezza 22.0 m e 33.0 m, con 12 geofoni verticali da 4.5 Hz equi-spaziati fra loro rispettivamente di 2.0 m e 3.0 m. Sono stati acquisiti i segnali relativi a 3 battute realizzate ad una distanza di 5.0 m rispettivamente dal primo e dall'ultimo geofono (inversione della sorgente rispetto lo stendimento) al fine di confrontare più acquisizioni ed ottenere un dettaglio maggiore. La durata impostata per ogni acquisizione è di 1024 ms, il periodo di campionamento 250 μ s. In fase di elaborazione, le tracce sono state ricampionate con un intervallo temporale di 1 ms, per una migliore prestazione del software utilizzato e senza togliere qualità al dato.

Sono stati utilizzati geofoni orizzontali con frequenza naturale pari a 4.5 Hz, con asse allineato allo stendimento, per l'acquisizione della componente radiale delle onde di Rayleigh, e con asse perpendicolare allo stendimento, per l'acquisizione delle onde di Love (che hanno solamente una componente di taglio). Per quanto riguarda la sorgente sismica, per l'acquisizione delle onde di Rayleigh la perturbazione è stata prodotta mediante battuta verticale su piastra metallica, mentre per l'acquisizione delle onde di Love, mediante una battuta trasversale su di una traversina di legno.

Prospezioni HVSR

Lo strumento utilizzato è il geofono 3D mod.Gemini-2 (2 Hz). Le indagini si sono protratte per 20 minuti con frequenza di campionamento di 200 Hz. Nell'acquisire i dati si è prestata attenzione ad evitare, ove possibile, fonti di rumore in alta frequenza, provvedendo ad annotare eventuali anomalie (traffico, ecc). La stazione di misura è stata posizionata, quando possibile, circa in corrispondenza del centro dello stendimento, in modo da poter meglio correlare fra loro i dati derivanti dalle acquisizioni MASW con quelli del microtremore ambientale.

3.4. Note relative all'elaborazione dei dati

Prospezioni MASW

L'elaborazione dei dati acquisiti mediante metodo attivo (energizzazione su piastra e traversina) è stata effettuata con il software *winMASW[®] Academy*, il quale ha permesso di ricavare il modello sismo-stratigrafico

delle velocità delle onde di taglio S, mediante l'analisi congiunta della dispersione delle velocità delle onde di Rayleigh e delle onde di Love (onde di superficie e onde di corpo sono fra loro correlate da relazioni note in bibliografia). Sono stati generalmente utilizzati un range di frequenze da 3 a 40 Hz, ed un range di velocità da 80 a 1200 m/s, opportunamente ridotti o ampliati caso per caso al fine visualizzare al meglio il contenuto energetico di ciascun spettro di velocità analizzato.

Per la definizione del modello sismo-stratigrafico è stata fatta una modellazione congiunta fra onde di Rayleigh e Love. È molto utile, infatti, confrontare gli spettri di velocità che si ricavano analizzando componenti diverse: in questo caso la componente radiale dell'onda di Rayleigh e la componente trasversale dell'onda di Love. Ciò permette di confrontare la distribuzione di energia tra i vari modi di vibrazione (cioè come l'energia si distribuisce tra i vari modi alle varie frequenze) per ciascuna delle due componenti analizzate. Non è infatti sempre visibile solo il modo fondamentale di vibrazione, ma bensì anche i modi superiori: talvolta solamente questi ultimi dominano lo spettro di velocità, altre volte il contenuto energetico di più modi si somma e le singole curve modali sono poco riconoscibili. Per ovviare a questo problema, si è reso utile analizzare due differenti tipologie di onde e quindi due diversi spettri di velocità, consentendo pertanto una maggiore univocità nell'identificazione delle curve di dispersione (del modo fondamentale e dei modi superiori) e/o dello spettro sintetico, nonché nella definizione del profilo di V_s .

Prospezioni HVSR

L'elaborazione delle serie temporali delle registrazioni dei microtrempi è stata effettuata con il software *winMASW® Academy* per il processing di dati di rumore ambientale. Le tracce acquisite, della durata di 20 minuti sono state campionate con una frequenza di 200 Hz. La lunghezza delle finestre selezionate è pari a 20 secondi. Nel processing è stata applicato uno *smoothing* pari al 15% e *tapering* 5%. È stato generalmente analizzato un intervallo di frequenza compreso tra 0.5 Hz e 20.00 Hz, riducendolo occasionalmente per l'identificazione dei picchi di interesse.

3.5. Approfondimenti di Livello 2

Grazie alle indagini eseguite è stato possibile definire il modello sismostratigrafico dell'area di studio. L'area di studio di MS1 è stata suddivisa in 9 diverse MOPS, sulla base delle quali si sono sviluppati gli approfondimenti di livello 2.

Ai fini degli approfondimenti sopra citati, volti a quantificare le amplificazioni dovute ad effetti litostratigrafici, sono stati considerati i dati derivanti dalle prospezioni sismiche di nuova esecuzione e da quelle pregresse, contenute nel P.I. n.1 e n.2. In particolare, per ciascun sito di indagine, a partire dal profilo delle V_s risultante, sono stati ricavati i valori del parametro V_{SH}^1 , necessari per ricavare i valori dei fattori di amplificazione per ciascuna zona individuata. I risultati sono sintetizzati di seguito:

Codice indagine	Località	MOPS MS1	Spessore del deposito [m]	V_{SH} [m/s]
025029L1MASW1	Cesa	Zona 3	15.3	317.22
025029L2MASW2	Villa di Limana	Zona 6	7.9	244.31

¹ Velocità equivalente del deposito definita come:

$$V_{SH} = \frac{H}{\sum_{i=1,50} \frac{h_i}{V_i}}$$

dove: H è lo spessore totale del deposito e h_i indica lo spessore (in metri) dello strato i-esimo

025029L3MASW3	Limana	Zona 6	12.7	297.67
025029L4MASW4	Limana	Zona 6	15.2	486.82
025029L5MASW5	Limana	Zona 6	12.1	400.38
025029L6MASW6	Limana	Zona 5	14.9	394.83
025029L7MASW7	Giaon	Zona 5	14.4	350.13
025029L8MASW8	Navasa	Zona 2	16.1	377.27
025029L9MASW9	Canè	Zona 5	15.5	373.61
025029L10MASW10	Triches	Zona 5	8.4	378.91
025029L11MASW11	Polentes	Zona 5	7.5	379.83
025029L12MASW12	Triches	Zona 5	12.9	415.3
025029L13MASW13	Valmorel	Zona 5	6.5	358.74
025029L14MASW14	Valmorel	Zona 5	6.65	264.86
025029L15MASW15	Coi di Navasa	Zona 5	17.2	287.12
025029L16MASW16	Limana	Zona 6	15.5	301.25
025029L17MASW17	Triches	Zona 5	8.5	390.75
025029L18MASW18	Polentes	Zona 5	7.5	354.29
025029L19MASW19	Giaon	Zona 2	15	337.5
025029L20MASW20	Villa di Limana	Zona 6	10	382.98
025029L21MASW21	Praloran	Zona 3	42	433.08
025029L22MASW22	Pieve di Limana	Zona 3	34	438.13
025029L23MASW23	Malves	Zona 5	16	490.93
025029L24MASW24	Laste	Zona 5	15.3	442.31
025029L25MASW25	Ceresera	Zona 5	13	313.58
025029L26MASW26	Cros	Zona 5	19	340.16
025029L27MASW27	Case Nice	Zona 5	19	380.74
025029L28MASW28	Navenze	Zona 5	19	329.65

Il Livello 2 di microzonazione fornisce quantificazioni numeriche, con metodi semplificati (abachi e leggi empiriche), della modificazione locale del moto sismico in superficie (zone stabili suscettibili di amplificazioni locali). Le amplificazioni sono quantificate per mezzo di “abachi” che definiscono i fattori di amplificazione degli spettri elastici in superficie, associati alle singole situazioni litostratigrafiche.

Non avendo ancora predisposto la Regione Friuli-Venezia Giulia né la Regione Veneto dei propri abachi rappresentativi degli assetti sismotettonici e geologico-tecnici regionali degli ambienti che li caratterizzano, si fa riferimento agli abachi degli ICMS (2008)².

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

Le amplificazioni dovute ad effetti litostratigrafici sono espresse con due fattori numerici (FA e FV), così come definiti negli ICMS (2008), da applicare alle ordinate spettrali a basso periodo (FA) e alto periodo (FV). Gli abachi degli ICMS (2008) sono rappresentativi di assetti litostratigrafici semplificati e sono stati sviluppati con la finalità di consentirne un utilizzo quanto più possibile diffuso. Gli abachi utilizzati sono realizzati

² “Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica” approvati dalla Conferenza delle regioni e delle Province autonome del 13/11/2008.

sintetizzando i risultati di analisi numeriche mono-dimensionali di propagazione delle onde sismiche di taglio effettuate con il programma SHAKE91 (Idriss e Sun, 1992). 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. Per la descrizione dettagliata di tali analisi si rimanda agli ICMS (2008) - §3.2 - Abachi di riferimento per gli effetti litostratigrafici (livello 2).

Gli abachi riportano i valori dei fattori FA e FV calcolati applicando la metodologia sopra citata e prevedono i seguenti parametri di ingresso:

Spessore del deposito

Lo spessore totale del deposito di terreni soffici (H) varia nei calcoli da 5 a 150 m, per un totale di 19 valori: H = 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150 m.

Velocità media del deposito e profili di velocità

La velocità equivalente del deposito di terreni soffici (V_{SH}) copre l'intervallo tra 100 e 700 m/s per un totale di 10 valori: V_{SH} = 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700 m/s. Per ognuno dei suddetti valori di velocità equivalente V_{SH} , sono considerati 3 diversi profili di velocità per lo spessore del deposito:

- Profilo 1 - velocità costante (V_{SH}) lungo tutto lo spessore del deposito
- Profilo 2 - velocità crescente con la profondità con il gradiente massimo compatibile con i seguenti limiti:
 - la V_s alla base del deposito non deve superare gli 800 m/s
 - la V_s in superficie non deve essere inferiore a 50 m/s
- Profilo 3 - profilo di velocità crescente con la profondità con gradiente intermedio tra i 2 precedenti.

Litotipi e curve di decadimento

Per il deposito sono considerati, 3 litotipi diversi (argille, sabbie e ghiaie), a ciascuno dei quali sono state associate curve di decremento del modulo di rigidezza a taglio (G/G_0) con la deformazione (γ) e curve di incremento dello smorzamento (D) con la deformazione (γ) tratte dalla letteratura. In particolare, per le argille sono utilizzate le curve di Vucetic e Dobry (1991), relative ad argille con indice di plasticità del 50%; per le sabbie si utilizzano le curve "medie" di Seed *et al.* (1986); per le ghiaie le curve di Rollins *et al.* (1998).

I valori riportati negli abachi sono la media dei risultati ottenuti da 7 simulazioni condotte con 7 accelerogrammi diversi per ciascun livello energetico (0.06g, 0.18g o 0.26g), su ciascun litotipo, spessore H e per ciascuno dei tre profili di V_s .

Seguendo la procedura illustrata negli ICMS (2008) e in Appendice ad essi (§3.2 - Abachi di riferimento per gli effetti litostratigrafici (livello 2)), utilizzando gli abachi per terreni prevalentemente ghiaiosi per i siti ricadenti nelle Zone 2 e 3 in riferimento alle MOPS e per terreni prevalentemente argillosi per i siti ricadenti nelle Zone 5 e 6, $a_g=0.26$ g e profilo di velocità=linea pendenza intermedia (pag. 136 e 154 degli ICMS), facendo riferimento ai valori di V_{SH} e spessori dei depositi ricavati dalle indagini, sono stati ottenuti i seguenti fattori di amplificazione:

Codice indagine	Località	MOPS MS1	Spessore deposito [m]	V_{SH} [m/s]	a_g [g]	Tipo terreno	Profilo velocità	FA	FV
025029L1MASW1	Cesa	Zona 3	15.3	317.22	0.26	Ghiaia	Lineare pendenza intermedia	1.93	1.24

025029L2MASW2	Villa di Limana	Zona 6	7.9	244.31	0.26	Argilla	Lineare pendenza intermedia	1.96	1.13
025029L3MASW3	Limana	Zona 6	12.7	297.67	0.26	Argilla	Lineare pendenza intermedia	1.88	1.19
025029L4MASW4	Limana	Zona 6	15.2	486.82	0.26	Argilla	Lineare pendenza intermedia	1.22	1.03
025029L5MASW5	Limana	Zona 6	12.1	400.38	0.26	Argilla	Lineare pendenza intermedia	1.32	1.03
025029L6MASW6	Limana	Zona 5	14.9	394.83	0.26	Argilla	Lineare pendenza intermedia	1.47	1.06
025029L7MASW7	Giaon	Zona 5	14.4	350.13	0.26	Argilla	Lineare pendenza intermedia	1.66	1.12
025029L8MASW8	Navasa	Zona 2	16.1	377.27	0.26	Ghiaia	Lineare pendenza intermedia	1.69	1.14
025029L9MASW9	Canè	Zona 5	15.5	373.61	0.26	Argilla	Lineare pendenza intermedia	1.66	1.12
025029L10MASW10	Triches	Zona 5	8.4	378.91	0.26	Argilla	Lineare pendenza intermedia	1.32	1.03
025029L11MASW11	Polentes	Zona 5	7.5	379.83	0.26	Argilla	Lineare pendenza intermedia	1.32	1.02
025029L12MASW12	Triches	Zona 5	12.9	415.3	0.26	Argilla	Lineare pendenza intermedia	1.88	1.19
025029L13MASW13	Valmorel	Zona 5	6.5	358.74	0.26	Argilla	Lineare pendenza intermedia	1.35	1.01
025029L14MASW14	Valmorel	Zona 5	6.65	264.86	0.26	Argilla	Lineare pendenza intermedia	1.75	1.03
025029L15MASW15	Coi di Navasa	Zona 5	17.2	287.12	0.26	Argilla	Lineare pendenza intermedia	1.88	1.19
025029L16MASW16	Limana	Zona 6	15.5	301.25	0.26	Argilla	Lineare pendenza intermedia	1.88	1.19
025029L17MASW17	Triches	Zona 5	8.5	390.75	0.26	Argilla	Lineare pendenza intermedia	1.32	1.03
025029L18MASW18	Polentes	Zona 5	7.5	354.29	0.26	Argilla	Lineare pendenza intermedia	1.43	1.04
025029L19MASW19	Giaon	Zona 2	15	337.5	0.26	Ghiaia	Lineare pendenza intermedia	1.69	1.14
025029L20MASW20	Villa di Limana	Zona 6	10	382.98	0.26	Argilla	Lineare pendenza intermedia	1.32	1.03
025029L21MASW21	Praloran	Zona 3	42	433.08	0.26	Ghiaia	Lineare pendenza intermedia	1.48	1.66
025029L22MASW22	Pieve di Limana	Zona 3	34	438.13	0.26	Ghiaia	Lineare pendenza intermedia	1.48	1.37
025029L23MASW23	Malves	Zona 5	16	490.93	0.26	Argilla	Lineare pendenza intermedia	1.22	1.03
025029L24MASW24	Laste	Zona 5	15.3	442.31	0.26	Argilla	Lineare pendenza intermedia	1.33	1.04
025029L25MASW25	Ceresera	Zona 5	13	313.58	0.26	Argilla	Lineare pendenza intermedia	1.88	1.19
025029L26MASW26	Cros	Zona 5	19	340.16	0.26	Argilla	Lineare pendenza intermedia	1.75	1.22
025029L27MASW27	Case Nice	Zona 5	19	380.74	0.26	Argilla	Lineare pendenza intermedia	1.58	1.14
025029L28MASW28	Navenze	Zona 5	19	329.65	0.26	Argilla	Lineare pendenza intermedia	1.75	1.22

4. Elaborati cartografici

La **Carta delle indagini** e la **Carta Geologico Tecnica per la Microzonazione Sismica (CGT_MS)** redatte dagli scriventi nell'ambito dello Studio di MS1 raccogliono già tutti gli elementi necessari e propedeutici allo Studio di MS2, comprese le indagini di nuova esecuzione, non hanno pertanto subito ulteriori modifiche nell'ambito dello Studio di MS2.

Per la loro descrizione si rimanda al **Cap. 8** della **Relazione illustrativa dello Studio di MS1**.

4.1. Carta di Microzonazione Sismica Livello 2

La Carta di Microzonazione Sismica è stata realizzata sulla base di tutte le informazioni disponibili acquisite in fase di studio preliminare mediante bibliografia, rilevamento, acquisizione dei dati sul campo, derivanti dai precedenti livelli di approfondimento (Carta delle MOPS) e dalla nuova campagna di indagini geofisiche appositamente condotta (determinazione profili V_s).

Per il contesto in esame sono state ipotizzati esclusivamente effetti legati ad amplificazioni litostratigrafiche.

Nella Carta di Microzonazione Sismica sono state individuate e cartografate sulla base delle evidenze geolito-logiche, geomorfologiche, litostratigrafiche e geofisiche, tre tipologie di zone che si differenziano per il diverso comportamento ipotizzato in condizioni di scuotimento sismico (diverso valore del fattore di amplificazione):

- **Zone stabili** (*shapefile* "Stab"), caratterizzate da un'amplificazione uguale a **1.0**, nelle quali non si ipotizzano effetti di alcuna natura, se non lo scuotimento, funzione dell'energia e della distanza dell'evento. Sono le zone dove è affiorante il substrato geologico.
- **Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali** (*shapefile* "Stab") in cui il moto sismico viene modificato a causa delle caratteristiche litostratigrafiche del territorio. Le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali sono caratterizzate da **classi di fattori di amplificazione**. Le amplificazioni sono state valutate attraverso gli abachi descritti in precedenza.
- **Zone suscettibili di instabilità** (*shapefile* "Instab"), ovvero zone suscettibili di attivazione dei fenomeni di deformazione permanente del territorio indotti o innescati dal sisma (instabilità di versante, liquefazioni, fagliazioni superficiale). Nella Carta di MS con solo approfondimenti di Livello 2, le zone suscettibili di instabilità per liquefazione o instabilità di versante conservano la geometria delle ZA della Carta delle MOPS, ma sono rappresentate da un simbolo che prevede lo stesso retino della ZA, con colore di fondo dato dall'amplificazione calcolata con gli Abachi.

La distinzione delle diverse zone in carta è stata operata in base alla distribuzione dei valori del fattore di amplificazione FA.

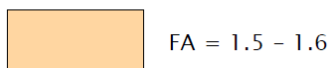
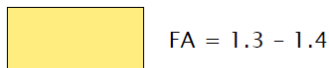
ZONE STABILI

Queste zone sono caratterizzate da **FA = 1.0**. Sono le zone dove è affiorante il substrato geologico.



ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI

Sulla base della distribuzione dei valori di FA, ricavati mediante la metodologia descritta al **Cap.3.5**, sono state individuate **n.4 classi del fattore di amplificazione, variabile tra 1.32 e 1.96**:

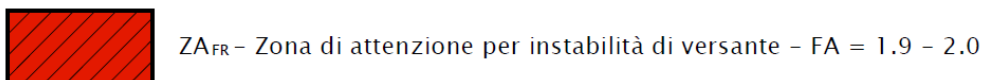
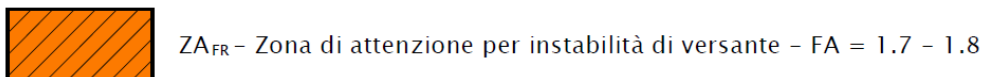
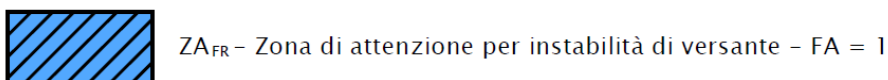


* Nella classe 1.3-1.4 sono compresi valori di amplificazione da 1.25 a 1.44, nella classe 1.5-1.6 sono compresi valori di amplificazione da 1.45 a 1.64 e così via.

Localmente, in zone con più siti di indagine disponibili e diversi valori di FA risultanti, si è proceduto a raggruppare in un'unica area attribuendo il valore di FA più sfavorevole. Inoltre, valori di FA in contrasto con quelli circostanti, ma riconducibili a situazioni litostratigrafiche assimilabili, non sono stati considerati ai fini dell'elaborazione della Carta di MS. Ciò è avvenuto in particolare per 2 siti, relativi ad indagini pregresse, ritenute meno affidabili.

ZONE SUSCETTIBILI DI INSTABILITÀ (LIVELLO 2)

Nella Carta di Microzonazione Sismica sono state riportate alcune Zone di attenzione per instabilità di versante, derivanti dai precedenti livelli di MS, sulle quali non sono stati effettuati approfondimenti di livello 3. Si tratta infatti di fenomeni di instabilità classificati come "inattivi".



4.2. Commenti finali e criticità

Le criticità rilevate al primo livello permangono:

- Per quanto riguarda la fascia di territorio pianeggiante, specialmente per la sua porzione centrale, sono state reperite numerose indagini che consentono di ricostruire con buona approssimazione il modello geologico e l'andamento del substrato. In questa porzione di territorio grazie ad una buona distribuzione delle indagini geofisiche, calibrate sui dati derivanti dalle indagini dirette, consente di quantificare più agevolmente gli effetti legati all'amplificazione litostratigrafica e definire la distribuzione areale dei valori di FA.
- Relativamente alla fascia collinare e montana del territorio non esistono invece molti dati e studi specifici; le informazioni sono state ricavate per lo più da studi a scala regionale o macroregionale, mentre per l'analisi a scala di dettaglio è stato necessario ricorrere all'esecuzione di svariate indagini nell'ambito dello Studio di MS1, per risolvere le incertezze del modello sintetico iniziale. Le informazioni derivanti dalle indagini di nuova esecuzione sono tuttavia, in molti casi, puntuali e talvolta insufficienti a ricostruire la distribuzione areale dei valori dei fattori di amplificazione, data la variabilità geolitologica e morfologica. In questa porzione di territorio, pertanto, il modello ricavato in molti casi è approssimato e non calibrato con dati derivanti da indagini dirette.

Il rilievo in sito eseguito presso gli affioramenti rocciosi e i principali dissesti segnalati dalla cartografia P.A.I. e IFFI non ha ravvisato evidenze di cinematismi in atto, né presso gli affioramenti, né presso le coltri detritiche. Non sono stati pertanto considerati fenomeni di instabilità attivi in cartografia che dovrebbero essere oggetto di approfondimenti di livello 3.

In generale per il contesto in esame si ritiene che gli effetti di modificazione del moto sismico siano legati principalmente ad amplificazioni litostratigrafiche, quantificabili attraverso l'utilizzo di abachi, secondo le metodologie descritte al **Cap.3.5**.

Santo Stefano di Cadore, giugno 2022

Per IGS SRL

dott. geol. David Pomarè Montin



dott.ssa geol. Cristina Gerdol

