



PROTEZIONE CIVILE  
Presidenza del Consiglio dei Ministri  
Dipartimento della Protezione Civile



CONFERENZA DELLE REGIONI E  
DELLE PROVINCE AUTONOME



REGIONE DEL VENETO

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

# MICROZONAZIONE SISMICA

## Livello 1 e 2

### Relazione Illustrativa

#### Regione Veneto

#### Comune di San Martino di Lupari



| Regione | Soggetto realizzatore  | Data        |
|---------|--|-------------|
|         | Dott. Geol. Pietro Zangheri<br><br>COLLABORATORI:<br>Dott. Geol. Francesco Marinoni<br><br>STUDIO ASSOCIATO GEODELTA | Maggio 2023 |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INTRODUZIONE .....</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1 Premessa.....  | 1         |
| 1.2 Inquadramento geografico .....   | 3         |
| 1.3 Inquadramento topografico .....  | 5         |
| <b>2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' E DEGLI EVENTI.....</b>              | <b>6</b>  |
| 2.1 Caratteri geologico strutturali .....                                  | 6         |
| 2.2 Pericolosità sismica .....   | 13        |
| 2.3 Sismicità storica dell'area.....                                       | 16        |
| 2.4 Faglie che interessano l'area di studio.....                           | 24        |
| <b>3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA .....</b>               | <b>26</b> |
| 3.1 Assetto litologico e geomorfologico .....                              | 26        |
| 3.2 Idrogeologia .....   | 30        |
| 3.3 Descrizione della carta geologico-tecnica .....                        | 30        |
| 3.3.1 Substrato geologico e copertura quaternaria.....                     | 31        |
| 3.3.2 Elementi geomorfologici, geologici e idrogeologici.....              | 32        |
| 3.3.3 Elementi strutturali.....  | 32        |
| <b>4. LA CARTA DELLE INDAGINI.....</b>                                     | <b>33</b> |
| 4.1. Indagini pregresse e le nuove indagini .....                          | 33        |
| 4.2. Nuove indagini geofisiche .....                                       | 34        |
| 4.3. Analisi delle onde di superficie con tecnica "MASW" - Generalità..... | 34        |
| 4.4. Operazioni di campagna ed Elaborazione dati.....                      | 35        |
| 4.5. Analisi del rumore sismico ambientale (tecnica HVSR).....             | 36        |
| 4.6. Risultati ottenuti con le indagini geosismiche.....                   | 38        |
| <b>5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO.....</b>                                      | <b>40</b> |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE.....</b>                                    | <b>41</b> |
| <b>7. DESCRIZIONE DELLA CARTA DELLE MOPS.....</b>                              | <b>42</b> |
| 7.1. Premessa.....   | 42        |
| 7.2. Definizione profili tipo zone stabili ma amplificabili .....              | 42        |
| 7.3. Descrizione delle instabilità e delle forme .....                         | 43        |
| 7.3.1. Liquefazione ( $Z_{ALQ}$ ).....   | 43        |
| <b>8. CARTA DELLE FREQUENZE NATURALI DEI DEPOSITI .....</b>                    | <b>45</b> |
| <b>9. CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA DI 2° LIVELLO .....</b>                  | <b>46</b> |
| 9.1 Premessa.....  | 46        |
| 9.2 Valutazione degli effetti litostratigrafici.....                           | 47        |
| 9.3 Valutazione degli effetti morfologici.....                                 | 49        |
| 9.3.1 Zona di scarpata .....   | 49        |
| 9.4 Valutazione del fenomeno della liquefazione.....                           | 51        |
| <b>10. SINTESI DEGLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 1 E 2.....</b> | <b>54</b> |
| <b>11. PROPOSTA DI PRESCRIZIONI NORMATIVE.....</b>                             | <b>55</b> |
| 11.1 Amplificazioni litostratigrafiche .....                                   | 55        |
| 11.2 Zone suscettibili di instabilità per cedimenti differenziali.....         | 57        |
| 11.3 Aree potenzialmente liquefacibili.....                                    | 58        |
| <b>12 BIBLIOGRAFIA.....</b>  | <b>59</b> |
| <b>13 PROFILO GEOLOGICO E COLONNE STRATIGRAFICHE DELLE MOPS.....</b>           | <b>61</b> |

# 1. INTRODUZIONE

## 1.1 Premessa

Su incarico del Comune di San Martino di Lupari (PD), è stato eseguito lo studio di Microzonazione sismica di Livello 1 e 2 del territorio comunale. Lo studio è stato condotto in conformità con le direttive e le specifiche emanate dagli organi competenti per questa tipologia di indagini:

- *“Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica”* – Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome – Dipartimento della Protezione Civile - Anno 2008.
- *“Standard di rappresentazione e archiviazione informatica - Specifiche tecniche per la redazione in ambiente GIS degli elaborati cartografici della microzonazione sismica”* Ver. 4.2 Dicembre 2020 - Commissione Tecnica per il monitoraggio degli studi di Microzonazione Sismica.
- *“Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da faglie attive e capaci (FAC)”* Vers. 1.0 - 2015 - Commissione tecnica per la Microzonazione Sismica.
- *Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazione (LQ)”* Vers. 1.0 - 2017 - Commissione tecnica per la Microzonazione Sismica.
- DGRV n. 1572 del 3 settembre 2013 *“Definizione di una metodologia teorica e sperimentale per l’analisi sismica locale a supporto della pianificazione. Linee Guida Regionali per la microzonazione sismica”*.
- DGRV n. 899 del 28 giugno 2019 *“Linee guida regionali per gli Studi di Microzonazione Sismica per gli strumenti urbanistici comunali. Chiarimenti e precisazioni sulle modalità applicative. Studi di Microzonazione Sismica Direttive per l’applicazione dei livelli di approfondimento”*.
- DGRV n. 1381 del 12 ottobre 2021 *“Linee guida regionali per gli Studi di Microzonazione Sismica per gli strumenti urbanistici comunale. Modifiche alla D.G.R. 1572/2013 e chiarimenti sulle modalità operative.”*
- D.M. 17 gennaio 2018 aggiornamento delle *“Norme tecniche per le costruzioni”*

Lo studio si è articolato nelle seguenti fasi principali:

- Raccolta dati relativi a studi, perizie e rilievi geologici-geomorfologici-idrogeologici, indagini geognostiche e geofisiche nel territorio comunale.
- Analisi in chiave sismologica della cartografia geologica comunale relativa al P.A.T.
- Ricostruzione della sismicità storica del territorio e riconoscimento di eventuali strutture potenzialmente sismogenetiche, o in grado di generare amplificazioni sismiche.
- Definizione dei parametri sismologici del territorio comunale (Magnitudo attesa, PGA ecc.) attraverso la consultazione dei cataloghi e dati forniti dagli enti istituzionali.

- Esecuzione ed elaborazione di nuove indagini geofisiche
- Sintesi di tutti i dati raccolti
- Elaborazione della cartografia prevista.

Lo studio, oltre alla raccolta delle indagini pregresse, ha visto la realizzazione di nuove indagini geofisiche allo scopo di caratterizzare meglio i terreni nei confronti dei parametri più importanti dal punto di vista sismico. Complessivamente, sono state effettuate 31 indagini con tecnica a stazione singola HVSR e 16 profili con tecnica MASW.

Il Livello 1 di Microzonazione Sismica (MS) è propedeutico e necessario per la redazione dei successivi studi di livello 2 e 3; si tratta di uno studio “preliminare”, incentrato soprattutto sulla raccolta e analisi dei dati esistenti, ha un valore qualitativo e conduce alla definizione di aree omogenee come risposta alle sollecitazioni sismiche, utile, quindi per indirizzare la pianificazione territoriale e orientare i successivi livelli di MS.

Sulla base dei dati geognostici e geofisici, pregressi o di nuova esecuzione, si è proceduto alla redazione dello studio di Livello 2, che si è articolato nei seguenti passaggi:

- Determinazione degli effetti litostratigrafici e morfologici;
- Valutazione delle zone soggette a potenziale liquefazione;
- Valutazione delle aree soggette a cedimenti differenziali;
- Elaborazione della cartografia prevista per il Livello 2;
- Sintesi dei risultati ottenuti e proposte normative.

## **1.2 Inquadramento geografico**

Il territorio comunale si pone in un'area di media pianura dove però si risente ancora in modo prevalente della relativa vicinanza dei rilievi prealpini; il comune è situato, a scala regionale, tra le pianure modellate dal Fiume Brenta, a ovest, e dal Fiume Piave, a est.

Dal punto di vista idrogeologico il territorio si trova a cavallo della fascia delle risorgive le quali costituiscono aree di affioramento della falda acquifera che alimentano una serie di corsi d'acqua e fiumicelli i quali hanno condizionato sia le forme morfologiche del territorio sia l'assetto geologico-stratigrafico ed idrogeologico dello stesso.

Il territorio comunale si estende per circa 10 chilometri dal punto più a Nord a quello più a Sud e verifica una larghezza massima (direzione da Ovest ad Est) di 3 chilometri circa (vedi figura 1).

La discreta estensione longitudinale del Comune, associata alla posizione dello stesso in zona di transizione tra alta e media pianura, comporta la presenza di situazioni geologico-stratigrafiche ed idrogeologiche diverse all'interno del territorio comunale.

Le principali aree urbanizzate si concentrano nell'area del capoluogo, posto in posizione centrale rispetto al territorio comunale e nei centri di Campagnalta a nord, Monastiero, Lovari, Campretto e Borghetto a sud; gli insediamenti ad uso produttivo sono invece posti a sud del capoluogo e a est di Campagnalta sul lato sud della S.S.53.

Il Comune confina con i territori contermini di (partendo da nord in senso orario, si veda Figura 1):

- Loria (TV)
- Castello di Godego (TV)
- Castelfranco Veneto (TV)
- Loreggia (PD)
- Santa Giustina in Colle (PD)
- Villa del Conte (PD)
- Tombolo (PD)
- Galliera Veneta (PD)

Come si evince da questo elenco, il Comune confina a nord e a nord-est con la Provincia di Treviso.

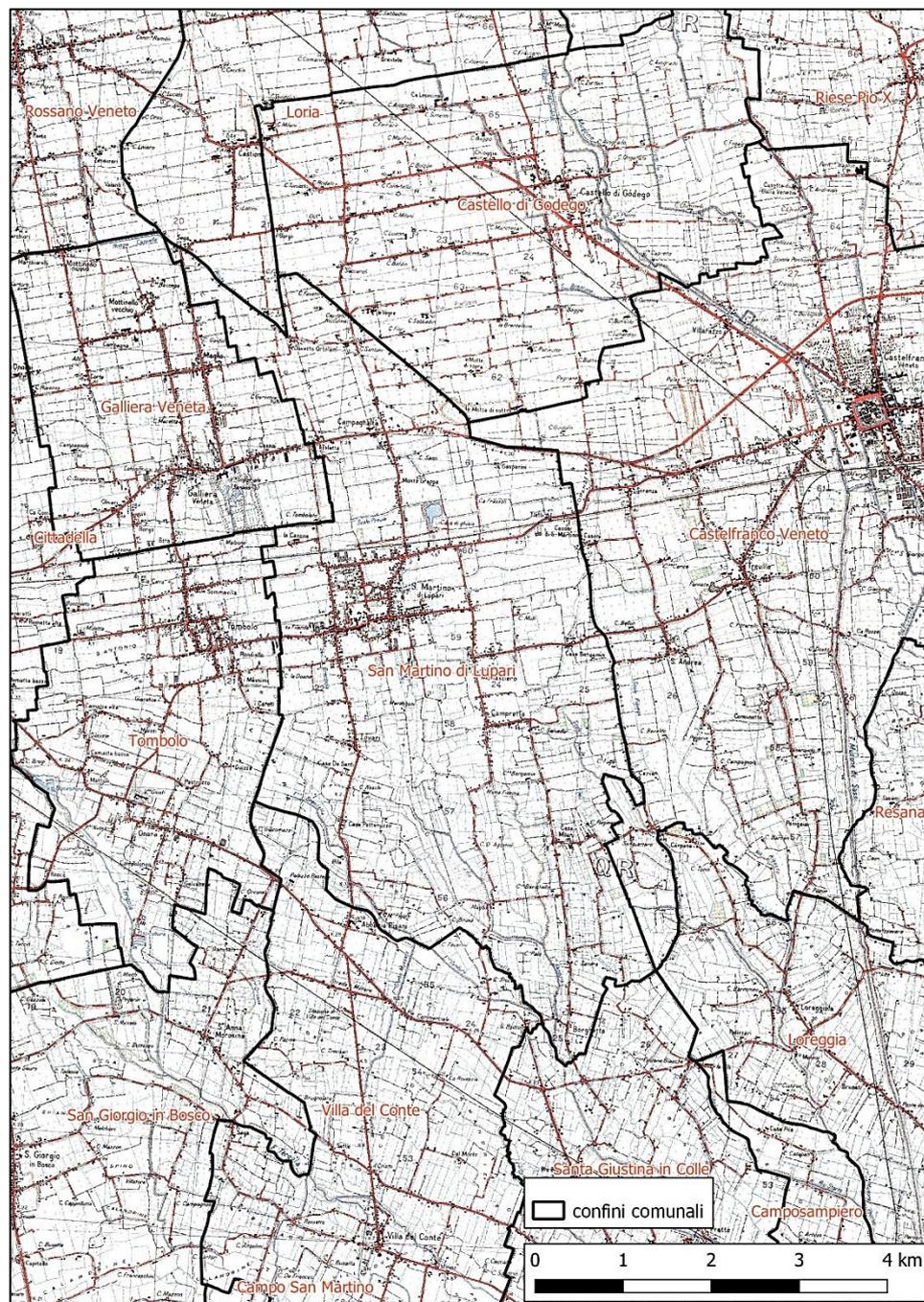


Figura 1: Ubicazione del Comune di San Martino di Lupari e comuni limitrofi

Il territorio comunale risulta interessato dalle seguenti sezioni in scala 1:10.000 della CTRN della Regione del Veneto:

- 104100 Cittadella Nord;
- 104110 San Martino di Lupari Nord;
- 104150 San Martino di Lupari Sud.

La cartografia IGMI in scala 1:25.000 interessata è rappresentata dalle seguenti sezioni:

- 37 II SO Rosà ;
- 37 II SE Castelfranco Veneto;
- 51 I NE San Martino di Lupari;

### 1.3 Inquadramento topografico

Le quote altimetriche del territorio comunale sono comprese tra i 61 metri sul livello del mare del margine settentrionale (al limite nord di Campagnalta) e i 29 m s.l.m. di quello meridionale (limite sud di Borghetto), ne derivano pendenze modeste in tutto il territorio. La Figura 2, realizzata con il DEM (digital elevation model) reso disponibile grazie alla documentazione scaricabile dal sito della Regione Veneto<sup>1</sup>, permette l'immediata comprensione dei principali aspetti morfologici che caratterizzano il territorio comunale.

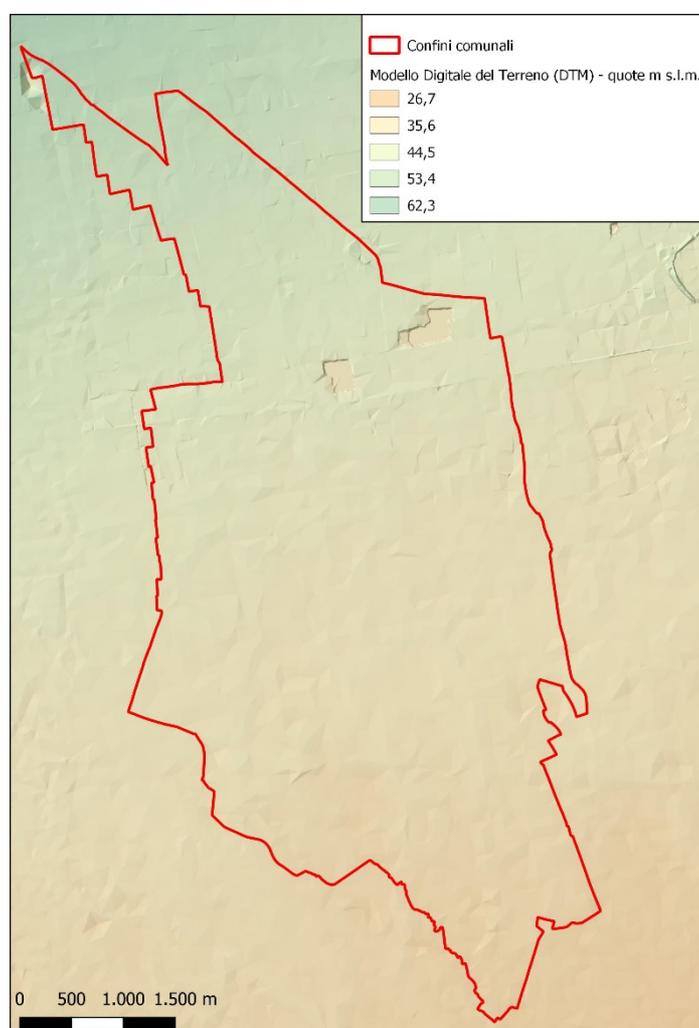


Figura 2: rilievo DEM del territorio comunale (quote in m s.l.m.)

<sup>1</sup> (<https://idt2.regione.veneto.it/>)

## 2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' E DEGLI EVENTI

### 2.1 *Caratteri geologico strutturali*

Le note di carattere generale riportate di seguito sono tratte da ricerche bibliografiche e fanno riferimento principalmente al lavoro di Monica Sukan e Laura Peruzza: "Distretti sismici del Veneto" (dicembre 2011) oltre che alle altre pubblicazioni citate in bibliografia.

Il settore orientale delle Alpi Meridionali, all'interno del quale è compresa la Regione Veneto, è la zona con sismicità più accentuata dell'intera catena alpina: tale situazione è da imputarsi alle caratteristiche geodinamiche dell'area, interessata, anche attualmente, da un processo di raccorciamento. Infatti, dal Cretaceo in poi, la convergenza tra la placca Europea e la placca Adriatica, strutturalmente continua con la placca Africana, provoca la collisione alpina i cui effetti perdurano fino ad oggi.

Le Alpi Meridionali Orientali, situate sull'estremità nord-orientale della microplacca Adriatica, sono una catena a pieghe e sovrascorrimenti sud-vergenti (Figura 3). La loro architettura è il risultato di due principali fasi compressive del Terziario: la fase meso-alpina (Paleogene) e la fase neo-alpina (Neogene-Quaternario). Quest'ultima è responsabile di buona parte del sollevamento delle montagne venete, con formazione di sovrascorrimenti S-SE vergenti. Le deformazioni compressive del Messiniano-Pliocene hanno generato pieghe e sovrascorrimenti disposti NE-SO (Flessura Pedemontana, anticlinale di rampa frontale del sovrascorrimento Bassano-Valdobbiadene) e riattivato il sistema trascorrente Schio-Vicenza.

Nella pubblicazione di Sukan e Peruzza, il territorio veneto è diviso in 9 distretti sismici (Figura 4): il Comune di San Martino di Lupari ricade nel "**Distretto Pedemontana Sud: PS**", del quale vengono riassunti di seguito i lineamenti principali. *Questa regione si estende dall'Altopiano di Asiago fino alla zona pedemontana del margine del Cansiglio, verso SE si estende alla zona di pianura approssimativamente ad includere la fascia delle risorgive; lungo la catena il sistema strutturale è troncato bruscamente ad Ovest dagli allineamenti disposti NO-SE del sistema Schio-Vicenza verso Est da elementi paleogeografici (margine occidentale del massiccio del Cansiglio). L'area presenta tuttora un'attività tettonica rilevante con una compressione attiva la cui velocità è stimata dell'ordine di qualche mm/anno. La stretta di Quero e il rilievo del Montello sono gli elementi geologici e morfologici di questo distretto attorno ai quali si sono maggiormente concentrati studi per il riconoscimento di faglie attive. Nonostante ciò, il potenziale sismico dell'area resta ancora piuttosto controverso e si moltiplicano gli studi per comprendere la relativa assenza di sismicità su faglie ritenute capaci di generare forti terremoti. Per questo si attendono i risultati di monitoraggi specifici, attualmente in corso per caratterizzare la deformazione geodetica e la microsismicità (OMBRA Projet Group 2011).*

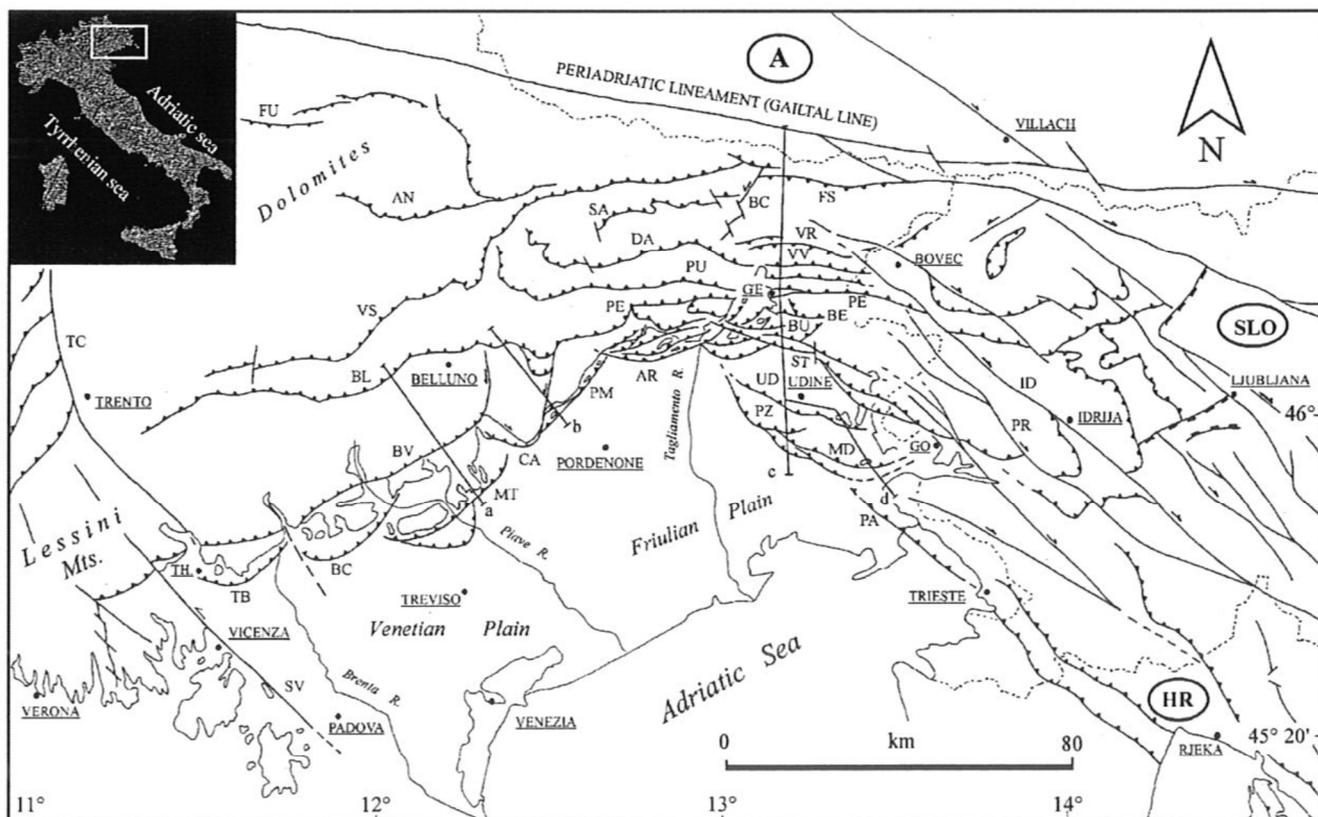


Figure 1. Structural model of NE Italy and W Slovenia. The letters a, b, c and d define the traces of the geological sections reported in Figs 11, 14, 4 and 6, respectively. Legend (towns): TH, Thiene; GE, Gemona; GO, Gorizia. Legend (structures): TC, Trento-Cles fault; SV, Schio-Vicenza fault; TB, Thiene-Bassano fault; BC, Bassano-Cornuda fault; BV, Bassano-Valdobbiadene fault; BL, Belluno fault; VS, Valsugana fault; FU, Funes fault; AN, Antelao fault; MT, Montello fault; CA, Cansiglio fault; PM, Polcenigo-Maniago fault; AR, Arba-Ragogna fault; PE, Periadriatic thrust; PU, Pinedo-Uccea fault; DA, Dof-Auda fault; SA, Sauris fault; BC, But-Chiarsò fault; FS, Fella-Sava fault; VR, Val Resia fault; VV, Val Venzonassa fault; BE, Bernadia fault; BU, Buia fault; ST, Susans-Tricesimo fault; UD, Udine-Buttrio fault; PZ, Pozzuolo fault; MD, Medea fault; PA, Palmanova fault; ID, Idrija fault; PR, Predjama fault.

Figura 3: Modello strutturale dell'Italia nord-orientale che riporta I principali sovrascorrimenti della catena sudalpina orientale (da Galadini et al. [2005]).

*Il distretto Pedemontana Sud è una zona interessata storicamente da un evento distruttivo e numerosi eventi che hanno superato la soglia del danno ( $I_0 = VI$  MCS), documentati in modo abbastanza affidabile sin dal XIII secolo. Risale al 25 febbraio 1695 l'evento più energetico ( $I_0 = IX-X$  MCS,  $M_w = 6,61$ ), la cui magnitudo ricavata dai dati macrosismici è comparabile ai massimi eventi registrati nell'area friulana a seguito del terremoto del 1976. Localizzato nell'Asolano, l'evento ha raggiunto la soglia della distruzione coinvolgendo l'area compresa tra Bassano del Grappa e Valdobbiadene.*

*Danni significativi dovuti ad eventi più antichi vengono invece attribuiti esclusivamente o prevalentemente alla città di Treviso ( 778  $I_0 = VIII-IX$  ,  $M_w = 5,84$ ; 1268  $I_0 = VII-VIII$  ,  $M_w = 5,37$ ); per questi eventi è oggi impossibile risolvere la vera localizzazione, data la scarsità di fonti storografiche che documentano i danni.*

*Quattro eventi minori (25 febbraio 1756, 1857, 1897, e 1919) sono stati recentemente revisionati Molin et al., 2008) con modifiche lievi ai parametri di intensità e localizzazione. Negli ultimi due*

secoli, l'evento maggiore è stato quello del 12 giugno 1836 localizzato nell'area di Bassano, che ha raggiunto la soglia del danno significativo ( $I_0 = VII-VIII$  MCS,  $M_w = 5,48$ ) e una serie di eventi dannosi prevalentemente documentati nella seconda metà del XIX secolo. Da oltre un secolo, quindi, non si verificano eventi di energia significativa.

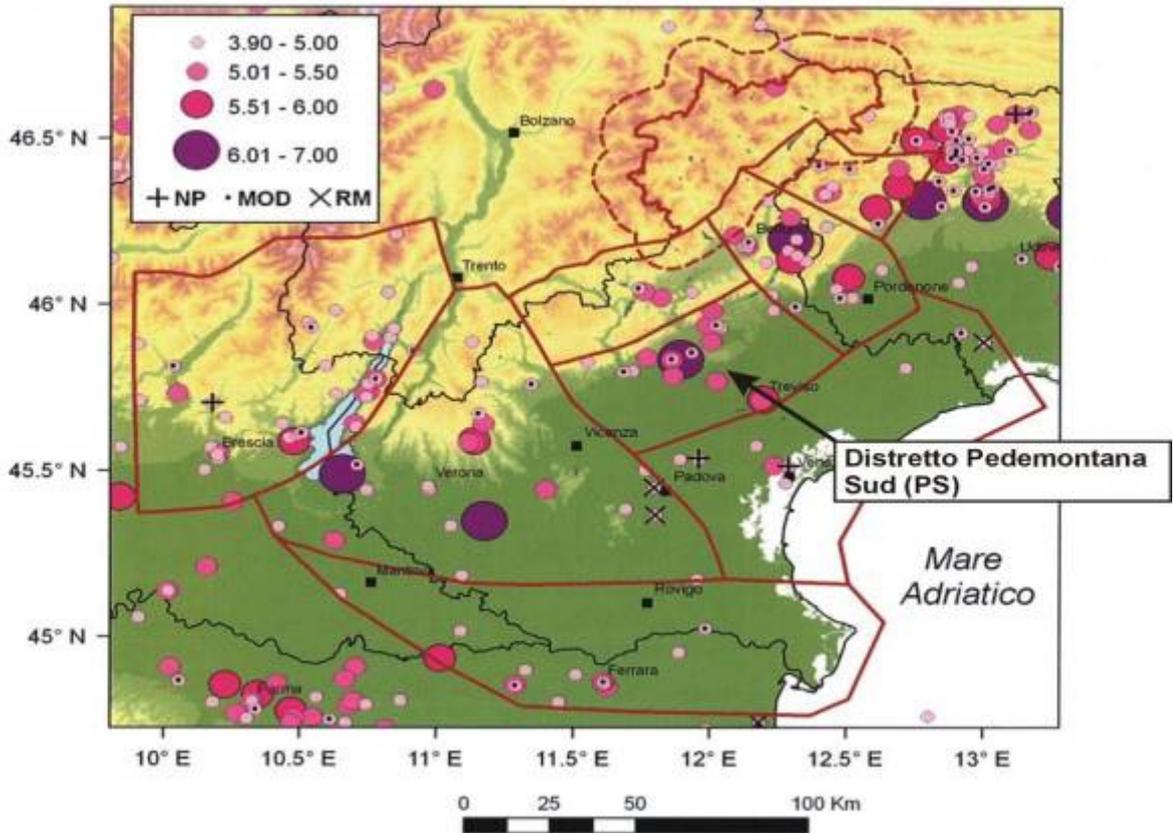


Figura 4: Mappa della sismicità storica del Veneto e aree limitrofe; fonte dati CPTI04 criticamente rivisto (Molin et al, 2008). In legenda i simboli colorati indicano la magnitudo equivalente a  $M_w$  riportata in CPTI Working Group (2004); i sovrassegni indicano eventi revisionati, rispettivamente come non parametrizzati "NP", modificati "MOD" o rimossi "RM". (Estratto da Segan e Peruzza, 2011)

La sismicità registrata strumentalmente dal 1977 si presenta da bassa a moderata, con diversi eventi di magnitudo superiore a 3, limite teorico della soglia di percezione, localizzati lungo la fascia esterna della catena alpina, nella zona della fessura Pedemontana e del Montello. La magnitudo massima registrata nell'area fino al 2010 è  $M_D = 3,3$ ..... Il 13 settembre 2011 è avvenuto un evento di  $M_L = 3,7$  percepito particolarmente nella località di Moriago della Battaglia; esso risulterebbe l'evento più energetico in epoca strumentale.....

Dal punto di vista della neotettonica è in atto un processo di sollevamento causato da compressione con forte raccorciamento crostale che raggiunge valori massimi nel Friuli centrale. Le strutture neotettoniche più importanti sono rappresentate in primo luogo dai sovrascorrimenti orientati ENE-OSO e subordinatamente da back-thrust e faglie subverticali con componenti più o meno rilevanti

di trascorrenza orientate NO-SE. Modelli cinematici del movimento della microplacca Adria, basati su misure geodetiche, stimano una convergenza in quest'area di 2-3 mm/anno. Sulla base di datazioni di terrazzi fluviali, Benedetti et al. (2000) attribuiscono una costante di scorrimento di 1,8-2 mm/a alla sola faglia del Montello negli ultimi 300.000 anni.

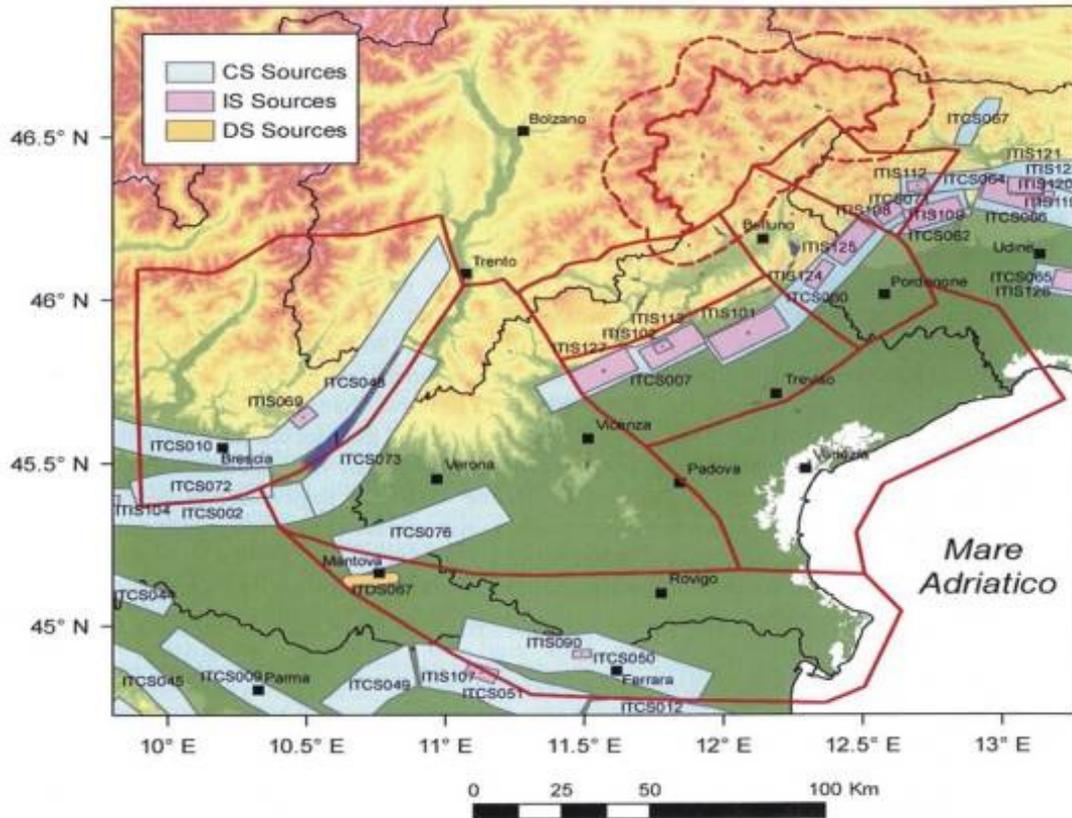


Figura 5: Sorgenti sismogenetiche DISS versione 3.1.1 (DISS Working Group, 2010). Visualizzazione su DEM. Con codice sorgente in azzurro le sorgenti composite (CS), in rosa le sorgenti individuali (IS) e in arancione le sorgenti ritenute controverse (Debated Sources, DS). (Estratto da Segan e Peruzza, 2011)

Nel lavoro di Segan e Peruzza, sono riportate le seguenti informazioni riguardo le sorgenti sismogenetiche che interessano il Distretto Pedemontana Sud, localizzate nelle planimetrie della Figura 5 e della Figura 6.

*In questo distretto, DISS, versione 3.1.1 identifica due sorgenti composite, denominate Thiene-Cornuda (ITCS007), che si estende dalla città di Schio a Cornuda e Montebelluna-Montereale (ITCS060), dallo sbocco in pianura del F. Piave, a quello del T. Cellina. Entrambe le sorgenti composite rappresentano segmenti di sovrascorrimenti vergenti S-SE, implicati nella sismogenesi degli eventi maggiori fino a profondità modeste (7-9 Km) e frammentati da elementi trasversali.*

*Alla prima sorgente composita appartengono le sorgenti individuali di Thiene-Bassano (ITIS 127), che risulta quiescente in epoca storica e la struttura Bassano-Cornuda (ITIS102), cui viene*



Figura 6: Sorgenti sismogenetiche prossime al Comune di San Martino di Lupari. DISS versione 3.3.0 (DISS Working Group, 2021) ITIS : Sorgenti sismogenetiche individuali ITCS : Sorgenti sismogenetiche composite

Di seguito è riportata la scheda ricavata dal catalogo DISS 3.3.0, relativa alla sorgente sismogenetica individuale ITIS 102 "Bassano-Cornuda", distante circa 8 Km verso Nord dal confine settentrionale di San Martino di Lupari.



**DISS 3.3.0**

FONTI SISMOGENICHE INDIVIDUALI

SORGENTI SISMOGENICHE COMPOSITE

FONTI SISMOGENICHE DIBATTUTE

FONTI DI SUBDUZIONE

MAPPATORE WEB



i

Fonti SISMOGENICHE INDIVIDUALI

Informazione    Commento    Immagini    Riferimenti

**INFORMAZIONE GENERALE**

**ID DISS** ITIS102

**Nome** Bassano-Cornuda

**Compilatore/i** Burrato P.(1), Galadini F.(2)

**Contributori** Burrato P.(1), Poli ME(3), Zanferrari A.(3), Galadini F.(2)

1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sezione Roma 1; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italia

2) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sezione di Milano; Via Bassini 15, 20133 Milano, Italia

3) Università degli Studi di Udine; Dipartimento di Georisorse e Territorio; Via Cottonificio 114, Udine, Italia

**Affiliazione/i**

**Creato** 23/11/2005

**Aggiornato** 23/11/2005

**Visualizza mappa** 

**Fonti correlate** [ITCS007](#)

**INFORMAZIONI PARAMETRICHE**

| Parametro                                       | Qualità             | Evidenza |  |
|---|---------------------|----------|--|
| <b>Posizione [Lat/Lon]</b>                      | 45.82 / 11.87       | L.D      | Sulla base dei dati geologici di Galadini et al. (2005).             |
| <b>Lunghezza [km]</b>                           | 18.0                | EJ       | Dedotto da dati geologici vincolati da considerazioni sismologiche.  |
| <b>Larghezza [km]</b>                           | 9.5                 | EJ       | Dedotto da dati geologici vincolati da considerazioni sismologiche.  |
| <b>Profondità minima [km]</b>                   | 1.0                 | L.D      | Sulla base dei dati geologici di Galadini et al. (2005).             |
| <b>Profondità massima [km]</b>                  | 6.4                 | L.D      | Sulla base dei dati geologici di Galadini et al. (2005).             |
| <b>Colpire [gradi]</b>                          | 240                 | L.D      | Sulla base dei dati geologici di Galadini et al. (2005).             |
| <b>Immergi [gradi]</b>                          | 35                  | L.D      | Sulla base dei dati geologici di Galadini et al. (2005).             |
| <b>Rastrello [gradi]</b>                        | 80                  | L.D      | Basato su dati geologici e geodetici.                                |
| <b>Slitta per evento [m]</b>                    | 1,50                | E.R      | Calcolato da Mo utilizzando la relazione di Hanks e Kanamori (1979). |
| <b>Velocità di scorrimento [mm/a] min...max</b> | 0.7000...<br>0.8700 | L.D      | Basato su osservazioni geologiche.                                   |
| <b>Ricorrenza [y] min... max</b>                | 1724... 2143        | EJ       | Dedotto dalla velocità di scorrimento e dallo spostamento medio.     |
| <b>Magnitudo [Mw]</b>                           | 6.6                 | L.D      | Valore adottato dal catalogo storico dei terremoti CPTI04.           |

LD=Dati Di Letteratura; OD=Dati Originali; ER=Relazione Empirica; AR=Relazione Analitica; EJ=Giudizio Esperto

**INFORMAZIONI SUI TERREMOTI ASSOCIATI**

**Ultimo terremoto** 25 febbraio 1695 CPTI04.

**Penultimo terremoto** Sconosciuto Vedere Commento per informazioni.

**DIFETTI ATTIVI**

**PIEGHE ATTIVE**

## 2.2 Pericolosità sismica

Per quanto attiene alla pericolosità sismica del territorio, sempre nella pubblicazione di Sugan e Peruzza si legge: "Per quanto riguarda la zonazione sismica, si nota che a fronte di una sismicità recente modesta, sono stati proprio i forti eventi del passato ad aver consentito un'applicazione abbastanza precoce di norme antisismiche a circa la metà dei comuni veneti che ricadono nel distretto; 11 comuni sono entrati in classificazione col Regio Decreto del 22 novembre 1937, mentre il gruppo più corposo di comuni in classe II risale al 1982. Grossomodo i limiti dell'area mantenuta in zona 2 con l'Ord. 3274/03 coincide con valori di accelerazione attesa superiori a 0,2 g, con qualche anomalia nella pedemontana trevigiana. Nel distretto complessivamente si attendono valori di pericolosità non inferiori a 0,125-0,150 g, fino a 0,250 g nella porzione orientale del distretto."

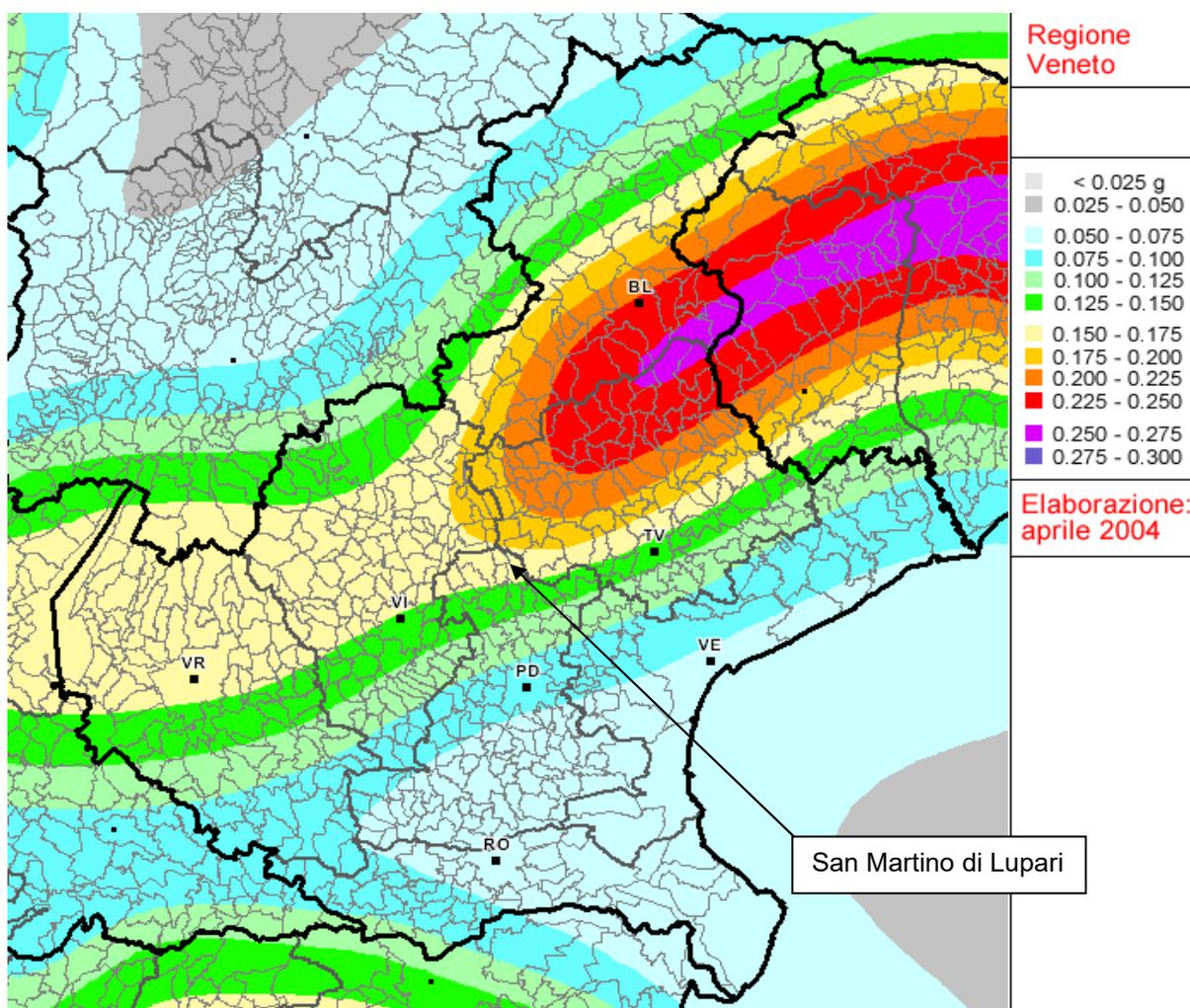


Figura 7: Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale relativa alla Regione Veneto, entrata in vigore con l'Ordinanza PCM 3519/2006, espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi ( $V_{s30} > 800\text{ m/s}$ ; cat A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005)

Per quel che riguarda valutazioni di progetto, si ricorda che la DGR n. 71 del 2008 non ha modificato la zonazione sismica del Veneto, ma ha assunto le accelerazioni di riferimento per il calcolo sismico così come introdotte dalla OPCM 3519 del 2006. Come risulta dalla Figura 7 e dalla Figura 8, il Comune di San Martino di Lupari ricade nella fascia con accelerazione ( $a_g$ ) orizzontale massima attesa, con probabilità d'eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi subpianeggianti caratterizzati da  $V_{s30} > 800$  m/s (ovvero di categoria A di cui al punto 3.2.1 del D.M.14.09.2005), compresa tra 0,150 g e 0,175 g.

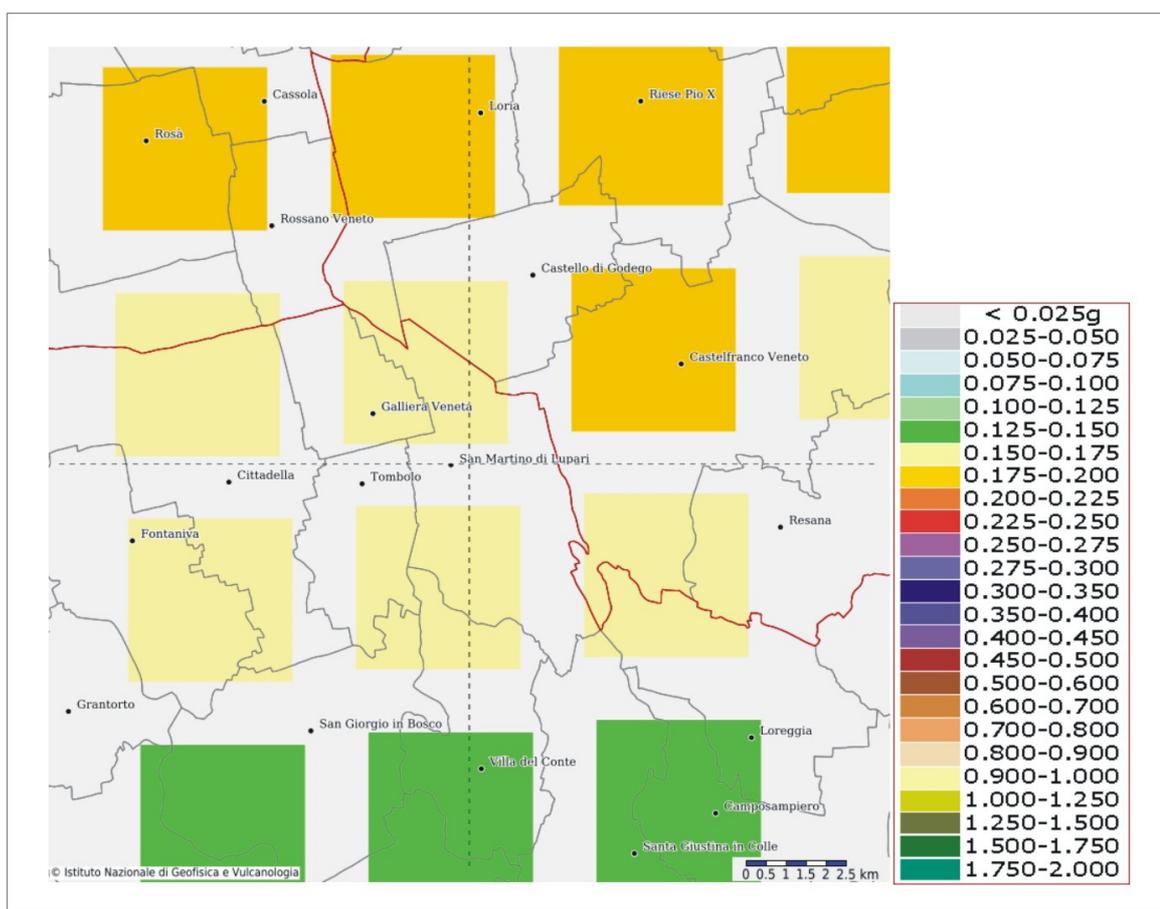


Figura 8: Mappa di pericolosità sismica relativa al territorio di studio, entrata in vigore con l'Ordinanza PCM 3519/2006, espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi ( $V_{s30} > 800$  m/s; cat A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005)

Per valutare l'accelerazione attesa nel comune in esame, può essere utilizzato il software "Spettri di risposta" vers. 1.0.3, scaricabile dal sito internet del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. Procedendo con la ricerca "per comune", si viene a determinare, per il **Comune di San Martino di Lupari** un valore di  $a_g$  per un tempo di ritorno pari a 475 anni (corrispondente alla accelerazione massima con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi con  $V_{s30} > 800$  m/s; cat. A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005) pari **0,167 g**. Lo stesso modello di calcolo fornisce oltre ai valori di  $a_g$  anche quelli di  $F_0$  e  $T_c$  per vari tempi di ritorno e a monte della scelta della strategia di progettazione; i dati sono riportati nella tabella seguente.

Tabella 1: parametri per i diversi tempi di ritorno relativi al Comune di San Martino di Lupari

| $T_R$<br>[anni] | $a_g$<br>[g] | $F_o$<br>[-] | $T_c^*$<br>[s] |
|-----------------|--------------|--------------|----------------|
| 30              | 0,044        | 2,5          | 0,239          |
| 50              | 0,059        | 2,48         | 0,253          |
| 72              | 0,071        | 2,447        | 0,265          |
| 101             | 0,084        | 2,41         | 0,275          |
| 140             | 0,098        | 2,39         | 0,283          |
| 201             | 0,116        | 2,393        | 0,291          |
| 475             | 0,167        | 2,4          | 0,308          |
| 975             | 0,221        | 2,407        | 0,322          |
| 2475            | 0,318        | 2,395        | 0,338          |

Il software "Spettri di risposta" prevede anche l'opzione ricerca per coordinate, cosicché inserendo le coordinate del sito da esaminare si può conoscere il valore preciso dell'accelerazione di base  $a_g$ . Tale opzione è ovviamente preferibile poiché fornisce valori più precisi, visto che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono variare sensibilmente.

Si fa notare che secondo l'O.P.C.M. n. 4007 del 29.02.2012 il Comune di **San Martino di Lupari** è classificato con  **$a_g = 0,173103$** .

I valori di  $a_g$  da utilizzare nelle modellazioni dovranno essere opportunamente modificati in funzione delle scelte progettuali e dell'ubicazione precisa del sito in esame.

Riguardo la magnitudo attesa, dalla scheda precedente relativa alla sorgente sismogenetica ITIS102 Bassano - Cornuda, si desume che la Magnitudo massima che può verificarsi è pari a 6,6. Tale dato trova conferma anche da quanto riportato negli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica, dove all'interno del paragrafo 2.8 "*Procedura di stima della Magnitudo attesa per le analisi nelle zone suscettibili di instabilità*" è riportata la seguente tabella.

**Tabella 2.8-1 – Valori di  $M_{wmax}$  per le zone sismogenetiche di ZS9 (estratto da Gruppo di lavoro, 2004)**

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

Questa tabella fa riferimento alla zonazione sismogenetica (Zonazione ZS9 a cura di C. Meletti e G. Valensise - 2004) che suddivide il territorio nazionale in 36 zone sismiche; il Veneto risulta compreso all'interno delle Zone Sismiche 905 (Veneto orientale) e 906 (Garda-Veronese), alle quali corrisponde una  $M_{wmax}$  pari a 6,6. Il Comune di San Martino di Lupari ricade all'interno della zona 905.

### 2.3 Sismicità storica dell'area

Per valutare la sismicità storica del territorio in esame sono stati consultati i seguenti cataloghi:

- *Catalogo parametrico dei terremoti italiani CPTI15 versione 4.0 (gennaio 2022)*
- *Database Macrosismico Italiano DBMI15 versione 4.0 (gennaio 2022)*
- *Catalogo dei Forti Terremoti in Italia dal 461 A.C. al 1997 CFTI Med 5 a cura di E. Guidoboni, G. Ferrari, D. Mariotti, A. Comastri, G. Tarabusi, G. Valensise*

Nelle figure seguenti, è riportata la storia sismica del Comune di San Martino di Lupari e quella del vicino comune di Castelfranco Veneto dove la sequenza storica è più estesa. In Figura 11 è riportata la mappa della sismicità storica del distretto Pedemontana Sud.

Le sigle utilizzate nelle tabelle hanno il seguente significato:

**Io** = Intensità macrosismica epicentrale (gradi scala MCS)

**I** = Intensità al sito (MCS)

**Mw** = magnitudo momento

**NMDP** = Numero di dati macrosismici (Macroseismic Data Point)

File downloaded from CPTI15-DBMI15 v4.0  
 Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani - Database Macrosismico Italiano  
 Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV)

Seismic history of **San Martino di Lupari**  
 PlaceID IT\_29279  
 Coordinates (lat, lon) 45.650, 11.855  
 Municipality (ISTAT 2015) San Martino di Lupari  
 Province Padova  
 Region Veneto  
 No. of reported earthqu 4

| Int. at place | N    | Year | Mo | Da | Ho | Mi | Se    | EpicentralArea     | LatDef | LonDef | DepDef | IoDef | MwDef |
|---------------|------|------|----|----|----|----|-------|--------------------|--------|--------|--------|-------|-------|
| F             | 1767 | 1900 | 3  | 4  | 16 | 55 |       | Asolano            | 45,849 | 12,067 |        | 6-7   | 5,05  |
| 3-4           | 3594 | 1989 | 9  | 13 | 21 | 54 | 1,5   | Prealpi Vicentine  | 45,882 | 11,264 | 9      | 6-7   | 4,85  |
| NF            | 4103 | 2001 | 7  | 17 | 15 | 6  | 15,27 | Val Venosta        | 46,697 | 11,074 | 0,1    | 5-6   | 4,78  |
| 3             | 4252 | 2004 | 12 | 4  | 22 | 20 | 50,2  | Prealpi Trevigiane | 45,942 | 11,996 | 5,2    | 4-5   | 3,86  |

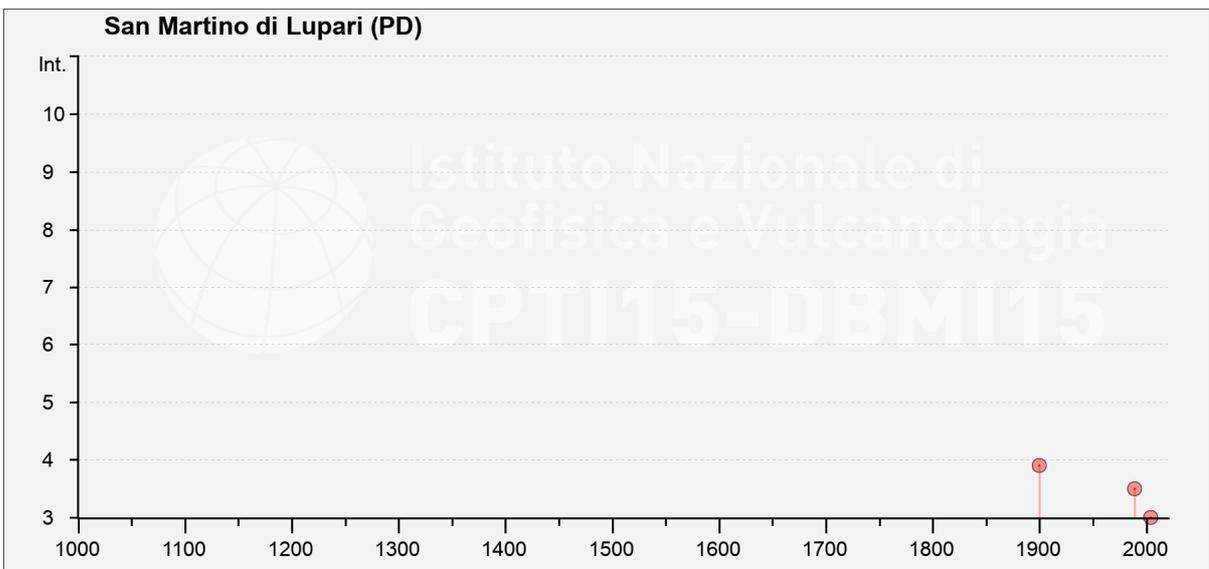


Figura 9: Storia sismica di San Martino di Lupari (da INGV, Database macrosismico italiano DBMI15)

File downloaded from CPTI15-DBMI15 v4.0

Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani - Database Macrosismico Italiano

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV)

Seismic history of **Castelfranco Veneto**

PlaceID IT\_26803

Coordinates (lat, lon) 45.671, 11.926

Municipality (ISTAT 2015) Castelfranco Veneto

Province Treviso

Region Veneto

No. of reported earthqu 16

| Int. at place | N    | Year | Mo | Da | Ho | Mi | Se    | EpicentralArea            | LatDef | LonDef | DepDef | IoDef | MwDef |
|---------------|------|------|----|----|----|----|-------|---------------------------|--------|--------|--------|-------|-------|
| 5-6           | 262  | 1511 | 3  | 26 | 15 | 30 |       | Friuli-Slovenia           | 46,209 | 13,216 |        | 9     | 6,32  |
| 6-7           | 569  | 1695 | 2  | 25 | 5  | 30 |       | Asolano                   | 45,861 | 11,91  |        | 10    | 6,4   |
| 6             | 1295 | 1861 | 5  | 19 |    |    |       | Asolano                   | 45,736 | 11,92  |        | 6     | 4,63  |
| F             | 1570 | 1891 | 6  | 7  | 1  | 6  | 14    | Valle d'Illasi            | 45,564 | 11,165 |        | 8-9   | 5,87  |
| 4             | 1847 | 1904 | 3  | 10 | 4  | 23 | 4,24  | Slovenia nord-occidentale | 46,3   | 13,82  | 12     |       |       |
| NF            | 1944 | 1908 | 3  | 15 | 7  | 38 | 38    | Valle d'Illasi            | 45,623 | 11,207 |        | 5-6   | 4,91  |
| 5             | 1976 | 1909 | 1  | 13 | 0  | 45 |       | Emilia Romagna orientale  | 44,579 | 11,688 |        | 6-7   | 5,36  |
| NF            | 2033 | 1911 | 2  | 19 | 7  | 18 | 30    | Forlivese                 | 44,117 | 12,074 |        | 7     | 5,26  |
| 3-4           | 2106 | 1914 | 10 | 27 | 9  | 22 |       | Lucchesia                 | 43,912 | 10,598 |        | 7     | 5,63  |
| 3             | 2457 | 1931 | 12 | 25 | 11 | 41 |       | Friuli                    | 46,259 | 13,104 |        | 7     | 5,25  |
| 2-3           | 2485 | 1934 | 5  | 4  | 13 | 56 |       | Carnia                    | 46,398 | 13,059 |        | 6     | 4,69  |
| 5             | 3124 | 1976 | 5  | 6  | 20 | 0  | 13,17 | Friuli                    | 46,241 | 13,119 |        | 9-10  | 6,45  |
| 3             | 3380 | 1983 | 11 | 9  | 16 | 29 | 52    | Parmense                  | 44,755 | 10,265 |        | 6-7   | 5,04  |
| 4-5           | 3594 | 1989 | 9  | 13 | 21 | 54 | 1,5   | Prealpi Vicentine         | 45,882 | 11,264 | 9      | 6-7   | 4,85  |
| 3             | 4103 | 2001 | 7  | 17 | 15 | 6  | 15,27 | Val Venosta               | 46,697 | 11,074 | 0,1    | 5-6   | 4,78  |
| 3             | 4237 | 2004 | 7  | 12 | 13 | 4  | 6     | Slovenia nord-occidentale | 46,31  | 13,62  | 11,4   |       | 5,12  |

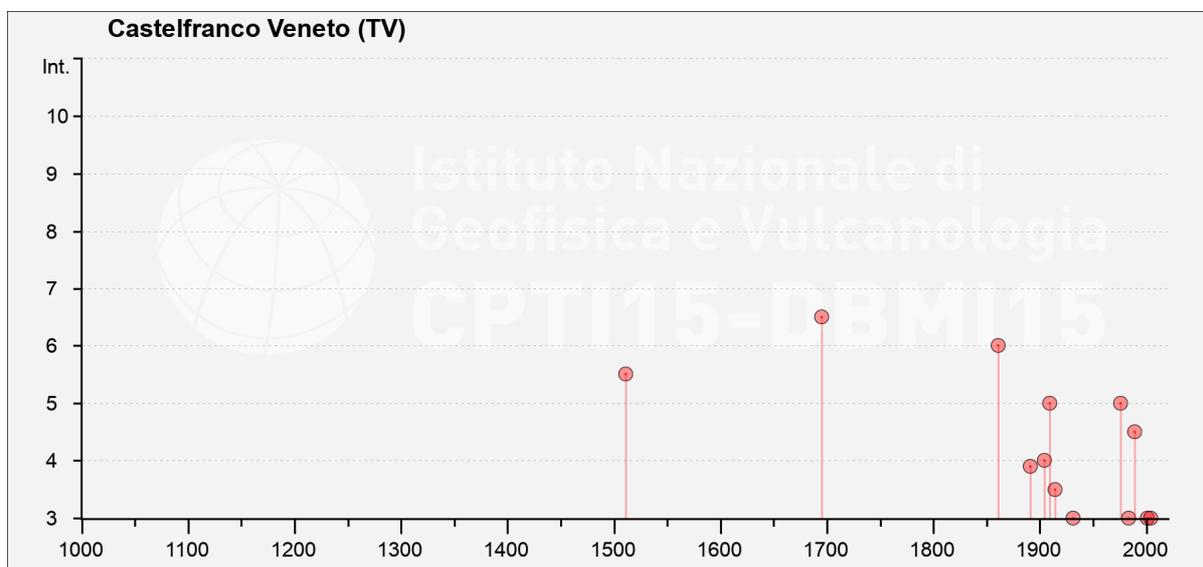


Figura 10: Storia sismica di Castelfranco Veneto (da INGV, Database macrosismico italiano DBMI15)

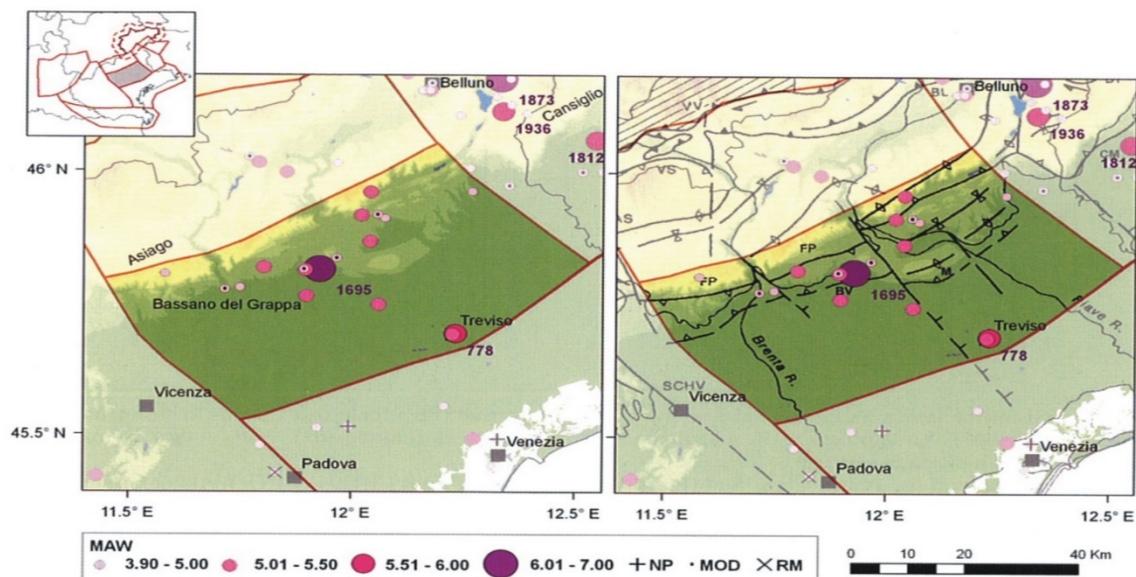
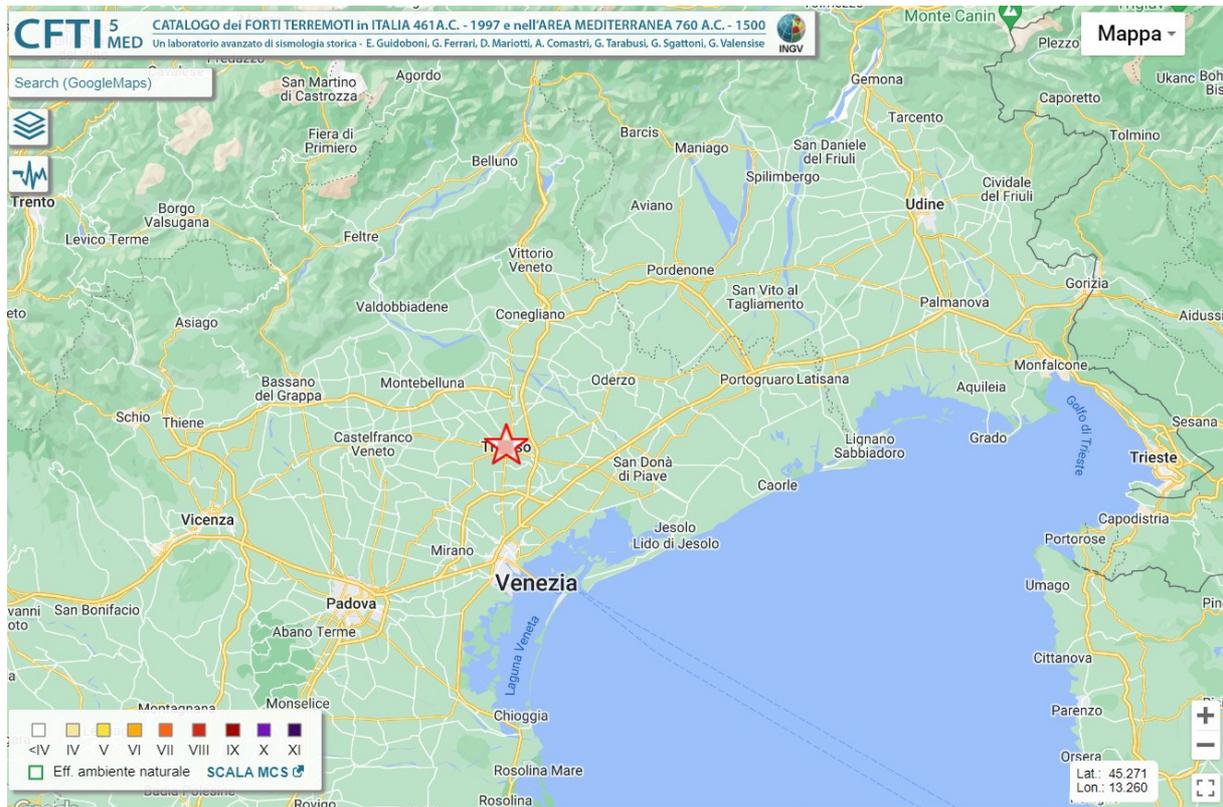


Figura 11: Mappa della sismicità storica del distretto Pedemontana Sud (PS); fonte dati CPTI04 criticamente rivisto (Molin et al.,2008). Visualizzazione su DEM in scala cromatica (sn) e su DEM integrato con modello strutturale tratto da Castellarin et al. (1998b) (dx). In legenda: Maw indica la magnitudo equivalente a Mw riportata in CPTI Working Group (2004); i sovrassegni indicano eventi revisionati, rispettivamente come non parametrizzati "NP", modificati "MOD" o rimossi "RM". (Estratto da Segan e Peruzza, 2011)

Di seguito si descrivono i caratteri più significativi e le notizie relative ai principali terremoti verificatisi, in epoca storica, nel Distretto Pedemontana Sud, relativamente vicini al Comune di San Martino di Lupari. Le note sono ricavate dal *Catalogo dei Forti Terremoti in Italia dal 461 A.C. al 1997 CFTI Med5*.

## Terremoto del 778

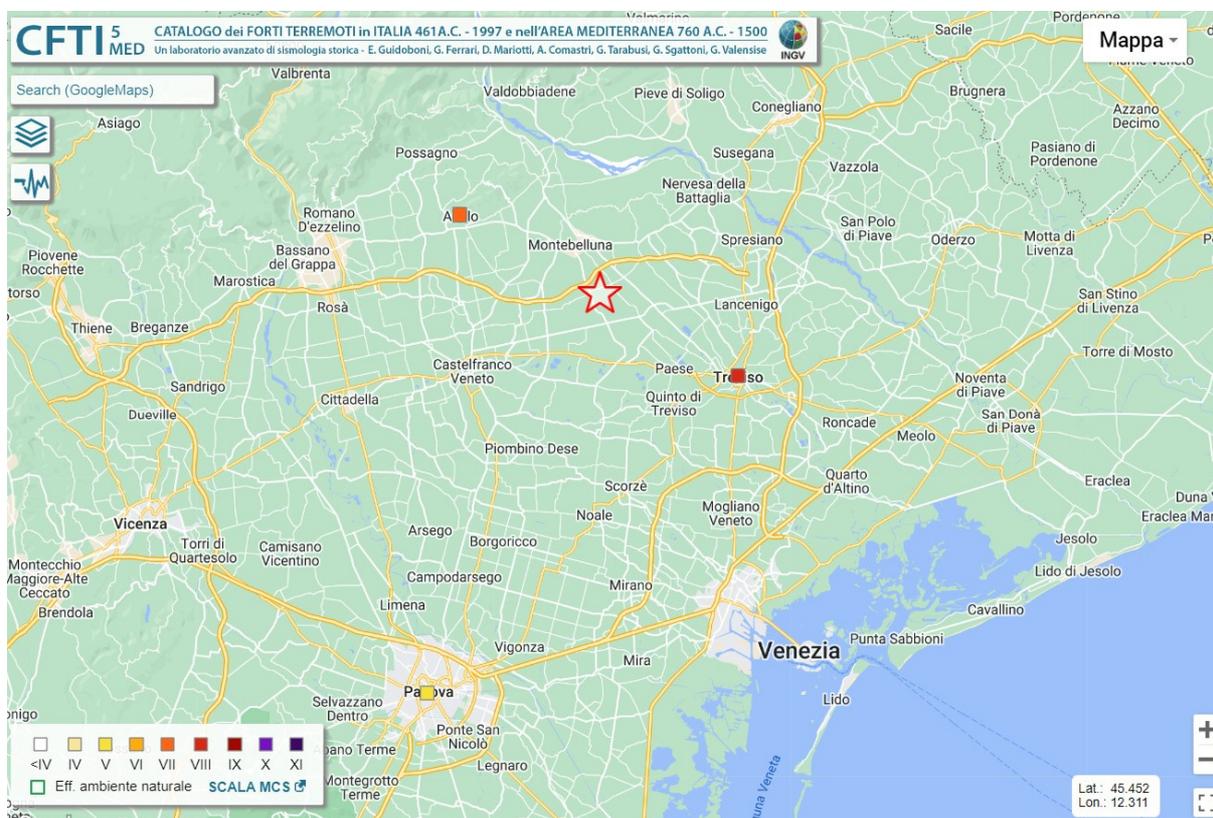
| Data | Ora | Io  | Imax | NOM | Me  | Lat.   | Long.  | Area    | Tipo |
|------|-----|-----|------|-----|-----|--------|--------|---------|------|
| 778  |     | 8.5 | 8.5  | 1   | 5.8 | 45.670 | 12.244 | Treviso | L    |



Un violento terremoto colpì Treviso, e forse altre città vicine non meglio specificate, causando il crollo di molti edifici e chiese. Si ricorda che in un solo villaggio (non specificato) perirono 48 persone (1).

## Terremoto del 4 novembre 1268

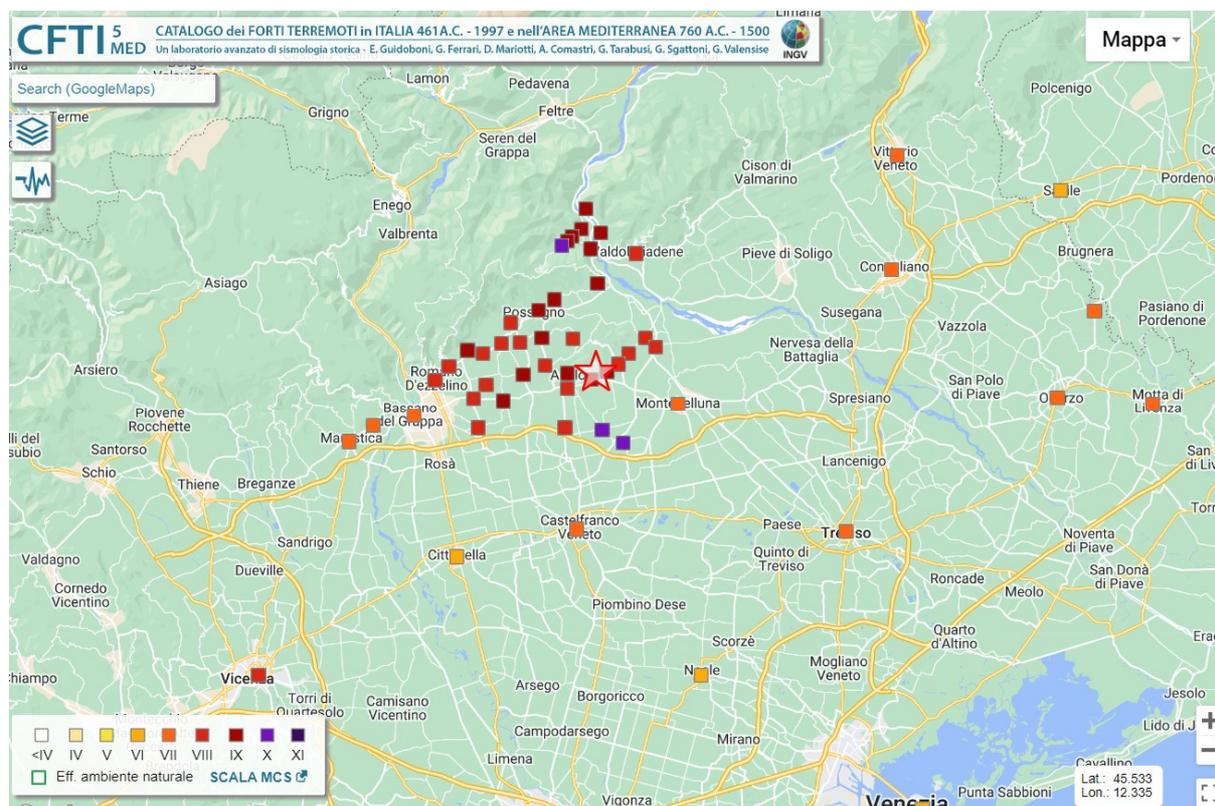
| Data       | Ora | Io  | Imax | NOM | Me  | Lat.   | Long.  | Area       | Tipo |
|------------|-----|-----|------|-----|-----|--------|--------|------------|------|
| 1268 11 04 |     | 7.5 | 8    | 4   | 5.4 | 45.736 | 12.079 | Trevigiano | C    |



Nella notte tra il 3 e il 4 novembre 1268 ci furono due scosse di terremoto; l'indicazione "in media notte" indica un'ora imprecisata tra le ore 1:00 e le ore 3:00 GMT circa del 4 novembre. Le fonti non consentono di ricostruire l'intervallo tra le scosse, né la durata della sequenza. Il terremoto colpì la valle del Piave tra le Prealpi e la pianura veneta. I centri che subirono maggiori danni furono Treviso, dove crollarono edifici privati e fu danneggiato il convento di Santa Cristina, e Asolo, la cui rocca subì danni gravi; l'area di risentimento fu estesa a Padova e a Feltre.

## Terremoto del 25 Febbraio 1695

| Data       | Ora   | Io | Imax | NOM | Me  | Lat.   | Long.  | Area    | Tipo |
|------------|-------|----|------|-----|-----|--------|--------|---------|------|
| 1695 02 25 | 05:30 | 10 | 10   | 82  | 6.5 | 45.802 | 11.948 | Asolano | C    |



L'evento causò gravi danni in larga parte del Veneto; l'area più danneggiata è localizzata nell'alto trevigiano, a sud del Monte Grappa. Le località più colpite furono la città di Asolo e i villaggi circostanti: oltre 30 centri abitati subirono distruzioni gravissime e in altri 24 paesi e villaggi si ebbero crolli parziali e dissesti. Ad Asolo crollarono 1.477 case e 1.284 furono gravemente danneggiate. Danni contenuti (crollo di comignoli, leggere lesioni agli edifici e alle opera murarie) sono ricordati a Rovigo, Ferrara e Verona. Le fonti coeve descrivono i danni agli edifici spesso con il termine "diroccamento": sottoposto a una prima analisi semantica, basata sul confronto tra i vari documenti, questo termine è stato ritenuto equivalente all'espressione: "crolli con ribaltamento di qualche muro portante". Molte fonti non consentono tuttavia di definire con ulteriore precisione la qualità di tali crolli. Riguardo ai danni causati nei palazzi pubblici, va precisato che le stesse fonti ricordano il pessimo stato di conservazione in cui versavano gli edifici prima del terremoto. La scossa fu sentita in una vastissima area, comprendente la regione padana, dai territori bolognesi e ferraresi fino a Varese, le Prealpi lombarde, la regione del Garda e le Prealpi venete.

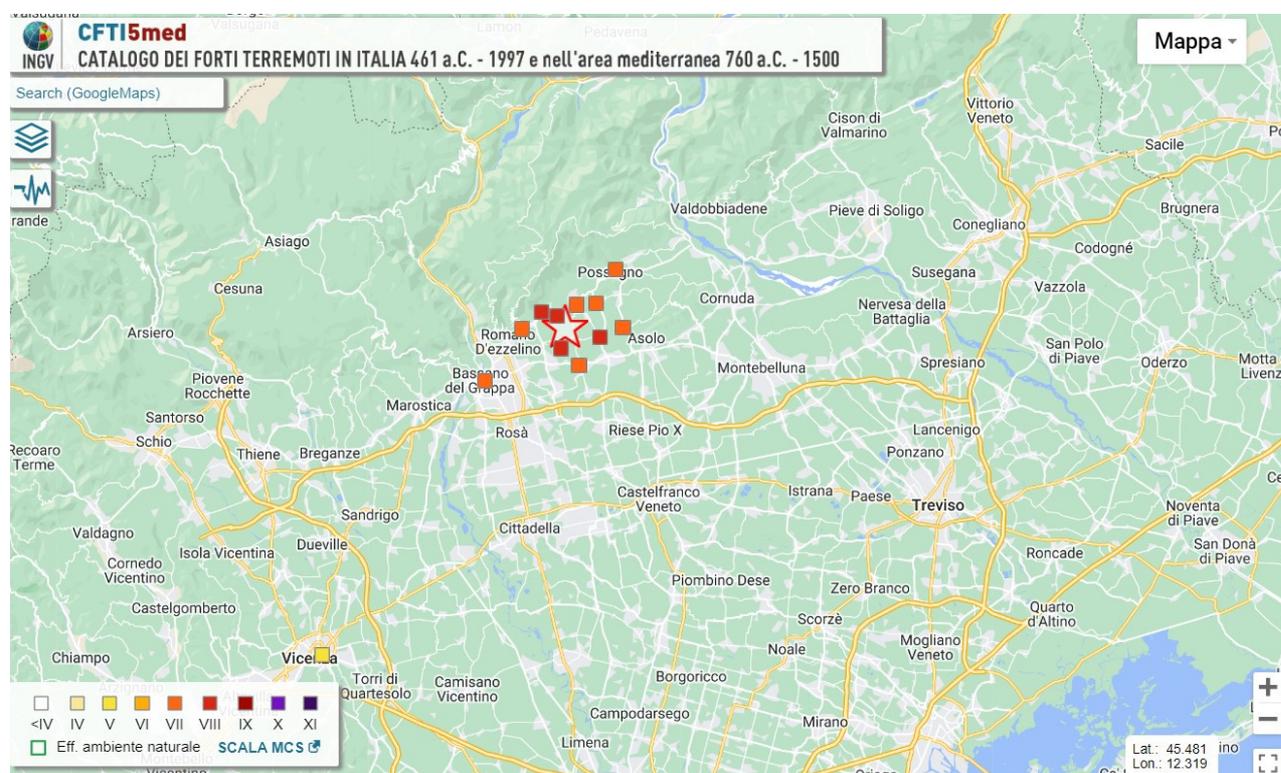
Le vittime furono alcune centinaia. Il terremoto aggravò una crisi economica in corso nella zona, causata dal pessimo andamento dei raccolti agricoli, compromessi dalle condizioni meteorologiche sfavorevoli. Le distruzioni accentuarono le tensioni sociali e la diffusione del pauperismo tra la popolazione rurale. Si verificò uno spopolamento nei centri asolani. La situazione di grave disagio

economico, che minacciava la sopravvivenza stessa delle persone, e di tensione sociale si protrasse per vari mesi dopo il terremoto. I problemi finanziari del governo centrale della Repubblica di Venezia limitarono e ritardarono gli interventi. Si verificarono numerosi fenomeni di speculazione sui prezzi dei cereali.

Le testimonianze dirette attestano il prolungarsi del periodo sismico almeno fino alla metà di marzo, con repliche continue che scossero l'area epicentrale.

### **Terremoto del 12 giugno 1836**

| Data       | Ora   | Io | Imax | NOM | Me  | Lat.   | Long.  | Area           | Tipo |
|------------|-------|----|------|-----|-----|--------|--------|----------------|------|
| 1836 06 12 | 02:30 | 8  | 8    | 27  | 5.6 | 45.808 | 11.823 | Prealpi Venete | C    |



La scossa avvenne il 12 giugno 1836 alle ore 2:30 GMT e colpì la zona delle Prealpi venete posta nel versante meridionale del Monte Grappa. Gli effetti più gravi furono riscontrati nei paesi di Borso del Grappa, Fonte, Liedolo e Sant'Eulalia, dove la scossa causò il crollo totale di alcune case e ne danneggiò altre. Gravi danni vi furono anche a Crespano, Paderno del Grappa, Pagnano, Possagno, San Zenone degli Ezzelini e Semonzo. A Bassano la scossa causò la caduta di fumaioli e l'apertura di fenditure nei muri degli edifici; più di 60 case furono danneggiate.

La scossa fu avvertita a sud fino a Parma e a Ferrara, a nord in quasi tutto il Tirolo. Il 20 luglio 1836, alle ore 11:00 GMT, furono avvertite due forti repliche che causarono ulteriori danni a Borso del Grappa e a Possagno.

## 2.4 Faglie che interessano l'area di studio

Il database di ITHACA (ITaly HAZard from CAPable faults) non segnala per il territorio del Comune di San Martino di Lupari la presenza di Faglie Attive e Capaci.

Come si osserva nella figura seguente, il tracciato della faglia N° 77523 denominata "Sandrigo – Barchisso 2" passa ad una distanza di 90 metri dal confine Nordorientale del Comune di San Martino di Lupari.

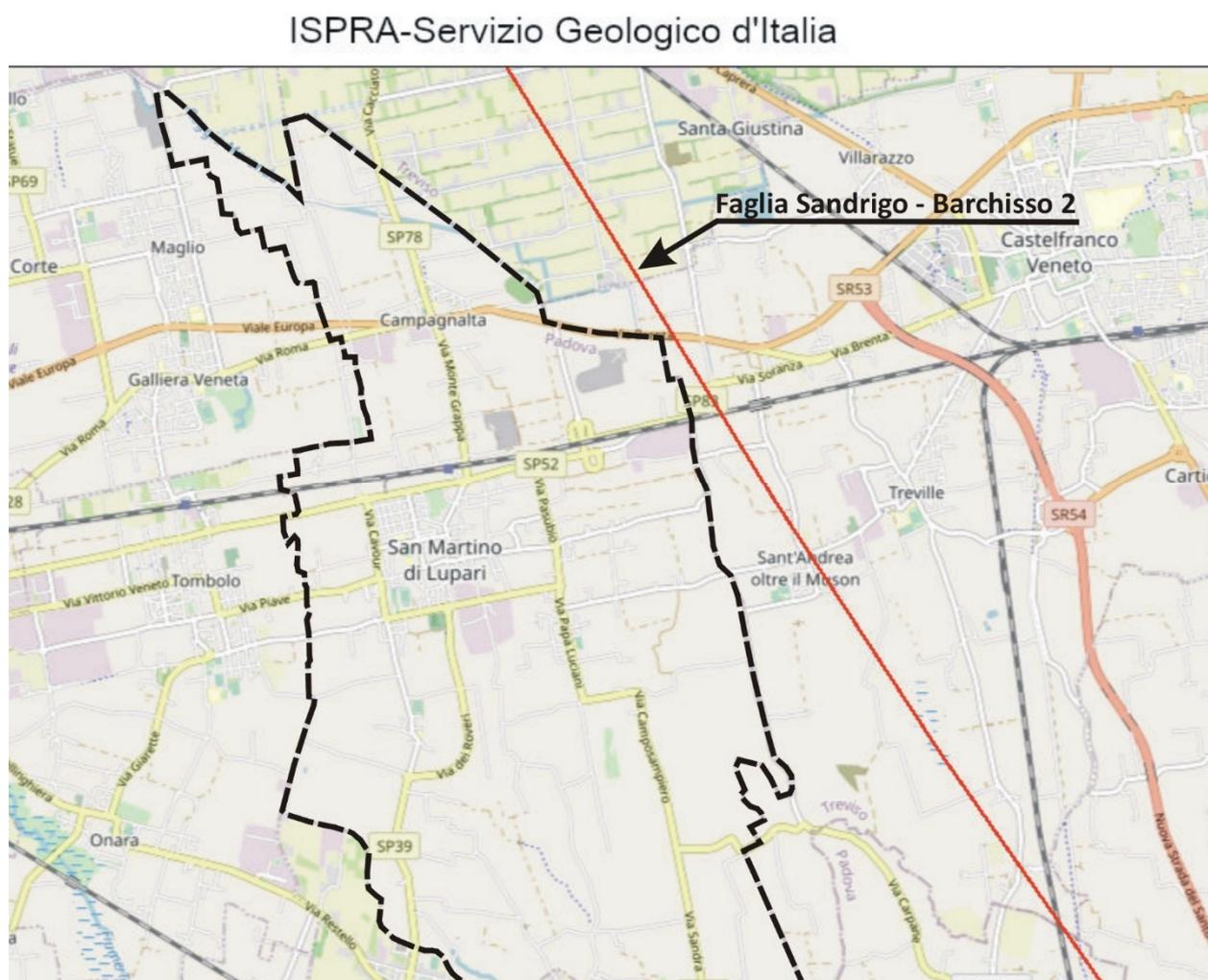


Figura 12: estratto mappa progetto ITHACA con indicazione del tracciato della faglia denominata "Sandrigo - Barchisso 2"

Si ricorda che le dislocazioni ricavate dal catalogo ITHACA sono posizionate in modo non congruente alla scala del rilevamento, per cui l'ubicazione è incerta: la traccia indicata deve quindi essere intesa come segnalazione di passaggio della faglia, ma non come ubicazione geometrica precisa. Nel sito internet <http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/viewer/> si legge:

*“Le faglie capaci vengono mappate e caratterizzate in ITHACA sulla base dei dati disponibili in letteratura, dopo una attenta revisione critica. Ne consegue che ITHACA:*

- *è in continuo aggiornamento e non può mai considerarsi completo o definitivo;*
- *non rappresenta la totalità delle faglie capaci presenti sul territorio nazionale, ma solo quelle per le quali esiste uno studio e quindi un riferimento bibliografico;*
- *non ha una copertura omogenea a livello nazionale. Il dettaglio è funzione della qualità delle indagini che sono state effettuate (rilevabile dal campo study quality) e della scala alla quale è stato pubblicato il dato, indicata nel campo mapping scale, presente nella Scheda descrittiva associata ad ogni faglia. A tal riguardo, la risoluzione massima a cui poter utilizzare il dato non deve essere superiore alla mapping scale.*

*In particolar modo per gli studi di microzonazione sismica, ISPRA declina ogni responsabilità in merito ad un utilizzo delle informazioni contenute in ITHACA per la caratterizzazione di dettaglio della pericolosità da fagliazione superficiale ma è comunque disponibile a fornire assistenza tecnica alle Amministrazioni locali, al fine di migliorare le conoscenze sulle faglie capaci sul proprio territorio.*

Sulla base di tali informazioni, di quanto desumibile dalla scheda informativa della faglia (quality study: low) e dell'elevata profondità del substrato lapideo, si ritiene molto incerta sia le reale attività/capacità della faglia sia la sua posizione. Pertanto, nella Carta delle MOPS non è stata tracciata l'eventuale fascia di rispetto associata alla faglia, che andrebbe ad interessare marginalmente il Comune di San Martino di Lupari.

### **3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA**

#### ***3.1 Assetto litologico e geomorfologico***

Il Comune di San Martino di Lupari si estende nel settore mediano della pianura alluvionale originata dalle correnti fluvioglaciali del grande cono di deiezione del Fiume Brenta, formatosi a partire dalla fase glaciale wurmiana.

In Figura 13 si riporta un estratto della Carta Geomorfologica della Regione Veneto, la quale mette in luce che il comune ricade nell'area dei depositi fluvio-glaciali antichi e recenti delle vallate alpine e pre-alpine e della fascia di conoidi pedemontane.

In subordine rispetto all'azione morfogenetica del Brenta, risulta evidente la modificazione del territorio indotta da forme antropiche legate soprattutto all'attività estrattiva: sono evidenti due fosse di cava ubicate nel settore settentrionale del Comune.

Il settore meridionale del comune di San Martino di Lupari, come riportato anche nell'estratto della Carta Geomorfologica, ricade all'interno della fascia delle risorgive.

Il sottosuolo è costituito da una potente serie di depositi alluvionali e fluvioglaciali generati dalla conoide del F. Brenta nell'era Quaternaria, seguiti da materiali di sedimentazione marina. Sulla base delle informazioni bibliografiche disponibili lo spessore dei depositi quaternari dovrebbe essere maggiore di 500 metri.

Andando ad analizzare in dettaglio l'assetto stratigrafico della parte più superficiale del sottosuolo, dove si hanno maggiori informazioni, è possibile differenziare due settori con le seguenti caratteristiche:

- a Nord sono presenti depositi ghiaioso-sabbiosi con una copertura argillosa avente uno spessore variabile tra 1 e 3 metri;
- al Centro e a Sud i terreni argilloso – limoso - sabbiosi di copertura aumentano progressivamente di importanza, fino a raggiungere spessore massimo dell'ordine di 8 metri; a questi terreni seguono a profondità maggiori le ghiaie sabbiose.

Per quanto riguarda la composizione dei depositi più profondi, le stratigrafie disponibili indicano una continua alternanza di depositi ghiaioso-sabbiosi e di depositi limoso-argillosi, con spessori degli strati molto variabili. Tale situazione è verificabile fino ad una profondità di circa 100 metri dal p.c., che rappresenta il limite fino al quale generalmente si spingono i pozzi per approvvigionamento idrico.

Relativamente all'assetto geologico più profondo le informazioni sono molto scarse: è stato censito solo un pozzo per acqua (indagine N° P39) in corrispondenza del quale è stata raggiunta una profondità di 280 metri e la cui stratigrafia è riportata di seguito.

### Stratigrafia del punto di indagine P39

| Progr | Da profondità (m) | A profondità (m) | Spessore (m) | Età geologica | Descrizione litologica |
|-------|-------------------|------------------|--------------|---------------|------------------------|
| 1     | 0,00              | 3,00             | 3,00         |               | TERRA                  |
| 2     | 3,00              | 58,00            | 55,00        |               | GHIAIA                 |
| 3     | 58,00             | 63,00            | 5,00         |               | ARGILLA                |
| 4     | 63,00             | 69,00            | 6,00         |               | GHIAIA                 |
| 5     | 69,00             | 80,00            | 11,00        |               | GHIAIA E SABBIA        |
| 6     | 80,00             | 88,00            | 8,00         |               | GHIAIA                 |
| 7     | 88,00             | 91,00            | 3,00         |               | ARGILLA                |
| 8     | 91,00             | 98,00            | 7,00         |               | GHIAIA                 |
| 9     | 98,00             | 118,00           | 20,00        |               | ARGILLA                |
| 10    | 118,00            | 125,00           | 7,00         |               | GHIAIA                 |
| 11    | 125,00            | 127,00           | 2,00         |               | ARGILLA                |
| 12    | 127,00            | 132,00           | 5,00         |               | GHIAIA                 |
| 13    | 132,00            | 170,00           | 38,00        |               | ARGILLA E SABBIA       |
| 14    | 170,00            | 175,00           | 5,00         |               | SABBIA GROSSA          |
| 15    | 175,00            | 245,00           | 70,00        |               | ARGILLA E SABBIA       |
| 16    | 245,00            | 247,00           | 2,00         |               | GHIAINO                |
| 17    | 247,00            | 265,00           | 18,00        |               | ARGILLA E SABBIA       |
| 18    | 265,00            | 280,00           | 15,00        |               | GHIAIA                 |

ISPRA - Copyright 2018

Va evidenziato che, dal punto di vista geologico-stratigrafico, la Pianura Padano-Veneta, al di là del suo aspetto morfologico uniforme ed apparentemente monotono, non è certamente omogenea; nel dettaglio essa risulta molto varia e spesso assai complessa. Ciò deriva da diverse cause: il numero elevato di vallate che sfociavano nell'antica depressione tettonica adriatica attraverso le quali si depositarono fino a colmarla enormi accumuli di depositi fluvio-glaciali e fluviali; le frequenti variazioni spaziali del corso di questi fiumi che divagarono per la pianura depositando le loro alluvioni su aree diverse, le frequenti ingressioni e regressioni del mare Adriatico che hanno interessato ripetutamente la Bassa e la Media Pianura; tutti questi fattori hanno generato un assetto stratigrafico assai articolato anche se schematizzabile nella classica suddivisione delle tre fasce di Alta, Media e Bassa Pianura.

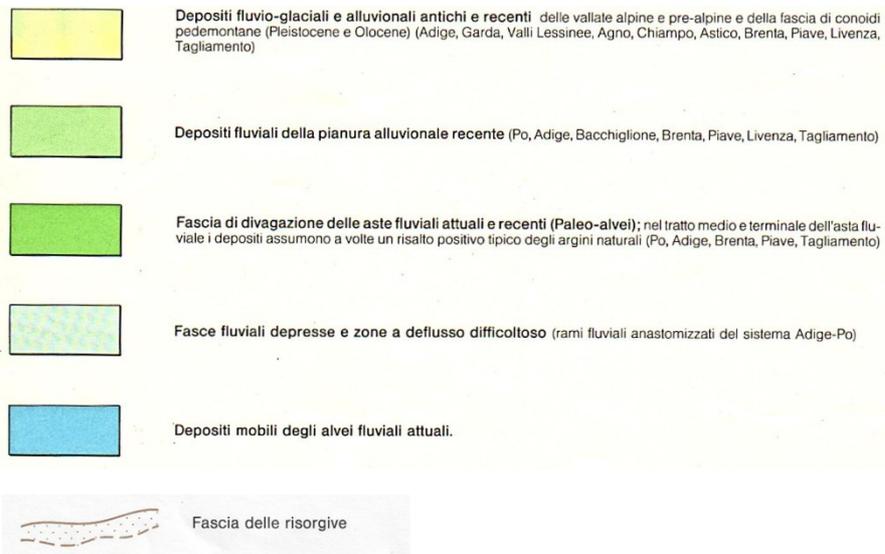
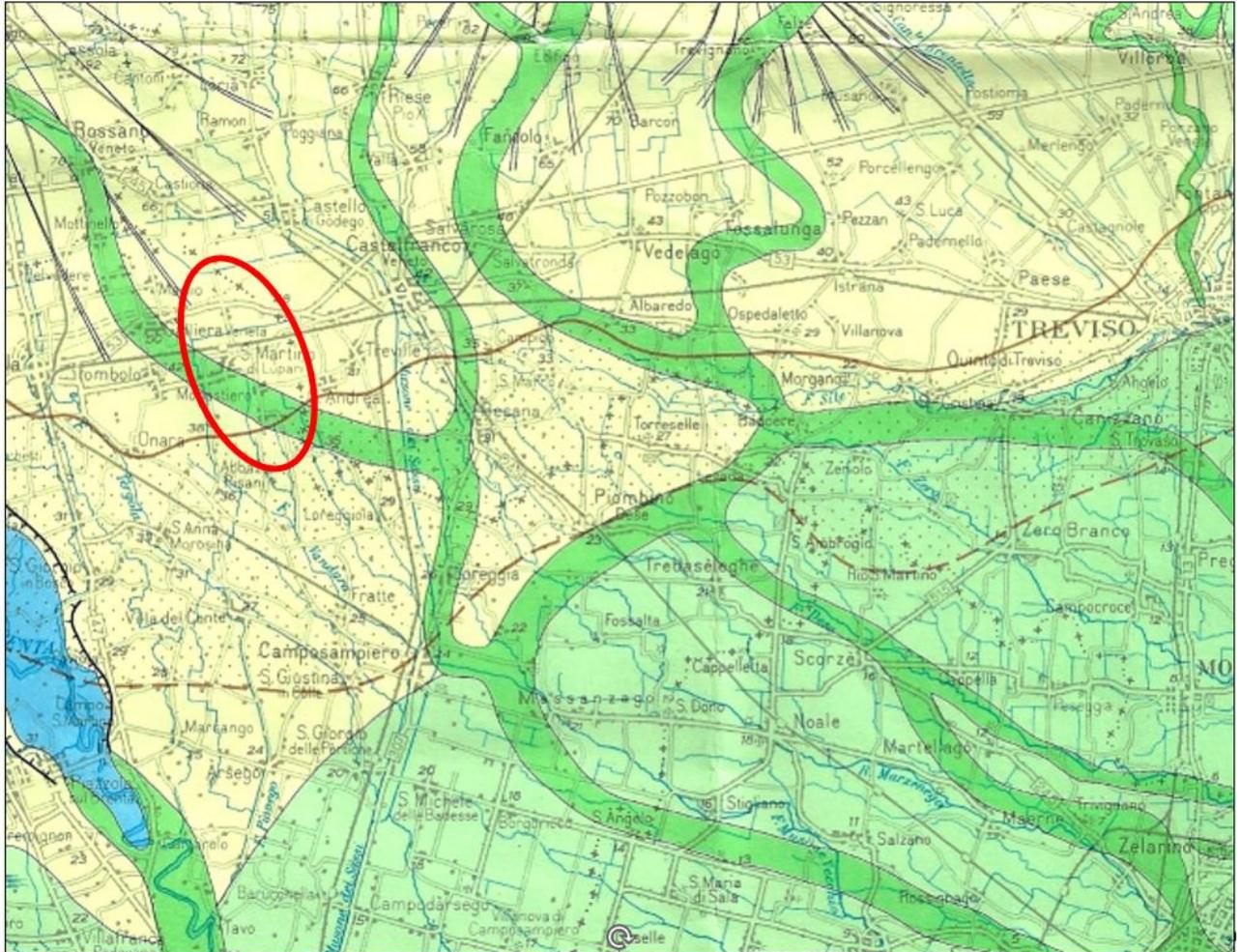
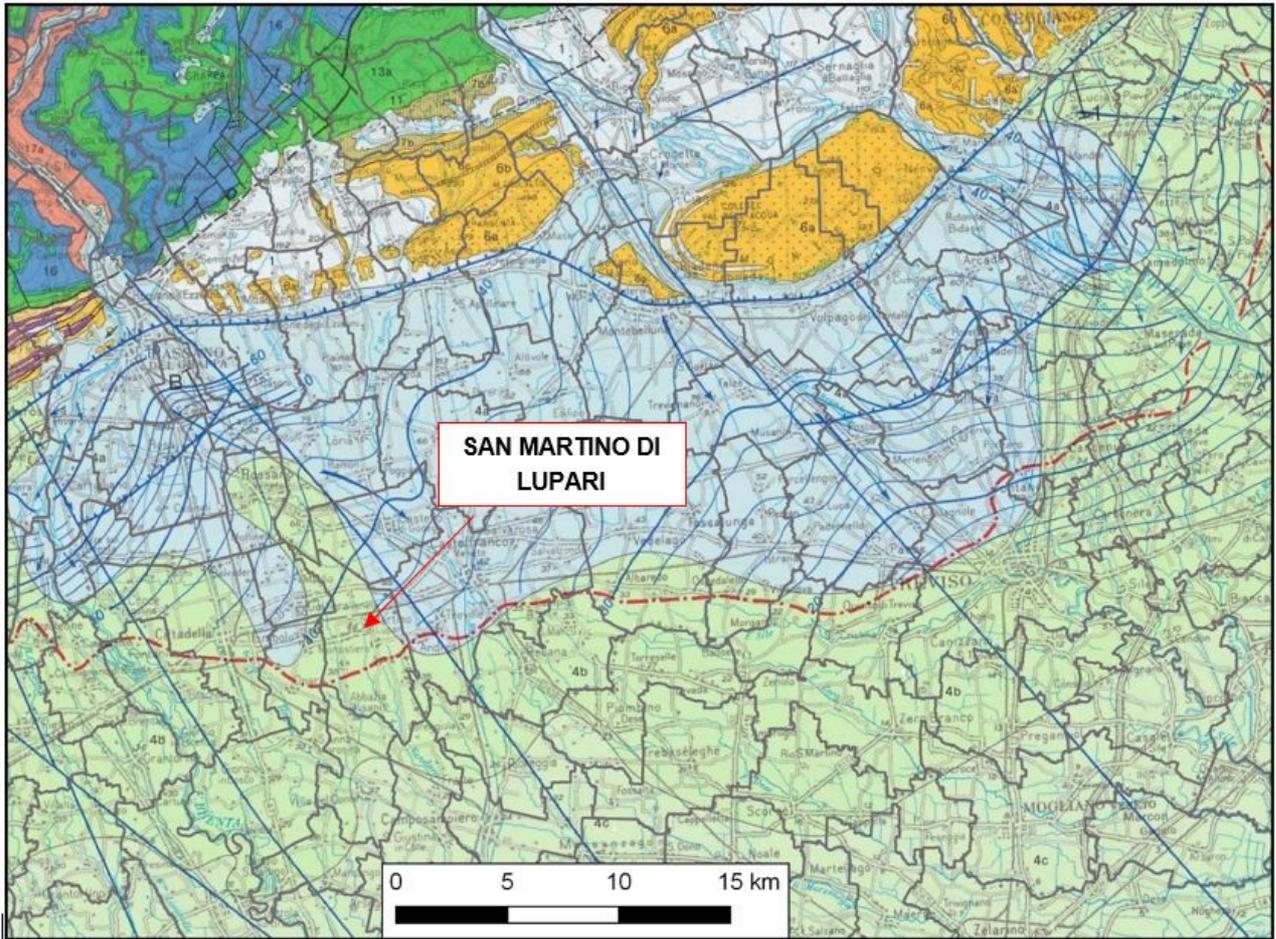


Figura 13: Estratto della Carta Geomorfologica della Regione Veneto



- 1 Depositi alluvionali, fluvio-glaciali, lacustri e palustri delle aree montane e collinari, *Quaternario*
- 2 Depositi eluviali, colluviali, detritici e di frana, *Quaternario*
- 3 Depositi morenici, *Quaternario*
- 4 Depositi alluvionali e fluvio-glaciali distinti sino a 30 m di profondità sulla base di stratigrafie di pozzi: ghiaie e sabbie prevalenti (a); alternanze di ghiaie e sabbie con limi e argille (b); limi e argille prevalenti (c), *Quaternario*

**Idrogeologia della Pianura**

- Isofreatica fondamentale (equidistanza 10 m)
- Isofreatica ausiliaria (equidistanza 2 m)
- Tronco d'alveo disperdente
- Asse di drenaggio principale
- Limite settentrionale della fascia dei fontanili

Figura 14: Estratto della Carta Geologica della Regione Veneto

### **3.2 Idrogeologia**

La situazione litostratigrafia descritta condiziona evidentemente l'assetto idrogeologico del territorio. In termini generali, il materasso ghiaioso dell'Alta Pianura contiene il cosiddetto acquifero freatico indifferenziato, mentre la successione in profondità tra livelli limoso-argillosi e ghiaioso-sabbiosi sovrapposti, tipica della Media Pianura, ospita il sistema delle falde artesiane, sistema che si riduce via via per estensione ed importanza passando verso la zona di bassa pianura.

Il materasso alluvionale ghiaioso di alta pianura ospita un'unica falda a superficie libera (freatica), che alimenta e regola dal punto di vista idraulico tutto il sistema multifalde in pressione presente più a sud essendo ad esso idraulicamente, anche se in modo indiretto, collegato.

Il Comune di San Martino di Lupari è situato, dal punto di vista idrogeologico, a cavallo della fascia delle risorgive; la notevole estensione da Nord a Sud del comune determina una discreta variabilità delle caratteristiche idrogeologiche. Nel settore a Nord delle risorgive è presente una struttura idrogeologica con acquifero indifferenziato, mentre a Sud con la comparsa di livelli argillosi impermeabili nella successione stratigrafica si ha una situazione più complessa, a falde sovrapposte differenziate, tipica del settore della media pianura a valle delle risorgive.

L'acquifero superficiale, che ha interesse nell'ambito del presente studio poiché influisce sul possibile sviluppo del fenomeno della liquefazione, è condizionato dal regime delle precipitazioni e dei corsi d'acqua, per cui il livello piezometrico è variabile nel corso dell'anno. L'oscillazione media annua tra le fasi di piena e di magra nel settore settentrionale del comune varia da 2 a 3 metri, mentre nel settore centrale è di circa 1 metro; nella zona delle risorgive è di 20 – 30 cm.

Nella carta idrogeologica allegata al PAT sono state cartografate 4 classi di profondità della falda dal piano campagna: maggiore di -10 m; tra -5 e -10 m; tra -2 e -5 m; tra 0 e -2 m.

### **3.3 Descrizione della carta geologico-tecnica**

La carta geologico tecnica, in scala 1:10.000 è stata predisposta, in base alle informazioni reperite, su tutto il territorio comunale. Seguendo le indicazioni riportate negli standard di rappresentazione, sono stati cartografati i dati utili alla definizione dell'assetto del territorio per la valutazione della risposta sismica.

Sono state raccolte informazioni dalle seguenti fonti originali:

- Cartografia geologica allegata agli strumenti pianificatori del Comune (PAT);
- Cartografia geologica allegata al Piano Territoriale Provinciale di Coordinamento;
- Pubblicazioni ed articoli specialistici disponibili;
- Dati ed indagini resi disponibili dall'amministrazione e realizzate ex-novo;

- Dati morfologici ricavabili dalla elaborazione 3D della Carta Tecnica Regionale Numerica della Regione Veneto;
- ITHACA - Catalogo delle Faglie Capaci

La carta geologico tecnica evidenzia una suddivisione del territorio in due aree geologicamente diversificate: una prima area, in corrispondenza della porzione nord, dove sono presenti livelli di ghiaie già nei primi metri di sottosuolo ed una seconda, coincidente con la zona centro-meridionale del comune, dove è presente uno “strato” superficiale costituito da terreni argilloso-limoso-sabbiosi aventi spessore variabile da pochi metri ad un massimo di circa 8 metri, seguiti in profondità, dalle ghiaie e ghiaie-sabbiose.

L'analisi della carta geologico-tecnica porta a definire i seguenti aspetti principali.

### **3.3.1 Substrato geologico e copertura quaternaria**

Le principali caratteristiche litostratigrafiche sono riassunte nei seguenti paragrafi. Si sottolinea che la successione stratigrafica dell'intero territorio comunale è caratterizzata da una discreta variabilità verticale e laterale e la seguente schematizzazione comprende i terreni presenti fino ad una decina di metri di profondità dal piano campagna. A profondità maggiori i dati disponibili non consentono di effettuare una zonizzazione sufficientemente precisa.

#### **Depositi quaternari**

##### **RI – TERRENI CONTENENTI RESTI DI ATTIVITA' ANTROPICA**

Questa area è stata cartografata nella Carta Geomorfologica allegata alla relazione geologica redatta nell'ambito del PAT comunale. Secondo quanto indicato nella relazione sopracitata si tratta di riporti e materiale di discarica, aventi uno spessore di 11 m circa.

##### **SC – SABBIE ARGILLOSE, MISCELA DI SABBIA E ARGILLA**

L'area centrale e meridionale vede nel primo sottosuolo la presenza di alternanze di livelli sabbiosi e livelli limoso – argilloso – sabbiosi, con saltuari strati di ghiaia.

##### **GC – GHIAIE ARGILLOSE, MISCELA DI GHIAIA, SABBIA E ARGILLA**

I terreni quaternari identificati in questa categoria sono caratterizzati da una successione stratigrafica costituita da livelli ghiaioso-sabbiosi con limitati strati di argilla e limo talora sabbiosi. Questa categoria di terreni è localizzata nella porzione centro-settentrionale del comune.

### **3.3.2 Elementi geomorfologici, geologici e idrogeologici**

Tra gli elementi geologici sono riportate le ubicazioni di alcuni sondaggi, i quali non hanno raggiunto il substrato geologico (il quale si pone a profondità maggiore a 500 m).

La profondità della falda indicata nella cartografia, si riferisce alla falda freatica. Sono anche presenti falde confinate artesiane entro gli orizzonti permeabili di natura ghiaioso-sabbioso posti a varie profondità, come già descritto nei paragrafi precedenti.

### **3.3.3 Elementi strutturali**

La carta riporta le traccia della sezione interpretativa A - A' che attraversa la quasi totalità del territorio comunale con direzione all'incirca Nord-Sud. Va considerato che la sezione è stata ricostruita principalmente sulla base delle informazioni ricavate dalle stratigrafie dei pozzi terebrati per approvvigionamento idrico i quali, talvolta, forniscono descrizioni sommarie dei terreni attraversati

## 4. LA CARTA DELLE INDAGINI

### 4.1. *Indagini pregresse e le nuove indagini*

Lo studio di Microzonazione Sismica di Livello 1 e 2 si è articolato nelle seguenti fasi:

1. raccolta delle indagini pregresse geognostiche e geofisiche;
2. realizzazione di nuove indagini geofisiche allo scopo di caratterizzare meglio i terreni dal punto di vista sismico. Complessivamente, sono state effettuate **31 stazioni con tecnica a stazione singola HVSR** e **16 profili con tecnica MASW**. Le nuove indagini eseguite sono state utilizzate sia per la stesura dello studio di Livello 1, sia per la redazione dello studio di Livello 2.

La raccolta delle indagini geognostiche (prove e stratigrafie) svolte all'interno del territorio comunale è stata fatta mediante la consultazione degli archivi dell'ufficio tecnico del Comune di San Martino di Lupari, nonché mediante la raccolta di altri studi geologici e idrogeologici svolti in passato. Inoltre, sono state consultate le banche dati on line dell'ISPRA. In tutto sono state raccolte N° **94 indagini puntuali**.

La raccolta delle indagini pregresse e le nuove indagini eseguite specificatamente per il presente studio hanno portato alla rappresentazione delle seguenti prove puntuali e lineari in sito.

#### Puntuali:

- HVSR Prova microtremore a stazione singola (tot. n. 38)
- CPT Prova penetrometrica statica (n. 13)
- PA Pozzo per acqua (n. 35)
- DL Prova penetrometrica dinamica leggera (n. 4)
- S Sondaggio a carotaggio continuo (n. 1)
- DS Prova penetrometrica superpesante (n. 3)

#### Lineari:

- MASW Prova Multichannel Analysis of Surface Waves (n. 16)

Le indagini sopra riportate sono state rappresentate nella carta delle indagini ove, oltre al simbolo identificativo della tipologia di indagini, è stato anche riportato il codice identificativo per una loro più facile collocazione nell'ambito di ogni area. Nella tavola delle indagini, per rendere la lettura più chiara, è stato riportato il codice con l'esclusione dei primi sei caratteri (uguali per tutte le indagini e corrispondenti a 028077) relativi al codice ISTAT del Comune di San Martino di Lupari. Tutte le indagini raccolte e realizzate per il presente studio sono riportate in uno specifico allegato.

## **4.2. Nuove indagini geofisiche**

Al fine di acquisire, alcuni parametri inerenti alle caratteristiche sismiche del sottosuolo, sono state eseguite delle indagini geofisiche in corrispondenza ad una serie di siti distribuiti sul territorio comunale; in particolare sono state utilizzate le seguenti metodologie:

- analisi delle onde di superficie con tecnica denominata “MASW” per determinare la velocità delle onde di taglio (onde “S”);
- studio del rumore sismico ambientale con tecnica HVSR.

La prospezione geofisica, eseguita sul terreno nel periodo compreso tra marzo e aprile 2023, si è articolata in:

- N° 16 stendimenti sismici utilizzando la tecnica MASW;
- N° 31 stazioni di misura del rumore sismico ambientale con tecnica a stazione singola (HVSR).

L'ubicazione delle indagini sismiche è riportata nella Carta delle Indagini.

## **4.3. Analisi delle onde di superficie con tecnica “MASW” - Generalità**

Le onde in grado di propagarsi nei pressi di una superficie libera sono conosciute come onde superficiali. Tra queste, le *onde di Rayleigh*, si producono alla superficie libera di un mezzo dalla combinazione delle onde longitudinali e trasversali. Possono essere trasmesse sulla superficie di un semispazio uniforme o in un mezzo in cui la velocità cambia con la profondità. Le onde superficiali si caratterizzano per una proprietà denominata “*dispersione*”, cioè ogni componente in frequenza (e quindi lunghezza d'onda) possiede diversa velocità (chiamata *velocità di fase*). Lo studio della dispersione delle onde superficiali costituisce uno dei metodi utilizzati per la determinazione della velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ). La velocità di propagazione delle onde Rayleigh varia tra  $0,9 V_s$  e  $0,95 V_s$ .

Con le registrazioni effettuate secondo la tecnica MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) metodo investigativo sviluppato da vari ricercatori, è possibile distinguere ed evidenziare, all'interno del sismogramma di registrazione, le onde di Rayleigh, le quali normalmente sono caratterizzate da un'elevata ampiezza del segnale (circa il 60% dell'energia prodotta dalla sorgente di energia si distribuisce in onde di superficie). L'analisi spettrale del segnale produce un grafico *velocità di fase - frequenza* all'interno del quale in cui si può distinguere il modo fondamentale ed i modi superiori di propagazione delle onde di superficie, sui quali effettuare l'operazione di “picking” per ricavare la curva di dispersione.

Oltre alle onde di Rayleigh, in alcuni casi, è utile analizzare anche un altro tipo di onde di superficie, denominate “onde di Love”, per le quali sono valide regole simili a quelle indicate per le onde di Rayleigh. Le onde di Love si caratterizzano perché sono “sensibili” alle  $V_s$ , allo spessore e alla densità del mezzo, mentre non hanno relazione con le  $V_p$  (onde longitudinali). La loro generazione e registrazione richiedono però particolari accorgimenti, come indicato di seguito.

Le onde di Love, in determinate condizioni abbastanza diffuse in natura, generano spettri più chiari

e quindi di più semplice interpretazione rispetto gli spettri ottenuti con le onde di Rayleigh, dove i modi superiori possono mascherare il modo fondamentale.

Nel corso di questa indagine, per l'elaborazione dei dati acquisiti è stato utilizzato il software WinMASW che consente l'analisi sia delle onde di Rayleigh, sia delle onde di Love. Questo software consente sia la modellazione diretta degli spettri, sia l'inversione delle curve di dispersione; è possibile, inoltre, effettuare un'analisi congiunta degli spettri relativi alle onde di Rayleigh e alle onde di Love.

I risultati delle elaborazioni forniscono il profilo verticale delle Vs che è riferito al centro dello stendimento, ed è relativo al volume di sottosuolo sotteso dallo stendimento realizzato in superficie.

Per analizzare le onde di Rayleigh, la tecnica operativa consiste nello stendere sul terreno un profilo lineare (array) di geofoni verticali a bassa frequenza (preferibilmente 4,5 Hz), egualmente spazati; quindi, si effettuano una o più energizzazioni mediante massa battente ad impulso verticale, a diverse distanze dal primo geofono (source offset). Per ogni punto di energizzazione viene registrato il corrispondente sismogramma, che viene poi importato nel software di elaborazione.

La generazione e la registrazione delle onde di Love richiede invece l'utilizzo di geofoni orizzontali e l'energizzazione deve essere fatta in modo da generare onde trasversali, per cui l'impulso viene fatto battendo orizzontalmente su un asse di legno, reso solidale con il terreno per mezzo di un carico statico.

La prospezione eseguita mediante analisi delle onde di superficie offre alcuni vantaggi rispetto alle tecniche classiche di sismica a rifrazione, tra i quali si segnala la relativa facilità di lettura del segnale anche in aree antropizzate, caratterizzate da elevato rumore di fondo e la possibilità di evidenziare la presenza di inversioni di velocità nel sottosuolo. Per la tecnica attiva, le limitazioni sono date dalla profondità di indagine e dall'elevata sensibilità a variazioni laterali di litologia.

La conoscenza della Vs è utile quando sia necessario valutare la variabilità geotecnica dei materiali presenti nel sottosuolo, in quanto consente di rilevarne le proprietà fisiche, poiché i valori di Vs sono proporzionali al grado di compattezza dei mezzi percorsi e, a differenza delle onde P (onde longitudinali) non sono influenzati dalle condizioni di saturazione dei sedimenti. Va precisato che la correlazione tra parametri geofisici e caratteristiche litologiche-geomeccaniche ha carattere qualitativo, soprattutto se non sussiste la possibilità di tarare l'interpretazione geofisica mediante il confronto con informazioni provenienti da indagini geognostiche di tipo diretto.

#### ***4.4. Operazioni di campagna ed Elaborazione dati***

Per l'acquisizione degli impulsi sismici è stato usato un sismografo digitale a 24 tracce, modello "Geode", della Ditta EG & G GEOMETRICS, geofoni verticali con frequenza propria di 4,5 Hz e geofoni orizzontali con frequenza propria di 4,5 Hz. Il tempo di registrazione è stato fissato, per ogni registrazione, pari a 2 secondi, con intervallo di campionamento di 0,5 ms. Come sorgente di energia sismica è stata utilizzata una massa battente. La registrazione dei dati è avvenuta su personal computer portatile, collegato al sismografo.

L'elaborazione dei dati sismici è stata eseguita utilizzando il programma winMASW 2018 Academy.

In sintesi, l'elaborazione si articola nei seguenti passaggi principali:

- Implementazione del file di registrazione (dataset) e delle caratteristiche geometriche del profilo;
- determinazione dello spettro di velocità;
- modellazione diretta dello spettro e generazione del modello di velocità delle Vs;
- eventuale costruzione della curva di dispersione (picking) ed inversione della stessa.

Il risultato finale di tali elaborazioni consiste in un diagramma nel quale è riportato l'andamento della velocità delle onde di taglio in funzione della profondità. Nelle figure allegate sono illustrate, per ogni profilo sismico, le immagini relative ai passaggi sopraelencati.

Nella tabella seguente sono descritte le caratteristiche geometriche dei dispositivi utilizzati.

Tabella 2: caratteristiche profili sismici MASW

| <i>Codice Profilo MASW</i> | <i>Lunghezza (m)</i> | <i>Passo inter-geofonico (m)</i> | <i>Source offset (m)</i> |
|----------------------------|----------------------|----------------------------------|--------------------------|
| <b>028077L1</b>            | 68                   | 4                                | 8 ÷ 12                   |
| <b>028077L2</b>            | 68                   | 4                                | 8 ÷ 12                   |
| <b>028077L3</b>            | 68                   | 4                                | 8 ÷ 12                   |
| <b>028077L4</b>            | 68                   | 4                                | 8 ÷ 12                   |
| <b>028077L5</b>            | 68                   | 4                                | 8 ÷ 12                   |
| <b>028077L6</b>            | 68                   | 4                                | 8 ÷ 12                   |
| <b>028077L7</b>            | 68                   | 4                                | 8 ÷ 12                   |
| <b>028077L8</b>            | 68                   | 4                                | 8 ÷ 12                   |
| <b>028077L9</b>            | 68                   | 4                                | 8 ÷ 12                   |
| <b>028077L10</b>           | 68                   | 4                                | 8 ÷ 12                   |
| <b>028077L11</b>           | 57                   | 3                                | 6 ÷ 9                    |
| <b>028077L12</b>           | 57                   | 3                                | 6 ÷ 9                    |
| <b>028077L13</b>           | 57                   | 3                                | 6 ÷ 9                    |
| <b>028077L14</b>           | 57                   | 3                                | 6 ÷ 9                    |
| <b>028077L15</b>           | 57                   | 3                                | 6 ÷ 9                    |
| <b>028077L16</b>           | 57                   | 3                                | 6 ÷ 9                    |

#### **4.5. Analisi del rumore sismico ambientale (tecnica HVSR)**

La campagna di acquisizione di rumore sismico si prefigge due scopi. La ricostruzione della profondità dei principali contrasti di impedenza acustica del sottosuolo e l'individuazione di particolari frequenze di risonanza dei suoli.

E' noto dalla letteratura, alla quale fa riferimento il presente paragrafo, che il rumore sismico è

presente in qualsiasi punto della superficie terrestre e consiste per lo più nelle onde prodotte dall'interferenza costruttiva delle onde P ed S negli strati superficiali. Il rumore sismico, onnipresente e continuo, viene prodotto principalmente dal vento, da perturbazioni atmosferiche, da onde oceaniche e marine. Anche le industrie e il traffico veicolare producono localmente rumore sismico ma, in genere, solo a frequenze relativamente alte, superiori ad alcuni Hz, che vengono attenuate piuttosto rapidamente.

La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, Kanai, 1957; Igarashi 1970; Nakamura 1989) permette di estrarre informazioni relative al sottosuolo 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 microtremori (rumore sismico).

La natura generatrice del rumore sismico registrato, e dei relativi picchi dei rapporti spettrali, è tuttora molto discussa in ambito scientifico: i microtremori non sono costituiti esclusivamente da onde di volume (P e S), ma principalmente da onde di superficie, in particolare di Rayleigh (Lachet and Bard, 1994). Se assumiamo che in un semispazio i 2 strati differiscano, in modo rilevante, in termini di velocità sismica e densità (contrasto di impedenza acustica), e che la risonanza sia legata alla lunghezza d'onda ( $\lambda$ ) incidente pari a 4 volte lo spessore  $h$  del primo strato (ipotesi  $\lambda/4$ ), si può ricavare una stima della profondità del rifratore sismico dal riconoscimento della frequenza di risonanza propria del sottosuolo. In altri termini, nota la frequenza di risonanza ( $f$ ) propria del sito, ricavata dal rapporto spettrale H/V e la stima delle  $V_s$ , è possibile determinare lo spessore ( $h$ ) di una coltre sedimentaria soprastante un bedrock sismico, applicando la relazione  $f = V_s / 4 h$ .

Le misure eseguite nel corso di questa indagine, sono state effettuate con un sismografo modello SR04S3 "Geobox" prodotto dalla Ditta SARA S.r.l.. Si tratta di un tromografo digitale avente un intervallo di acquisizione sulle frequenze da 0,1 a 100 Hz, dotato di sistema di acquisizione digitale ad alta risoluzione (24 bit). Lo strumento viene posizionato sul terreno orientandolo verso il Nord magnetico ed assicurandone la livellazione micrometrica tramite bolla di precisione, agendo sui tre punti di appoggio. Lo strumento è gestito da p.c. portatile per mezzo del software "Seismowin", fornito dalla ditta costruttrice. Le stazioni di misura hanno avuto durate di acquisizione pari a 20 minuti; la frequenza di campionamento è stata mantenuta pari a 200 Hz.

I dati acquisiti sono stati trattati con il software di elaborazione di microtremori "Geopsy" (Sesame Projet), in accordo con le direttive europee del progetto SESAME per il trattamento e l'elaborazione delle tecniche di analisi di rumore sismico a stazione singola. I segnali acquisiti sono stati suddivisi in finestre temporali di 20 o 30 secondi. Dal computo spettrale sono stati esclusi gli eventi transienti più evidenti, legati al rumore antropico.

Va ricordato che dai rapporti spettrali ricavati con questa metodologia non è possibile stabilire i fattori di amplificazione sismica, per la valutazione dei quali necessitano analisi più complesse.

Le stazioni di misura HVSR sono state ubicate nella Carta delle Indagini e secondo lo schema riportato nella Tabella 6.

#### 4.6. Risultati ottenuti con le indagini geosismiche

Con le indagini eseguite, si è fornita una ricostruzione preliminare dell'assetto sismostratigrafico del sottosuolo relativamente alle prime decine di metri di profondità. Di seguito si riassumono i risultati ottenuti, i quali fanno riferimento agli spettri ed ai diagrammi ricavati con le metodologie adottate e riportati in Allegato alla presente relazione.

L'elaborazione dei dati sismici acquisiti con tecnica MASW, consente di formulare le seguenti correlazioni tra velocità sismiche delle onde di taglio e tipologia di terreni presenti.

Tabella 3: intervalli di velocità delle onde di taglio misurate per i vari litotipi

| Tipologia   | Velocità onde S ( m/s ) |
|---|-------------------------|
| Terreno agrario "aerato"                            | < 100                   |
| Depositi alluvionali poco addensati                 | 100 ÷ 300               |
| Depositi alluvionali da poco a mediamente addensati | 300 ÷ 400               |
| Depositi alluvionali addensati                      | 400 ÷ 600               |
| Depositi alluvionali molto addensati/cementati      | 600 ÷ 1000              |

Si vuole qui ricordare che i risultati dell'indagine geofisica derivano da prove indirette e, pertanto, non va loro attribuito il medesimo valore di quello derivante da prove dirette. Le correlazioni proposte tra le velocità sismiche e le diverse tipologie, hanno quindi un valore indicativo, derivando da considerazioni di carattere geologico e dal confronto con i dati ricavati dai sondaggi geognostici diretti e dalle stratigrafie dei pozzi (queste ultime sono però, talvolta, approssimative).

I risultati delle elaborazioni geofisiche sono riassunti graficamente nelle figure inserite in allegato, dove sono riportati gli spettri ottenuti con l'analisi delle onde di Rayleigh e di Love e le relative curve di dispersione, i diagrammi con l'andamento della Vs in funzione della profondità e la corrispondente tabella con i dati numerici.

Per quanto riguarda le acquisizioni del rumore sismico ambientale, effettuate con la tecnica HVSR, le misurazioni non sono state disturbate da particolari eventi tali da comprometterne l'affidabilità e solo alcuni eventi transienti, probabilmente legati al rumore antropico, sono stati esclusi dal computo spettrale. Nelle figure inserite in allegato sono riportati i grafici ottenuti dall'analisi spettrale, relativi alle varie stazioni di misura, così suddivisi:

- Rapporto H/V del rumore sismico (con linea rossa continua la media, con linea a tratteggio la deviazione standard).
- Andamento delle singole componenti spettrali del moto (N - S, E - O e Verticale)
- Analisi direzionale del rumore sismico

Nella Tabella seguente sono indicati, per ogni stazione di misura, i valori della frequenza

corrispondente al picco (o ai picchi) di risonanza principale e la corrispondente ampiezza.

Tabella 4: risultati delle misure HVSR

|           | <b>Data</b> | <b>Località</b>          | <b>Frequenza (Hz)</b> | <b>Ampiezza</b> |
|-----------|-------------|--------------------------|-----------------------|-----------------|
| 028077P1  | 13/03/2023  | Via Gradenigo            | (0,4); 13             | 2,3; 2,9        |
| 028077P2  | 13/03/2023  | Via Monte Cervino        | (0,45); 13            | 2,9; 3,8        |
| 028077P3  | 13/03/2023  | Via Stochi               | (0,5); 15             | 3; 3,8          |
| 028077P4  | 13/03/2023  | Via Col di Lana          | (0,45); 14            | 2,8; 3,2        |
| 028077P5  | 13/03/2023  | Via Santa Colomba        | (0,4); 15             | 3; 2,5          |
| 028077P6  | 13/03/2023  | Via Alberie              | (0,55); 12            | 2; 3,8          |
| 028077P7  | 20/03/2023  | Via Col Moschin          | (0,45); 15            | 2; 2,6          |
| 028077P8  | 20/03/2023  | Via Tombolata            | 13                    | 2,5             |
| 028077P9  | 20/03/2023  | Vicolo Vicenza           | (0,4); 14             | 2,8; 3,6        |
| 028077P10 | 20/03/2023  | Parco Manin              | (0,4); 15             | 3; 3,2          |
| 028077P11 | 20/03/2023  | Via G. Galileo           | (0,5); 14             | 2,1; 3,1        |
| 028077P12 | 20/03/2023  | Via Traversagni          | (0,5); 12             | 3; 3,4          |
| 028077P13 | 20/03/2023  | Via Casoni               | (0,5); 15             | 2,6; 2,6        |
| 028077P14 | 21/03/2023  | Via Ippolito Nievo       | (0,55); 14            | 2,4; 4,1        |
| 028077P15 | 21/03/2023  | Via Rizzarda             | (0,55); 11            | 2,2; 3,7        |
| 028077P16 | 21/03/2023  | Via Martelline           | 9,5                   | 3,7             |
| 028077P17 | 21/03/2023  | Via San Paolo            | (0,62); 10            | 2,1; 4          |
| 028077P18 | 21/03/2023  | Via Papa Luciani         | (0,75); 7             | 1,8; 3,8        |
| 028077P19 | 21/03/2023  | Via dei Laghi            | 9                     | 2,9             |
| 028077P20 | 22/03/2023  | Via dei Fiori            | 13                    | 4,2             |
| 028077P21 | 22/03/2023  | Via Riazzolo             | 9,5                   | 4               |
| 028077P22 | 22/03/2023  | Via Mira                 | 7,5                   | 3,4             |
| 028077P23 | 22/03/2023  | Via Ca Brusa             | 6,5                   | 4,3             |
| 028077P24 | 22/03/2023  | Via Maglio               | 6; 7,5                | 3,3; 3          |
| 028077P25 | 22/03/2023  | Via Camposampiero        | 5; 6,5                | 2,9; 3,7        |
| 028077P26 | 22/03/2023  | Via Risorgive            | (0,6); 6,5            | 2,1; 5,5        |
| 028077P27 | 22/03/2023  | Via Sandra               | (0,65); 6,5           | 2,3; 3,8        |
| 028077P28 | 22/03/2023  | Via Pra Lion             | (0,5); 6,8            | 2,5; 4          |
| 028077P29 | 22/03/2023  | Strada Provinciale<br>78 | 4,8                   | 3,1             |
| 028077P30 | 05/04/2023  | Via delle Fontane        | 6                     | 3,1             |
| 028077P83 | 22/04/2023  | Via G. Leopardi          | 12                    | 3,4             |

Nota: ( ) valore incerto

Il commento ai risultati delle misure HVSR è illustrato nel capitolo 8.

## 5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO

Il modello del sottosuolo è stato ricostruito attraverso l'esame dai dati bibliografici disponibili, delle indagini geognostiche pregresse ed in base ai risultati delle nuove indagini geofisiche.

I dati litostratigrafici censiti si riferiscono a sondaggi geognostici, prove penetrometriche e perforazioni per approvvigionamento idrico; queste ultime si attestano, di solito, a profondità comprese tra 60 e 100 metri. Il sondaggio più profondo censito, è stato spinto fino alla profondità di 280 metri, incontrando continue alternanze di depositi alluvionali a granulometria limoso-argillosa-sabbiosa e ghiaiosa-sabbiosa. Non si hanno informazioni precise sulla profondità e natura del substrato lapideo.

Dal punto di vista sismostratigrafico, il territorio comunale può essere schematizzato nel modo seguente.

La fascia più superficiale del sottosuolo è costituita da depositi a granulometria medio-fine poco addensati o consistenti caratterizzati da velocità  $V_s$  comprese tra 100 e 300 m/s; lo spessore è pari a 2 ÷ 3 m nel settore settentrionale del comune, mentre aumenta fino ad un valore massimo di circa 10 m nella zona meridionale

Segue una serie di sismostrati aventi velocità variabile tra 300 e 400 m/s i quali possono essere rappresentati dal punto di vista stratigrafico sia da terreni ghiaioso-sabbiosi, sia limoso-argilloso-sabbiosi. Con l'aumentare della profondità si osserva un incremento della velocità, che si attesta su valori prossimi a 500 - 600 m/s. Complessivamente, questi sismostrati hanno spessore che varia tra 200 e 250 circa.

I sismostrati più profondi che è stato possibile individuare con le indagini geofisiche eseguite nel corso di questo studio, possiedono velocità  $V_s$  variabile tra 800 e 1000 m/s; tale incremento di velocità è da attribuire ad un maggiore grado di addensamento/consistenza dei depositi alluvionali o alla presenza di fenomeni di cementazione degli stessi. Va evidenziato che le caratteristiche di questi sismostrati derivano dall'elaborazione congiunta delle indagini con tecnica MASW e HVSR: questo tipo di elaborazione consente di valutare le proprietà di sismostrati profondi considerando la frequenza e l'ampiezza dei picchi di risonanza. Poiché, nel caso in esame, i picchi si pongono a frequenze prossime a 0,5 Hz, cioè vicine alla soglia di precisione strumentale, i risultati ottenuti hanno un valore qualitativo e devono essere utilizzati con cautela.

## 6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

Le indagini pregresse raccolte e le nuove indagini geofisiche hanno consentito la ricostruzione del modello geologico e sismostratigrafico del sottosuolo del Comune di San Martino di Lupari.

Le incertezze eventualmente da approfondire con i successivi livelli di microzonazione sismica riguardano i seguenti aspetti:

- Non si è a conoscenza di informazioni inerenti alla natura e profondità del substrato lapideo che, comunque, si colloca a profondità molto elevate.
- Disomogenea distribuzione area delle indagini geognostiche disponibili e conseguente carenza, in alcuni settori del territorio comunale, di informazioni relative alla composizione dei depositi appartenenti alla copertura quaternaria. Tale carenza assume importanza soprattutto nell'eventualità di dover valutare aspetti quantitativi dell'amplificazione sismica, tipici dei livelli 2 e 3 della Microzonazione Sismica e degli studi di Risposta Sismica Locale (RSL).
- Le indagini sismiche di superficie eseguite con tecnica MASW hanno una profondità di investigazione, che, normalmente è dell'ordine di 20 metri. Le elaborazioni geofisiche sono state condotte in modo da incrementare la profondità di indagine abbinando la tecnica MASW con la tecnica HVSR. I risultati ottenuti con questa modalità di elaborazione hanno consentito di individuare un rifratore con velocità elevata, posto alla profondità dell'ordine di 200 - 250 m circa dal p.c.. Tale informazione è, necessariamente, affetta da un discreto grado di approssimazione ed è quindi utilizzabile solo per una ricostruzione preliminare dell'assetto sismostratigrafico dell'area.
- Come risulta dalla Carta delle MOPS, il settore centro – meridionale del territorio comunale, potenzialmente può essere interessato dal fenomeno della liquefazione. I dati disponibili per la valutazione di questa problematica sono limitati, soprattutto in riferimento alla composizione granulometrica del sottosuolo. Le elaborazioni effettuate, pur fornendo risultati diversi in funzione del punto di indagine e della metodologia di calcolo adottata, indicano che il rischio di liquefazione varia da basso a medio – elevato. Pertanto, specifiche analisi dovranno essere condotte in fase di progettazione delle opere per valutare con adeguata precisione i parametri necessari per effettuare le opportune verifiche.

## 7. DESCRIZIONE DELLA CARTA DELLE MOPS

### 7.1. Premessa

L'analisi della stratigrafia e dell'assetto geologico hanno permesso di stabilire che, nell'ambito del territorio comunale, non esistono aree classificate come "Zone stabili", nelle quali non si ipotizzano effetti amplificativi di alcuna natura.

Sulla base delle indagini pregresse recuperate presso il Comune e delle nuove indagini geofisiche, si è potuto suddividere il territorio indagato in due **zone "stabili suscettibili di amplificazioni sismiche"**, per le quali sono state stimate le principali caratteristiche sismiche dei terreni.

Una parte del territorio comunale viene inoltre ascritto alle **aree "suscettibili di instabilità"**, a causa del possibile verificarsi di fenomeni di liquefazione, poiché la stratigrafica evidenzia la presenza, nei primi di profondità, di livelli sabbiosi di vario spessore saturi.

L'analisi morfologica infine ha permesso di individuare alcune forme di superficie e sepolte, tra quelle indicate nelle ICMS, e meglio descritte nei paragrafi seguenti.

Nella carta delle MOPS sono inoltre riportati i punti di indagine HVSR con i relativi valori della frequenza di picco.

### 7.2. Definizione profili tipo zone stabili ma amplificabili

Sono state individuate le seguenti tipologie di zone stabili ma amplificabili in caso di sisma.

#### MOPS 2001

Terreni alluvionali di media pianura padano-veneta, caratterizzati da alternanze di livelli sabbiosi, limosi e argillosi con spessore massimo di 3 m circa. Presenza di livelli ghiaioso-sabbiosi a partire da -3 m di profondità. Spessore complessivo non rilevato (il substrato geologico si attesta oltre i 500 m),  $V_s = 100 - 300$  m/s fino a -3 m e  $V_s = 300 - 1000$  m/s negli strati sottostanti.

#### MOPS 2002

Terreni alluvionali di media pianura padano-veneta, caratterizzati da uno strato superficiale costituito da livelli sabbiosi, limosi e argillosi con spessore massimo di 10 m circa. Seguono terreni ghiaioso-sabbiosi alternati a strati limoso - argillosi. Spessore complessivo non rilevato (il substrato geologico si attesta oltre i 500 m),  $V_s = 80 - 300$  m/s fino a -10 m e  $V_s = 300 - 900$  m/s negli strati sottostanti.

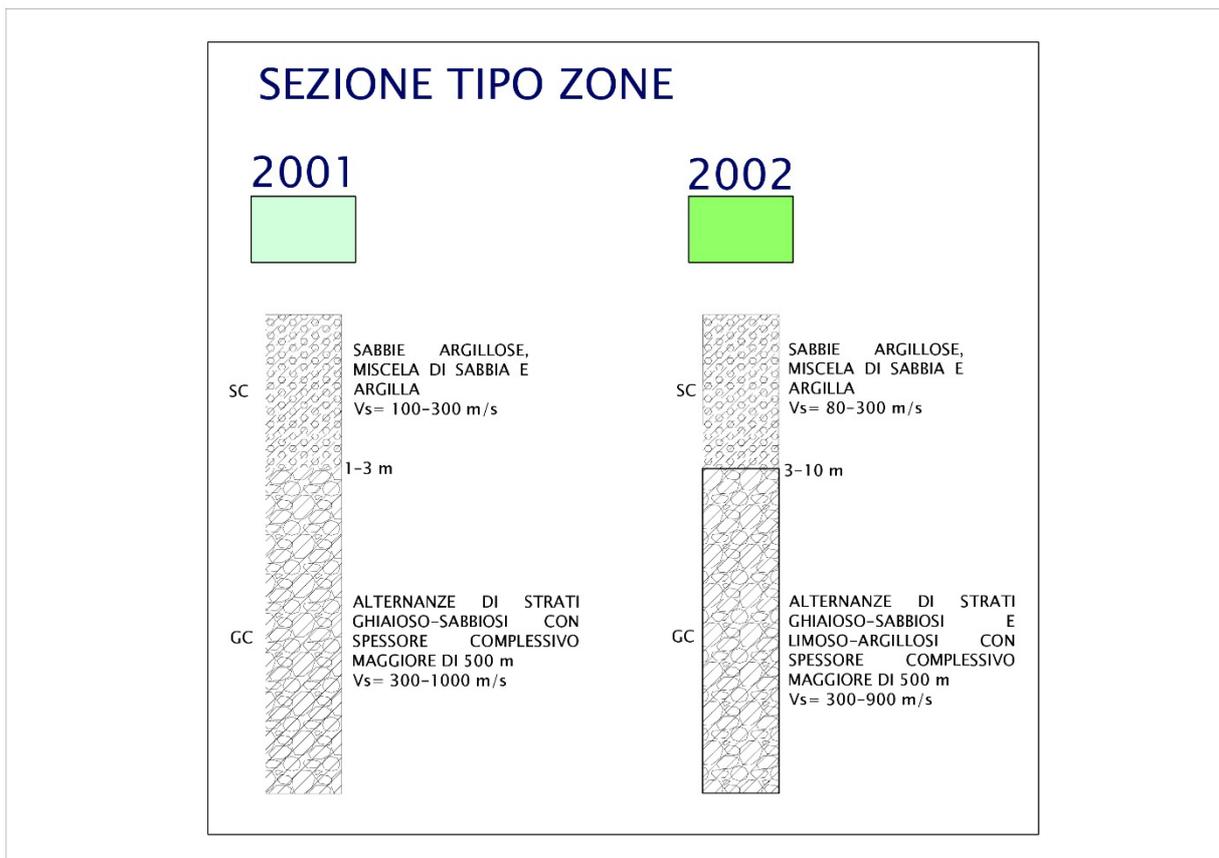


Figura 15: colonne litostratigrafiche sintetiche rappresentative delle microzone indicate nella carta delle MOPS

### 7.3. Descrizione delle instabilità e delle forme

#### 7.3.1. Liquefazione ( $Z_{ALQ}$ )

Il fenomeno della liquefazione dei terreni si può verificare in concomitanza con eventi sismici e condizioni stratigrafiche specifiche: consiste nel quasi totale annullamento della resistenza a taglio del terreno con comportamento assimilabile ad un fluido.

In caso di sisma viene prodotta nel terreno una serie di cicli tali da far eguagliare la pressione interstiziale alla pressione di confinamento e annullando in pratica la resistenza al taglio. Poiché la pressione di confinamento si incrementa con la profondità, l'effetto di liquefazione, per la tipologia di terremoti caratteristici dell'area in esame, si ritiene non possa manifestarsi ad una profondità maggiore di venti metri da piano campagna.

La verifica del fenomeno della liquefazione dei terreni saturi in caso di sisma può essere esclusa quando si verificano almeno uno delle seguenti circostanze (estratto da Allegato A) Dgrv 1572/13).

- Eventi sismici attesi di magnitudo  $M$  inferiore a 5;
- Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di  $0,1g$  ;
- Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)60 > 30$  oppure  $qc1N > 180$  dove  $(N1)60$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $qc1N$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa ;
- Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella seguente figura (Figura 3) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  e  $U_c > 3,5$ .

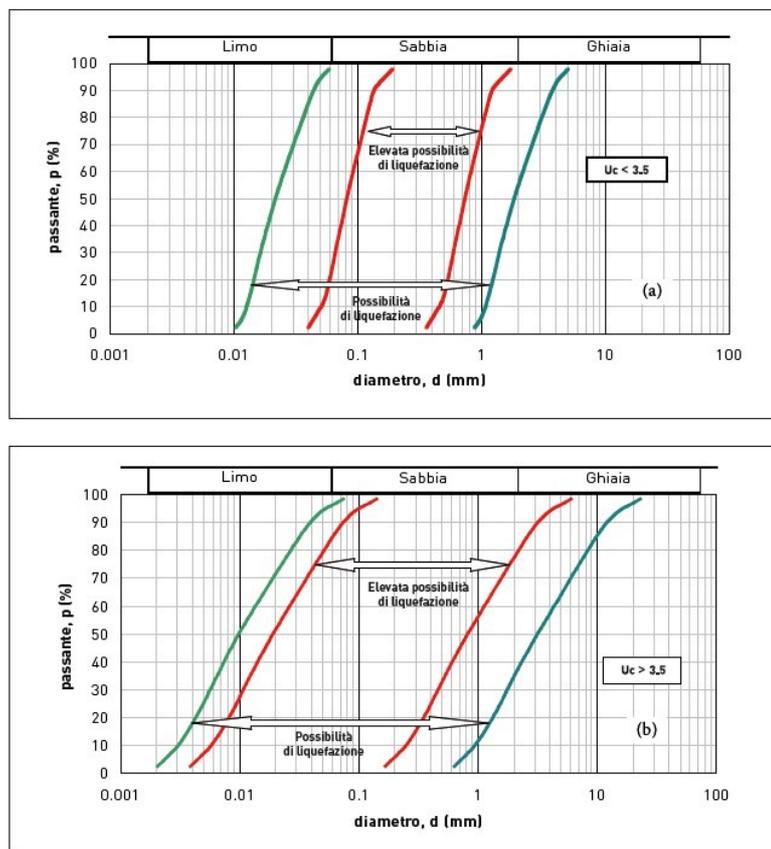


Figura 36: Fusi granulometrici dei terreni suscettibili a liquefazione.

Sulla base delle conoscenze geologiche ed idrogeologiche del territorio in esame, si ritiene che nei settori centrale e meridionale del territorio comunale, possano sussistere le condizioni perché si verifichi il fenomeno della liquefazione in caso di sisma. La scarsa profondità della falda freatica, la presenza di strati sabbioso-limosi e infine la possibilità che si verifichino sismi con magnitudo maggiore di 5, rendono i terreni alluvionali potenzialmente liquefacibili. Per tali motivi, nella carta delle MOPS è stata inserita una zona di attenzione per Liquefazione ( $ZA_{LQ}$ ) all'interno della quale si ritengono necessari specifici approfondimenti in caso di progettazione di opere ed edifici.

## 8. CARTA DELLE FREQUENZE NATURALI DEI DEPOSITI

La carta delle frequenze naturali dei terreni è stata predisposta indicando per ogni stazione di misura il valore o i valori di frequenza di risonanza misurati. Al fine di evidenziare la distribuzione spaziale di questo fenomeno, sono stati utilizzati dei simboli puntuali con l'indicazione della frequenza, mentre la dimensione del simbolo è proporzionale all'ampiezza del picco di risonanza.

La carta è stata redatta utilizzando le 31 stazioni HVSR eseguite nell'ambito del presente studio.

Va ricordato che dai rapporti spettrali ricavati con questa metodologia non è possibile stabilire i fattori di amplificazione sismica, per la valutazione dei quali necessitano analisi più complesse.

Nella precedente Tabella 4, sono riportati i risultati delle misure HVSR eseguite, mentre i relativi diagrammi sono inseriti nell'allegato.

I dati riportati nella Tabella 4 e nella Carta delle Frequenze consentono di fare le seguenti osservazioni:

- Il picco di risonanza ad alta frequenza, cioè compresa tra 10 e 15 Hz circa, rilevato in molte stazioni di misura è espressione di un contrasto di impedenza sismica situato a profondità di pochi metri dal piano campagna ed correlabile con variazioni dello stato di addensamento dei terreni o con significative modifiche della granulometria dei materiali.
- In alcune stazioni si osserva anche un picco situato a frequenze variabili tra 5 e 9 Hz. La presenza di questi picchi è indicativa di contrasti di impedenza situati a profondità comprese tra 10 e 30 m circa, correlabili a variazioni dello stato di addensamento dei materiali o della loro granulometria.
- In molte stazioni di misura è stato possibile osservare la presenza di picco di risonanza a frequenza molto bassa, prossima a 0,5 Hz, indicativo della presenza di un contrasto di impedenza sismica a profondità dell'ordine di 200 - 250 metri dal p.c.. Come risulta dai diagrammi delle curve del rapporto H/V, questi picchi a volte sono abbastanza definiti, avendo ampiezze pari o maggiori di 3, mentre in altri casi sono blandi e quindi di difficile interpretazione. In alcune stazioni di misura non sono assolutamente visibili, forse anche a causa del rumore antropico. I picchi di risonanza a frequenze molto basse hanno scarso valore dal punto di vista ingegneristico, mentre sono stati utilizzati per la ricostruzione dell'assetto sismostratigrafico del sottosuolo, in abbinamento con le misure MASW. Va anche ricordato che queste frequenze molto basse sono al limite della soglia strumentale di misura, per cui la loro affidabilità è relativa e va loro attribuito un valore prevalentemente qualitativo.

## 9. CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA DI 2° LIVELLO

### 9.1 Premessa

Lo studio di Microzonazione Sismica di 2° livello del Comune di San Martino di Lupari è stato redatto facendo riferimento alla normativa regionale vigente, citata nel capitolo 1.

Oltre alle indicazioni previste dall'allegato A) della DGR 1572/13, sono state analizzate le condizioni specifiche del territorio, individuando gli elementi oggetto di approfondimento nella MS di livello 2.

Tabella 5

| <i>SIGLA</i> | <i>Scenario di pericolosità</i>   | <i>Presenza nel territorio</i> | <i>Procedura utilizzata</i>   |
|--------------|---|--------------------------------|---|
| P1a          | Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi   | NO                             | Individuati da PAT, PAI e PTCP. Di modesta rilevanza  |
| P1b          | Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti   | NO                             | Individuati da PAT, PAI e PTCP. Di modesta rilevanza  |
| P1c          | Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana  | NO                             | Le indagini disponibili non hanno individuato aree significative  |
| P2a          | Zona con terreni di fondazione particolarmente scadenti quali depositi altamente compressibili, ecc.  | NO                             | Le indagini disponibili non hanno individuato aree significative.   |
| P2b          | Zona con depositi granulari fini saturi   | SI                             | Eseguite le verifiche sulla liquefazione dei terreni  |
| P2c          | Zona caratterizzata da coltri di terreno di riporto o che hanno subito riempimenti antropici  | SI                             | Le indagini disponibili hanno individuato piccole aree relative a riempimenti di arre di ex cave.               |
| P3a          | Linea di ciglio H>10 m (scarpata, bordo di cava, nicchia di cava, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc...)                                  | SI                             | Eseguite valutazioni per il calcolo dell'amplificazione morfologica.  |
| P3b          | Zona di cresta e/o cocuzzolo: appuntita – arrotondata   | NO                             | Le indagini disponibili non hanno individuato aree significative nell'area studiata. Presenti nell'area montana |
| P4a          | Zona di fondovalle ampie e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi  | SI                             | Analisi della cartografia disponibile.  |
| P4b          | Zona di fondovalle stretta (C>0,25) od in presenza di forme geometriche sepolte tali da non permettere di considerare il modello geologico monodimensionale | NO                             | Le indagini disponibili non hanno individuato aree significative.   |
| P4c          | Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre   | NO                             | Le indagini disponibili non hanno individuato aree significative.   |
| P4d          | Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)   | NO                             | Le indagini disponibili non hanno individuato aree significative.   |
| P4e          | Zona con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale   | NO                             | Le indagini disponibili non hanno individuato aree significative.   |
| P5a          | Linea di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse  | NO                             | Le indagini disponibili non hanno individuato aree significative nell'area studiata                             |
| P5b          | Zona ove sono presenti o potenzialmente presenti cavità sotterranee o sinkhole  | NO                             | Le indagini disponibili non segnalano aree significative nel territorio   |

Nell'ambito dello studio è stata valutata la presenza degli scenari previsti dalla DGRV 1572. Nella Tabella 5 (ripresa dalla fig. 2 dell'allegato A della Delibera) viene esplicitata, per ogni singola

tipologia di instabilità/amplificazione, la presenza sul territorio analizzato e le procedure applicate nel presente studio.

## **9.2 Valutazione degli effetti litostratigrafici**

Per la valutazione degli effetti litostratigrafici, la normativa vigente indica che, nell'ambito della microzonazione di Livello 2, si deve fare ricorso a metodi semplificati che prevedono l'uso di abachi. Allo stato attuale non essendo disponibili abachi specifici per la Regione Veneto, come indicato nella DGRV n. 1572 del 3 settembre 2013 – Allegato A, si sono utilizzati quelli inseriti nel Volume *“Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica”* della Protezione Civile Nazionale.

Nelle modalità di applicazione degli abachi, è chiaramente indicato che il loro utilizzo è ammesso quando la stratigrafia locale può essere assimilata a degli strati piano paralleli di estensione “infinita”, cioè si è in presenza di un modello monodimensionale del sottosuolo. Per il territorio del Comune di San Martino di Lupari, questa condizione può ritenersi soddisfatta.

Gli abachi forniscono due valori di amplificazione sismica FA ed FV così definiti

- a) **FA** : fattore di amplificazione a basso periodo (determinato intorno al periodo proprio per il quale si ha il massimo della risposta in accelerazione)
- b) **FV** : fattore di amplificazione a periodo proprio (per il quale si ha la massima risposta in pseudovelocità).

Per la valutazione di FA ed FV è necessario conoscere la litologia prevalente del sottosuolo nel sito considerato, l'andamento della velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) con la profondità e la profondità del bedrock sismico. Gli abachi sono costruiti per tre diversi profili di velocità nel sottosuolo:

- Profilo 1: velocità costante (VSH) lungo tutto lo spessore del deposito
- Profilo 2: velocità crescente con la profondità con il gradiente massimo
- Profilo 3: profilo di velocità crescente con la profondità con gradiente intermedio tra i due precedenti

L'utente sulla base delle conoscenze geologiche e geofisiche dell'area deve scegliere quale profilo è più idoneo a rappresentare la situazione in esame. Per questo territorio è stato utilizzato il profilo con gradiente massimo.

Gli abachi forniscono i valori di amplificazione per tre classi di ag: 0,06g, 0,18g, 0,26g. Per il Comune di San Martino di Lupari sono stati sempre utilizzati gli abachi riferiti al valore di 0,18g. Per quanto riguarda la litologia, gli abachi nazionali prevedono soltanto tre tipologie di depositi sciolti: ghiaie, sabbie e argille. Nelle necessarie semplificazioni per poter utilizzare gli abachi stessi, è stato fatto riferimento all'abaco relativo ai terreni ghiaiosi

.La stima dei Fattori di amplificazione litostratigrafici è stata ottenuta tramite i valori di  $V_s$  ricavati

dalle prove MASW che, abbinata alle misure HVSR, hanno portato a definire la velocità media delle onde di taglio della copertura. A questo proposito si devono fare le seguenti precisazioni:

- l'elaborazione "congiunta" dei dati sismici, analizzando sia gli spettri delle onde di superficie, sia i diagrammi delle curve HVSR, consente di affinare l'interpretazione ed incrementare la profondità di indagine, ma va utilizzata con cautela soprattutto per quanto riguarda le caratteristiche degli strati più profondi, poiché in fase interpretativa è necessario fare delle ipotesi nella scelta dei valori di  $V_s$  dei depositi alluvionali.
- Sulla base delle elaborazioni effettuate si è pervenuti a valutare la presenza di un "bedrock sismico" caratterizzato da  $V_s$  compresa tra 800 e 1000 m/s, situato a profondità variabili tra 200 e 250 m circa dal piano campagna. Presumibilmente si tratta di depositi alluvionali molto addensati e/o cementati.
- Poiché gli abachi forniscono FA ed FV fino alla profondità di 150 metri e, nel caso in esame, il "bedrock sismico" sembra situarsi a profondità maggiore, sono stati utilizzati i valori dei fattori di amplificazione corrispondenti alla profondità di 150 metri.

Tabella 6: Valori di Fa ed FV ricavati dagli abachi

| Punto di Misura | FA   | FV   |
|-----------------|------|------|
| 028077L1        | 1,29 | 1,73 |
| 028077L2        | 1,29 | 1,73 |
| 028077L3        | 1,29 | 1,73 |
| 028077L4        | 1,26 | 1,67 |
| 028077L5        | 1,28 | 1,7  |
| 028077L6        | 1,28 | 1,71 |
| 028077L7        | 1,31 | 1,8  |
| 028077L8        | 1,35 | 2,03 |
| 028077L9        | 1,32 | 1,9  |
| 028077L10       | 1,28 | 1,71 |
| 028077L11       | 1,21 | 1,55 |
| 028077L12       | 1,16 | 1,44 |
| 028077L13       | 1,22 | 1,57 |
| 028077L14       | 1,24 | 1,61 |
| 028077L15       | 1,24 | 1,61 |
| 028077L16       | 1,24 | 1,62 |

A commento della **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**6 e della Carta di Microzonazione Sismica, si possono fare le seguenti considerazioni:

- i valori di FA oscillano entro un range limitato, poiché si va da un minimo pari a 1,16 ad un massimo pari a 1,35. Nell'ambito del territorio comunale, si osserva che i valori relativamente più elevati sono stati misurati nel settore meridionale del Comune.
- i valori di FV risultano compresi tra 1,44 e 2,03.

### 9.3 Valutazione degli effetti morfologici

Il territorio comunale di San Martino di Lupari è pianeggiante ed i soli elementi morfologici significativi sono rappresentati dalle fosse di cava di inerti e dalle relative scarpate. La valutazione di questi elementi geometrici è stata effettuata tramite sopralluoghi mirati e l'analisi della Carta Tecnica Regionale che, pur con i limiti di precisione propri di questo supporto, ha permesso di effettuare stime e valutazioni sugli effetti legati alle amplificazioni di tipo morfologico.

I limiti di questa valutazione, come già accennato, sono insiti nella precisione della cartografia; per approfondimenti ed affinamenti dei fattori di amplificazione specifici per ogni sito, si dovranno eventualmente effettuare rilievi topografici in grado di meglio definire la geometria ed i limiti delle scarpate e dei relativi cigli.

#### 9.3.1 Zona di scarpata

Le zone di scarpata che possono essere suscettibili di amplificazioni morfologiche devono possedere dei parametri che superano specifici limiti dimensionali esplicitati in modo semplificato dalla seguente figura tratta dall'Allegato A) della DGR 1572/2013.

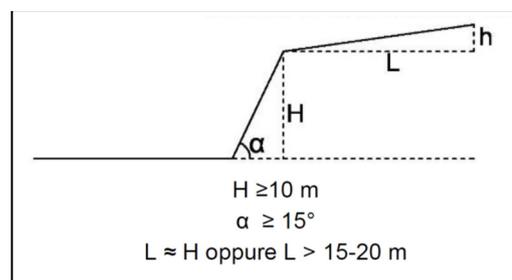


Figura 17: criteri di riconoscimento delle scarpate suscettibili di amplificazioni morfologiche

In pratica l'altezza H deve essere maggiore di 10 metri e contemporaneamente l'angolo del pendio deve superare i 15°, inoltre il fronte superiore deve essere pari almeno all'altezza della scarpata o comunque non inferiore ai 15-20 metri.

I fattori di amplificazione legati alle caratteristiche geometriche delle scarpate sono riassunti nella seguente tabella (Figura ).

| Fattore di amplificazione per effetto morfologico |                        |            |                   |
|---|------------------------|------------|-------------------|
| Classe altimetrica                                | Classe di inclinazione | Fa 0.1-0.5 | Area di influenza |
| 10 m < H < 20 m                                   | 15° < $\alpha$ < 90°   | 1.1        | Ai = H            |
| 20 m < H < 40 m                                   | 15° < $\alpha$ < 90°   | 1.2        | Ai = 3/4 H        |
| H > 40 m  | 15° < $\alpha$ < 20°   | 1.1        | Ai = 2/3 H        |
|   | 20° < $\alpha$ < 40°   | 1.2        |                   |
|   | 40° < $\alpha$ < 60°   | 1.3        |                   |
|   | 60° < $\alpha$ < 70°   | 1.2        |                   |
|   | $\alpha$ > 70°         | 1.1        |                   |

Figura 18: criteri di assegnazione dei Fattori di amplificazione

Gli elementi esplicitati in tabella sono noti con l'eccezione dell'area di influenza Ai che rappresenta la fascia di amplificazione situata a monte del ciglio della scarpata e la cui ampiezza è indicata nell'ultima colonna della tabella.

Il Fattore di amplificazione diminuisce spostandosi dal ciglio per raggiungere l'unità alla base della scarpata e, verso monte, sino al limite dell'area di influenza Ai.

È importante sottolineare che l'amplificazione complessiva di sito (amplificazione morfologica + amplificazione litostratigrafica) si ottiene con il prodotto dei due Fa specifici e non con la somma.

Di seguito si riportano i valori dei parametri utilizzati per il calcolo del fattore di amplificazione relativamente alle zone di scarpata nelle aree di cava.

| Ubicazione cave | H (m) | $\alpha$ (°) | Fa 0.1-0.5 | Area di Influenza Ai (m) |
|-----------------|-------|--------------|------------|--------------------------|
| CAVA BANE       | 25    | 31           | 1,2        | 19                       |
| CAVA MIATELLO   | 44    | 33           | 1,2        | 30                       |

Nella Figura 19 è riportato un esempio cartografico dei fattori di amplificazione lungo la scarpata della cava attiva sita lungo in Via Garibaldi.

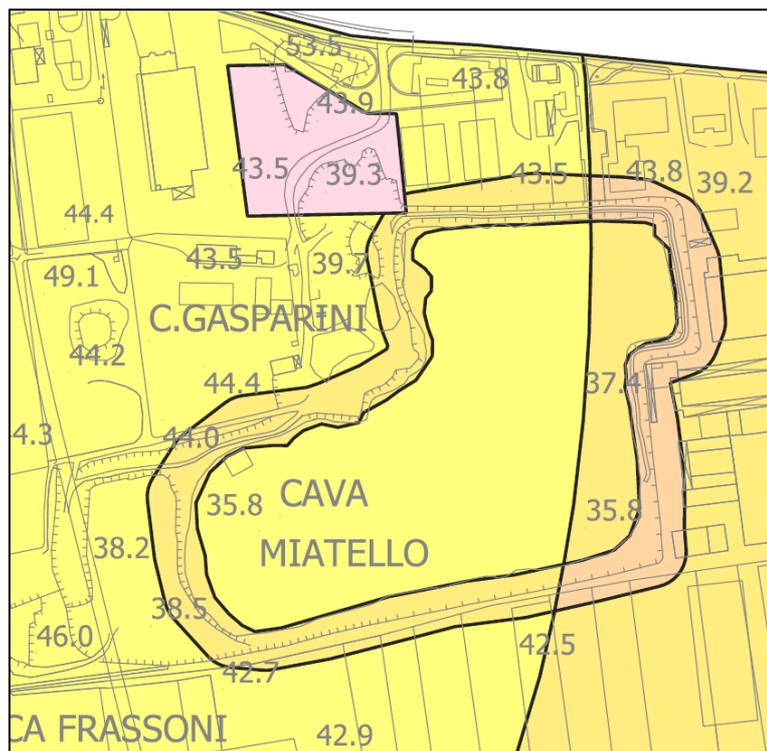


Figura 19: estratto della carta di Microzonazione Sismica di secondo livello. Esempio di andamento del fattore di amplificazione  $F_a$  in caso di scarpate di cava

Queste fasce di amplificazione collegate alle zone di scarpata si sovrappongono alle aree con amplificazione litostratigrafica provocando di conseguenza un incremento di tale valore il quale, poiché derivante dal prodotto dei due termini, può divenire significativo.

#### 9.4 Valutazione del fenomeno della liquefazione

Secondo quanto definito dalle “Linee Guida per l’esecuzione di studi di microzonazione sismica” all’interno delle procedure di analisi per la MS di 2° livello, il pericolo di liquefazione va accertato in base alla possibilità di concomitanza di fattori scatenanti (caratteristiche dei terremoti attesi) e predisponenti (susceptibilità dei terreni). Il fenomeno della liquefazione consiste nel quasi totale annullamento della resistenza al taglio del terreno che assume un comportamento assimilabile ad un fluido.

Lo studio di Microzonazione Sismica di Livello 1 ha messo in risalto come i settori centrale e meridionale del territorio comunale possa essere interessato da questo fenomeno, soprattutto in relazione alla limitata profondità della falda dal piano campagna e per la presenza di livelli sabbiosi nel sottosuolo.

Nell’ambito dello studio di Livello 2 sono stati censiti ed analizzati ulteriori dati geognostici al fine di

ricostruire con maggiore dettaglio la stratigrafia del sottosuolo e quindi valutare l'effettiva possibilità che si verifichi questo fenomeno. Le stratigrafie, desunte da sondaggi geognostici e prove penetrometriche sono ubicate nella Carta delle Indagini e riportate nel database allegato.

In particolare, per analizzare questa problematica è stato fatto riferimento alle seguenti indagini che hanno raggiunto una profondità compresa tra 8 e 15 metri dal p.c.. Nell'ambito dello studio di MS sono state reperite molte altre prove le quali, però, spesso si arrestano a profondità di pochi metri.:

- Prove Penetrometriche statiche CPT : P56, P85, P86, P87, P89, P90
- Prove Penetrometriche Dinamiche DPSH : P93, P94,

Va segnalato che non sono stati reperiti dati relativi a prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono (CPTU): tale situazione deriva probabilmente dalla difficoltà di eseguire questo tipo di prova, poiché la possibile presenza a profondità di pochi metri dal p.c. di strati anche sottili di ghiaia, può impedire l'avanzamento della punta. Per valutare accuratamente la liquefazione sarebbe necessario eseguire dei sondaggi a carotaggio continuo, ma si ritiene che tale operazione non sia congrua con lo scopo dello studio in oggetto.

I risultati delle elaborazioni hanno riportato, per ogni verticale indagata, l'indice del potenziale di liquefazione  $I_L$  definito secondo 4 classi di rischio (Somnez, 2003):

| Potenziale di liquefazione | Pericolo di liquefazione |
|----------------------------|--------------------------|
| $0 < I_L < 2$              | BASSO                    |
| $2 < I_L < 5$              | MODERATO                 |
| $5 < I_L < 15$             | ALTO                     |
| $I_L > 15$                 | MOLTO ALTO               |

Le elaborazioni relative alla definizione di  $I_L$  (o LPI) sono state fatte secondo diversi autori/formule di calcolo. Si tratta di metodi semplificati che però conducono ad una stima sufficientemente attendibile del fenomeno e sono idonei a stabilire una classe di rischio come richiesto dagli di Microzonazione Sismica.

Nella seguente Tabella 7 sono stati riportati i risultati ottenuti secondo le metodologie denominate **Boulanger e Idriss (2014)** e **Idriss e Boulanger (2008)** le quali forniscono risultati più cautelativi e sono diffusamente utilizzate per le elaborazioni di prove penetrometriche statiche (*Facciorusso 2009, Madiai 2016*).

Tabella 7: risultati delle elaborazioni svolte su CPT

| Prova | Località          | Metodo                     | Potenziale di liquefazione (IL) | Pericolo di liquefazione |
|-------|-------------------|----------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| P56   | Via Sanguettara   | Boulangier & Idriss (2014) | 17,5                            | Molto alto               |
|       |                   | Idriss & Boulangier (2008) | 9,2                             | Alto                     |
| P87   | Via Sandra        | Boulangier & Idriss (2014) | 14,2                            | Alto                     |
|       |                   | Idriss & Boulangier (2008) | 5,3                             | Alto                     |
| P90   | Via Pila          | Boulangier & Idriss (2014) | 8,9                             | Alto                     |
|       |                   | Idriss & Boulangier (2008) | 1,9                             | Basso                    |
| P85   | Borghetto         | Boulangier & Idriss (2014) | 13,2                            | Alto                     |
|       |                   | Idriss & Boulangier (2008) | 2,7                             | Moderato                 |
| P86   | Via Neschi        | Boulangier & Idriss (2014) | 20,2                            | Molto alto               |
|       |                   | Idriss & Boulangier (2008) | 12,0                            | Alto                     |
| P89   | Via Cadorna (Sud) | Boulangier & Idriss (2014) | 11,8                            | Alto                     |
|       |                   | Idriss & Boulangier (2008) | 3,8                             | Moderato                 |

La Tabella 8 illustra i risultati ottenuti con le prove dinamiche censite e spinte a profondità di circa 15 m. I risultati seppure di qualità inferiore a quelli ottenuti con le CPT, indicano comunque la possibilità che si verifichi la liquefazione.

Tabella 8: risultati delle elaborazioni svolte su DPSH

| Prova | Località     | Metodo             | Potenziale di liquefazione (IL) | Pericolo di liquefazione |
|-------|--------------|--------------------|---------------------------------|--------------------------|
| P93   | Via Riazzolo | Youd et al. (2001) | 12,5                            | Alto                     |
| P94   | Via del Palù | Youd et al. (2001) | 8,4                             | Alto                     |

Come risulta dalle tabelle i risultati delle elaborazioni conducono a valutare che all'interno delle zone indicate nella carta delle MOPS e nella Carta di Microzonazione il rischio che possano verificarsi fenomeni di liquefazione è spesso elevato. Il grado di rischio è variabile, sia in funzione delle metodologie di elaborazione adottata, sia delle locali caratteristiche dei terreni.

Alla luce di questi risultati, si rimanda a specifico approfondimento di dettaglio del fenomeno della liquefazione attraverso l'esecuzione di specifiche indagini in sito da eseguire nelle aree oggetto di espansione, così come definite dall'amministrazione comunale, oppure in fase di studi geologico-tecnici per la progettazione delle opere.

## 10. SINTESI DEGLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 1 E 2

La Microzonazione di Livello 1, deve essere utilizzata come primo approccio qualitativo allo studio della pericolosità sismica del territorio, poiché consente di delineare gli scenari di pericolosità, identificando le parti del territorio suscettibili di effetti amplificativi locali o di instabilità. Lo studio di Microzonazione di Livello 2 ha invece analizzato gli aspetti quantitativi legati alla pericolosità sismica, fornendo delle prescrizioni normative.

La D.G.R.V. n. 1572 del 03.09.2013 "*Definizione di una metodologia teorica e sperimentale per l'analisi sismica locale a supporto della pianificazione. Linee Guida Regionali per la microzonazione sismica. (D.G.R. 71/2008, D.G.R. 2877/2008 e D.lgs. 163/2006 e abrogazione D.G.R. n. 3308/08)*" stabilisce che per definire la carta di microzonazione sismica, il territorio comunale sia mappato secondo le seguenti tipologie:

- **aree "stabili"**, nelle quali non si ipotizzano effetti locali di rilievo di alcuna natura (substrato geologico posto a profondità inferiore a 3 metri con morfologia piatta o semipianeggiante);
- **aree "stabili suscettibili di amplificazioni sismiche"**, nelle quali sono attese amplificazioni del moto sismico, come effetto dell'assetto litostratigrafico e morfologico locale;
- **aree "suscettibili di instabilità"**, nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazioni del territorio (non sono necessariamente esclusi per queste zone anche fenomeni di amplificazione del moto). Le principali cause di instabilità sono: instabilità di versante, liquefazioni, faglie attive, cedimenti differenziali.

Nell'Allegato A) alla DGRV n. 1572/2013 "*Linee guida per l'esecuzione di studi di Microzonazione Sismica*" sono specificate più in dettaglio queste tre categorie.

Utilizzando i dati esistenti e le nuove misure geofisiche, gli studi di MS di Livello 1 e 2 hanno cercato di ricostruire la struttura geologica del sottosuolo del territorio comunale, che risulta interamente compreso nella categoria delle **aree "stabili suscettibili di amplificazioni sismiche"**.

Le caratteristiche litostratigrafiche e idrogeologiche del sottosuolo, hanno verificato come non si possa escludere che si verifichi il fenomeno della liquefazione dei terreni. Pertanto, nella Carta delle MOPS e nella Carta di Microzonazione Sismica di 2° livello, parte del territorio comunale è stato classificato come "**suscettibile di instabilità**".

Come esposto nei paragrafi precedenti gli studi hanno messo in risalto che, nel territorio del Comune di San Martino di Lupari, i valori del fattore di amplificazione FA sono compresi tra un 1,16 e 1,35.

## 11. PROPOSTA DI PRESCRIZIONI NORMATIVE

Nel territorio oggetto del presente studio tutti gli interventi che prevedano nuove costruzioni, modifiche strutturali, ampliamenti, ristrutturazioni e opere infrastrutturali dovranno essere progettati adottando i criteri antisismici di cui al D.M. 17.01.2018 - Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" - e alle eventuali ss.mm.ii. relative agli argomenti specifici.

### 11.1 Amplificazioni litostratigrafiche

La microzonazione riportata in cartografia, basata sui Fattori di amplificazione elaborati con abachi e metodi semplificati, deve essere utilizzata come approccio preliminare per stimare la possibile amplificazione sismica e per programmare le indagini da effettuare. La scelta della metodologia e della quantità di indagini dovrà essere commisurata all'importanza dell'opera e, in ogni caso, dovrà essere adeguatamente motivata.

**E' fatto assoluto divieto l'utilizzo dei dati di output degli abachi di 2° Livello in attività connesse alla determinazione dell'azione sismica a corredo della progettazione sismica.**

In considerazione della situazione sismica e geologica del Comune di San Martino di Lupari, contraddistinto da condizioni litostratigrafiche predisponenti l'amplificazione e dal rischio potenziale di sismi di magnitudo medio-elevata, si è ritenuto opportuno definire il grado di approfondimento delle indagini sismiche, da effettuare in sede di progetto, facendo riferimento alla classificazione degli edifici prevista dalle N.T.C. ed alla normativa regionale inerente gli edifici e opere di interesse strategico ai fini di protezione civile e rilevanti per l'uso. Pertanto, si stabiliscono diversi gradi di approfondimento dello studio sismico, come specificato di seguito.

Il D.M. 17 gennaio 2018, al paragrafo 2.4.2 "*Classi d'uso*", in presenza di azioni sismiche e con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, suddivide le costruzioni in quattro classi d'uso definite in base alla frequentazione, alla funzione, alle attività e all'utilizzo. Di seguito sono indicate le indagini e gli studi da effettuare in relazione alla tipologia di costruzione in esame, nell'ambito dell'intero territorio comunale.

• **Classe I:** *Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.* Per queste costruzioni, in funzione dell'ubicazione e della tipologia, potranno essere utilizzati i dati e le informazioni sismiche contenuti nel presente studio, oppure eseguite indagini come illustrato per gli edifici in classe II.

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

Per queste costruzioni si prevede l'esame dei dati e delle informazioni sismiche contenuti nel

presente studio e, quindi, l'applicazione di metodi semplificati per valutare l'amplificazione sismica locale. Per l'applicazione dei metodi semplificati si riporta quanto indicato dal D.M. 17.01.2018, al paragrafo 3.2.2 **Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche** "Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento ad un approccio semplificato, che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_s$ . I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità  $V_s$  per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2.

*I valori di  $V_s$  sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.*

Come è noto, la definizione delle categorie di sottosuolo avviene attraverso il calcolo della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio  $V_{Seq}$ , la cui determinazione sarà fatta utilizzando indagini sismiche con le tecniche MASW, ESAC e sismica a rifrazione. Per le indagini che utilizzano l'analisi delle onde di superficie sarà preferibile usare tecniche attive e passive in modo congiunto.

Abbinata alle determinazioni di  $V_s$  si dovranno eseguire anche misure di rumore sismico ambientale a stazione singola (tecnica HVSR), al fine di stabilire la frequenza fondamentale di vibrazione dei terreni (o il periodo proprio), da confrontarsi con le frequenze proprie degli edifici. Le acquisizioni e le elaborazioni di queste misure seguiranno le linee guida del Progetto SESAME.

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

• **Classe IV:** *Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.*

Per le costruzioni ricadenti nelle **classi III e IV** si prevede l'esecuzione di un'analisi della Risposta Sismica Locale (**RSL**) come indicato al paragrafo 7.11.3.1 del DM 17.01.2018 Risposta sismica locale, del quale si richiamano alcuni punti: "...Omissis.....Alla scala della singola opera o del singolo sistema geotecnico, l'analisi della risposta sismica locale consente quindi di definire le modifiche che il segnale sismico di ingresso subisce, a causa dei suddetti fattori locali. Le analisi di

*risposta sismica locale richiedono un'adeguata conoscenza delle proprietà geotecniche dei terreni, da determinare mediante specifiche indagini e prove.....omissis”.*

Per l'analisi di RSL dovranno essere acquisiti i parametri necessari alla definizione del modello geotecnico e sismostratigrafico del sottosuolo, alla ricostruzione della profondità e della morfologia del substrato rigido o di un deposito ad esso assimilabile. L'analisi di RSL, condotta utilizzando codici di calcolo monodimensionali, bidimensionali o tridimensionali, in funzione dell'assetto strutturale del sottosuolo, dovrà articolarsi secondo quanto indicato nel paragrafo 7.11.3 del DM 14.01.2018, al quale si rimanda. In questa sede, oltre a quanto previsto dalla normativa, si vuole sottolineare la necessità di eseguire le seguenti indagini per una corretta modellazione:

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

La relazione illustrativa delle indagini dovrà contenere i grafici relativi alle misure effettuate ed alla loro interpretazione.

Riguardo alla Risposta Sismica Locale da utilizzare in specifiche situazioni, le modalità di applicazione descritte in precedenza dovranno essere valutate ed eventualmente modificate in relazione al progetto previsto ed alle conoscenze geologico-geofisiche disponibili. Anche la tipologia ed il numero delle prove da eseguire saranno programmate in funzione dell'importanza dell'opera in progetto (classe d'uso) e della sua ubicazione in rapporto all'assetto geologico del sottosuolo.

**Le analisi di Risposta Sismica Locale si dovranno applicare anche agli edifici e opere elencati nella DGRV n. 3645 del 28 novembre 2003, Allegati A e B e nel Decreto del capo della Protezione Civile n. 3685 del 21 ottobre 2003 (edifici e opere di interesse strategico ai fini di protezione civile e rilevanti per l'uso).**

## **11.2 Zone suscettibili di instabilità per cedimenti differenziali**

Lo studio di livello 1 aveva individuato delle aree con presenza di terreni di riporto relativi a riempimento di ex cave; queste aree non sono state oggetto dello studio di 2° livello.

In ogni caso, in queste zone si ritiene di vietare qualsiasi tipo di costruzione appartenente alle classi I, II, III e IV come indicate nel D.M. 17 gennaio 2018. Un'eventuale deroga sarà possibile solo a seguito di un'analisi di Livello 3, incentrata sull'esecuzione di specifiche indagini per verificare la

reale geometria e volumetria dei materiali riportati e le loro caratteristiche; dovranno poi essere effettuate le opportune modellazioni, per quantificare l'effettiva instabilità del sito. Tale prescrizione deriva dalla considerazione che i terreni presenti in queste zone possiedono condizioni complessive tali da rendere necessaria una approfondita conoscenza delle loro caratteristiche geotecniche, geosismiche, chimiche e chimico-fisiche. Dovranno essere previste indagini con prelievo di campioni sino a profondità congrue con la tipologia degli interventi e, contestualmente, realizzate indagini in situ e sui campioni di materiale estratto; sarà inoltre monitorato il livello di falda. La relazione geologico-sismica dovrà caratterizzare i terreni di riporto intercettati, definire la geometria degli scavi e dei riporti effettuati in passato ed indicare la compatibilità delle trasformazioni previste con la tipologia dei terreni, o gli eventuali interventi atti a eliminare le incompatibilità riscontrate.

### **11.3 Aree potenzialmente liquefacibili**

Nei settori centrale e meridionale del Comune, i dati acquisiti non consentono di escludere che si verifichi il fenomeno della liquefazione: è stata pertanto stabilita una Zona di Suscettibilità per Liquefazione  $ZS_{LIQ}$ . Le elaborazioni effettuate con i dati disponibili e con diverse metodologie di analisi, conducono a valutare un rischio di liquefazione variabile da moderato a molto elevato. I metodi utilizzati per le analisi sono di tipo semplificato, ma sono ampiamente diffusi sia nella pratica professionale, sia livello scientifico, per valutare preliminarmente la possibilità che si verifichi questo fenomeno.

In relazione alla tipologia dell'opera in progetto potranno essere condotti studi ed analisi tipici del Livello 3 della Microzonazione Sismica. Ove possibile si dovranno eseguire prove penetrometriche statiche con punta elettrica (CPTU) e sondaggi, utili sia per verificare la reale composizione del terreno, sia per eseguire prove in foro (SPT). Inoltre, conducendo uno studio di Risposta Sismica Locale potrà essere valutato l'andamento dell'accelerazione in funzione della profondità e, quindi, eseguire le verifiche a liquefazione con maggiore accuratezza.

Si ritiene di prescrivere che, in fase progettuale per qualsiasi tipo di intervento che ricada all'interno delle "Zone suscettibili di instabilità per liquefazione", dovranno essere effettuate le indagini e verifiche, finalizzate a calcolare il coefficiente di sicurezza nei confronti della liquefazione in condizioni sismiche e valutati i cedimenti indotti, come indicato nel DM 17.01.2018. In questo decreto, a proposito della stabilità nei confronti della liquefazione, il paragrafo 7.11.3.4.3 recita: *"Salvo utilizzare procedure di analisi avanzate, la verifica può essere effettuata con metodologie di tipo storico-empirico in cui il coefficiente di sicurezza viene definito dal rapporto tra la resistenza disponibile alla liquefazione e la sollecitazione indotta dal terremoto di progetto. La resistenza alla liquefazione può essere valutata sulla base dei risultati di prove in situ o di prove cicliche di laboratorio. La sollecitazione indotta dall'azione sismica è stimata attraverso la conoscenza dell'accelerazione massima attesa alla profondità di interesse.*

*L'adeguatezza del margine di sicurezza nei confronti della liquefazione deve essere valutata e motivata dal progettista."*

## 12 BIBLIOGRAFIA

Albini, Migliavacca, Moroni (2003): Studio di alcuni terremoti di intensità epicentrale moderata in Italia settentrionale. INGV, Milano.

Banca Dati on-line del © Servizio geologico d'Italia, 2017 (<http://sgi2.isprambiente.it/mapviewer/>).

Burrato, Poli, Vannoli 2008 Sources of Mw 5+ earthquakes in northeastern Italy and western Slovenia: an updated view based on geological and seismological evidence.

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(2), 333-410.

Castellarin A. (a cura di); 1981. Carta tettonica delle Alpi Meridionali (alla scala 1:200.000). Pubblicazione n. 441, P.F.G. (S.P. 5) C.N.R.

C.N.R. - REGIONE DEL VENETO - ULSS n. 5 - ULSS n. 19: Difesa degli acquiferi dell'alta pianura veneta - Stato di inquinamento e vulnerabilità delle acque sotterranee del bacino del Brenta – Venezia 1988.

Facciorusso J., Vannucchi G.: Esempi di valutazione del potenziale di liquefazione su scala regionale secondo l'approccio deterministico e probabilistico. *Rivista Italia di Geotecnica*, Aprile – Giugno 2009.

Gruppo di Lavoro DISS (2021). Database delle singole sorgenti sismogenetiche (DISS), Versione 3.3.0: una raccolta di potenziali sorgenti per terremoti superiori a M 5.5 in Italia e nelle aree circostanti. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

Dal Moro Giancarlo (2012): Onde di superficie in geofisica applicata. Dario Flaccovio Editore.

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

Galadini F., Poli M. E. and 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.

Galli P. e Meloni F. (1993): Nuovo catalogo nazionale dei processi di liquefazione avvenuti in occasione dei terremoti storici in Italia. *Il Quaternario* 6 (2), 271-292.

Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G., Sgattoni G., Valensise G. (2018) - CFTI5Med, Catalogo dei Forti Terremoti in Italia (461 a.C.-1997) e nell'area Mediterranea (760 a.C.-1500). Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). doi: <https://doi.org/10.6092/ingv.it-cfti5>.

Guidoboni E., Ferrari G., Tarabusi G., Sgattoni G., Comastri A., Mariotti D., Ciuccarelli C., Bianchi M.G., Valensise G. (2019), CFTI5Med, the new release of the catalogue of strong earthquakes in Italy and in the Mediterranean area, *Scientific Data* 6, Article number: 80 (2019). doi: <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0091-9>.

Iliceto V., Peruzza L., Rovelli A., Slejko D. (2002): La difesa dai terremoti mediante zonazione sismica: sinergie fra Protezione Civile e Piani Regolatori. *Geologia Tecnica & Ambientale*, n. 3, pp. 15-36.

Iliceto V., Boaga J. (2005): Deterministic earthquake scenarios and site effects estimation for S. Michele al Tagliamento (VE)-Italy. *Proc. of the 5th Forum Nazionale di Scienze della Terra, Geitalia 2005*, 20-23 sept. 2005, Spoleto.

Iliceto V., Boaga J. (2005): Influenza delle geostrutture nella valutazione degli effetti sismici di sito: il caso della Val d'Adige. *Atti del Workshop di Geofisica: "La Geofisica a servizio dell'ambiente e dei beni culturali, con attenzione alle problematiche in ambito montano"*, Rovereto (TN), 9-12-2005.

ITACA Banca Dati Accelerometrica Italiana, INGV, Milano: <http://itaca.mi.ingv.it/ItacaNet>.

ITHACA (ITaly HAZard from CAPable faults) – ISPRA: portale del Servizio Geologico d'Italia <http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/viewer/index.html>.

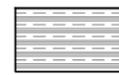
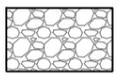
Konno K., Omachi T. (1998): Ground motion characteristics estimated from spectral ratio between horizontal and vertical components of microtremors. *Bull. Seism. Soc. Am.* 88, pp. 228-241.

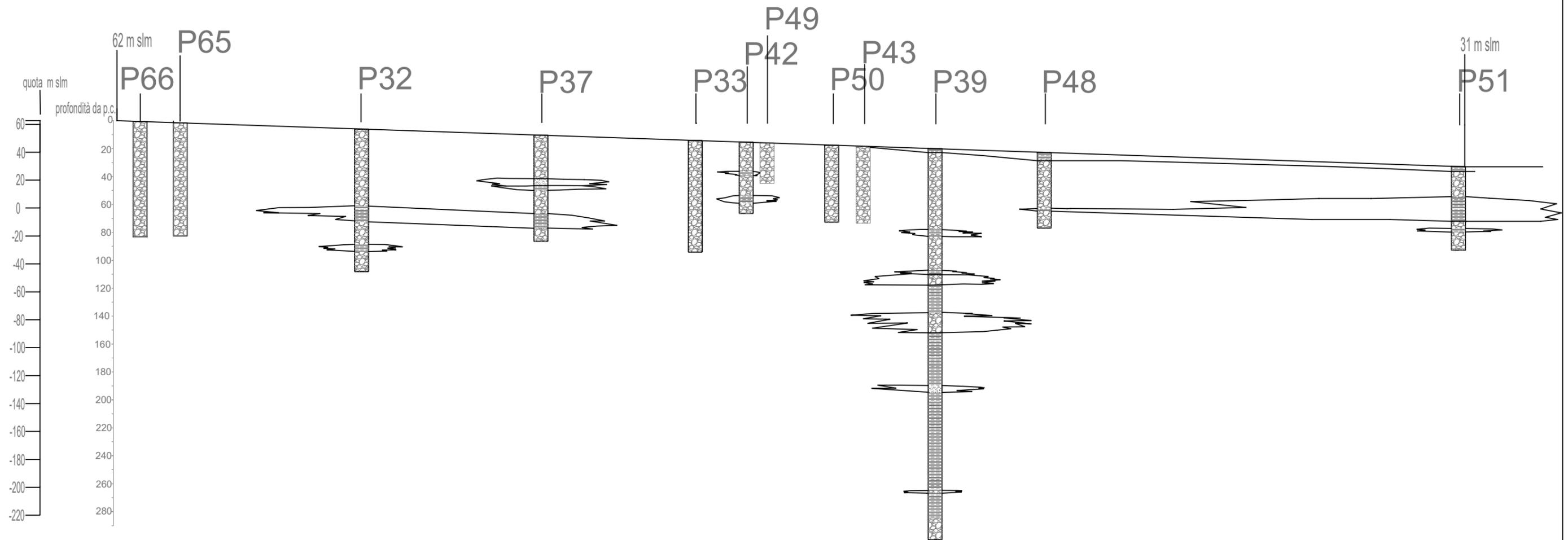
- Lachet C, Bard P.-Y. (1994): Numerical and Theoretical investigations on the possibilities and limitations of Nakamura's Technique. *J. Phys. Earth* 42, pp. 377-397.
- Madiai C., Vannucchi G., Baglione M., Martelli L., Veronese T. (2016): Utilizzo di prove penetrometriche statiche a punta meccanica per la stima del potenziale di liquefazione. *Rivista Italiana di Geotecnica* 3/2016
- C. Meletti, G. Valensise: Zonazione sismogenetica ZS9 – App. 2 al Rapporto Conclusivo. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. Marzo 2004.
- D. Molin, M. Stucchi e G. Valensise: Massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani. GNDT. ING, SSN – 1996.
- Nakamura Y. (1989): A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremors on the ground surface. *Quarterly Rept. RTRI, Japan* 33, pp. 25-33.
- Nogoshi M., Igarashi T. (1970): On the propagation characteristics of the microtremors. *J. Seism. Soc. Japan* 24, pp. 24-40.
- NT4.1 Catalogo parametrico di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno, INGV, Milano.
- Park C. B., Miller R. D., Xia J. (1999): Multichannel analysis of surface waves (MASW). *Geophysics*, 64, 800-808.
- Panizza M., Slejko D., Bartolomei G., Carton A., Castaldini D., Demartin M., Nicolich R., Sauro U., Semenza E. & Sorbini L. (1981): Modello sismotettonico dell'area fra il Lago di Garda ed il Monte Grappa; *Rend. Soc. Geol. It.*, 3, 587-603.
- Peruzza L., Poli M.E., Rebez A., Renner G., Rogledi S., Slejko D. and Zanferrari A.; 2002: The 1976-1977 seismic sequence in Friuli: new seismotectonic aspects. *Mem. Soc. Geol. It.*, 57, 391-400.
- Poli M.E., P. Burrato, F. Galadini e A. Zanferrari, 2008 Seismogenic sources responsible for destructive earthquakes in north-eastern Italy, INGV Roma.
- Piano Assetto Territoriale del comune di San Martino di Lupari (2012).
- Regione del Veneto, Servizio Geologico d'Italia (1988): Carta geologica del Veneto – scala 1:250.000.
- Rovida A., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds) CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of the Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.*
- Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (2020). The Italian earthquake catalogue CPTI15. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 18(7), 2953-2984. <https://doi.org/10.1007/s10518-020-00818-y>.
- SESAME Project AA.VV. [http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/SES\\_Reports.htm](http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/SES_Reports.htm).
- D. Slejko, G.B. Carulli, F. Carraro, D. Castaldini, A. Cavallin, C. Doglioni, V. Iliceto, R. Nicolich, A. Rebez, E. Semenza, A. Zanferrari e C. Zanolla : Modello sismotettonico dell'Italia nord-orientale. C. N. R. – Gruppo Distretto Pedemontana Sud (PS) Nazionale per la Difesa dai Terremoti. Trieste 1987.
- Sugan M. e Peruzza L.; 2011: Distretti sismici del Veneto. *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, Vol. 52 (supplemento).
- Veronese T. :Esperienze nei territori colpiti dal sisma dell'Emilia (maggio 2012) – casi di studio. *Il Geologo dell'Emilia Romagna* 2014, N. 50
- Zanferrari A., Bollettinari G., Carobene L., Carton A., Carulli G.B., Castaldini D., Cavallin A., Panizza M., Pellegrini G.B., Pianett F. and Sauro U.; 1982: Evoluzione neotettonica dell'Italia nord-orientale. *Mem. di Sc. Geol.*, 35, 355376.

## **13    PROFILO GEOLOGICO E COLONNE STRATIGRAFICHE DELLE MOPS**

# COMUNE DI SAN MARTINO DI LUPARI - MICROZONAZIONE SISMICA

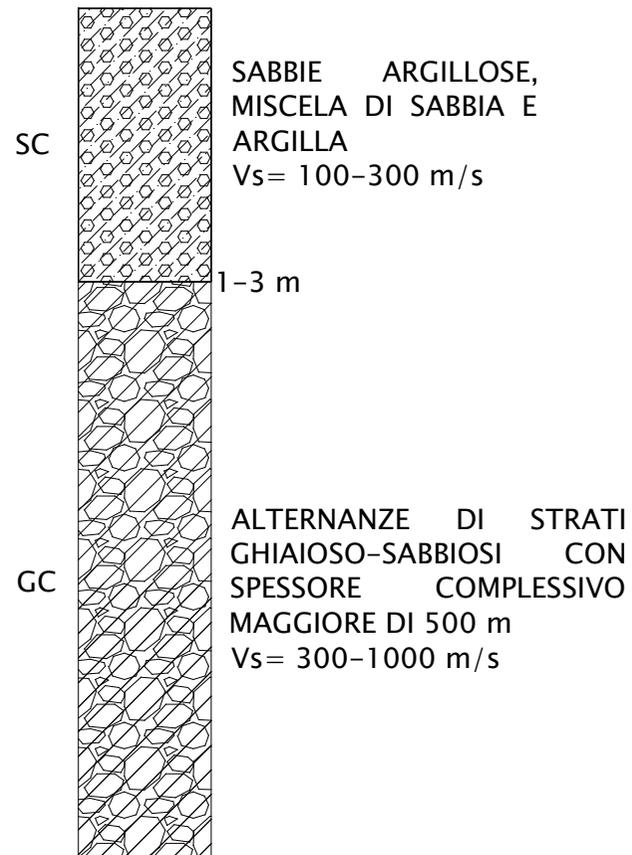
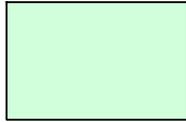
## PROFILO A-A'

 LIMI E ARGILLE     SABBIE     GHIAIE E GHIAIE E SABBIE



# SEZIONE TIPO ZONE

## 2001



## 2002

