



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 della legge 24 giugno 2009, n.77

STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione illustrativa SISMICA

Regione del Veneto

Comune di Mareno di Piave



Regione	Soggetto realizzatore	Data
		Luglio 2016

INDICE

1	INTRODUZIONE E GENERALITA'	3
1.1	Riferimenti normativi	4
1.2	Ambiti di studio	6
PARTE I		8
2	PERICOLOSITA' DI BASE ED EVENTI DI RIFERIMENTO	8
2.1	Generalità	8
2.2	Definizione della pericolosità di base.....	10
2.3	La classificazione sismica del comune.....	14
2.4	La classificazione sismica del territorio comunale	18
2.5	I sistemi di faglie attive	19
2.5.1	<i>Cenni storici</i>	19
2.5.2	<i>Studio delle faglie</i>	22
2.5.3	<i>Le sorgenti sismogenetiche responsabili di terremoti distruttivi</i>	23
PARTE II		26
3	ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA	26
3.1	Inquadramento geologico- geomorfologico	26
4	DATI GEOTECNICI E GEOFISICI	27
5	MODELLO DEL SOTTOSUOLO	28
5.1	Individuazione delle microzone	28
5.2	Metodologia di studio	31
5.2.1	<i>Tecniche di misura</i>	32
5.2.2	<i>Breve descrizione dei metodi</i>	34
1	INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE	37
2	METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI	41
3	ELABORATI CARTOGRAFICI	42
3.1	Carta delle indagini (T1)	42
3.2	Carta geologico-tecnica (T2)	43
3.3	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica MOPS (livello 1).....	44
3.3.1	<i>Zona 1 - Categoria di suolo B</i>	45
3.3.2	<i>Zona 2 - Categoria di suolo B</i>	45
3.3.3	<i>Zona 3 - Categoria di suolo C</i>	45
4	ZONE POTENZIALMENTE SUSCETTIBILI DI INSTABILITÀ	45
4.1.1	<i>Liquefazione</i>	46
4.1.2	<i>Forme di superficie</i>	48
4.1.3	<i>Faglie attive e capaci</i>	48
5	CONCLUSIONI	49
6	BIBLIOGRAFIA	50
7	ALLEGATI	52

1 INTRODUZIONE E GENERALITA'

L'ufficio tecnico del comune di Mareno di Piave (Treviso), nella persona del responsabile di servizio geom. Marcello Favero, mi ha affidato l'incarico relativo per compiere lo studio di Microzonazione Sismica del territorio comunale ai fini dell'attuazione del Piano di Assetto del Territorio (PAT) eseguito in coerenza con il Piano di Assetto del Territorio Intercomunale (P.A.T.I.) dei comuni di Santa Lucia di Piave, Mareno di Piave e Vazzola.

Questo in considerazione del fatto che il comune di Mareno di Piave è classificato in zona sismica 3, a seguito della OPCM3274/2003, entrata in vigore il 8/5/2003, recepita dalla Regione Veneto con DGR n. 67 del 3/12/2003 ovvero con sismicità medio-bassa. L'accelerazione di riferimento per il comune è $a_g=0.218411$ come riportato in all. 7 della OPCM 3907/2010.

La Convenzione, sottoscritta il 20 ottobre 2014, riporta il **CUP: B19E14000000004** ed il **CIG: ZAA0DE1C10**.

La definizione della velocità sismica dei primi 30 m di sottosuolo, argomento principale di questo studio di Microzonazione Sismica (di seguito indicata come MS), è la prima importante fase per lo studio di Microzonazione Sismica (MS) vero e proprio (cfr. Allegati A DGR 3308 del 4/11/2008 e DGR 1572 del 03/09/2013) come specificato negli indirizzi e criteri emanati a scala nazionale.

La presente relazione illustra i dati riguardanti gli approfondimenti effettuati e fa riferimento alla cartografia allegata che contiene l'ubicazione delle indagini, l'individuazione delle microzone omogenee e relative condizioni predisponenti l'amplificazione delle onde sismiche.

Il documento tecnico di riferimento per la realizzazione degli studi di microzonazione sismica è rappresentato dagli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica" (di seguito indicato con la sigla ICMS) approvati il 13 novembre 2008 dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome in accordo con la Presidenza del Consiglio dei Ministri e del Dipartimento della Protezione Civile. Gli standard per la stesura della carta delle indagini, della carta geologico-tecnica e la carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica e la loro informatizzazione sono quelli indicati dalla Commissione tecnica per la microzonazione sismica (articolo 5, comma 7 dell'OPCM 13 novembre 2010, n. 3907) con le linee guida 2012

della Protezione Civile nazionale “standard di rappresentazione e archiviazione informatica” versione 3.0 ottobre 2013. A questo si aggiungono le “linee guida per gli studi di microzonazione sismica” pubblicati come allegato A alla DGR 1572 del 03/09/2013.

Gli studi di MS si propongono di:

- identificare e perimetrare le aree a differente pericolosità sismica locale (microzone, solitamente grandi alcuni ettari o alcuni isolati);
- stimare le risposte dei terreni delle diverse microzone, in modo da stabilire gerarchie di pericolosità e fornire elementi conoscitivi per una pianificazione del territorio e progettazione delle opere, adeguate alla pericolosità sismica del sito.

Nella sua interezza il documento nazionale intende costituire un elemento utile all’approfondimento della pericolosità sismica locale, necessario all’analisi del rischio sismico, applicabile ai settori della programmazione territoriale, della pianificazione urbanistica, della pianificazione dell’emergenza e della normativa tecnica per la progettazione. Il documento individua e determina criteri, metodi e procedure per l’esecuzione di azioni di microzonazione a diverse scale e con diversi livelli di approfondimento.

Si precisa che l’avvio di uno studio di microzonazione sismica a livello regionale riveste carattere sperimentale e pertanto deve essere inteso come “fase pilota” ed i livelli di approfondimento potranno essere aggiornati e/o integrati nel tempo al fine di migliorarne l’applicabilità in relazione al contesto geologico-tecnico locale. La microzonazione sismica (MS) ha lo scopo di riconoscere ad una scala sufficientemente grande (scala comunale o sub comunale) le condizioni locali che possono modificare sensibilmente le caratteristiche del moto sismico atteso o possono produrre deformazioni permanenti rilevanti per le costruzioni e le infrastrutture. In sostanza, lo studio di MS viene sintetizzato in una carta del territorio nella quale sono indicate le zone in cui il moto sismico viene modificato rispetto a quello atteso in condizioni ideali di roccia rigida e pianeggiante e, pertanto, gli scuotimenti attesi sono superiori a quelli forniti dagli studi di pericolosità di base.

1.1 Riferimenti normativi

Il lavoro è stato svolto in accordo con la D.G.R. 3308/2008 e la D.G.R. 1572/2013 per arrivare alle cartografie definite “livello 1” in quest’ultimo documento.

La base di partenza sono stati gli elaborati della relazione geologica del PATI e relative cartografie a cura del dott. geol. Jacopo De Rossi.

Altre norme considerate:

- L. 02.02.1974, n. 64, *"Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche"*;
- D. M. 14.05.1982, *"Aggiornamento dell'elenco delle zone sismiche del Veneto"*;
- D.M. 11.03.1988, *"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, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione"*;
- Circ. LL. PP. 24 settembre 1988, n° 30483 *"Norme tecniche per terreni e fondazioni - Istruzioni applicative"*;
- Circ. Reg. Veneto 05.04.2000, n. 9, *"Indirizzi in materia di prescrizioni tecniche da osservare per la realizzazione di opere pubbliche e private. Obblighi derivanti dalla L. 02.02.1974, n. 64 e dal D.M. 11.03.1988"*;
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20.03.2003, *"Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per la costruzione in zona sismica"*;
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3431 del 03.05.2005 *"Ulteriori modifiche ed integrazioni all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, recante «Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica»"*;
- D.M. 14.09.2005, *"Norme tecniche per le costruzioni"*;
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28.04.2006 *"Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone"*;
- Legge n. 77 del 24 Giugno 2009, *"Interventi urgenti di Protezione Civile in materia di prevenzione del rischio sismico"*.
- Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri 12 ottobre 2007, *"Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni"*.

- D.M. 14.01.2008, “*Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni*”.
- D.G.R. del Veneto n. 71 del 22 gennaio 2008, “Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 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*”. Direttive per l’applicazione.
- Circolare 02 febbraio 2009 n. 617/C.S.LL.PP..
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3907 del 13 novembre 2010.
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 4007 del 29/02/2012.
- Deliberazione della Giunta Regionale n. 1496 del 20 settembre 2011, “*Fondo statale per interventi di prevenzione del rischio sismico di cui all’Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3907 in data 13 novembre 2010*”.

1.2 Ambiti di studio

Nell’ambito della pianificazione territoriale del comune di Mareno di Piave lo studio di MS è stato condotto su quelle aree per le quali le condizioni normative consentono o prevedono l’uso a scopo edificatorio o per infrastrutture, o la loro potenziale trasformazione a tali fini. Sono stati privilegiati quindi gli ambiti di sviluppo insediativo, siano essi a destinazione residenziale, produttiva, dei servizi o infrastrutturale. Per completezza le indagini sono state estese anche ad aree dove non sono al momento previste trasformazioni urbanistiche ma puntando alla caratterizzazione di aree presumibilmente omogenee dal punto di vista geologico. In questa ottica è stata stralciata (cioè non studiata) la porzione meridionale del territorio comunale posta all’interno dell’argine maestro del f. Piave.

Il territorio comunale di Mareno di Piave (circa 27,8 km²), collocato nella parte centro-orientale della Provincia di Treviso, si estende entro una fascia sostanzialmente pianeggiante. I caratteri litologici dei terreni quaternari sono ascrivibili a depositi fluvioglaciali wurmiani e postglaciali e risentono in particolare della presenza di estese conoidi detritiche in rilevante spessore (centinaia di metri) sopra ad un substrato geologico prequaternario.

Oltre alla cartografia di base costituita dalla Carta Tecnica Regionale a scala 1: 5.000, le cartografie tematiche di riferimento utilizzate sono state quelle dello studio geologico 2011 del PATI (Santa Lucia di Piave, Mareno di Piave e Vazzola) a cura del collega dott. Jacopo De Rossi.

La base conoscitiva di partenza per la predisposizione della rete di caratterizzazione sismica, individuata da una serie di stazioni di misura del parametro VS_{30} distribuiti sul territorio in relazione alla distribuzione dei principali corpi deposizionali è certamente la carta geolitologica e dei sistemi morfo-deposizionali, facilmente ricostruibile dalla cartografia tematica disponibile nella documentazione già citata, in particolare gli allegati al PATI 2011.

Per quanto riguarda i terremoti storici che hanno colpito l'area si è fatto riferimento al Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI), disponibile al sito <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI04/>, frutto di un progetto portato avanti da un Gruppo di Lavoro formato da ricercatori dell'Istituto Nazionale di Geofisica (ING), del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (GNDT) del CNR, della società SGA Storia Geofisica Ambiente (SGA) e del Servizio Sismico Nazionale (SSN). Il catalogo viene aggiornato periodicamente sulla scorta delle nuove conoscenze. Dalla prima formulazione del 1999 (CPTI99), ne è seguita una seconda nel 2004 (CPTI04) ed una terza nel 2008 (CPTI08) che aggiornava quella precedente per gli anni dal 1901 al 2006, anche questa disponibile online. L'ultimo aggiornamento del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI11), è sempre disponibile all'indirizzo: <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI11/>.

Per quanto riguarda le faglie capaci che interessano il territorio comunale si è invece fatto riferimento al catalogo ITHACA "ITaly HAZard from CApable faults", disponibile on-line all'indirizzo http://www.apat.gov.it/site/it-IT/Progetti/ITHACA-Catalogo_delle_faglie_capaci

La base cartografica utilizzata è la Carta Tecnica Regionale a scala 1:5000, i cui riferimenti specifici sono i seguenti:

- Elemento 105041 Villa Rosa;
- Elemento 085134 Mareno di Piave;
- Elemento 085133 Tezze di Vazzola;
- Elemento 085131 Vazzola;
- Elemento 085093 San Felice;
- Elemento 085092 Cimavilla;
- Elemento 084162 Santa Maria di Piave di Mareno;
- Elemento 084161 Madonna di Ramoncello;
- Elemento 084122 Bocca di strada.

Alcuni aspetti sono stati definiti anche sulla scorta dell'osservazione allo stereoscopio delle fotoaeree IGMI volo del 1993 e delle immagini CGR del 1998-99, 2003 e 2007 nonché DigitalGlobe 2011 e TerraItaly 2012.

PARTE I

2 PERICOLOSITA' DI BASE ED EVENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Generalità

La pericolosità sismica di base, definita ai sensi del D.M. 14/01/2008, è la componente della pericolosità sismica dovuta alle caratteristiche sismologiche dell'area (tipo, dimensioni e profondità delle sorgenti sismiche, energia e frequenza dei terremoti). Essa calcola (generalmente in maniera probabilistica), per una certa regione e in un determinato periodo di tempo, i valori di parametri corrispondenti a prefissate probabilità di eccedenza, con riferimento a condizioni ideali di bedrock sismico affiorante e privo di irregolarità morfologiche (superficie topografica orizzontale) e fornisce le caratteristiche del terremoto di riferimento (velocità, accelerazione, intensità, ordinate spettrali). La scala di studio è solitamente regionale e costituisce una base per la definizione del terremoto di riferimento per studi di microzonazione sismica.

Teoria ed esperienze nazionali ed internazionali, mostrano con estrema chiarezza che in concomitanza di eventi sismici, l'intrinseca eterogeneità delle caratteristiche geometriche, fisiche, idrauliche e meccaniche dei terreni, ovvero l'assetto geologico, può indurre danni all'ambiente fisico ed all'ambiente costruito variabili anche in siti posti a breve o brevissima distanza. Tale fenomeno dipende innanzitutto dalle caratteristiche del moto sismico al tetto della formazione di base, nonché dalle caratteristiche geometriche profonde e superficiali dei terreni, dalle loro proprietà fisiche e meccaniche, dalle caratteristiche di permeabilità e dalle condizioni idrauliche al contorno. Questo presuppone un affinamento della pericolosità sismica di base attraverso studi appropriati sulla risposta sismica locale. La risposta sismica locale è la modificazione in ampiezza, frequenza e durata dello scuotimento sismico dovuta alle specifiche condizioni lito-stratigrafiche 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.

L'obiettivo del presente studio di Microzonazione Sismica è quello di costruire un modello di velocità di propagazione delle onde elastiche, in modalità trasversale, nei primi 30 metri di profondità e di operare la previsione, su scala locale, del rischio sismico atteso e dei suoi effetti sull'ambiente fisico e costruito. La finalità è quindi quella di operare una suddivisione dettagliata del territorio comunale in sottozone a diversa pericolosità sismica locale, tenendo

conto sia della sismicità di base (distanza dalle sorgenti sismogenetiche, energia, frequenza e tipo dei terremoti attesi), sia delle caratteristiche geologiche, morfologiche e geofisiche locali. La MS, individuando microzone a comportamento sismico omogeneo, consente, in particolare, di indirizzare le scelte di pianificazione verso gli ambiti a minore rischio.

In funzione dei diversi contesti e dei diversi obiettivi gli studi di MS possono essere effettuati a vari livelli di approfondimento, con complessità ed impegno crescenti, passando dal livello 1 fino al livello 3:

- il livello 1 consiste in una raccolta di dati preesistenti oltre alla esecuzione di indagini mirate ad acquisire i parametri sismici del sottosuolo, elaborati per suddividere il territorio in microzone qualitativamente omogenee rispetto alle fenomenologie sopra descritte; lo studio in corso attiene a questo livello;
- il livello 2 definisce la Carta di Microzonazione Sismica; consente di meglio definire il modello geologico del sottosuolo e di fornire per ciascuna microzona identificata una quantificazione numerica degli effetti, ottenuta con metodi semplificati (abachi);
- il livello 3 restituisce una Carta di microzonazione sismica con approfondimenti su tematiche o aree particolari o su ambiti di rilevanza strategica; è il livello di maggiore approfondimento per la definizione e caratterizzazione delle zone suscettibili di amplificazioni o di instabilità, perché consente di risolvere le situazioni geologiche e geotecniche complesse, ad esempio inversioni di velocità, non risolvibili con abachi o metodi semplificati, modificando sostanzialmente le carte di microzonazione di livello 1 e 2. Il livello 3, naturalmente richiede un impegno di risorse economiche e professionali importante, giustificato, ad esempio, nel caso di una fase di ricostruzione post-terremoto ma anche, in fase preventiva, nelle aree a più elevato rischio sismico.

Come detto in precedenza il presente studio costituisce il livello 1, in quanto si occupa dell'acquisizione dei dati di base utili per individuare:

- zone nelle quali non sono previste significative modifiche dello scuotimento che l'evento sismico causerebbe su terreni rigidi e pianeggianti;
- zone nelle quali lo scuotimento è amplificato;
- zone suscettibili di liquefazioni;
- zone interessate da faglie attive e capaci;
- zone interessate da cedimenti differenziali.

2.2 Definizione della pericolosità di base

La più recente normativa sismica italiana, entrata in vigore il 8/5/2003 con la pubblicazione sulla G.U. dell'Ordinanza P.C.M. n. 3274, recepita dalla Regione Veneto con DGR n. 67 del 3/12/2003, suddivide il territorio italiano in quattro zone sismiche, abbandonando la precedente terminologia di categorie sismiche. Uno dei cambiamenti fondamentali apportati dalla normativa è stata l'introduzione della zona 4, in questo modo tutto il territorio italiano viene definito come sismico. L'appartenenza a ciascuna zona sismica comporta l'adozione di specifiche caratteristiche prestazionali per nuovi edifici e strutture, regolate da opportune norme sismiche contenute nel medesimo provvedimento legislativo e successive modifiche ed integrazioni. In linea teorica, l'ingresso in zona sismica è agganciato al valore dell'accelerazione orizzontale di picco (Peak Ground Acceleration, PGA, indicata anche come accelerazione massima orizzontale) riferita ad un terreno a comportamento assimilabile alla roccia, ottenuta per un predeterminato livello di probabilità da studi di pericolosità sismica a carattere nazionale. I valori di PGA convenzionalmente associati alle zone sismiche sono riportati nella tabella successiva.

Zona	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (ag/g)	Accelerazione di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (ag/g)
1	> 0.25	0.35
2	0.15 ÷ 0.25	0.25
3	0.05 ÷ 0.15	0.15
4	< 0.05	0.05

Tabella 1 – valori di riferimento della attuale normativa sismica

Un ulteriore affinamento delle zone sismiche è stato fatto con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 28 aprile 2006, n. 3519 recante "*Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone*", pubblicata nella G.U. dell'11 maggio 2006, n. 108, in cui sono state stabilite nuove disposizioni per l'individuazione a livello regionale delle zone sismiche che supera il concetto di categoria legato alle suddivisioni amministrative della precedente Ordinanza. Con il medesimo provvedimento è stata approvata la mappa di pericolosità sismica di riferimento nazionale che contiene le accelerazioni orizzontali massime convenzionali al suolo di tipo A, necessarie per redigere il calcolo sismico delle costruzioni.

Quindi la OPCM 3519 di fatto supera il concetto stesso di zonazione, imponendo valori discretizzati nello spazio: la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido ($V_{s30} > 800$ m/s), viene definita mediante un approccio

“sito dipendente” e non più tramite un criterio “zona dipendente”. Ciò comporta delle non trascurabili differenze nel calcolo dell’accelerazione sismica di base rispetto alle precedenti normative.

Con le precedenti normative in campo antisismico, applicando il criterio “zona dipendente” avremmo potuto stimare l’accelerazione di base (senza considerare l’incremento dovuto ad effetti locali dei terreni) in maniera automatica, poiché essa sarebbe stata direttamente correlata alla Zona sismica di appartenenza del comune (nel caso di Mareno di Piave, Zona sismica 3). Con l’entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008 la classificazione sismica del territorio comunale è scollegata dalla determinazione dell’azione sismica di progetto, mentre rimane il riferimento per la trattazione di problematiche tecnico-amministrative connesse con la stima della pericolosità sismica.

I nuovi criteri per l’individuazione della zona sismica si basano su un elaborato grafico che rappresenta il territorio italiano in 12 fasce di valori di PGA di riferimento; innovando le disposizioni dell’O.P.C.M. 3274/03, oltre ai valori standard delle accelerazioni riferite a suoli rigidi viene fornita anche una stima dell’incertezza, tramite predefiniti percentili della distribuzione associata. Per l’attribuzione del sito alla fascia di pericolosità sismica di competenza è stato creato un reticolo di riferimento i cui nodi, individuati in termini di latitudine e longitudine, debbono distare di un passo $\leq 0,05^\circ$: l’INGV ha fornito i parametri di griglia con passo $0,05^\circ$ e $0,02^\circ$ (in termini di distanza circa 10 km e circa 5 km). Per ogni punto vengono forniti i seguenti parametri:

id	identificativo del punto della griglia di calcolo
long	longitudine espressa in gradi sessagesimali-decimali
lat	latitudine espressa in gradi sessagesimali-decimali
ag	accelerazione massima del suolo (50mo percentile, valore standard)
16perc	accelerazione massima del suolo (16mo percentile)
50perc	accelerazione massima del suolo (50mo percentile)
84perc	accelerazione massima del suolo (84mo percentile)

In sostanza si è passati da una mappa di pericolosità sismica (2004) utilizzabile dalle Regioni come riferimento per aggiornare l’assegnazione di un Comune a una delle 4 zone sismiche a una dettagliata descrizione dello scuotimento atteso, espresso in termini di parametri ingegneristici. Successive elaborazioni (Progetto INGV-DPC S1, realizzato nell’ambito della

Convenzione triennale 2004-2006 fra il Dipartimento Nazionale di Protezione Civile, e INGV, avente come oggetto l'assistenza scientifica e manutenzione dell'elaborato di pericolosità rilasciato nel 2004) hanno portato ad ampliare la disponibilità di valori di pericolosità, riferiti a diverse probabilità di eccedenza, e/o valori di accelerazione spettrale. In particolare alcuni dati estrapolati dalla griglia:

- A_g = accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_C^* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale,

servono per ricavare gli spettri di progetto da utilizzare nella progettazione secondo le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) approvate col D.M. 14/01/08. I punti della griglia sono consultabili on-line presso un sito WebGis appositamente predisposto: <http://esse1.mi.ingv.it>.

Le zone sismiche tradizionali dell'Ordinanza 3274/2003 sopravvivono solo per scopi amministrativi e per la zona 4.

I valori dei parametri a_g , F_0 e T_C^* determinati sono relativi a situazioni geologiche corrispondenti ad un sito con assenza di effetti locali dei terreni (Categoria A), ovvero con presenza di substrato sismico ($V_{s30} > 800\text{m/s}$) affiorante o subaffiorante ed in condizioni morfologiche pianeggianti.



Sulla base di quanto detto sopra e utilizzando software specifici disponibili in rete (Geostru PS Parametri Sismici v. 1.5 oppure EdiLus-MS ACCA), il valore mediato del moto sismico rispetto ai quattro punti di maglia che lo comprendono e riferito al Municipio in Piazza Municipio a Mareno di Piave, può essere descritto convenientemente dallo spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali del moto che tengono in debito

conto delle amplificazioni locali (stratigrafiche e topografiche).

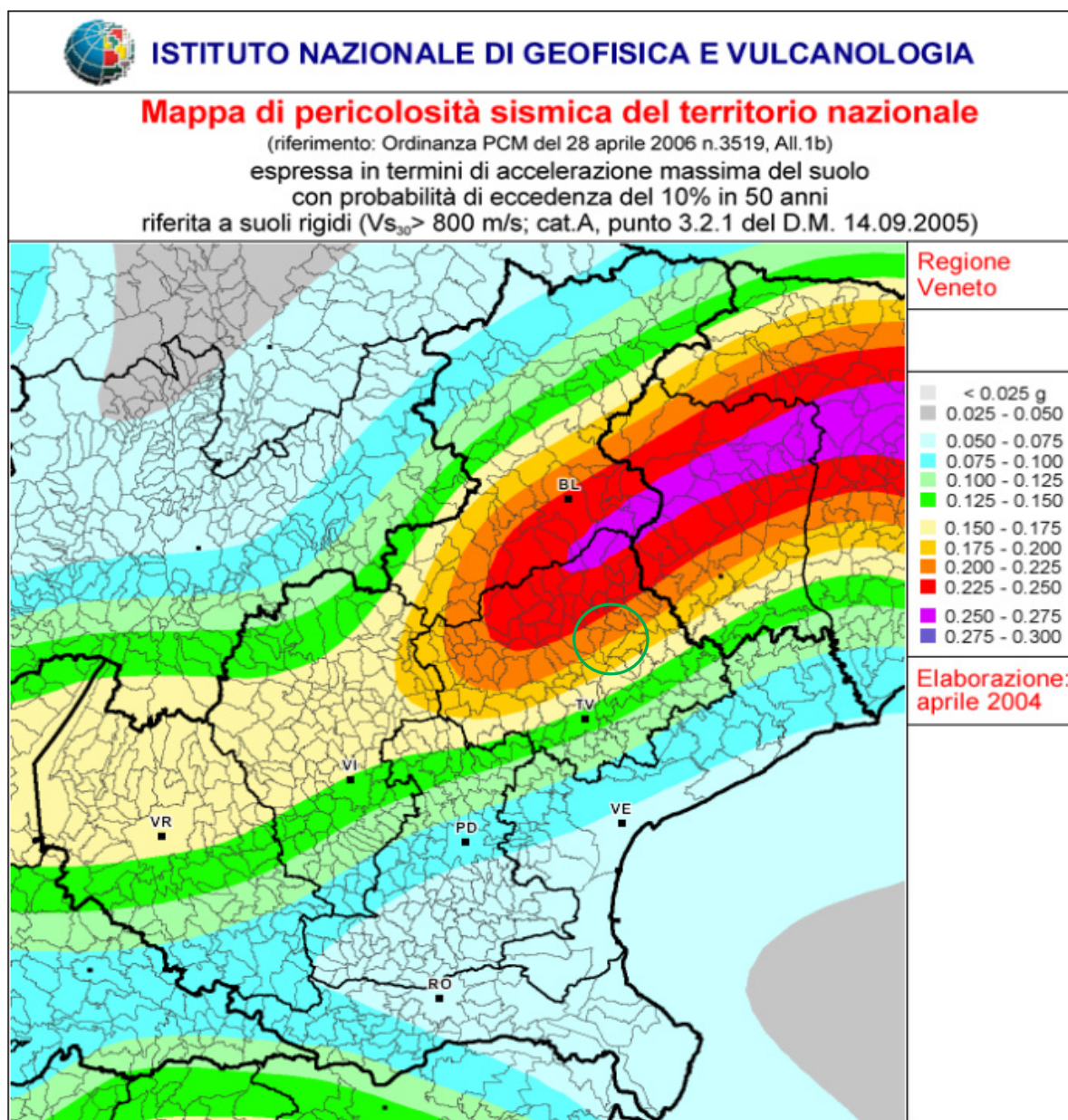
La categoria topografica è la T1 in quanto pendio con inclinazione media inferiore ai 15°. Nella tabella sotto sono riportati i dati di ingresso e quelli di uscita, deducibili come detto dallo spettro di accelerazione, da utilizzare nelle verifiche allo stato limite di salvaguardia della vita SLV come richiesto dalla normativa mediando dai valori di griglia del Ministero.

Da notare l'attribuzione di classe d'uso II che è propria di edifici residenziali e non di fabbricati strategici. I dati di longitudine e latitudine del sito sono desunti da Google Maps.

	Coordinate ED50	Coordinate WGS 84
Latitudine e Longitudine sito	N 45,842004 E 12,352672	N 45,841108 E 12,351679
	Dati di ingresso	Dati in uscita
Vita nominale dell'opera	50 anni	
Classe d'uso	II	
Fo	2,429	
Tc*	0,326	
Accelerazione orizzontale max al sito ag(g)	0,201	
Tipo terreno	B	
Coefficiente Cc	$1,10 \cdot (Tc^*)^{-0,20}$	1,376
Amplificazione Stratigrafica Ss	$1,40 - 0,40 \cdot Fo \cdot ag/g$	1,205
Amplificazione Topografica St	T1	1,0
Accelerazione massima attesa in superficie	$a_{max} = Ss \cdot St \cdot ag/g$	$1,205 \cdot 1,0 \cdot 0,201 = \mathbf{0,242}$

Nella figura seguente è riportato uno stralcio della “Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale” relativa alla Regione Veneto redatta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia nel 2004 e recepita dalla recente Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28.04.2006 sopra citata, che assume il ruolo di riferimento ufficiale per eventuali aggiornamenti della zonazione sismica del territorio da parte dei soggetti che ne hanno la competenza territoriale ovvero le Regioni.

Per una più rigorosa analisi della risposta sismica locale vanno quindi considerate sia le caratteristiche della superficie topografica che quelle stratigrafiche le quali possono modificare il moto sismico in superficie amplificandolo e favorendo anche eventuali fenomeni di instabilità.



2.3 La classificazione sismica del comune

Per quanto riguarda i dati sismici storici di Mareno di Piave è stato utilizzato sia il catalogo NT4.1 (Camassi e Stucchi, 1996) e sia il Data Base Macrosismico Italiano del 2004 (DBMI04) e successivi aggiornamenti: entrambi non danno notizia di eventi significativi nell'area in epoca storica. Per i valori di intensità risentita sono stati invece utilizzati i dati contenuti nel solo Data Base Macrosismico Italiano del 2004 (DBMI04, il database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI04), redatto dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), disponibile nel suo ultimo aggiornamento al sito <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/>. Secondo il database nel territorio in esame, come detto sopra, non sono stati registrati eventi specifici con

magnitudo superiore a 4.5 della scala Richter, ma è stata interessata da scuotimenti sismici di una certa entità (intensità registrata al sito $I_s \geq 5$) in occasione dei terremoti con epicentro in località vicine:

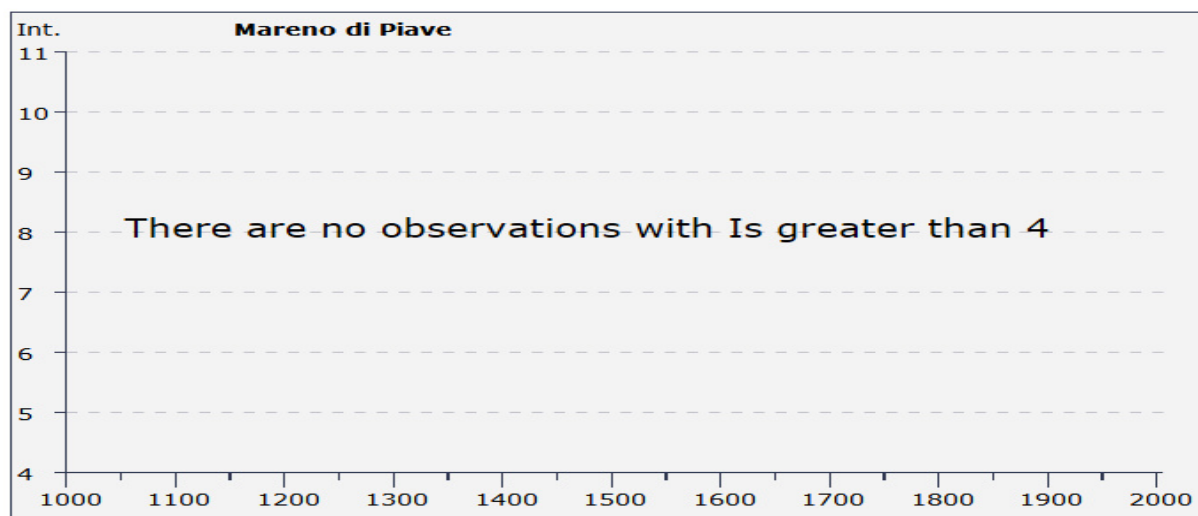
Località vicine (within 10km)			
Località	Stato	NMO	Distanza
Cimadolmo	IT	3	6km
Codognè	IT	7	7km
Conegliano	IT	31	6km
Fontanelle	IT	3	7km
Ormelle	IT	3	9km
San Fior (di Sopra)	IT	6	9km
San Polo di Piave	IT	4	7km
San Vendemiano	IT	6	6km
Susegana	IT	3	8km
Vazzola	IT	4	2km

I dati riassuntivi delle osservazioni in merito all'intera storia sismica sono riportati nelle tabelle sottostanti

Storia sismica di Mareno di Piave

Numero di eventi: 4

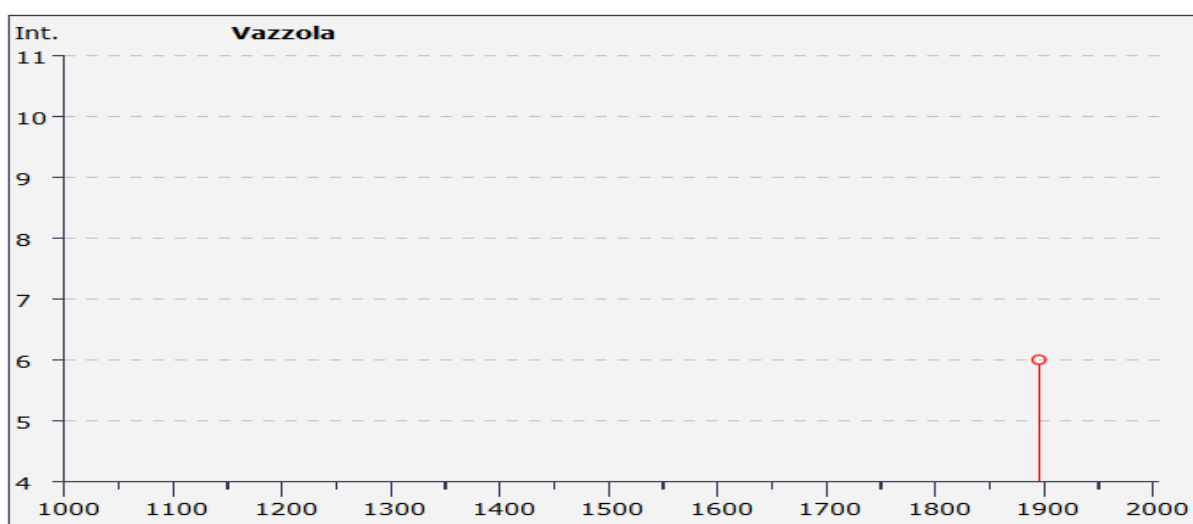
Effetti	In occasione del terremoto del:			
I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
NF	1987 05 02 20:43	Reggiano	802	6 4.74 ± 0.09
NF	1994 04 20 21:25	CADORE	159	5-6 4.15 ± 0.09
3	2004 07 12 13:04	Alpi Giulie	366	5.19 ± 0.09
NF	2004 12 04 22:20	Valle del Piave	115	5 4.18 ± 0.14



Di seguito vengono riportati i dati sismici storici relativi ad alcuni **comuni circostanti** quello di Mareno di Piave per i quali si ha una storia sismica maggiormente documentata:

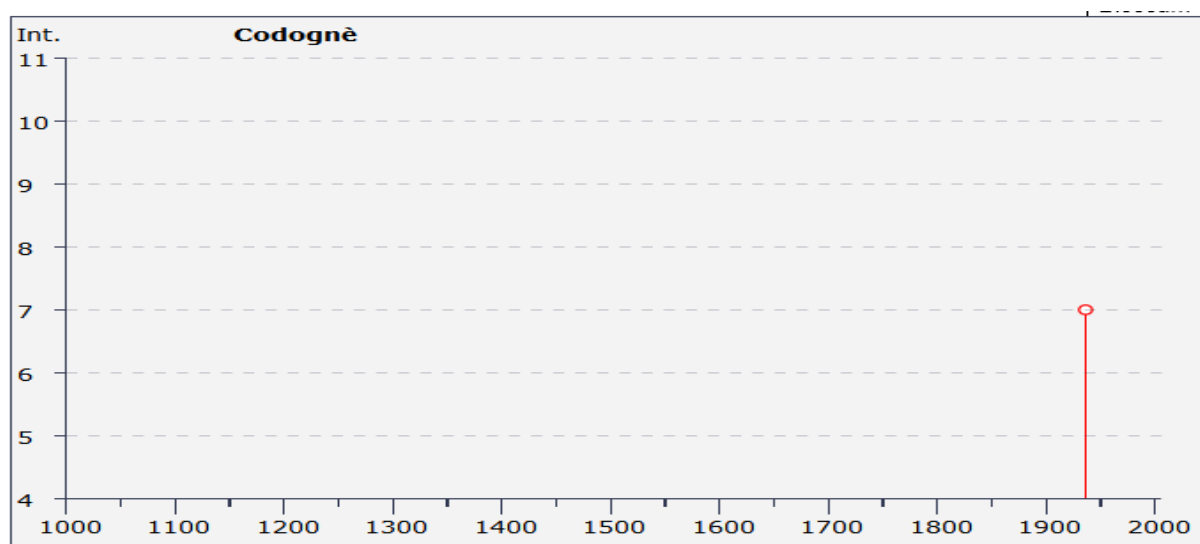
Storia sismica di Vazzola

Numero di eventi: 4				
Effetti	In occasione del terremoto del:			
I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
6	1895 04 14 22:17	Slovenia	296	8 6.23 ± 0.08
2	1952 01 18 01:36	POLCENIGO	108	5 4.57 ± 0.18
NF	1987 05 02 20:43	Reggiano	802	6 4.74 ± 0.09
NF	2004 12 04 22:20	Valle del Piave	115	5 4.18 ± 0.14



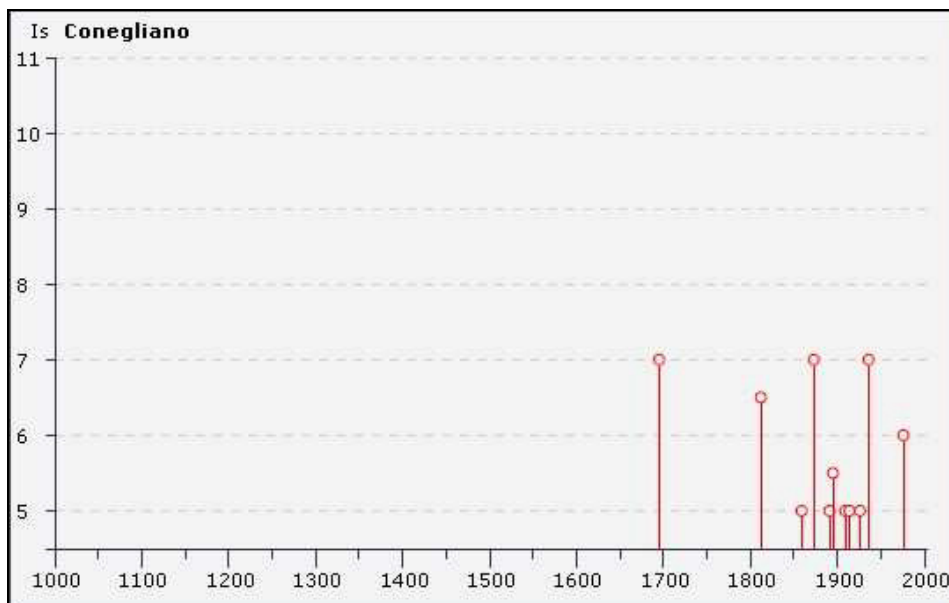
Storia sismica di Codognè

Numero di eventi: 7				
Effetti	In occasione del terremoto del:			
I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
NF	1897 06 11 12:45	Cornuda	47	5-6 4.54 ± 0.33
NF	1898 03 04 21:05	Valle del Parma	313	7-8 5.41 ± 0.09
7	1936 10 18 03:10	BOSCO CANSIGLIO	267	9 6.12 ± 0.09
3	1952 01 18 01:36	POLCENIGO	108	5 4.57 ± 0.18
2-3	1994 04 20 21:25	CADORE	159	5-6 4.15 ± 0.09
3	2004 07 12 13:04	Alpi Giulie	366	5.19 ± 0.09
NF	2004 12 04 22:20	Valle del Piave	115	5 4.18 ± 0.14



Storia sismica di Conegliano

Effetti	In occasione del terremoto del:								
Is	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Area epicentrale	Np	Ix	Mw
7	1695	02	25	05	30	Asolano	82	10	6.61
6-7	1812	10	25	07		SEQUALS	34	7-8	5.70
5	1859	01	20	07	55	COLLALTO	36	7	4.97
7	1873	06	29	03	58	Bellunese	199	9-10	6.33
3	1879	06	22	04	15	TARCENTO	16	5-6	4.81
F	1890	03	26	20	10	CADORE	48	6-7	5.09
5	1891	06	07	01	06	Valle d'Illasi	403	9	5.71
5-6	1895	04	14	22	17	Slovenia	296	8	6.25
4	1900	03	04	16	55	VALDOBBIADENE	98	6-7	5.22
5	1909	01	13	00	45	BASSA PADANA	799	6-7	5.53
5	1914	10	27	09	22	GARFAGNANA	618	7	5.79
2	1916	05	17	12	50	Alto Adriatico	130	8	5.85
4	1916	08	16	07	06	Alto Adriatico	256	8	5.92
4	1924	12	12	03	29	CARNIA	78	7	5.53
5	1926	01	01	18	04	Slovenia	63	7-8	5.71
3-4	1930	05	14	00	01	AURONZO	15	6	5.01
3	1930	10	30	07	13	SENIGALLIA	263	8-9	5.94
2-3	1931	12	25	11	41	TARCENTO	45	7	5.36
4	1934	05	04	13	56	CARNIA	80	6-7	4.83
7	1936	10	18	03	10	BOSCO CANSIGLIO	267	9	5.90
2	1938	07	07	07	48	CELLINA	7	5	4.99
3	1952	01	18	01	36	POLCENIGO	108	5	4.68
6	1976	05	06	20		FRIULI	770	9-10	6.43
NF	1983	11	09	16	29	Parmense	835	7	5.10
3	1987	05	02	20	43	REGGIANO	802	6	5.05
3	1998	04	12	10	55	SLOVENIA-FRIULI	227	6	5.70



2.4 La classificazione sismica del territorio comunale

In base alla zonazione attualmente adottata dall'INGV (ZS9), il territorio di Mareno di Piave si trova a ridosso della zona sismotettonica ZS905 (Friuli – Veneto Orientale, vedi fig. 1) con M_{wmax} attesa di 6.60.

Il meccanismo di fagliazione responsabile dei terremoti che si sono verificati in questa zona è di tipo faglia inversa, con “profondità efficace” (profondità alla quale avviene il maggior numero di terremoti) ipocentrale media stimata di 8-12 km.

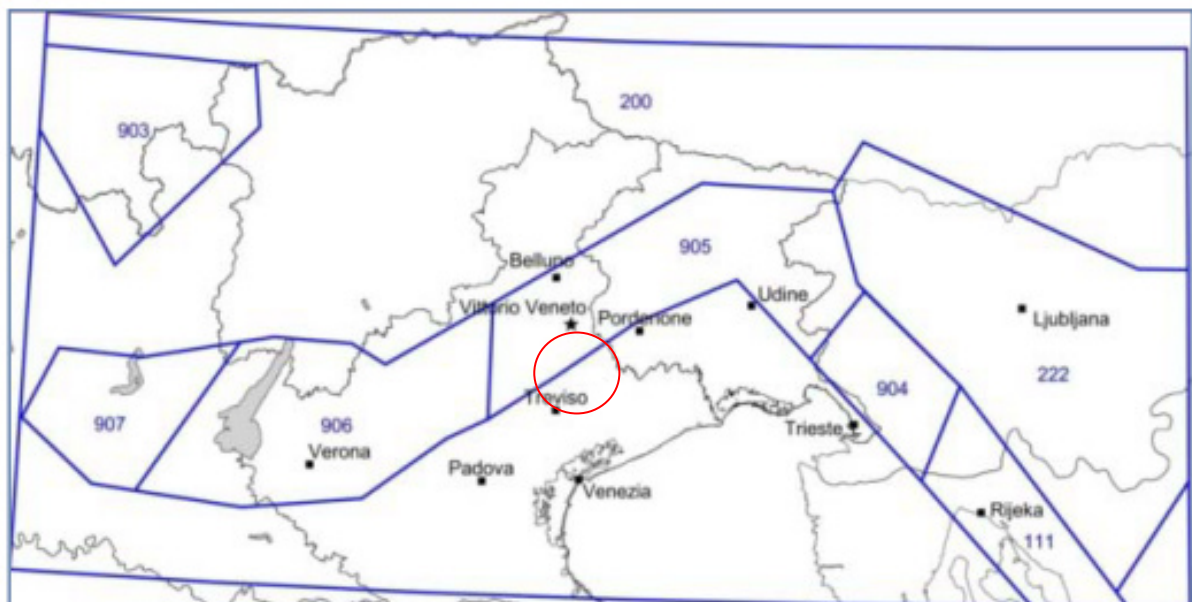


Fig. 1 : Zonazione sismogenetica ZS9

Per quanto riguarda la pericolosità sismica del territorio dal punto di vista macrosismico, come detto in introduzione, l'Ordinanza P.C.M. n. 3274/2003 ha inserito il comune di Mareno

di Piave in zona 3, mentre in precedenza era considerato NC (non classificato) anche se già il Gruppo di Lavoro del 1998 aveva fatto la proposta di portarlo in classe III. Questa zona, zona 2, prevede una accelerazione massima di picco su suolo di riferimento rigido tra $0,05 \div 0,15g$ con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, che corrisponde al valore con tempo di ritorno di 475 anni (vedi figura 2).

Secondo la mappa di pericolosità sismica elaborata dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia si vede come il comune di Mareno di Piave è compreso nella fascia di accelerazione massima al suolo (riferita a suolo rigido di tipo A) tra $0,220 \div 0,175g$. Pertanto i valori di riferimento da utilizzarsi nella progettazione degli edifici devono essere compresi entro questa fascia.

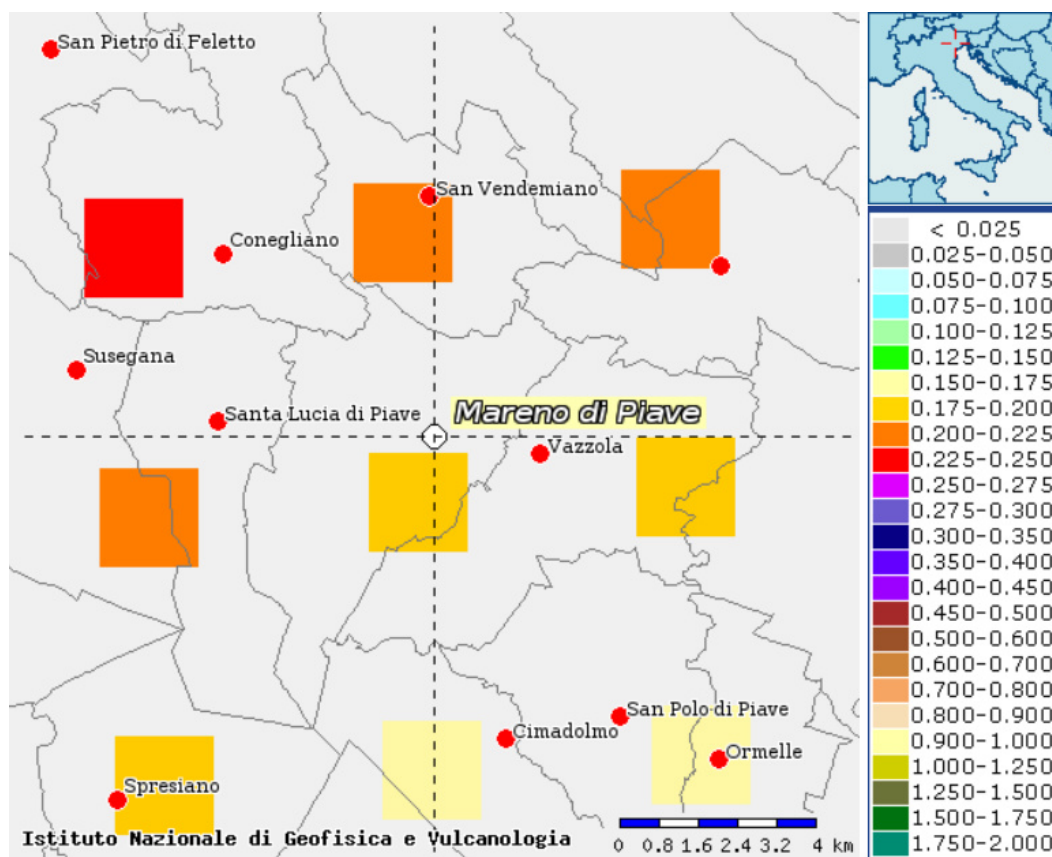


Fig. 2: Mappa di pericolosità sismica del territorio comunale di Mareno di Piave

2.5 I sistemi di faglie attive

2.5.1 Cenni storici

Negli anni '60 e '70 furono raccolti un gran numero di dati sull'attività Plio-Quaternaria delle faglie dell'Italia del NE, poi sintetizzati nella "Mappa Neotettonica dell'Italia" (CNR-PFG 1987). In questa vennero mappati i maggiori sistemi di *thrust* sud-vergenti che bordavano le

pianure Veneta e Friulana ed influenzavano il dominio pre-Alpino, come strutture continue attive durante il Pliocene ed il Quaternario (faglie capaci).

La recente attività dei sovrascorrimenti che delimitano le pianure Veneta e Friulana viene rimarcata anche nella “Map of active faults between the Po and Piave Rivers and Lake Como” (Castaldini & Panizza, 1991), che riporta 112 faglie attive nell’area compresa tra il lago di Garda e la regione Friulana. Gli autori hanno mappato 4 principali strutture compressive dirette ENE-WSW: le linee Valsugana Sud, Bassano-Valdobbiadene, Aviano e Sacile, insieme con un gran numero di faglie minori.

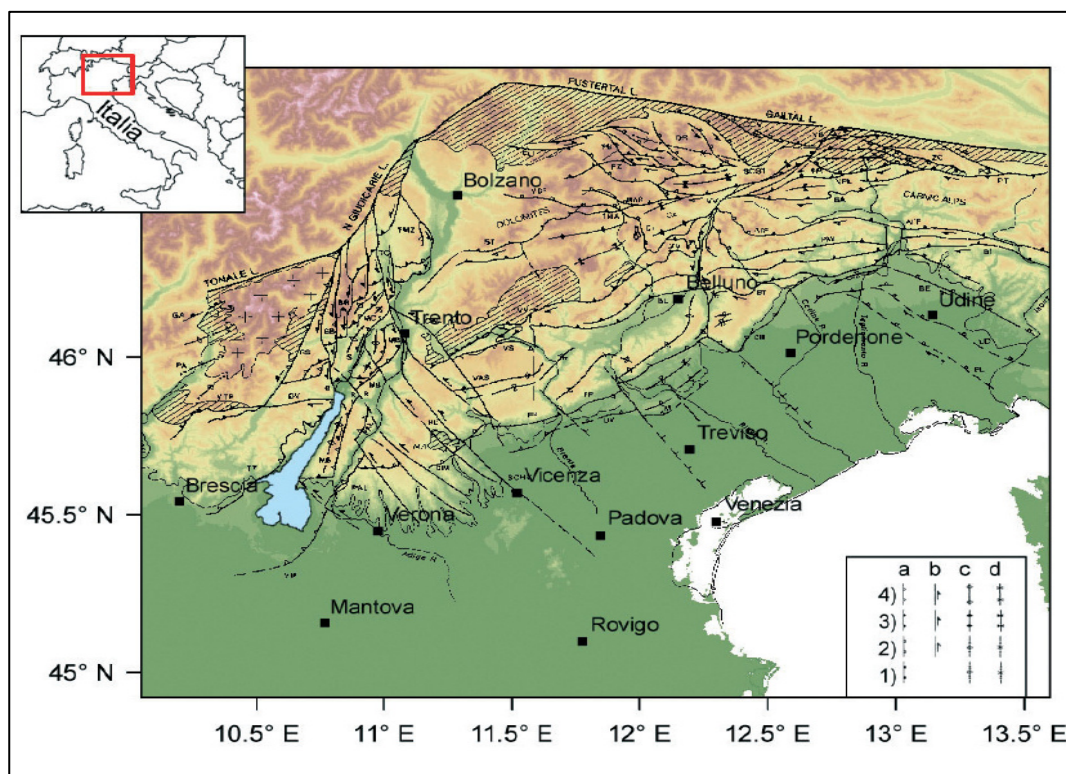


Fig. 3 Interpretazione strutturale delle Alpi Meridionali orientali (AMO) tratta da Castellarin *et al.* (1998b).

Un sommario a scala regionale delle faglie attive che interessano la catena orientale delle Alpi Meridionali è stato proposto da Galadini *et al.* (2001b). Il lavoro, che rileggeva criticamente la letteratura disponibile, riportava nuovi dati di campagna del settore W dell’area indagata. La mappa elaborata includeva le faglie principali (come tracce superficiali) la cui lunghezza era consistente con terremoti di magnitudo $M \geq 6,2$. Le faglie mappate sono caratterizzate dall’evidenza di attività o dall’indicazione di probabile attività durante il tardo Pleistocene-Olocene (dopo l’ultima Massima Espansione Glaciale, LGM). Il risultato di questa operazione fu un inventario di 8 faglie (si tratta di strutture continue maggiori) che interessavano l’area

tra Thiene ed il bordo orientale Friulano. Una successiva rivisitazione critica del lavoro ridusse ulteriormente il numero di faglie attive.

La presenza di faglie capaci nel territorio oggetto di studio può essere verificata consultando il catalogo delle faglie capaci ITHACA “ITaly HAZard from CAPable faults” disponibile on-line all’indirizzo <http://www.apat.gov.it/site/it-IT/Progetti/ITHACA> - Catalogo delle faglie capaci (fig. 4).

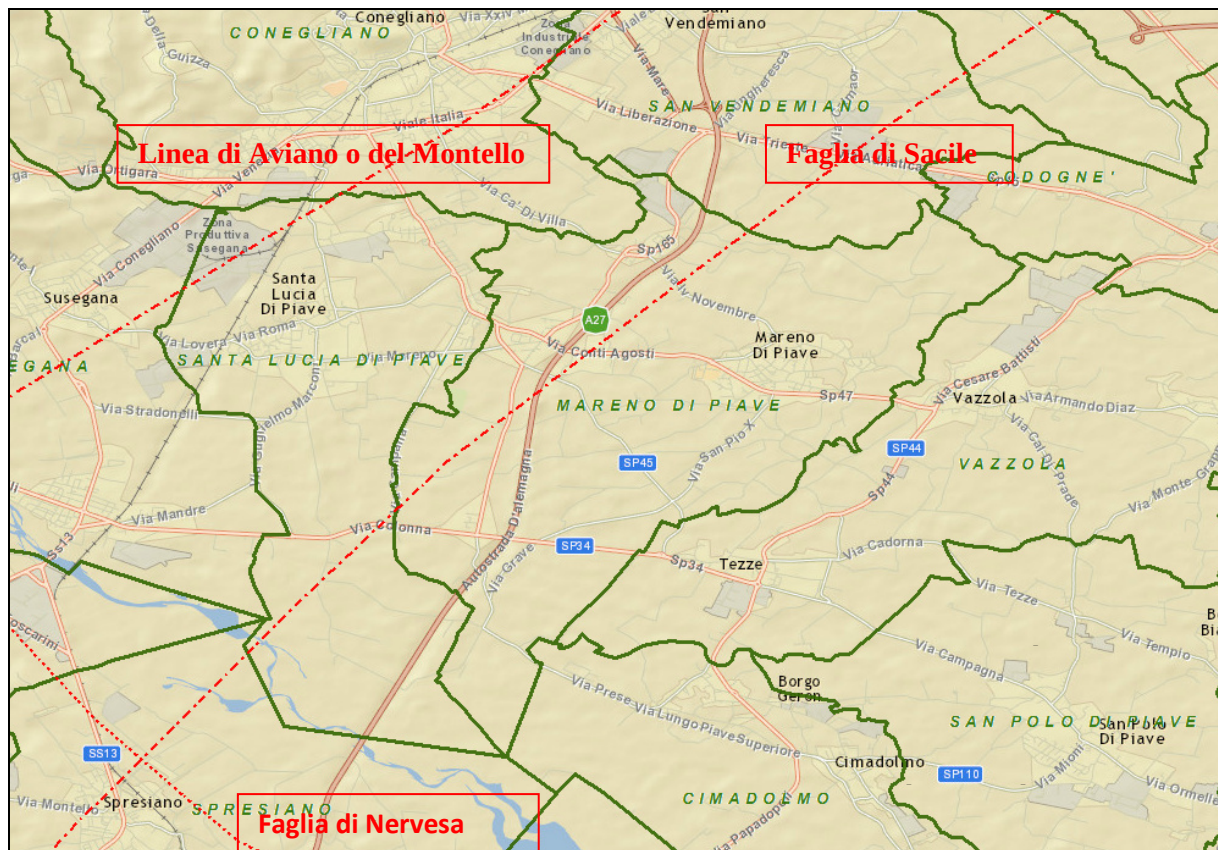


Fig. 4 Cartografia delle faglie capaci (ITHACA) che interessano il territorio circostante Mareno di Piave.

Dai dati geologici disponibili si può vedere come la recente attività tettonica sia il risultato di sovrascorrimenti “ciechi” responsabili di movimenti verticali differenziali e continua deformazione dei depositi e della morfologia del tardo Quaternario, ubicati sopra la linea di estremità delle faglie sepolte (Benedetti *et al.* 2000; Merlini *et al.* 2002; Peruzza *et al.* 2002).

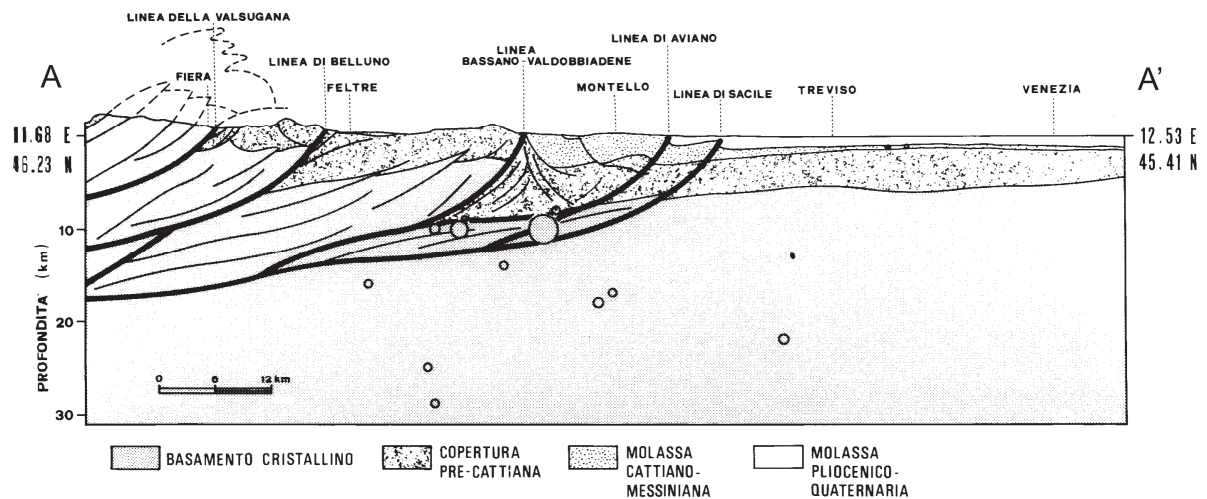


Fig. 5: Sezione geologica attraverso il margine meridionale delle Alpi Meridionali orientali nell'area del Montello (da AA.VV. Modello sismo tettonico dell'Italia Nord-Orientale CNR-GNDT 1987).

Il sottosuolo dell'alta pianura attorno a Mareno di Piave risulta interessato dalle faglie di Sacile e di Aviano (nota anche come linea del Montello) e dalla faglia di Nervesa. Questo stile deformativo (vedi figura 5) impedisce di comprendere il comportamento delle faglie attraverso il solo uso esteso delle ricerche paleosismologiche. Il quadro si complica ulteriormente qualora le faglie attive della tettonica Neo-Alpina riattivino faglie di sovrascorrimenti più antichi, in particolare quelli Dinarici (diretti NW-SE).

2.5.2 Studio delle faglie

La definizione della geometria tridimensionale delle faglie in profondità, soprattutto quando, come in questo caso, si tratta di sistemi di faglie "cieche" cioè mascherate dalla copertura dei sedimenti sciolti, viene ricavata:

- dall'interpolazione e dal confronto di dati che vengono dallo studio geomorfologico superficiale (che danno informazioni sull'interazione tra la crescita del sovrascorrimento e le forme del territorio);
- dai profili sismici a riflessione trasversali ad esse. I dati geofisici (insieme ai dati dei sondaggi) aiutano a definire il profilo profondo della faglia, permettendo così di legare l'espressione superficiale di questa ad una superficie di faglia profonda;
- se la sorgente sismogenetica è stata responsabile di un terremoto in tempi recenti (es. Friuli 1976), dalla localizzazione epicentrale delle scosse principali e di assestamento e dallo studio dei parametri focali;
- dalla distribuzione dei danni dei terremoti storici.

Secondo questa filosofia, per la definizione della geometria dei maggiori sovrascorrimenti ciechi che interessano la nostra zona, sono stati utilizzati dati strutturali del sottosuolo, derivati da più di 1700 km di profili sismici a riflessione, che hanno permesso di definire la geometria profonda dei segmenti di faglia, fino a profondità comprese tra 5 e 14 km. I vettori di spostamento delle faglie sono stati ricavati da dati strutturali di superficie e dalla precedente conoscenza dei campi di stress che interessano la nostra regione. I tassi di spostamento a lungo termine sono stati invece ricavati dalle dislocazioni dei depositi quaternari.

2.5.3 Le sorgenti sismogenetiche responsabili di terremoti distruttivi

Per quanto riguarda la fascia Prealpina, l'elaborazione di un gran numero di dati ha permesso di segmentare il fronte della deformazione attuale in diverse strutture sismogenetiche individuali che possono essere potenzialmente responsabili di terremoti con magnitudo $M \geq 6$ (ricordiamo che l'energia rilasciata dipende dalla dimensione della sorgente). Sono state così riconosciute 9 strutture tettoniche potenzialmente sismogenetiche (vedi fig. 6).

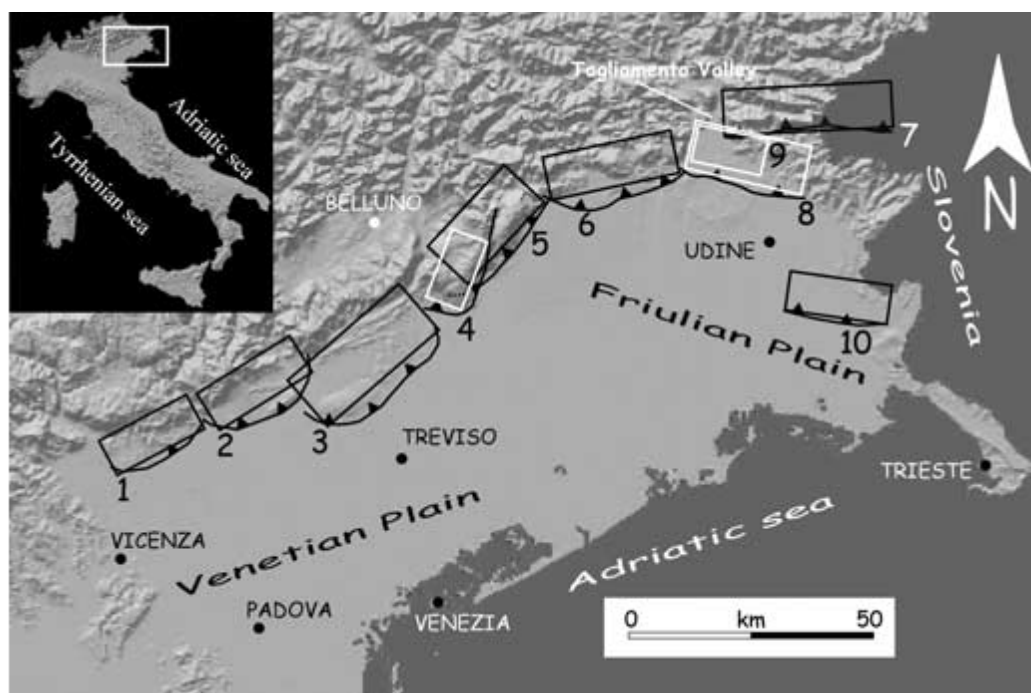


Fig. 6: Mappa delle sorgenti sismogenetiche nel settore Thiene-Udine della catena delle Alpi Meridionali orientali: (1) Thiene-Bassano; (2) Bassano-Cornuda; (3) Montello-Conegliano; (4) Cansiglio; (5) Polcenigo-Maniago; (6) Arba-Ragogna; (7) Gemona-Kobarid; (8) Susan-Tricesimo; (9) Trasaghis; (10) Medea. Le sorgenti contornate da rettangoli neri sono state definite principalmente attraverso dati geologici (superficiali e profondi); quelle dai rettangoli bianchi da dati misti geologici-sismici (da Galadini *et al.*, 2005)

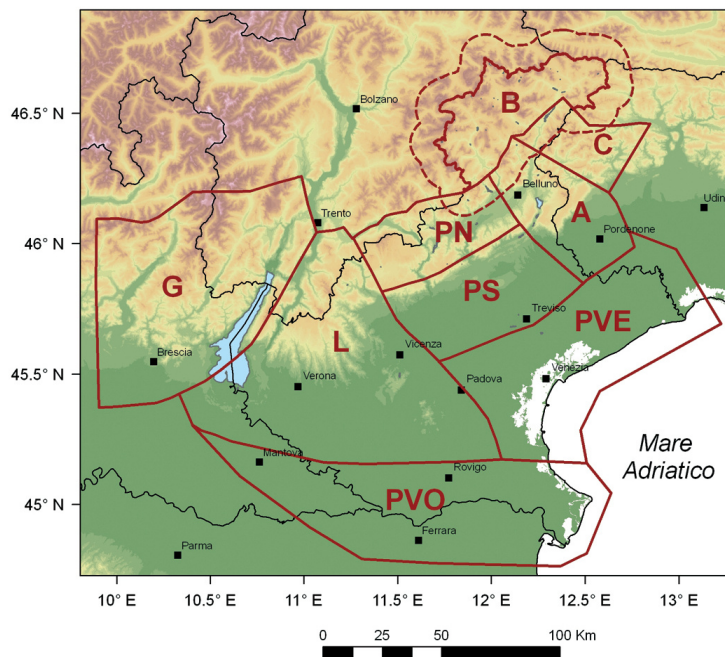


Fig. 7 - Distretti sismici del Veneto (in rosso): sigle descritte nel testo (da Sugan e Peruzza, 2011).

In tale lavoro, seguendo la suddetta suddivisione, la struttura tettonica che più influenza la zona in esame è quella denominata sovrascorrimento del Montello-Conegliano. La zona indagata è infatti collegata all'innalzamento che proviene dall'attività dei sottostanti sovrascorrimenti ciechi (vedi figura 8).

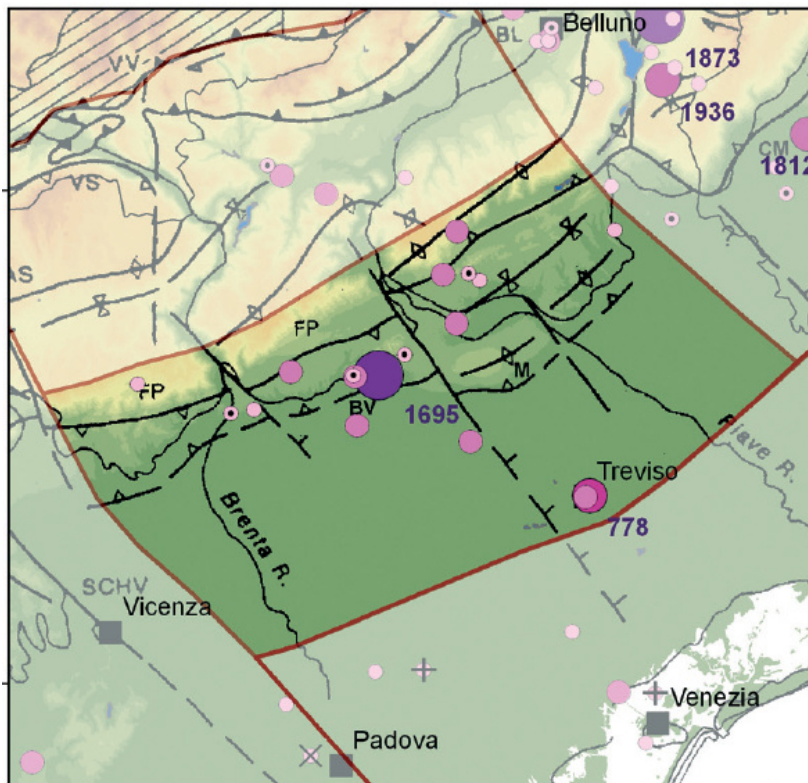
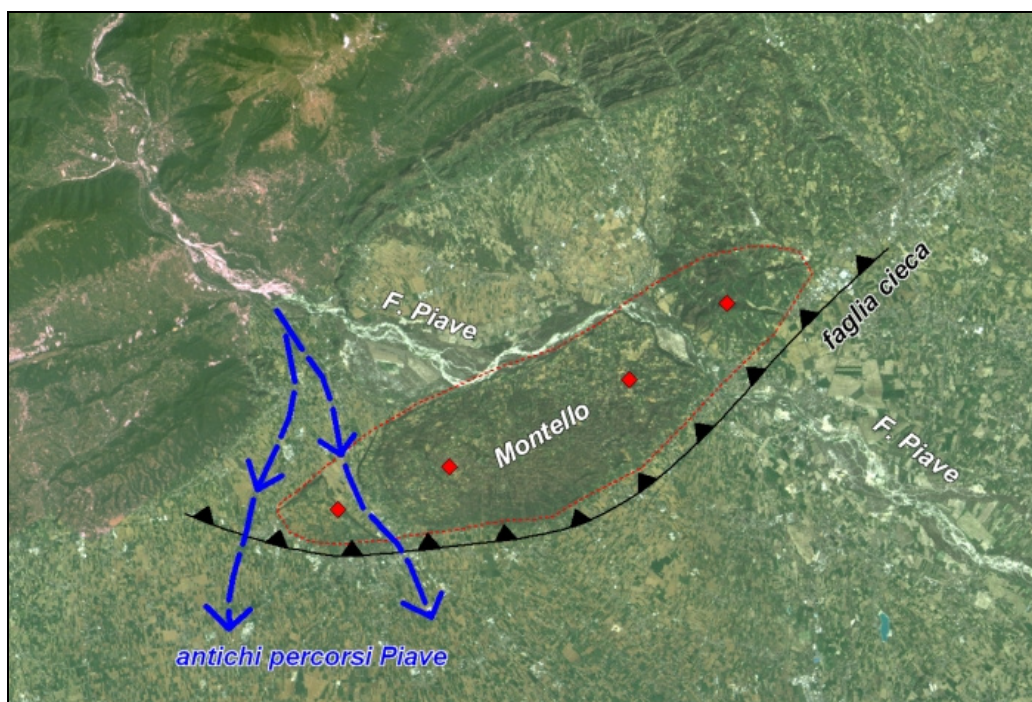


Fig. 8: distretti sismici del Veneto: Distretto Pedemontana Sud. A Nord dei sovrascorrimenti di Bassano-Cornuda (BV) e Montello-Conegliano (M) si possono notare le aree ripiegate della Flessura pedemontana (FP) (da Sugan e Peruzza, 2011)

Le altre strutture tettoniche importanti per il settore sono:

- lungo il margine dei rilievi montani delle Prealpi la grande flessura Bassano-Valdobbiadene-Vittorio Veneto, elemento neotettonico principale di tutta l'area allargata;
- la Faglia di Longhere o della Valcalda: grossomodo si snoda al piede e parallelamente alla flessura Bassano-Valdobbiadene, sul fondo della Vallata; si tratta di un fascio di faglie inverse con direzione WSW-ENE, rigetti complessivi dell'ordine di 4 km e lunghezza di circa 25 km;
- parallela alla faglia della Valcalda è la faglia di Farrò che interessa il substrato poco a Nord del centro della località omonima.
- più a Sud-Ovest la sinclinale del Soligo, con asse parallelo ai rilievi collinari e cerniera all'altezza del centro di Refrontolo. Il fianco della sinclinale è complicato, all'altezza della sede dell'ASCO Piave a Pieve di Soligo, dalla faglia del Quartier del Piave (vedi sotto per la sua descrizione).
- Anticlinale del Montello: costituisce il rilievo che chiude a S la pianura del Quartier del Piave; è formata da strati conglomeratici piegati ad anticlinale con fianchi molto aperti che tende a chiudersi lateralmente (brachianticlinale);
- Faglia del Montello: la piega del Montello è il riflesso superficiale di questa deformazione che ha provocato durante il quaternario la deviazione del corso del f. Piave e che è tuttora attiva prodotta dal suo movimento inverso ad alto angolo immergente a NNW che rappresenta la faglia più esterna della catena Sudalpina orientale;



- poco oltre il limite settentrionale del Montello, verso NE, la faglia del Quartier del Piave; è costituita in realtà da uno stretto fascio di faglie dirette, attive, con direzione WSW-ENE, obliterate dai sedimenti di copertura;
- Faglia di Nervesa: circa ortogonale alle strutture precedenti, si insinua dentro la stretta di Nervesa e prosegue poi a monte sulla traiettoria del torrente Raboso (dove dà ragione della spaccatura della dorsale collinare e del versante meridionale del m. Cesen); secondo altri studi essa taglia i rilievi collinari dietro a Farra di Soligo per proseguire poi sulla direttrice Campea-Miane-Carmine fino oltre il crinale delle Prealpi; si tratta di una faglia trascorrente sinistrorsa a trend Dinarico (NW-SE);
- Faglia di Pedeguarda: si insinua nel medio corso del fiume Soligo con direzione circa NW-SE, incidendo il versante prealpino verso il m. Crep. Verso S la sua presenza è ancora documentabile nella zona di Collalto.

Secondo questo modello il territorio di Mareno di Piave non è attraversato da lineamenti tettonici principali mentre invece il catalogo ITHACA riporta la faglia di Sacile.

Nella elaborazione delle tavole di Microzonazione sismica si è deciso di non considerare la linea di Sacile, atteso che, in ogni caso, essa si colloca a diverse centinaia di metri di profondità sotto al materasso alluvionale quaternario e la sua posizione risulta condivisa e confermata dagli studi più recenti.

PARTE II

3 ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

3.1 Inquadramento geologico- geomorfologico

Come si può dedurre dalla cartografia C.T.R., usata come base per le carte tematiche e dagli elaborati del P.A.T., il territorio del Comune di Mareno di Piave si estende su una superficie di 27,77 kmq. Sostanzialmente allungato in direzione NE-SW, risulta costituito da depositi alluvionali dell'alta pianura trevigiana in prossimità del passaggio (linea delle risorgive) alle alluvioni più fini della media pianura.

Come riportato dalla Relazione Geologica del dott. geol. Iacopo De Rossi, l'impronta geomorfologica del territorio presenta una connotazione divisa chiaramente in due parti:

- la parte centrale e meridionale del comune è condizionata dal megafan del f. Piave, con depositi prevalentemente granulari e con alcuno dossi fluviali leggermente rilevati rispetto all'andamento generale della superficie topografica:
- la porzione di nordEst interessata invece dalle conoidi minori di Conegliano e del Monticano, con prevalenza di sedimenti più fini, da sabbiosi ad argilosi.

Per quanto riguarda l'altimetria il territorio di Mareno di Piave si estende tra una quota massima di 53 s.l.m in corrispondenza del confine con Santa Lucia di Piave, poco a Nord di Borgo Campana ed una minima di circa 30 s.l.m nella bassura percorsa dal f. Monticano all'estremità di NE del territorio comunale.

L'inclinazione della superficie topografica è in genere modesta e si mantiene attorno allo 0,3%. Le sole scarpate significative sono quelle delle ex cave di ghiaia presenti attorno a Mareno e a Nord di Santa Maria

Il territorio in esame può essere suddiviso, dal punto di vista geomorfologico, in due parti:

- **Zona centro meridionale**

È la parte principale del territorio comunale, caratterizzata da depositi ghiaiosi e con i vari dossi fluviali di cui si è già fatto cenno in precedenza.

- **Zona di Nord-Est**

È la parte di Ramera e poi lungo il f. Monticano. È caratterizzata da bassure con terreni coesivi, fossati ad andamento meandri forme e corsi d'acqua arginati

Si tratta, ovviamente, di una suddivisione di comodo introdotta per facilitare poi la zonazione sismica del territorio comunale.

4 DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

Per la redazione della seguente relazione ci si è avvalsi dei dati provenienti da indagini e rilievi effettuati nel corso di numerosi anni, sia personalmente che gentilmente messi a disposizione da colleghi e dall'Amministrazione Comunale.

Tali dati sono stati inseriti nella carta delle Indagini.

Appositamente per lo studio in corso, inoltre, sono state effettuate una serie di stazioni di misura con metodologia a rifrazione, MASW, ReMi e HVSr. I dati relativi a queste nuove indagini sono reperibili in allegato (cartella "Indagini MS Mareno").

Le indagini sono state nominate con la sigla MDP per indicare Mareno di Piave seguita da SMC nel caso di stese sismiche con rifrazione, MASW e ReMi e HVSR nel caso di misura dei microtremori.

5 MODELLO DEL SOTTOSUOLO

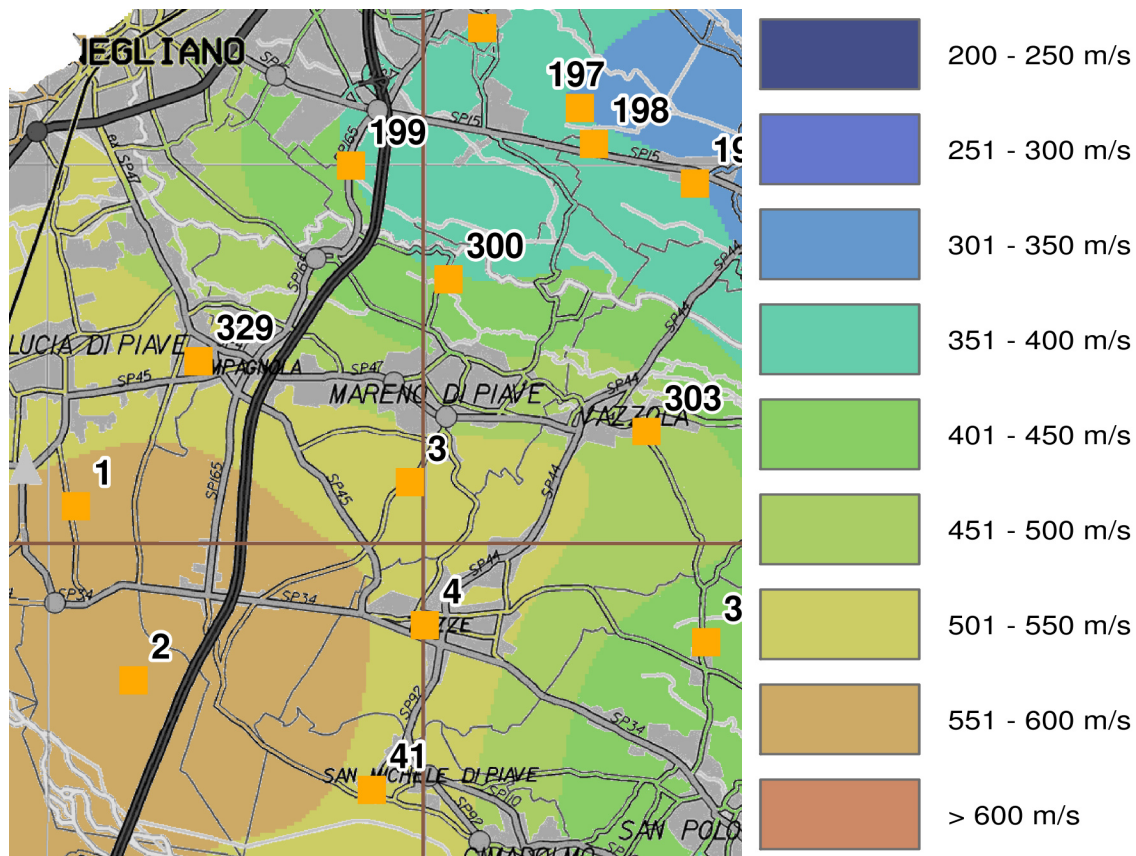
5.1 Individuazione delle microzone

La scelta delle varie microzone dove costruire un modello di velocità di propagazione delle onde elastiche, in modalità trasversale, nei primi 30 metri di profondità, è stata fatta in modo da investigare i diversi ambiti morfologici e litologici. Questo ha permesso di ottimizzare l'ubicazione della rete di punti di misura in funzione della genesi deposizionale dei materiali integrando, correlando e confrontando i dati stratigrafico-sedimentologici con quelli elastico-acustici provenienti dalle misurazioni di campagna.

In pratica le stazioni di misura sono state ubicate su siti significativi dal punto di vista urbanistico oggetto di azioni nell'attuale PI, propagando poi i risultati attraverso un processo di validazione pesata e di generalizzazione ad intere unità deposizionali considerate sufficientemente omogenee sulla base di precedenti conoscenze geologico-litologiche in possesso di questo Studio.

Questo tipo di approccio, utilizzato anche dagli autori della “Cartografia sismica della pianura della Provincia di Treviso”, presenta il grande vantaggio di poter investigare il territorio in modo mirato, evitando quindi di produrre carte “cieche”, dove l'interpolazione dei dati è governata da una generica griglia di campionamento che rischia di sottovalutare gli ambiti di maggior interesse.

A questo proposito, la carta della Vs30 allegata al PTCP della provincia di Treviso ha già compiuto una sorta di mesozonazione sismica del territorio di pianura della provincia individuando delle fasce di velocità Vs30 le quali trovano sostanzialmente riscontro anche nel presente lavoro. Di seguito si riporta uno stralcio della carta del PTCP:



Tornando all'indagine condotta per il presente lavoro, le zone individuate sono le seguenti:

- ZONA 1 - Zona Via Venezia, Zona Via San Marco, Zona Via Bidoli, Zona Via Friuli, Zona Via Barca, Zona Via Grave, Zona Via Mantese, Zona Via Castaldia, Zona Via Campana, Zona Via Sant'Antonio e Zona Via Della Vittoria (Sedimenti sciolti e/o materiali granulari addensati a tessitura prevalente ghiaiosa); indagini MDP_SMC51, MDP_SMC52, MDP_SMC54, MDP_SMC55, MDP_HVSR58, MDP_HVSR59, MDP_HVSR60, MDP_HVSR61, MDP_HVSR62, MDP_HVSR63, MDP_HVSR64.
- ZONA 2 - Zona Via Zanin (Sedimenti sciolti e/o materiali granulari addensati a tessitura prevalente ghiaiosa frammisti a materiali alluvionali fini sabbioso-argillosi); MDP_SMC53,
- ZONA 3 - Zona Vicolo Piemonte, Zona Vicolo Cansiglio (Materiali alluvionali, di spessore variabile, a tessitura prevalentemente sabbioso-argillosa); indagini MDP_SMC56, MDP_SMC57, MDP_HVSR65.

Nel complesso le nuove indagini sismiche hanno interessato 15 siti così localizzabili sulla carta di microzonazione (su base CTR):

MDP_SMC51: Via Venezia;
MDP_SMC52: Via San Marco;
MDP_SMC53: Via Zanin;
MDP_SMC54: Via Bidoli;
MDP_SMC55: Via Friuli;
MDP_SMC56: Vicolo Piemonte;
MDP_SMC57: Vicolo Cansiglio;
MDP_HVSR58: Via Barca;
MDP_HVSR59: Via Grave;
MDP_HVSR60: Via Mantese;
MDP_HVSR61: Via Castaldia;
MDP_HVSR62: Via Campana;
MDP_HVSR63: Via Sant' Antonio;
MDP_HVSR64: Via Della Vittoria;
MDP_HVSR65: Via San Felice Benedetti.

Per ciascun sito di indagine in allegato viene riportata una foto aerea della zona di indagine allargata dove vengono riportati la posizione dello stendimento sismico, la sua numerazione progressiva e le coordinate geografiche riferite all'ellissoide ED50, sistema di riferimento per la carta di pericolosità dell'INGV; inoltre per ciascuna area omogenea viene allegata una scheda riassuntiva con indicato:

- l'ubicazione nel reticolo di riferimento sismico individuato dalla O.P.C.M. 3519/2006;
- eventuali elementi di amplificazione topografica;
- i profili della Vs ricavati dalle acquisizioni di campagna;
- riquadro riassuntivo delle categorie di terreno in accordo col D.M. 14.01.2008.

La successione stratigrafica rappresentativa inserita nel modello di ciascuna scheda è stata evidentemente molto schematizzata, inserendo le seguenti semplificazioni:

- coltre superficiale: si riferisce allo strato di terreno di superficie, in media più "soffice", indipendentemente dalla granulometria locale;
- ghiaia: col termine ghiaia si intendono tutti i materiali granulari, con prevalenza di scheletro grossolano, con percentuale di matrice variabile;

- argille: il termine è esteso a tutti i materiali a comportamento prevalentemente coesivo.

Le schede riassuntive sono riportate in allegato (cartella “Schede MS”).

5.2 Metodologia di studio

Come specificato nelle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC08 - DM 14-01-2008), la classificazione sismica del suolo risulta fondamentale per definire l'azione sismica di progetto delle opere geotecniche. Essa si effettua in base ai valori della velocità equivalente V_{s30} delle propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità. Quindi tale parametro non prevede una generica stima delle V_s dei primi 30 metri di sottosuolo, ma impone la determinazione della media dei tempi di percorrenza degli i -esimi strati fisici presenti nei primi 30 metri di sottosuolo, tramite la formula:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_i \left(\frac{h_i}{V_{si}} \right)}$$

dove h_i e V_{si} sono spessore in metri e velocità delle onde di taglio dell' i -esimo degli N strati compresi nei primi 30 metri di sottosuolo.

Le NTC2008 (§ 3.2.2), “raccomandano fortemente” di eseguire direttamente le misure di V_s , ricorrendo solo ad altre tipologie di classificazione sismica del suolo (misura delle $N_{SPT,30}$ o della resistenza non drenata $C_{u,30}$), solo se impossibilitati dalla misura geofisica diretta. In funzione del parametro V_{s30} , la normativa individua 5 classi di suolo (tabella 2):

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Tab. 2 – Categorie di sottosuolo

La classificazione sismica del tipo di suolo non può sempre essere eseguita conoscendo il solo valore della velocità V_{s30} , per cui la normativa individua inoltre 2 categorie di suoli speciali (vedi Tab. 3): per queste è necessario predisporre specifiche analisi per la definizione delle azioni sismiche.

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Tab. 3 – Categorie aggiuntive di sottosuolo

A questo punto, il passaggio successivo è ovviamente costituito dalla determinazione dei seguenti punti:

- *la caratterizzazione del terreno tramite la misura delle V_{s30} (velocità di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 metri di profondità come definita dalle vigenti norme tecniche sulle costruzioni – D.M. 14.9.2005 e D.M. 14.1.2008);*
- *la determinazione della profondità del bedrock sismico in funzione della definizione del periodo proprio di vibrazione del sottosuolo e alla definizione di profili di V_s 30, unitamente alla valutazione degli effetti morfologici.*

5.2.1 Tecniche di misura

Il parametro fisico del terreno V_s è di difficile definizione e richiede specifici metodi geofisici e/o geotecnici. Le prove sismiche in sito si possono distinguere in prove di superficie e prove in foro. Tra le prove di superficie si segnalano le prove sismiche a rifrazione e tomografiche, gli stendimenti geoelettrici (SEV e SEO), le prove SASW e MASW; tra le prove in foro si segnalano le prove Up-hole e Down-Hole, Cross-Hole, Suspension Logging, le prove penetrometriche con cono sismico e le prove con il dilatometro sismico SDMT.

Per il nostro studio, ci siamo indirizzati su metodi di misura delle onde S del sottosuolo con tecniche indirette da superficie che studiano la dispersione delle onde superficiali. Vi sono diverse metodologie di determinazione delle V_s , tra cui stendimenti sismici passivi e stendimenti sismici attivi. I primi studiano la dispersione delle onde superficiali sfruttando il solo rumore ambientale, senza indurre energizzazioni elastiche artificiali. I secondi invece

producono artificialmente delle sollecitazioni elastiche nel terreno e ne misurano gli effetti. Nel presente studio sono state impiegate entrambe le tecniche.

Le tecniche passive sono afflitte dal problema del mancato controllo delle fonti di rumore sismico. In presenza di fonti preferenziali di rumore, delle quali non è possibile verificare l'esistenza, le misure di velocità condotte lungo lo stendimento vengono falsate (spesso pesantemente sovrastimate) dalla potenziale errata geometria presunta del percorso dell'onda. In pratica si misura una velocità apparente e non si hanno parametri per ricondurla a velocità reale.

Per questo motivo è preferibile utilizzare entrambi i metodi (attivi e passivi) eseguendo stendimenti attivi, producendo artificialmente la propagazione di onde elastiche da studiare, e registrare il rumore sismico di fondo con tecniche passive ReMi e HVSr per un più completo controllo del fenomeno di propagazione studiato.

I metodi di studio della dispersione delle onde superficiali si dividono in metodi basati sullo studio della velocità di fase C e della velocità di gruppo U . Tra questi i più noti sono la tecnica SASW (Spectral Analysis of Surface Waves), la MASW Multichannel Analysis of Surface Waves (basato su velocità di fase) e la FTAN Frequency-Time-Analysis (basato velocità di gruppo). Tutti i metodi in pratica 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.

Per le nuove indagini abbiamo utilizzato le tecniche MASW, ReMi e HVSr; il metodo MASW, che in pratica si può definire una SASW multicanale, è classificabile come tecnica di indagine sismica simile alla sismica a rifrazione e alla sismica a riflessione, perché il principio alla base della prova sperimentale in sito è analogo e consiste nel misurare le onde superficiali sul suolo. Rispetto alla sismica a rifrazione i metodi MASW e ReMi presentano i vantaggi di superare i problemi legati alla presenza di strati soffici compresi tra strati più rigidi o di strati più rigidi compresi tra strati più soffici; o nel caso di sismica a rifrazione con onde P alla presenza della falda superficiale, che nasconde gli strati di terreno con velocità delle onde P inferiore alla velocità delle onde nell'acqua. I metodi MASW e ReMi consentono di individuare il profilo di velocità V_s anche in presenza di contrasti di rigidezza tra gli strati del suolo. La presenza della falda è modellata assegnando un valore del coefficiente di Poisson prossimo a 0,3 in funzione del grado di saturazione.

5.2.2 Breve descrizione dei metodi

I fondamenti teorici del metodo MASW fanno riferimento ad un semispazio stratificato con strati paralleli e orizzontali, quindi una limitazione alla sua applicabilità potrebbe essere rappresentata dalla presenza di pendenze significative superiori a 20°. Nella pratica è stato osservato che, se si esegue la prova con lo stendimento dei sensori lungo la direzione di massima pendenza, la presenza di forti acclività comporta una traslazione della curva di dispersione sperimentale. Il problema è mitigato disponendo lo stendimento dei sensori lungo una curva di livello in direzione perpendicolare alla direzione di massima pendenza. Rispetto ad altre tecniche di determinazione del profilo di velocità Vs come cross-hole, down-hole, up-hole, SCPT, il metodo MASW richiede minori tempi di esecuzione ed ha costi inferiori. Rispetto ai metodi puntuali come il cross-hole, offre il vantaggio di fornire informazioni medie sulla porzione di suolo interessata dallo stendimento e quindi di coprire distanze variabili fino a 50 m di lunghezza senza dover ripetere la prova in posizioni diverse. Altro vantaggio offerto dalla prova MASW è l'elevata accessibilità dei luoghi, visto che la prova sperimentale in sito non richiede l'impiego di attrezzature o macchinari di grandi dimensioni.

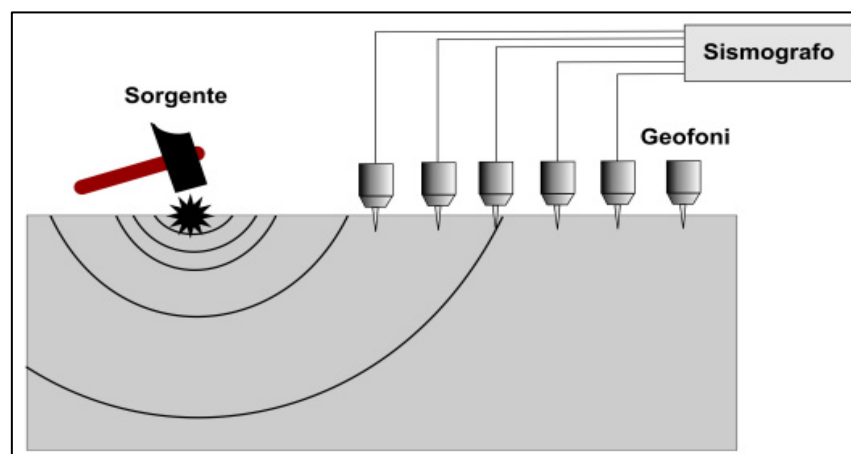
Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva (non è necessario eseguire perforazioni o scavi e ciò limita i costi), che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o, detto in maniera equivalente, la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

Il metodo di indagine MASW si distingue in metodo attivo e metodo passivo (Zywicki, D.J. 1999) o in una combinazione di entrambi. Nel metodo attivo le onde superficiali generate in

un punto sulla superficie del suolo sono misurate da uno stendimento lineare di sensori. Nel metodo passivo lo stendimento dei sensori può essere sia lineare, sia circolare e si misura il rumore ambientale di fondo esistente. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5Hz e 70Hz, quindi dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo, sui primi 30-50 m, in funzione della rigidità del suolo. Il metodo passivo in genere consente di tracciare una velocità di fase apparente sperimentale compresa tra 0 Hz e 10Hz, quindi dà informazioni sugli strati più profondi del suolo, generalmente al di sotto dei 50 m, in funzione della rigidità del suolo.

Nel seguito faremo riferimento al metodo MASW attivo che consente la classificazione sismica dei suoli, perché fornisce il profilo di velocità entro i primi 30 m di profondità, con una maggiore precisione entro i primi 15 m. Il metodo passivo è più usato quando si ha interesse ad avere informazioni, comunque meno precise, sugli strati più profondi.

Il materiale per l'acquisizione dei nostri dati è costituito da un sismografo (in questo caso si tratta di un sismografo Dolang DBS280 a 24 canali), collegato a dei geofoni verticali a frequenza propria di 4.5Hz tramite dei cavi multipolari ed un sistema di energizzazione sismica del terreno tramite piastra e mazza da 5 kg (vedi fig. sotto).



La **tecnica ReMi (Refraction Microtremor)** è un metodo d'indagine geofisica che sfrutta invece le modalità di propagazione delle onde di superficie, in particolare delle onde di Rayleigh, generate però da sorgenti ambientali.

A differenza di quanto avviene nell'indagine eseguita con la tecnica MASW, dove la posizione delle sorgenti è nota ed è allineata allo stendimento, nel caso del ReMi i punti di origine dei microtremori sono spesso non identificabili. Quindi la registrazione viene protratta

per tempi più lunghi. Essendo la potenza associata al segnale utile comparabile con quella del rumore di fondo è necessario rilevare un numero di tremori molto elevato, questo sarà ottenibile semplicemente andando a allungare i tempi di registrazione del segnale. A differenza dei pochi secondi necessari per acquisizioni MASW sono qui necessari da alcuni a molti minuti di acquisizione (in genere 10 - 20 minuti sono sufficienti).

I principi teorici e gli aspetti di acquisizione ed elaborazione dei dati sono sostanzialmente gli stessi della tecnica MASW con la differenza che con ReMi si ha una maggior definizione degli strati profondi. Per questo diventa complementare alla MASW per le profondità comprese tra 15 m e 30 m (e oltre).

Infine la **Tecnica di misure ed interpretazione HVSR (tramite TROMINO[®])** è una prospezione sismica che si basa sull'acquisizione e sull'analisi del Rumore Sismico Ambientale (Seismic Noise) ovvero la continua vibrazione del suolo dovuta sia a cause naturali che antropiche. Questa tipologia di tecniche (definite metodi sismici passivi), dunque, non ha bisogno di alcuna energizzazione esterna poiché utilizza come sorgente il traffico veicolare, la produzione industriale, il vento, la pioggia e tutto ciò che è in grado di produrre una minima vibrazione sulla superficie del suolo.

In particolar modo con la tecnica a “ Stazione Singola” viene valutato il rapporto di ampiezza fra le componenti orizzontali e verticali del moto (metodo HVSR ovvero “Horizontal to Vertical Spectral Ratios) (Nakamura, Y. [1989]). Analizzando misure di questo tipo è possibile identificare le modalità di vibrazione del terreno e individuare la frequenza fondamentale (f) di questa vibrazione. Sapendo che in generale esiste una relazione semplice fra f , lo spessore della parte più soffice del terreno (ovvero la parte di materiali sovrastante il bed-rock) e la velocità media (V_s) delle onde sismiche nel sottosuolo, attraverso le misure HVSR è possibile risalire allo spessore di questo strato. Si possono inoltre effettuare delle considerazioni di tipo “qualitativo” molto utili in merito a possibili interferenze tra le frequenze risonanti del suolo e degli edifici sovrastanti.

Per la valutazione del periodo proprio di risonanza del sottosuolo è stata utilizzata la tecnica a stazione singola Horizontal to Vertical Spectral Ratio (Kanai,1957; Igarashi 1970; Nakamura 1989) che permette di estrarre informazioni relative alla frequenza di vibrazione del suolo a partire dagli spettri di rumore sismico registrati in sito. La tecnica prevede di calcolare il rapporto, in funzione della frequenza, tra gli spettri di risposta della componente orizzontale e

verticale del moto dovuto ai microtrempi ambientali. La misura di rumore sismico della durata di 26 minuti per ogni punto di misura è stata eseguita con una frequenza di campionamento a 128 Hz.

1 INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE

Gli ambiti di indagine sono quelli a sviluppo insediativo, sia esso a destinazione residenziale, produttiva, dei servizi o infrastrutturale: questi ambiti si posizionano esclusivamente nella fascia pianeggiante o sub pianeggiante collinare urbanizzata del territorio comunale. Sono state escluse dall'indagine le zone del comune non urbanizzate, che occupano le porzioni collinari più accidentate e la parte prettamente montana. La fascia esclusa dalle indagini, come detto in precedenza, è quella all'interno dell'argine maestro del f. Piave.

Di seguito (Tab.5), vengono riassunte le caratteristiche principali dei parametri di acquisizione utilizzate per tutti i siti di indagine:

	Lunghezza stesa sismica	Distanza intergeofonica	Recording Time
MASW	46 m	2 m	0.3 s
ReMi	46 m	2 m	44 s
		Frequenza	Recording Time
HVSR		128 Hz	26 min

Tab. 5: parametri adottati nelle acquisizioni sismiche

Ulteriori dettagli riguardanti i parametri dell'acquisizione vengono riportati in allegato 3 all'interno del rapporto di elaborazione di ciascuna prova.

I dati di campagna sono stati elaborati con i programmi **GeoMASW**, **GeoReMi** e **SismaCon (ProgramGeo - Carpenedolo BS)**, softwares per l'interpretazione e l'archiviazione rispettivamente di prove MASW, ReMi e sismica a rifrazione. Per i dati HVSR è stato usato l'apposito software **Grilla®** (Micromed).

I metodi di elaborazione dei dati di campagna MASW e ReMi consistono in tre fasi: (1) la prima fase prevede la generazione dello spettro f-k (spettro frequenza-numero d'onda) e l'individuazione delle frequenze minima e massima utili al calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale, (2) la seconda fase consiste nell'interpretazione attraverso un algoritmo di inversione che consente di generare una curva di dispersione

teorica, (3) la terza ed ultima fase consiste nell'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s .

È evidente che in questo tipo di approccio 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 ricavato con combinazioni diverse 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 viene superato 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, di cui si ha una sufficiente conoscenza stratigrafica, senza la necessità di dover risolvere velocità alla scala del singolo strato, se non durante la fase di elaborazione. Il risultato è dato quindi dalla sommatoria dei contributi dei singoli strati secondo la formula.

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_i^n \left(\frac{h_i}{V_{si}} \right)}$$

dove h_i e V_{si} sono spessore in metri e velocità delle onde di taglio dell' i -esimo degli N strati compresi nei primi 30 metri di sottosuolo.

Dopo aver determinato il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s è possibile procedere al calcolo della velocità equivalente nei primi 30 m di profondità V_{s30} e quindi individuare la categoria sismica del suolo. Si ricordi quanto già è stato sottolineato in precedenza riguardo alla necessità di avere a disposizione altre informazioni complementari sulla natura e sul comportamento geotecnico del suolo.

Gli aspetti più critici del metodo MASW utilizzato riguardano la scelta della curva di dispersione sperimentale e la determinazione del profilo di rigidezza (o di velocità delle onde di taglio V_s) finale che generi una curva di dispersione apparente numerica in accordo ottimale con la curva di dispersione sperimentale.

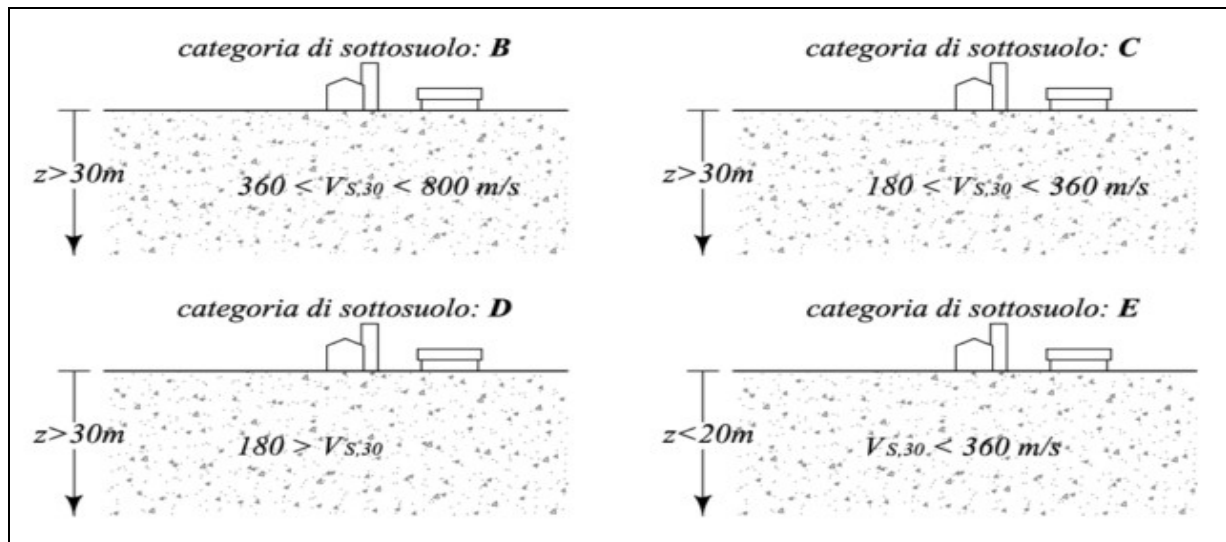
La determinazione del profilo di rigidezza finale è il risultato di un compromesso tra informazioni a priori sul sito, metodo manuale e procedura automatica. Nei casi normalmente dispersivi, caratterizzati da profili di rigidezza regolari con la profondità dove la procedura automatica si avvicina ad una soluzione valida, è sempre preferibile provare a modificare manualmente il profilo di rigidezza per acquisire conoscenza, esperienza e sensibilità, da

utilizzare nei casi inversamente dispersivi dove non sempre la procedura automatica fornisce una soluzione valida.

I principali limiti di tali procedure sono:

- disponibilità di spazi sufficienti per gli stendimenti sismici (particolarmente sensibile nel caso della tecnica ReMi);
- forniscono un profilo monodimensionale di Vs, non quantificando eventuali variazioni laterali;
- la profondità di penetrazione dipende dalla frequenza più bassa rilevabile nella curva di dispersione. Nella prova MASW, la sorgente generata da una mazza battente ha una scarsa componente in bassa frequenza, e ciò comporta una riduzione della profondità dell'indagine;
- interferenza del segnale con altri tipi di onde sismiche (P ed S) ed acustiche spurie (onda d'aria) prodotte anch'esse dall'energizzazione;
- nella prova ReMi, vi è la necessità di assumere una sorgente del microtremore stocastica stazionaria proveniente da tutte le direzioni (comportando talvolta una sovrastima delle velocità e/o sovrastima dei parametri elastici);
- vicinanza a fonti antropiche di rumore che possono disturbare ed inquinare il dato di ingresso;
- il problema della non-univocità della soluzione del problema inverso (comune a tutti i metodi indiretti) e la conseguente affidabilità dei risultati in assenza di altre conoscenze (geologico-geofisiche) è molto delicato in quanto le onde di Rayleigh sono soggette a scattering e a generazione di modi superiori (che a volte interagiscono in modo complesso), producendo delle curve di dispersione in cui il massimo dell'energia sismica non è sempre e necessariamente nelle onde superficiali e nel modo fondamentale (modi superiori e onde guidate possono dare segnali molto complessi)

Alla luce delle osservazioni fatte, le tecniche MASW e ReMi richiedono comunque l'acquisizione di una certa esperienza da parte di chi esegue ed interpreta la prova, per giungere alla determinazione corretta della categoria sismica del suolo secondo il DM 14/01/2008 (figura seguente).



Siamo altresì coscienti del fatto che la metodologia e il software proposti si riferiscono allo stato attuale delle conoscenze e che la ricerca scientifica è in continua evoluzione e non si esclude un superamento della metodologia proposta con l'introduzione di nuove tecniche e/o miglioramenti. Il software proposto consente di separare la parte sperimentale dalla parte interpretativa delle prove MASW e ReMi, lasciando all'utente la possibilità di introdurre la curva di dispersione sperimentale calcolata o fornita dall'utente in maniera diversa da come è svolto dal software. Risulta quindi possibile inserire per le basse frequenze una curva di dispersione sperimentale ottenuta con la tecnica ReMi, basata sul rumore o sui microtremori ambientali.

Per le prove HVSR, al fine di consentire una rapida valutazione della bontà del dato, è stato utilizzato il metodo di controllo della qualità denominato SESAME. Per la completa affidabilità della curva HVSR devono essere positivi i primi tre parametri; in caso contrario la prova risulterà meno affidabile ed è cura dell'operatore scartala o mantenerla. Nel nostro caso alcune prove sono state completamente scartate e poi riacquisite in campagna mentre altre sono state ugualmente ritenute valide in quanto congruenti con i risultati delle indagini condotte con altre tecniche. Gli altri sei criteri invece si riferiscono ad un chiaro e pulito segnale del picco massimo; in questo caso devono essere soddisfatti almeno cinque dei sei criteri successivi; se così non è, significa che il segnale è sporco e possono esserci altri picchi o nessun picco.

In allegato, per ciascun sito di indagine, viene restituito un report con i dati di ingresso e degli output di elaborazione delle acquisizioni sismiche.

2 METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

Le misure di velocità effettuate nel territorio del Comune di Mareno di Piave, hanno consentito di ottenere una serie di informazioni sul campo di velocità delle onde S nei primi 30 m di profondità (vedi carta di microzonazione sismica), così riassumibili (Tab. 6):

Sito d'indagine	Vs30 e Hz	Categoria di sottosuolo	Categoria topografica
MDP_SMC51 MDP_HVSR51	590 m/s 1,6 Hz e 4,6 Hz	B	T1
MDP_SMC52 MDP_HVSR52	483 m/s 1,56 Hz	B	T1
MDP_SMC53 MDP_HVSR53	487 m/s 1,44 Hz	B	T1
MDP_SMC54 MDP_HVSR54	602 m/s 1,5 Hz	B	T1
MDP_SMC55 MDP_HVSR55	597 m/s 1,3 Hz	B	T1
MDP_SMC56 MDP_HVSR56	354 m/s 2,4 Hz	C	T1
MDP_SMC57 MDP_HVSR57	353 m/s XXX Hz	C	T1
MDP_HVSR58	1,7 Hz	B	T1
MDP_HVSR59	1,7 Hz e 9,2 Hz	B	T1
MDP_HVSR60	1,56 Hz	B	T1
MDP_HVSR61	1,6 Hz	B	T1
MDP_HVSR62	11 Hz	B	T1
MDP_HVSR63	1,6 Hz	B	T1
MDP_HVSR64	XXX Hz	B	T1
MDP_HVSR65	XXX Hz	C	T1

Tab. 6: categorie di suolo determinate tramite indagine MASW- ReMi

Naturalmente il vero dato di velocità va considerato in un ragionevole intorno del dato proveniente dalle elaborazioni sperimentali ($\pm 10\%$), per cui i terreni con velocità borderline vengono cautelativamente attribuiti alla categoria inferiore.

Dall'analisi dei dati si osserva una generale omogeneità dei valori della Vs, ad indicare che la geologia, per lo meno dei corpi deposizionali più importanti, esercita un forte controllo sulla distribuzione del campo di velocità. Nella porzione di territorio caratterizzata da terreni più ghiaiosi si osserva una correlazione quasi diretta tra la presenza del materasso ghiaioso e valori elevati della Vs. In alcuni siti la Vs supera anche i 600 m/s come ad esempio in alcuni

settori delle zona sud attorno a Santa Maria. La zona di Ramera e poi lungo la depressione del f. Monticano, le velocità sono inferiori, a riprova di terreni meno rigidi, sabbie ed argille. Altra osservazione è il graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità, senza evidenti inversioni di velocità.

3 ELABORATI CARTOGRAFICI

La DGR n. 1572/2013 allegato A, prevede che gli strumenti urbanistici comunali (PAT), siano corredati, dal punto di vista sismico, da una relazione illustrativa e da tre elaborati cartografici.

Gli elaborati cartografici predisposti in questo studio sono quindi tre:

T1 - Carta delle Indagini: carta prevista dalle linee guida 2012 della Protezione Civile nazionale “standard di rappresentazione e archiviazione informatica”.

T2 – Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica: carta prevista dalle linee guida 2012 della Protezione Civile nazionale “standard di rappresentazione e archiviazione informatica”.

T3 - Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (livello 1): carta prevista dalle linee guida 2012 della Protezione Civile nazionale “standard di rappresentazione e archiviazione informatica”.

3.1 Carta delle indagini (T1)

Nella "Carta delle Indagini" sono state rappresentate le indagini preesistenti e quelle realizzate *ex-novo*. Queste ultime, realizzate con tecnica MASW, ReMi e HVSr, sono state mirate a determinare la velocità sismica dei primi 30 m di sottosuolo, scopo principale di questo studio.

L'insieme dei dati raccolti, ha permesso di disporre di un totale di 78 misure, così suddivise per tipologia:

Tipologia di prova	Quantità
Prova penetrometrica dinamica leggera (DL) (prova pregressa)	6
Pozzo per acqua (prova pregressa)	13

Trincea o pozzetto esplorativo (prova pregressa)	30
Profilo sismico a rifrazione	7
MASW + ReMi	7
HVSR (TROMINO)	15

I punti di indagine (puntuali o lineari), sono stati rappresentati in carta secondo la legenda prevista negli standard regionali per l'informatizzazione degli studi di MS con riferimento agli Indirizzi e Criteri di Microzonazione sismica (ICMS) a cura della Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della Protezione Civile (versione 3.0 – ottobre 2013) e catalogati e archiviati mediante software Arc-Gis.

3.2 Carta geologico-tecnica (T2)

Nella Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica sono riportate le informazioni di base (geologia, geomorfologia, caratteristiche litotecniche, geotecniche ed idrogeologiche) derivate da carte ed elaborati esistenti, in particolare quelli allegati al P.A.T.I.:

Questi dati sono necessari alla definizione del modello di sottosuolo e funzionali alla realizzazione della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica MOPS (livello 1).

Non sono stati eseguiti approfondimenti strumentali per l'area golenale del f. Piave all'interno dell'argine maestro in quanto tale area non è interessata da insediamenti. In ogni caso gli strumenti urbanistici vigenti impongono la massima tutela dell'ambito fluviale precludendo di fatto nuove edificabilità.

Le vecchie e nuove indagini coprono in maniera abbastanza omogenea tutto il territorio comunale consentendo quindi una conoscenza sufficiente delle caratteristiche del sottosuolo.

I dati delle indagini sono stati condensati in appositi schede riassuntive che riportano il modello dei rapporti litostratigrafici di ciascuna sottozona omogenea (vedi "Schede MS" in allegato).

Si precisa che, con i dati a disposizione, non è stato possibile determinare la profondità del basamento sismico (*bedrock sismico*), caratterizzato da $V_s \geq 800$ m/s, perché probabilmente posto a profondità ben maggiore di quella indagata.

3.3 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica MOPS (livello 1)

Da un punto di vista normativo (ai sensi della classificazione dell'O.P.C.M. 3274/2003) e quindi relativamente alle problematiche urbanistiche, ingegneristiche e geotecniche il territorio del comune di Refrontolo indagato risulta appartenere a due zone: la zona B e la zona C. Nella zona B rientrano tutti quei siti nei quali i valori di V_s risultano compresi nell'intervallo 360-800 m/s mentre la zona C classifica i siti con valori di V_s ricadenti nell'intervallo 180-360 m/s.

Nell'ambito del territorio comunale di Mareno di Piave investigato dall'indagine non sussistono terreni "stabili" dal punto di vista sismico (cioè terreno di tipo A del D.M. 14/01/2008) poiché di fatto, sono sempre presenti terreni sciolti aventi spessori superiori a 3 m e caratterizzati da velocità di propagazione delle onde di taglio $V_s < 800$ m/s.

Per le valutazioni delle amplificazioni in superficie risulta fondamentale determinare il profilo della velocità delle onde S(V_s). Un ulteriore affinamento del metodo richiederebbe la misura del periodo fondamentale di vibrazione e la caratterizzazione dei terreni in condizioni dinamiche.

Attraverso il profilo delle velocità, entro il territorio di indagine sono state quindi distinte le seguenti categorie di suolo (D.M. 14-01-2008 - § 3.2):

- **Categoria di suolo B;**
- **Categoria di suolo C.**

In carta, i segni grafici che separano le sottozone, in particolare al passaggio tra C e B, sono da intendersi non come un confine ma piuttosto come una fascia di transizione, in quanto nella realtà la differenziazione stratigrafica avviene gradualmente.

Sono rappresentate due zone denominate rispettivamente Zona 1 e Zona 3, differenziate in base alle caratteristiche litologiche e dei terreni di copertura: la prima è caratterizzata da una successione di ghiaie sabbiose deposte dal f. Piave per spessori di almeno 30 m; la seconda è invece caratterizzata da depositi più fini, sabbioso argillosi, riconducibili alle dinamiche di deposizione del f. Monticano. La zona 1 è caratterizzata da terreni con velocità dell'ordine dei 500 m/s e quindi ascrivibili a terreni di tipo B mentre la zona 3 vede terreni meno rigidi, con velocità attorno a 350 m/s e quindi inquadrabili nella categoria C. Vi è poi la Zona 2 che rappresenta una zona di transizione tra le zone precedenti; essa rientra ancora in tipologia B

pur avendo velocità più basse (circa 400 m/s), dovute alla presenza di livelli di terreni più fini intervallati da ghiaie.

I modelli litostratigrafici sono riportati nelle schede in allegato (cartella “Indagini MS”).

3.3.1 Zona 1 - Categoria di suolo B

Appartiene a questa categoria gran parte del territorio comunale, a partire dall’argine maestro del f. Piave e fino a Nord dei centri abitati di Soffratta, Mareno e Campagnola. In queste aree sono presenti rocce tenere con valori di Vs30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).

Il modello stratigrafico dei primi 30 m vede la presenza di ghiaie e sabbie con ciottoli, molto addensate.

3.3.2 Zona 2 - Categoria di suolo B

La zona è posta nel settore settentrionale del territorio comunale dove vi sono materiali sciolti di depositi alluvionali attribuibili in parte al f. Piave ed in parte al f. Monticano; essi sono caratterizzati, fino a 30 m di profondità, da intercalazioni di ghiaie sabbiose ed argille sabbiose, comunque con un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).

3.3.3 Zona 3 - Categoria di suolo C

Tale Zona occupa una piccola porzione del territorio, limitrofa alla precedente Zona 2; lungo la fascia più settentrionale del territorio comunale, da Ramera verso Est, ricalcando all’incirca la fascia depressa del f. Monticano. Qui troviamo terreni argillosi e sabbiosi depositati dal f. Monticano che si appoggiano attorno a 20 m di profondità sulle ghiaie antiche del f. Piave. Si tratta quindi di depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < \text{NSPT30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < \text{cu30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).

4 ZONE POTENZIALMENTE SUSCETTIBILI DI INSTABILITÀ

Dallo studio di MS è emerso che, nelle aree urbanisticamente sensibili, non sussistono zone “stabili”, nelle quali cioè non si ipotizzano effetti locali di rilievo di alcuna natura (substrato

geologico rigido di tipo A posto a profondità inferiore a 3 m con morfologia piatta o semi-pianeggiante).

Dalle indagini è emerso che l'intero territorio comunale rientra in aree stabili suscettibile di amplificazione sismica, nelle quali cioè sono attese amplificazioni del moto sismico. Queste possono dipendere da due possibili fattori: come effetto dell'assetto litostratigrafico (non sono stati rilevati infatti suoli di categoria A in posizione pianeggiante) oppure come effetto della morfologia locale (pendenze maggiori di 15°, presenza di cigli di scarpata).

Vi potrebbero poi essere delle “aree suscettibili di instabilità”, nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti potrebbero essere riconducibili a deformazioni del territorio, quali instabilità di versante, cedimenti differenziali e, in forma marginale, possibili liquefazioni.

Benché tali tipi di eventi non siano stati specificatamente indagati, è opportuno sviluppare alcune considerazioni.

4.1.1 Liquefazione

Il DM 14.01.2008 (paragrafo 7.11.3.4) e successiva Circolare esplicativa n. 617/2009 (paragrafo C7.11.3.4) impongono che sia valutata la stabilità nei confronti della liquefazione mediante il ricorso a metodologie analitiche o a carattere semiempirico. Tali verifiche, secondo le NTC 2008, devono essere condotte tutte le volte che il manufatto in progetto interagisce con terreni saturi a prevalente componente sabbiosa ed in presenza, ovviamente, di sollecitazioni cicliche e dinamiche per le quali il sottosuolo tende a comportarsi come un sistema idraulicamente chiuso, ovvero come un sistema non drenato; nel contempo, al fine di facilitare le procedure di analisi, al paragrafo 7.11.3.4.2 è ribadito che tali analisi possono essere omesse in presenza dei seguenti casi:

- eventi sismici di magnitudo inferiore a 5 ($M < 5$);
- accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizione di free-field) inferiori a 0.1g ($a < 1 \text{ m/sec}^2$);
- profondità media stagionale della falda superiore a 15 metri dal piano di campagna, quest'ultimo inteso ad andamento sub-orizzontale e con strutture a fondazioni superficiali;
- depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $N_{1,60} > 30$;

- elevata presenza, nel fuso granulometrico, di terreni a componente fine (limi e argille) o di ghiaie.

Da una lettura critica dei punti previsti dalla norma emerge un quadro ben chiaro che consente di intuire e comprendere, se il sito in oggetto può manifestare il fenomeno della liquefazione, considerato che lo stesso non è necessariamente scontato in presenza di terreni sabbiosi (terreni che qui non sono affatto prevalenti). In altre parole, e ragionando al contrario, risulta che i fattori che governano il fenomeno della liquefazione possono essere:

- le caratteristiche del fenomeno vibratorio, con particolare riferimento all'ampiezza ed alla durata delle vibrazioni, oltre, evidentemente, al loro contenuto in forma e frequenza;
- la pressione di confinamento agente in sito, definibile mediante l'analisi dello stato tensionale geostatico;
- lo stato di addensamento;
- la granulometria;
- la storia delle sollecitazioni sismiche;
- le condizioni di drenaggio;
- l'età del deposito;
- il coefficiente di spinta a riposo;
- il grado di sovraconsolidazione.

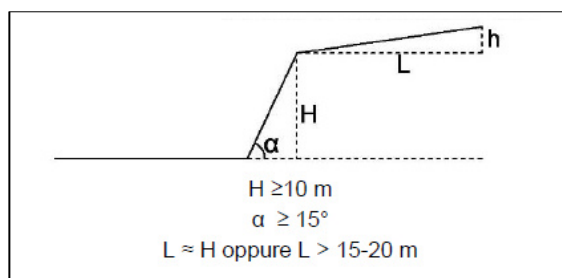
Entrando ora nel merito dell'area indagata, si ritiene non sussistono zone di deformazione permanente caratterizzate da suscettibilità alla liquefazione in quanto il fuso granulometrico dei terreni sciolti del territorio indagato è esterno alle zone indicate nel Testo delle Nuove Norme Tecniche per le costruzioni (fig. 7.11.1), trattandosi prevalentemente di terreni grossolani oppure con significativa componente coesiva. In ogni caso si tratta di terreni dotati di un grado di addensamento o consistenza, dovuti alla loro "antichità" di deposizione, ben superiore agli intervalli di possibilità di innesco di fenomeni di liquefazione.

La successione stratigrafica in talune zone lungo il f. Monticano è comunque caratterizzata da terreni abbastanza "soffici" e pertanto potenzialmente suscettibili di cedimenti differenziali; si considera comunque basso anche il rischio di tali cedimenti sulla base del fatto che si tratta di depositi antichi non con sabbie sciolte, così come non ci sono marcate eteropie laterali.

4.1.2 Forme di superficie

Le forme di instabilità legate a possibili amplificazioni dovute ad effetti topografici, come previsto dal D.M. 14-01-2008 - § 3.2, per cui la relativa categoria topografica è la T2 e/o T3 sono i casi dei pendii con inclinazione maggiore di 15° , le posizioni di cresta di dorsale e la fascia retrostante il ciglio di scarpate di rilevante altezza.

A questo proposito si rammenta che in letteratura si considerano amplificabili le fasce prospicienti le scarpate caratterizzate da fronti di altezza (H) maggiori o uguali a 10 m, inclinazione del fronte principale (α) maggiore o uguale a 15° ed estensione del fronte superiore (L) almeno pari all'altezza H o comunque non inferiore ai 15-20 metri.



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

Nel caso di Mareno di Piave si osserva che non vi sono elementi di penalizzazione di tipo topografico: le pendenze delle superfici topografiche sono ampiamente inferiori ai 15° ; le sole scarpate esistenti sono quelle delle ex cave la cui altezza arriva a valori dell'ordine dei 10 m o poco più: si ritiene quindi che tale elemento morfologico non possa costituire fattore di amplificazione topografica locale. Parimenti si ritiene di escludere fenomeni di all'instabilità di versante.

4.1.3 Faglie attive e capaci

Per quanto riguarda le faglie, come già detto in precedenza, sono state riportate in questa relazione le strutture note dalla letteratura e desumibili dal catalogo delle faglie capaci ITHACA "ITaly HAZard from CApable faults" disponibile on-line all'indirizzo [http://www.apat.gov.it/site/it-IT/Progetti/ITHACA - Catalogo delle faglie capaci](http://www.apat.gov.it/site/it-IT/Progetti/ITHACA_-_Catalogo_delle_faglie_capaci) (vedi fig. 4). In particolare la faglia di Sacile non è stata inserita nelle tavole di microzonazione sismica in quanto la sua posizione è opinabile e non riconosciuta dagli ultimi lavori scientifici disponibili in letteratura. In ogni caso tale struttura interessa il substrato prequaternario posto

ad alcune centinaia di metri di profondità. Va poi ricordato che, anche quando la faglia fosse in affioramento, non si tratta di strutture lineari, ma piuttosto di fasce di disturbo tettonico la cui larghezza può essere di decine o anche di centinaia di metri.

5 CONCLUSIONI

Alla luce di quanto emerso nel presente studio di MS, nel contesto di pianura del territorio del comune di Mareno di Piave, la Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica è utilizzabile in modo organico ai fini di progettazione:

- per interventi ordinari: la carta risulta un utile strumento di valutazione diretta;
- per interventi di un certo impegno o rilievo: è un utile strumento che può indirizzare verso specifici e ulteriori approfondimenti, con misure puntuali di Vs, frequenze di risonanza dei suoli ed eventuali integrazioni con la determinazione di altri parametri (es. down hole, periodo proprio del terreno, ecc.).

A livello di programmazione superiore nelle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali possono essere utilizzati per la progettazione gli appositi abachi, purché il sito di costruzione presenti caratteristiche conformi alle ipotesi di base utilizzate per l'elaborazione degli abachi stessi. In generale tali ipotesi assumono che il sottosuolo sia assimilabile ad una successione di strati approssimativamente piano paralleli, con modeste irregolarità morfologiche. Per tali condizioni sono ipotizzabili differenti procedure da adottare da parte della regione, conformemente al proprio contesto normativo, a partire dal confronto fra l'azione sismica dedotta dagli abachi con quella che si ottiene utilizzando la categoria di sottosuolo e lo spettro per essa previsto dalla norma.

Pieve di Soligo, ~~18 febbraio 2015~~

12 luglio 2016

dott. geol. Gino Lucchetta

Ordine Geologi del Veneto n. 242



6 BIBLIOGRAFIA

AA.VV. Seismogenetic sources potentially responsible for earthquakes with $M \geq 6$ in the Southern Alps (Thiene – Udine sector, NE Italy)” *Geophysical Journal International* (2005).

AA.VV. “Modello sismotettonico dell’Italia Nord Orientale”, C.N.R., Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Rendiconto N. 1, Trieste, 1987.

Benedetti, L., Tapponnier, P., King, G. C. P., Meyer, B., Manighetti, I., 2000. Growth folding and active thrusting in the Montello region, Veneto, northern Italy. *J. Geophys. Res.*, 105, 739-766.

Castaldini, D. & Panizza, M., 1991. Inventario delle faglie attive tra i fiumi Po e Piave e il Lago di Como (Italia settentrionale), *Il Quaternario*, 4, 333–410.

Castellarin A. Nicolich R., Fantoni R., Cantelli L., Sella M., Selli L., 2006 b. Structure of the lithosphere beneath the Eastern Alps (southern sector of the TRANSALP transect). *Tectonophysics* vol. 414, pp. 259 - 282.

Cruden D.M. & Varnes D. J. (1996) - Landslide types and processes. In: TURNER A.K. & SCHUSTER R.L. (eds) - “Landslide: Investigation and Mitigation. Trasportation Research Board”, Special Report 247, National Academy Press, pp. 36-75, Waschington D.C.

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

Ferrarese, F., Sauro, U. & Tonello, C., 1998. The Montello Plateau. Karst evolution of an alpine neotectonic morphostructure, *Zeit. für Geomorph.*, N.F. Suppl.-Bd., 109, 41–62.

Galadini, F., Poli, M. E., Zanferrari, A., 2005. Seismogenic sources potentially responsible for earthquakes with $M \geq 6$ in the eastern Southern Alps (Thiene-Udine sector, NE Italy). *Geophys. J. Int.*, 161, 739-762.

Galadini, F., Meletti, C. & Vittori, E., 2001b. Major active faults in Italy: available surficial data, *Geol. en Mijn.* (Netherlands Journal of Geosciences), 80, 273–296.

Meletti, C., Galadini, F., Valensise, G., Stucchi, M., Basili, R., Barba, S., Vannucci, G., Boschi, E., 2007. The ZS9 seismic source model for the seismic hazard assessment of the Italian territory. *Tectonophysics*.

Merlini, S., Doglioni, C., Fantoni, R. & Ponton, M., 2002. Analisi strutturale lungo un profilo geologico tra la linea Fella-Sava e l’avampaese adriatico (Friuli Venezia Giulia-Italia), *Mem. Soc. Geol. It.*, 57, 293–300

Peruzza, L., Poli, M.E., Rebez, A., Renner, G., Rogledi, S., Slejko, D. & Zanferrari, A., 2002. The 1976–1977 seismic sequence in Friuli: new seismotectonic aspects, *Mem. Soc. Geol. It.*, 57, 391–400

Sirovich, L., Pettenati, F. & Bobbio, M., 2000. Inversione di intensità macro-sismiche per le faglie di terremoti storici, in *Le ricerche del GNDT nel campo della pericolosità sismica (1996–1999)*, pp. 237–245, eds Galadini, F., Meletti, C. & Rebez, A., CNR—Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Roma, Italy.

M. Suga e L. Peruzza, Distretti Sismici del Veneto in *Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata* Vol. 52 n. 4 supplement., dicembre 2011

TRANSALP Working Group, 2002. First deep reflexion images of the Eastern Alps reveal giant crustal wedges and transcrustal ramps. *Geophysical Research Letters* Vol.29, N. 10, pp. 92-1 / 92-4.

Valensise, G., Pantosti, D. (Eds.), 2001a. Database of potential sources for earthquakes larger than $M 5.5$ in Italy. *Annali di Geofisica*, 44(4), Suppl., 797–964, with CD-ROM.

Zanferrari, A. et al., 1982. Evoluzione neotettonica dell’Italia nord-orientale, *Mem. Sc. Geol.*, 35, 355–376.

Per quanto riguarda i riferimenti bibliografici dei cataloghi sismici citati nel testo:

NT4.1 - Camassi R. e Stucchi M., 1998. NT4.1, un catalogo parametrico di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno

CPTI04 (maggio 2004) - Gruppo di lavoro CPTI (2004).

Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2004 (CPTI04), INGV, Bologna.

<http://emidius.mi.ingv.it/CPTI04/>

CPTI11 - A. Rovida, R. Camassi, P. Gasperini e M. Stucchi (a cura di), 2011. *CPTI11, la versione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani*. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI>

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

DBMI04 - Stucchi et alii. (2007). DBMI04, il database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI04. <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04/>

Quaderni di Geofisica, Vol 49, pp.38.

DBMI11 - M. Locati, R. Camassi e M. Stucchi (a cura di), 2011. DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>.

7 ALLEGATI

Gli allegati alla Relazione Illustrativa sono così suddivisi:

- **Allegato “Indagini Pregresse”** contiene le indagini pregresse già documentate nel P.A.T.I,
- **Allegato “Indagini MS”**: contiene le indagini sismiche realizzate ex novo: